

# 한국 북부지방의 산간 계류에 서식하는 수서곤충의 몸길이-질량 관계

정 근\*

(강원대학교 농업생명과학대학 응용생물학전공)

**Body Length-mass Relationships of Aquatic Insect of Mountain Streams in Central Korean Peninsula. Chung, Keun\* (Major in Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)**

**For twenty-nine aquatic insect taxa common to mountain headwater streams in central Korean peninsula, body length-dry mass and -ash free dry mass relationships were developed by using a natural log transformed power function. Most of the predicted mass at length of this study was rather similar to those of other studies. Taxa with higher predicted mass at length than predicted by others tend to have soft exoskeleton and move by stretching and contracting their body. Ash rate in average was 10% of dry mass and was not significantly different among functional feeding groups.**

**Key words : aquatic insects, ash free dry mass, biomass, body length-mass relationships**

## 서 론

우리나라의 수서곤충상에 관한 연구의 대부분은 밀도를 이용하여 수행되었다. 그러나 어떤 생태계를 영양학적 구조나 에너지 흐름의 측면에서 고찰하고자 할 때에는 밀도보다 생체량 (biomass)이 더 적절한 것으로 알려져 있다 (Benke *et al.*, 1999). 우리나라에서 생체량을 이용하여 수서곤충을 연구한지는 꽤 오래 되었으나 채집된 수서곤충상의 생체량을 얻는 데에는 풍부도를 얻는 것에 비해 많은 시간과 노력이 더 소요되므로 생체량에 관한 연구는 많지 않다. 예를 들면, Kim (1970)이 동해안의 여러 하천에 서식하는 수서곤충상을 비교하기 위해 젖은 생체량을 사용한 후, Ra and Cho (1986), Kwak *et al.* (2004)이 수서곤충의 젖은 생체량을 보고하였고 Yoon *et al.* (1990)은 팔당호에 서식하는 수서곤충을 비롯한 저서생물의 생체량을 보고 하였다. 한편, Chung (2005a)은 당

시 미발표인 몸길이-질량 회귀식을 이용하여 formalin에 보관되어있던 수서곤충의 건조질량 (dry mass: DM)을 추정하였다. 수서곤충의 생체량은 하천서식성 어류의 섭식 행동을 분석하는 데에도 이용되었다. Son and Byeon (2004), 그리고 Choi *et al.* (2001, 2004, 2006)은 어류의 섭식생태 연구를 위해 채집된 어류의 장 내용물 중에 포함된 수서곤충의 분류군별 DM을 분석하였다.

수서곤충의 생체량을 가장 간편하게 측정하는 방법은 앞에서 예로든 대부분의 국내 연구에서처럼 시료의 질량을 직접 측정하는 것이다. 그렇지만 수서곤충의 생체량과 관련된 연구의 대부분에서 채집된 시료는 보존용액 속에서 어느 정도 지난 후에 동정과 분류가 이루어지고 분류군별 생체량은 그 후에 측정된다. 따라서 시료보관이 생체량에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 이루어졌는데, 대부분의 연구에서 보존액에 보관된 수서곤충은 살아있을 때, 또는 갓 죽은 싱싱한 상태일 때에 비하여 질량이 감소하며, 그 정도는 보존기간과 보존액의 종류에 따라

\* Corresponding author: Tel: 033) 250-6434, E-mail: kunchung@kangwon.ac.kr

다른 것으로 나타났다(Howmiller, 1972; Stanford, 1973; Dermott and Paterson, 1974; Landahl and Nagell, 1978; Leuven *et al.*, 1985; Heise *et al.*, 1988). 더욱이 보관중인 시료를 이용하여 DM이나 회분의 질량(Ash Free Dry Mass: AFDM)을 추정할 경우, 표본을 건조시켜야 하기 때문에 해당 시료를 더 이상 연구할 수 없다는 단점이 있다(Meyer, 1989). 그래서 많은 연구자들은 미리 만들어진 몸크기(대개 두폭 또는 몸길이)-질량 회귀식을 이용하여 수서곤충 생체량을 추정한다.

수서곤충에 대한 몸크기-체중 회귀식은 이미 많은 곳에서 보고되었다. 북미대륙 동남부에서는 Smock (1980)이 스스로 구한 회귀식을 보고하였고, Benke *et al.* (1999)은 주로 북미대륙 동부를 중심으로 사용되어온 많은 회귀식을 정리하였다. Johnston and Cunjak (1999)은 북미대륙 북부 하천에 서식하는 수서곤충에 대한 회귀식을 구하고, 여러 대륙에서 얻어진 회귀식을 시료처리 방법에 따라 정리·비교하였다. 중부유럽에서는 Meyer (1989)와 Burgherr and Meyer (1997)가 화학적 특성이 다른 계류에 서식하는 수서곤충의 몸크기-질량의 관계에 대해 보고했다. 뉴질랜드에서는 Tower *et al.* (1994)이 하천에 서식하는 수서곤충을, Stoffels *et al.* (2003)은 호소에 서식하는 수서곤충을 비롯한 무척추동물의 몸길이-체중의 관계에 대해 발표했다. 그 외 여러 지역에서 수서곤충의 2차생산력에 관한 연구에서 몇몇 종이나 속 수준의 몸크기-질량에 관한 많은 보고가 있었다. 예를 들면, 아시아에서는 Dudgeon (1996)과 Salas and Dudgeon (2003)이 하루살이의 생활사와 2차생산력을 연구하면서 그들에 대한 두폭 또는 몸길이-질량에 대한 회귀식을 보고했다. 우리나라에서는 Chung (2005b)이 *Cincticostella levanidovae*에 대한 회귀식을 보고했다.

지역 내에 서식하는 수서곤충을 이용하여 얻어진 회귀식이 없는 곳에서는 다른 지역에서 얻어진 회귀식을 이용하기도 한다. Kobayashi and Kagaya (2004)와 Benstead and Pringle (2004)은 각각 일본과 Madagascar에 서식하는 수서곤충의 생체량을 추정하는데 북미 동남부에서 얻어진 회귀식(주로 Benke *et al.*, 1999)을 이용했다. 하지만 다른 지역에서 얻어진 회귀식을 차용하는 것은 여러 종류의 오류가 발생할 가능성이 있으므로 세심한 주의가 필요하다(Meyer 1989; Benke *et al.*, 1999; Johnston and Cunjak, 1999).

저자는 소하천에 서식하는 수서곤충 중 일부 분류군만을 취급하였지만 우리나라에서 서식하는 수서곤충의 몸길이-질량 회귀식을 제공함으로써 수서곤충의 생체량 연구를 위한 기초자료를 제공하고, 생체량 연구를 위한 수

서곤충 표본의 취급방법에 대해 고찰하고자 본 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료채집 장소

회귀식 추정에 사용된 미성숙 수서곤충은 2002년부터 2006년 사이에 3개의 소하천에서 채집되었다. 수서곤충은 주로 강원도 인제군 기린면에 있는 점봉산의 남사면에 있는 1차하천 구간(38° 03'N, 128° 25'E; 810 m ASL)에서 채집되었다. 이 하천은 1차하천으로 집수유역내에 민가나 농경지가 없고 주변 숲의 수관에 덮여 있다. 하지만, 원거리 채집에 의해 시료가 손상되거나, 제때 처리되지 못해 버려지는 경우가 많아 일부 분류군, 특히 성장단계 중 일부가 누락되었던 분류군은 실험실에서 가까운 두 하천에서 채집되었다. 이들 두 하천은 춘천시 동면 감정리(37° 52'N, 127° 8'E; 120 m ASL)와 춘천시 서면 오월리(37° 57'N, 127° 38'E; 140 m ASL)에 있는 1~2차 하천으로 하폭은 1~2 m, 하천변 식생은 주로 활엽수로 이루어 졌으며 집수유역 내에 농경지나 민가는 없었다. 연구기간 중 간헐적으로 측정된 하천의 pH와 전기전도도는 세 하천 모두에서 서로 비슷하였는데 pH는 5.5~7.0, 전기전도도는 <math>40 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}</math>이었다. 또한 세 하천에는 나뭇잎과 나뭇가지 등의 유기퇴적물과 모래에서부터 호박돌과 암반까지 다양한 저질이 분포하고 있었다. 따라서 나중에 추가된 두 하천은 고도가 낮아 여름철 수온이 조금 높을 수 있다는 것을 제외한 나머지 서식환경이 점봉산의 하천과 매우 유사하므로, 채집계절과 장소에 관계없이 점봉산 하천에서 얻어진 자료와 함께 pooled되어 회귀식 계산에 이용되었다.

### 2. 시료 채집

수서곤충은 D-형 채집망의 바로 앞의 상류 쪽 바닥을 조심스럽게 손으로 뒤집거나, 하천바닥과 돌 틈에 퇴적된 낙엽더미를 손으로 집어 채집하였다. 채집된 시료는 실험실로 옮겨져 살아 있는 상태에서 선별되어 Yoon (1995)과 Kawai (1985)에 따라 동정되었다. 속 수준에서 처리된 분류군은 대부분 한 종으로 이루어 졌을 것으로 생각되었지만, 나중에 확인한 결과 복수의 종으로 구성된 경우가 있었다(예: *Nemoura* spp.=*N. gemma*와 다른 한 종). 몸 모양이 서로 유사한 일부 종들은 속 수준에서 처리되었다. *Ameletus* spp.는 *A. montanus*와 *A. costalis*, *Ephe-*

*mera* spp.는 *E. separigata*와 *E. strigata*로, 그리고 *Baetis* spp.는 대부분이 *B. thermicus*로 구성되어 있었다. Capniidae와 Philopotamidae, 그리고 여러 종으로 이루어진 Chironomidae와 Simuliidae는 동정상의 어려움으로 과 수준에서 처리되었다.

### 3. 시료 처리

채집과 운송과정에서 부속지가 손상된 개체는 버려지고 모든 부속지가 보존된 살아있는 시료만 동정되었다. 동정된 시료는 살아있는 상태에서 5%의 formalin 용액이 들어있는 Petri dish에 넣어져 몸이 충분히 수축할 수 있도록 약 3~6시간 방치된 후 몸길이가 측정되었다. Lasenby *et al.* (1994)에 의하면 formalin 처리시 몸길이는 약 3시간 이내에 수축하고 그 후 30일 동안 변화가 거의 없었다고 한다.

몸이 큰 개체 (>20 mm)는 주로 1 mm 단위로, 몸이 작은 개체는 0.1 mm 단위로 몸길이가 측정되었다. 몸길이는 더듬이와 쌍꼬리가 제외된 머리 앞 끝에서 복부 끝까지의 길이이며, 1 mm 단위로 측정될 때에는 실체현미경 하에서 시료가 1 mm 눈금의 모눈종이 위에 투영된 길이를 취했고, 0.1 mm로 측정될 때에는 실체현미경의 접안렌즈 눈금자가 이용되었다. 몸이 C-모양으로 굽은 표본은 몸이 늘려지지 않도록 주의하면서 핀셋으로 몸을 퍼준 상태에서 몸길이가 측정되었다.

이동성 집을 만드는 날도래들은 모두 집에서 꺼내어 몸길이가 측정되었다. 점액성 막으로 몸이 덮인 *Amphinemura* spp.는 소형 그림붓으로 점액성막이 최대한 제거된 후에 몸길이가 측정되었다. 막을 완전히 제거하려 몇 차례 시도했으나 대부분이 다리와 쌍꼬리가 파손되었다. 점액막 제거 중 부속지가 손상된 개체는 버려졌다. formalin 처리 후 죽는 과정에서 하루살이목 곤충의 일부는 다리가 절단되는 경우가 있었는데 이런 개체도 모두 버려졌다.

몸길이가 측정된 formalin 용액속의 수서곤충은 미리 무게가 측정된 알루미늄 접시(약 0.02 g)에 옮겨져 60°C의 열풍건조기에서 3일 이상 건조된 다음 desiccator에서 30분 이상 방치하여 질량을 안정시킨 후 0.01 mg 수준에서 질량이 측정되고(Ohaus, Analytical Plus®, 오차 ± 0.02 mg), 전기로(500°C)에서 5시간 동안 회화된 후 다시 desiccator에서 30분 이상 안정된 후 질량이 측정되었다. 시료의 DM은 열풍건조기 처리 후의 질량에서 접시질량을 제하여 얻어졌으며, AFDM은 DM에서 회분량을 제하여 얻어졌다.

### 4. 몸길이-질량 회귀식

몸길이와 질량의 상관관계는 멱함수(power function:  $M=a \cdot BL^b$ )를 자연 log로 변환하여 얻었다:  $\ln M=\ln a+b \cdot \ln BL$ . 이 공식에서 M은 시료의 질량(mg), BL은 몸길이(mm)를 나타내며, a와 b는 각각 회귀식의 절편과 기울기를 나타내는 상수이다. 몸길이-체중 회귀식을 얻기 위해 흔히 사용되고 있는 멱함수는(참고, Benke *et al.*, 1999), 선형 모형( $M=a+b \cdot BL$ )이나 자연 log화 한 지수함수형 모형( $\ln M=\ln a+b \cdot BL$ ), 또는 2차방정식 모형( $M=a+b \cdot BL+c \cdot BL^2$ )보다 나은 것으로 알려져 있다(Wenzel *et al.*, 1990).  $\ln M$ 의 진수(antilog)인 M은 비편향평균질량(unbiased mean mass)보다 작은 값을 가지므로 a값을  $\exp(\text{residual mean square} \cdot 2^{-1})$ 로 보정해 주어야 한다(Bird and Prairie, 1985). 하지만, 다른 연구와의 비교를 위해 Table 상의 a값은 보정되지 않았다. 회귀식은 OriginPro® 7.5 (OriginLab Corporation)의 Linear Fit으로 얻어졌다.

몸 크기의 변수로서 두폭도 사용되어 왔지만, 본 연구에서는 사용되지 않았다. 왜냐하면 완전변태 곤충에서 체중은 연속적으로 증가하는데 비해 두폭은 일생동안 수회에 걸쳐 탈피할 때에만 불연속적으로 증가하므로 몸크기에 대한 변수로서 몸길이가 두폭보다 월등하기 때문이다(Smock, 1980; Wenzel *et al.*, 1990; Tower *et al.*, 1994; Burgherr and Meyer, 1997; Johnston and Cunjak, 1999; Stoffels *et al.*, 2003; Chimney *et al.*, 2007). 다만, 70% EtOH에 장기간 보관되었던 표본의 현존량을 측정하고 자할 때에는 몸길이보다 EtOH에 의한 변화율이 작은 두폭을 이용하는 것이 더 좋다는 의견도 있다(Gonzalez *et al.*, 2002). 특히 어류의 섭식생태에 관한 연구에서는 물고기가 수서곤충을 포획할 때 수서곤충의 몸이 망가지는 경우가 많으므로 몸길이 보다는 두폭을 이용하여 먹이곤충의 양을 추정하는 것이 더 유리할 것이다(Benke *et al.*, 1999).

### 5. 타 연구와의 비교

본 연구에서 얻어진 회귀식 중 일부는 구북구와 신북구에서 얻어진, 몸길이-DM에 대한 회귀식과 그림을 이용하여 비교되었는데, 그들은 각 목(Order)에서 알파벳 상으로 처음과 마지막에 해당되는 분류군이다. 또한 AFDM에 대한 회귀식은 상대적으로 회귀하므로 모든 분류군에 대한 비교가 가능한 DM을 이용하였다. 부득이 AFDM에 대한 회귀식을 이용한 경우에는 그 문헌에 표기된 회분

**Table 1.** Parameters of linear regression  $\ln DM = \ln a + b \cdot \ln BL$  for some selected Korean aquatic insects, where DM=dry mass (mg), BL=total body length (mm) and a, b are fitted constants. Live, intact specimens were treated with 5% formalin in a Petri dish for 6 hr., measured its length from the anterior margin of head to the tip of abdomen, and dried at 60°C for 3 days and weighed for dry mass. Then, they were incinerated at 500°C for 6 hr., and re-weighed to calculate ash rates. Correction factor for ln-transformation bias is given in Table 2. All regressions are significant at  $p=0.001$ . n=the number of individuals, size range=range of total body lengths (mm) included in regression,  $r^2$ =the coefficient of determination, S.E.=the standard error of the estimate.

Taxon	n	Size range (mm)	$r^2$	Dry Mass		Ash rate (%) ± 1 S.E.
				$\ln a \pm 1$ S.E.	$b \pm 1$ S.E.	
<b>Ephemeroptera</b>						
<i>Ameletus</i> spp.	45	6.5 ~ 18.5	0.932	-5.56396 ± 0.34226	2.97029 ± 0.15206	7.92 ± 0.94
<i>Baetis</i> spp.	60	2.5 ~ 8.1	0.967	-6.24873 ± 0.13699	3.38661 ± 0.08241	8.59 ± 0.91
<i>Cinygmula</i> sp.	16	4.1 ~ 7.1	0.973	-5.06348 ± 0.22795	2.92177 ± 0.12944	7.54 ± 1.83
<i>Ecdyonurus dracon</i>	39	4.7 ~ 12.2	0.956	-4.19443 ± 0.19024	2.81479 ± 0.09911	13.19 ± 0.93
<i>E. kibunensis</i>	23	2.4 ~ 6.5	0.933	-4.20961 ± 0.21630	2.65256 ± 0.15452	9.65 ± 2.03
<i>Epeorus curvatulus</i>	45	2.5 ~ 8.1	0.974	-4.57651 ± 0.12729	2.84825 ± 0.07116	9.44 ± 1.16
<i>Drunella triacantha</i>	33	3.2 ~ 11.3	0.969	-4.92127 ± 0.18999	3.15359 ± 0.10074	9.09 ± 0.50
<i>Ephemera</i> spp.	34	3.7 ~ 25.5	0.987	-6.43947 ± 0.15517	3.10693 ± 0.06357	14.01 ± 1.06
<i>Paraleptophlebia chocorata</i>	47	2.1 ~ 7.8	0.959	-5.82816 ± 0.15905	3.16628 ± 0.10140	8.46 ± 0.96
<b>Plecoptera</b>						
<i>Amphinemura</i> sp.	41	1.4 ~ 9.2	0.968	-4.94825 ± 0.13579	2.84697 ± 0.08323	10.48 ± 1.53
<i>Nemoura</i> spp.	44	2.1 ~ 7.3	0.900	-4.89213 ± 0.20197	2.94903 ± 0.15143	11.51 ± 1.52
<i>Scopula</i> sp.	17	4.1 ~ 23.2	0.968	-5.11950 ± 0.30844	2.85188 ± 0.13427	5.59 ± 0.88
<i>Kamimuria</i> sp.	41	2.7 ~ 27.0	0.986	-5.03235 ± 0.12284	3.02688 ± 0.05873	9.88 ± 1.38
<i>Oyamia nigribasis</i>	32	2.5 ~ 20.2	0.983	-5.20971 ± 0.17407	3.05227 ± 0.07391	6.67 ± 0.62
<i>Stavsolus</i> sp.	30	3.3 ~ 16.3	0.960	-4.78548 ± 0.21210	2.73435 ± 0.10564	10.16 ± 0.87
<i>Sweltsa</i> sp.	53	2.2 ~ 10.6	0.940	-5.85820 ± 0.18444	2.95735 ± 0.10445	9.80 ± 1.08
<b>Trichoptera</b>						
<i>Hydatophylax</i> sp.	37	1.9 ~ 25.5	0.991	-5.25570 ± 0.16005	2.91395 ± 0.06741	6.03 ± 0.55
<i>Psilotreta kisoensis</i>	57	1.5 ~ 11.5	0.913	-4.05011 ± 0.20282	2.77578 ± 0.11653	6.28 ± 0.57
Philopotamidae	23	3.5 ~ 11.5	0.968	-5.52459 ± 0.19277	2.74318 ± 0.10940	6.45 ± 1.65
<i>Rhyacophila articulata</i>	51	3.2 ~ 12.3	0.958	-5.49184 ± 0.20026	3.26130 ± 0.09771	7.61 ± 0.49
<i>R. brevicephala</i>	29	2.8 ~ 6.4	0.897	-4.00794 ± 0.21875	2.40512 ± 0.15710	12.72 ± 0.93
<i>R. impar</i>	14	2.5 ~ 9.2	0.964	-5.10389 ± 0.29494	2.93557 ± 0.16365	7.50 ± 1.61
<i>R. shikotsuensis</i>	22	3.5 ~ 17.1	0.981	-5.61154 ± 0.18146	2.98184 ± 0.08278	8.33 ± 1.98
<b>Diptera</b>						
cg-Chironomidae (non-Tanypodinae)	60	2.0 ~ 6.4	0.528	-5.86285 ± 0.42861	2.51826 ± 0.31249	20.09 ± 2.94
Tanypodinae	20	3.0 ~ 10.5	0.753	-6.86517 ± 0.63124	3.10211 ± 0.41833	6.98 ± 1.95
Simuliidae	69	1.2 ~ 4.1	0.960	-4.91827 ± 0.22757	2.79446 ± 0.25393	10.66 ± 1.27
<i>Dicranota</i> sp.	24	3.5 ~ 7.0	0.723	-5.47381 ± 0.52027	2.50973 ± 0.32023	14.39 ± 2.61
<i>Hexatoma</i> sp.	30	3.2 ~ 33.0	0.983	-5.41459 ± 0.16809	2.95039 ± 0.07308	8.97 ± 0.88
<i>Tipula</i> spp.	24	3.5 ~ 53.5	0.968	-5.96368 ± 0.35711	2.85475 ± 0.11013	16.64 ± 2.33

율로 보정하여 DM화 하였다.

### 결 과

DM을 추정하는 회귀식의 기울기 값 ( $b_{DM}$ )은 *Rhyacophila brevicephala*의 2.40에서부터 *Baetis* spp.의 3.39까지 변이가 컸으나 조사된 분류군의 대부분에서 2.7과 3.3

사이에 분포하였다 (Table 1). 전반적으로 몸길이-질량 회귀식의 결정계수 ( $r^2$ ) 값은 0.9 이상으로 몸길이와 건조질량은 높은 상관관계를 보였다. 몸의 모양이 서로 유사한 두 종이 속단위에서 계산된 경우에도  $r^2$  값이 컸다. 반면, 분류군이 여러 종으로 구성되었거나 (예: cg-Chironomidae, Tanypodinae), 혹은 회귀식 추정에 이용된 시료의 몸길이 차이가 크지 않은 분류군 중 일부는  $r^2$  값이 작은 경향을 보였다.

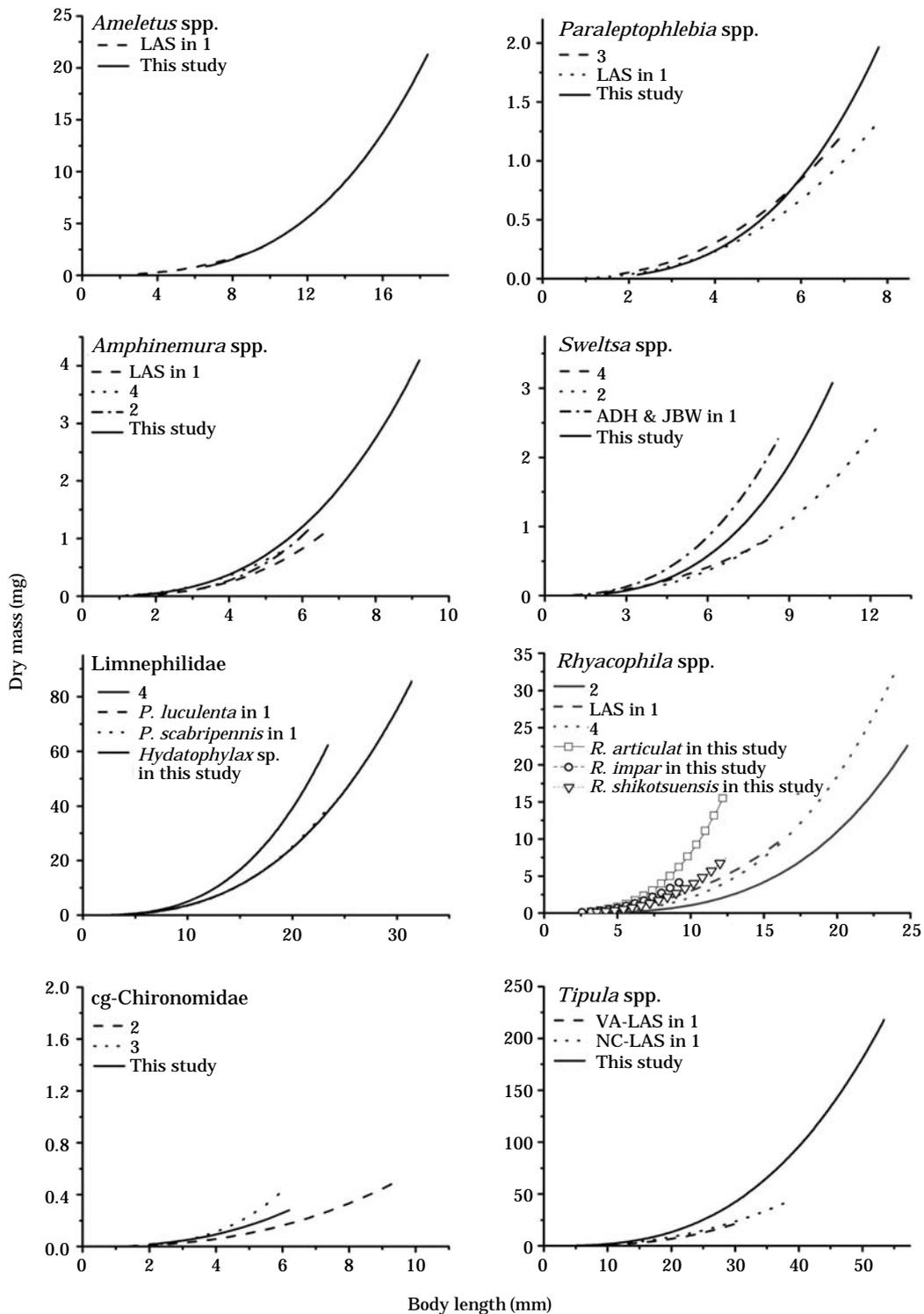
**Table 2.** Parameters of linear regression  $\ln \text{AFDM} = \ln a + b \cdot \ln \text{BL}$  for some selected Korean aquatic insects, where AFDM=ash free dry mass (mg), BL=total body length (mm) and a, b are fitted constants. The number of individuals, size range included in regression, and sample preparation procedure are same to those of Table 1. All regressions are significant at  $p=0.001$ .  $r^2$ =the coefficient of determination, S.E.=the standard error of the estimate. Correction factor= $\exp((\text{residual mean square}) \cdot 2^{-1})$ .

Taxon	$r^2$	Ash free dry mass		Correction factor	
		$\ln a \pm 1 \text{ S.E.}$	$b \pm 1 \text{ S.E.}$	DM	AFDM
<b>Ephemeroptera</b>					
<i>Ameletus</i> spp.	0.928	$-5.64803 \pm 0.37074$	$2.97787 \pm 0.16293$	1.053	1.057
<i>Baetis</i> spp.	0.973	$-6.39745 \pm 0.12463$	$3.42332 \pm 0.07498$	1.020	1.017
<i>Cynigmula</i> sp.	0.963	$-5.19081 \pm 0.27314$	$2.94768 \pm 0.15510$	1.004	1.006
<i>Ecdyonurus dracon</i>	0.957	$-4.45714 \pm 0.19296$	$2.87713 \pm 0.10052$	1.010	1.010
<i>E. kibunensis</i>	0.948	$-4.67091 \pm 0.21009$	$2.90781 \pm 0.14848$	1.024	1.022
<i>Epeorus curvatulus</i>	0.978	$-4.84879 \pm 0.12097$	$2.94619 \pm 0.06763$	1.029	1.027
<i>Drunella triacantha</i>	0.968	$-5.00533 \pm 0.19333$	$3.14714 \pm 0.10251$	1.019	1.020
<i>Ephemer</i> spp.	0.985	$-6.56701 \pm 0.16730$	$3.09596 \pm 0.06873$	1.023	1.026
<i>Paraleptophlebia chocatora</i>	0.956	$-5.88866 \pm 0.16280$	$3.14635 \pm 0.10379$	1.031	1.032
<b>Plecoptera</b>					
<i>Amphinemura</i> sp.	0.965	$-5.16681 \pm 0.14586$	$2.91195 \pm 0.08941$	1.037	1.043
<i>Nemoura</i> sp.	0.895	$-5.18261 \pm 0.21659$	$3.07599 \pm 0.16239$	1.069	1.080
<i>Scopula</i> sp.	0.968	$-5.25547 \pm 0.31051$	$2.88682 \pm 0.13518$	1.052	1.053
<i>Kamimuria</i> sp.	0.977	$-5.15325 \pm 0.15576$	$3.03170 \pm 0.07447$	1.021	1.034
<i>Oyamia nigribasis</i>	0.981	$-5.19495 \pm 0.18238$	$3.01540 \pm 0.07743$	1.026	1.029
<i>Stavsolus</i> sp.	0.960	$-5.02870 \pm 0.21620$	$2.80184 \pm 0.10768$	1.031	1.032
<i>Sweltsa</i> sp.	0.931	$-5.99516 \pm 0.19989$	$2.97105 \pm 0.11320$	1.055	1.065
<b>Trichoptera</b>					
<i>Hydatophylax</i> sp.	0.977	$-5.24377 \pm 0.17651$	$2.87794 \pm 0.07435$	1.021	1.026
<i>Psilotreta kisoensis</i>	0.906	$-4.16947 \pm 0.21395$	$2.80745 \pm 0.12292$	1.107	1.120
Philopotamidae	0.960	$-5.72794 \pm 0.22269$	$2.82036 \pm 0.12638$	1.018	1.024
<i>Rhyacophila articulata</i>	0.955	$-5.61429 \pm 0.20765$	$3.28270 \pm 0.10131$	1.043	1.047
<i>R. brevicephala</i>	0.901	$-4.20860 \pm 0.21790$	$2.45058 \pm 0.15649$	1.017	1.017
<i>R. impar</i>	0.955	$-5.33901 \pm 0.34027$	$3.02361 \pm 0.18880$	1.029	1.039
<i>R. shikotsuensis</i>	0.984	$-5.84384 \pm 0.18964$	$3.04044 \pm 0.08651$	1.026	1.028
<b>Diptera</b>					
cg-Chironomidae (non-Tanytopodinae)	0.575	$-6.78672 \pm 0.46275$	$2.99105 \pm 0.33738$	1.242	1.287
Tanytopodinae	0.772	$-7.01136 \pm 0.60839$	$3.14859 \pm 0.40318$	1.097	1.090
Simuliidae	0.951	$-5.01873 \pm 0.25282$	$2.77859 \pm 0.28218$	1.035	1.043
<i>Dicranota</i> sp.	0.772	$-6.36163 \pm 0.53185$	$2.97043 \pm 0.33670$	1.075	1.082
<i>Hexatoma</i> sp.	0.983	$-5.51490 \pm 0.16759$	$2.95262 \pm 0.07287$	1.032	1.032
<i>Tipula</i> spp.	0.969	$-6.08155 \pm 0.34704$	$2.83048 \pm 0.10702$	1.074	1.070

AFDM을 추정하는 회귀식의  $b$ 값 ( $b_{\text{AFDM}}$ )도 DM의 그것과 비슷하여 *R. brevicephala*의 2.45와 *Baetis* spp.의 3.42를 제외하면 모든 분류군의  $b_{\text{AFDM}}$ 은 2.7에서 3.3사이 에 분포하였다. 결과적으로 각 분류군의  $b_{\text{AFDM}}$ 은  $b_{\text{DM}}$  과 상당히 유사하여  $b_{\text{AFDM}} \cdot b_{\text{DM}}^{-1}$ 은 평균 1.01이었고(범 위 0.96~1.09), 대부분의 수서곤충은 몸이 커감에 따라 회분율이 조금이지만 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나  $b_{\text{AFDM}} \cdot b_{\text{DM}}^{-1} > 1$ 인 분류군 중 일부에서는 일정한 몸길 이 이상에서 AFDM 예측값이 DM 예측값보다 커지는 오

류가 발생했다: *E. kibunensis* (6 mm), Philopotamidae (14 mm), *R. impar* (14 mm), cg-Chironimidae (7 mm), *Dicro nota* spp. (7 mm).

DM의 회분율은 평균 9.7%로 최소 5.6% (*Scopula* sp.) 에서 20.1% (cg-Chironomidae)까지 다양했으나 많은 분 류군에서 10% 미만이었다 (Table 1). 각 목의 회분율 (% Mean  $\pm$  1S.E.)은 Diptera에서 가장 높았으며 (13.0  $\pm$  2.0%), 다음으로 Plecoptera와 Ephemeroptera (각각 9.2  $\pm$  0.8%, 9.8  $\pm$  0.8%), Trichoptera (7.8  $\pm$  0.9%)의 순으로



**Fig. 1.** Comparison of body length-dry mass relationships among various authors (1=Benke *et al.*, 1999, 2=Burgherr and Meyer 1997, 3=Johnston and Cunjak 1999, and 4=Meyer 1989). For comparison, the first and last taxa of each Insect Order in table 1 were selected. All equations but those of 3 had not been adjusted for transformation bias. Non-Tanyptodinae Chironomidae of 3 (in their Table 2) is treated as cg-Chironomidae. For ADH & JBW in *Sweltsa* spp., the regression equation for dry mass was obtained from combining the ash rate (3.9%) into their equation for ash free dry mass.

이어졌다. 조사된 수서곤충의 목간 회분율 차이는 *Trichoptera*와 *Diptera*에서만 인정되었다 (square root arcsin transformation of percentage, one-way ANOVA,  $F_{3,25} = 3.31$ ,  $p=0.036$ ). 섭식기능군의 회분율은 gathering collectors가  $11.4 \pm 1.6\%$  ( $n=8$ )로 가장 높았고 shredders ( $10.1 \pm 2.6\%$ ,  $n=5$ ), predators ( $9.4 \pm 0.8\%$ ,  $n=11$ ), filtering collectors ( $8.6 \pm 3.0\%$ ,  $n=2$ ), scrapers ( $7.8 \pm 1.1\%$ ,  $n=3$ )의 순서로 작아졌지만 그들 사이의 회분율 차이는 인정되지 않았다 (square root arcsin transformation of percentage, one-way ANOVA,  $F_{4,24} = 0.841$ ,  $p=0.51$ ).

본 연구 결과 얻어진 몸길이-DM 회귀식은 기존에 보고된 것들에 비하여 같은 몸길이에 대하여 월등히 작은 질량을 예측하는 경우는 거의 없었고 (1) 다른 연구자의 질량 예측값과 거의 같거나 (*Ameletus* spp.와 *Paraleptophlebia* spp.), 또는 (2) 여러 저자들이 발표한 값의 중간값에 속하거나 (*Sweltsa* spp., cg-*Chironomidae*), (3) 다른 저자들에 비해 큰 값을 보이는 (*Amphinemura* spp., *Rhyacophila* spp., *Tipula* spp.) 세 유형으로 나뉘어졌다 (Fig. 1). 분류학적 경향은 보이지 않았다.

## 고 찰

수서곤충이 성장하는 동안 몸의 길이와 단면적이 같은 비율로 증가하고 비중이 일정하게 유지된다면, 몸크기-질량 회귀식의  $b$ 값은 3에 가까워야 하지만, 수서곤충은 성장과정 중 체형과 비중이 다소 변하므로 대부분의 수서곤충에서  $b$ 의 실제 값은 2.4~3.6 사이에 있는 것으로 추정되고 있다 (Benke *et al.*, 1999). 본 연구에서 얻어진 회귀식의 대부분은 이 범위 내에 포함된다. 하지만 모든 종이 이 범위 안에 포함되어야 하는 것은 아니고, 가늘고 길게 성장하거나 또는 몸의 단면적 증가에 비해 몸길이가 빠르게 증가하는 종은  $b$ 값이 매우 낮을 수도 있다 (Nolte, 1990). 그렇지만 시료확보나 방법상의 오류, 예를 들면 회귀식을 구하는데 이용된 개체 수가 적거나, 또는 전체 성장단계 중 일부에 속한 개체를 이용하여 회귀식을 얻은 경우에도  $b$ 값이 비정상적으로 높거나 낮을 수 있다 (Benke *et al.*, 1999; Johnston and Cunjak, 1999). 이런 이유로 회귀식이 얻어진 몸크기 범위를 벗어난 수서곤충에 대해 회귀식을 적용하여 질량을 추정하는 것은 추천되지 않는데 (Benke *et al.*, 1999), DM과 AFDM에 대한 공식이 동시에 제공되는 분류군의 경우에는 더욱 그러하다. AFDM 예측값이 DM 예측값보다 더 커질 수 있기 때문이다. 한편,  $a$ 값은  $b$ 값과는 달리,  $b$ 값의 크기와 대

체로 역상관 관계에 있으므로  $a$ 값의 범주는 독립적으로 규정될 수 없다 (Wenzel *et al.*, 1990). 일반적으로 몸이 뚱뚱한 종일 수록  $a$ 값이 큰 경향이 있다 (Nolte, 1990).

평균 회분율 9.7%는 Waters (1977)가 담수서식성 저서동물에 대해 추정된 회분율 (10%)과 매우 유사하였다. 기능군 사이의 회분율 차이는 인정되지 않았다. 그렇지만 Benke *et al.* (1999)은 북미대륙 남동부에서 얻어진 회귀식을 정리한 결과, 대형무척추동물의 회분율은 거르는 무리와 굵는 무리 (각각 평균 12.4%와 11.0%)에서 가장 높고 잡아먹는 무리에서 가장 낮는데 (평균 3.3%), 그 이유로 주로 (1) 수서곤충의 몸 표면에 부착된 무기물과 (2) 소화관 속의 먹이에 포함된 무기물 때문일 가능성이 높다고 했다. 하지만 점액성 막을 갖는 *Amphinemura* spp. 등 일부 분류군을 제외하면 몸의 표면에 부착된 무기물에 의해 회분율 차이가 날 가능성은 낮다고 생각된다. 수서곤충의 몸크기-체중 관계를 조사하기 위해서는 해부현미경하에서 수서곤충의 몸길이를 한 개체씩 측정해야하므로 (단, digital image와 화상분석 소프트웨어를 사용하는 경우 제외) 곤충 몸 표면에 다량의 무기물이 부착되어 DM에 큰 영향을 줄 수 있는 가능성은 낮을 것으로 생각된다. 다음으로, 먹이와 함께 수서곤충의 장속으로 들어온 무기물량은 먹이의 종류나 서식처 상태에 따라 차이가 있을 가능성이 있다. 장내 무기물이 전체 회분량에 미치는 영향을 제거하기 위해서는 수서곤충의 몸 크기와 무게를 측정하기 전에 이들의 장을 비워야 한다. 하지만 이렇게 하기 위해서는 많은 시간과 노력이 더 필요하므로 이러한 방법으로 수행된 연구는 상대적으로 희소하다. 예를 들면, Mason (1977)과 von Schiller and Solimini (2005)는 수서곤충을 이틀, 또는 하루 밤 굶겨 장을 비운 후 DM을 측정하였다. 이틀간 굶긴 수서곤충과 굶기지 않은 시료를 비교한 연구에 의하면 *Chironomus plumosus*에서 소화관 내용물이 DM에서 차지하는 비율이 약 4%이고 (Landahl and Nagell, 1978), 장을 비우면 DM중 탄소함유율이 증가하는 것으로 (Wenzel *et al.*, 1990), 즉 회분율이 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 기능군 사이에 회분율 차이가 인정되지 않는 또 다른, 가장 가능성이 높은 이유로는 본 연구가 주로 1차하천에서 서식하는 수서곤충만을 대상으로 한 것인데 비하여 Benke *et al.* (1999)에서는 대상 분류군 (비곤충 대형무척추동물 포함)과 그들의 서식처가 훨씬 다양하다는 것을 들 수 있다.

각 분류군 단위에서 회귀식이 다른 것은 주로 (1) 실제 몸길이-질량 관계가 다르거나, (2) 시료준비과정의 차이에 기인한다 (Johnston and Cunjak, 1999). 수서곤충의 몸 모양은 종에 따라 다르며, 몸 모양에 따라 몸크기-질량

관계가 달라지므로 (Nolte, 1990) 많은 앞선 연구자들은 가능한 한 가장 낮은 분류학적 수준에서 회귀식을 구할 것을 추천했다 (예: Smock, 1980; Meyer, 1989; Benke *et al.*, 1999; Johnston and Cunjak, 1999). 한 종에서도 몸 크기-질량 관계는 여러 요인에 의해 변할 수 있다. 수서곤충은 성에 따라 동일한 몸 크기에서도 체중이 다를 수 있는데, 대개 암컷이 크고 무거운 것으로 알려져 있으며 (Mackay, 1984), 계절에 따라서도 몸 크기-질량 관계가 다를 수 있다 (Cavaletto *et al.*, 2003; Chimney *et al.*, 2007). 몸 크기-질량 관계는 수서곤충의 성장단계에 따라 변한다. 수서곤충은 어릴 때에 비해 성장기 후기에는 몸 크기 증가에 비해 체중증가율이 높으므로 성장단계의 일부 구간의 개체들을 이용하여 회귀식을 구할 경우 회귀식의 *b* 값이 비정상적으로 높거나 낮아 현실성이 결여될 수 있다 (Dumont and Balvay, 1979; Merritt *et al.*, 1982; Nolte, 1990). 하지만 이런 미세한 요인에 의한 차이를 회귀식에 반영하고 실제로 이용하는 것은 현실적으로 매우 어려우므로 실제로는 한 종의 전 생육기간을 포함하는 평균 회귀식을 사용한다 (Benke *et al.*, 1999; Johnston and Cunjak, 1999)

서식처에 따라 몸 크기-질량 관계가 다를 수 있는데, 단순히 서식처가 다르다고 해서 그 관계가 달라지는 것은 아니다 (Smock, 1980). 환경적 요인, 예를 들면 먹이의 질과 양, 그리고 수온 등에서 큰 차이가 있는 경우에는 동종에 속한 동 연령의 개체들도 서식처간 DM 차이를 보일 수 있다고 한다 (Schröder, 1987; Meyer, 1989).

한편, 다른 종이라 하더라도 몸의 모양이 유사하면 그들의 서식처간 거리에 관계없이 회귀식에 의한 질량 예측치가 매우 유사할 수 있을 것으로 생각된다. Trichoptera의 Limnephilidae에 속한 우리나라의 *Hydatophylax nigrovittatus* (Yoon, 1995에 따름)와 북미산 *Pycnopsyche* spp. (Benke *et al.*, 1999)는 유충의 외형이 매우 유사한데 (personal observation), 주어진 몸길이에 대한 질량 예측치도 거의 동일했다. 반면, 중부 유럽에서 추정된 Limnephilidae의 질량 예측치 (Meyer, 1989)는 위 둘에 비하여 매우 컸었다. Meyer (1989)가 회귀식 추정에 이용한 Limnephilidae는 우리나라의 *Hydatophylax*와는 몸 모양이 다른 종일 것으로 생각된다.

기 보고된 몸 크기-질량 회귀식을 이용하여 수서곤충 개체군의 생체량을 추정할 경우에는 몸 크기를 정확하게 측정하는 것이 매우 중요한데, 수서곤충을 비롯한 대형무척추동물의 몸길이는 채집된 후의 처리 방법에 따라 변할 수 있다 (Britt, 1953; Lasenby *et al.*, 1994). 따라서, 아직 명확한 시료처리기준은 없지만, 회귀식을 구하는 단계

에서부터 몸길이 측정 오류를 최소화하기 위한 다양한 방법이 시도되어 왔다 (Johnston and Cunjak, 1999, Appendix 1 참고). 회귀식을 구할 때 시료의 몸길이 변화를 최소화하기 위해 가장 많이 이용된 방법은 신선한 (freshly killed) 표본을 이용하는 것이다. 이를 위해 일부 연구자는 EtOH나 formalin 같은 보존액에 처리하지 않고 살아있는 수서곤충을 끓는 물이나 (Merritt *et al.*, 1982), 뜨거운 물 (Nolte, 1990), 또는 포화 구연산액에 (Johnston and Cunjak, 1999) 처리한 직 후 몸 크기를 측정하였다. 일부 연구자는 채집물을 채집 현장이나 실험실에서 급속냉동한 후 해동시키고 몸 크기를 측정했다 (Smock, 1980; Meyer, 1989; Burgherr and Meyer, 1997). 최근에는 살아있는 수서곤충의 몸길이를 현미경하에서 직접 측정하거나 (Tower *et al.*, 1994), 또는 video camera로 얻어진 digital image를 이용하여 몸길이를 측정하는 방법도 이용되었다 (Azevedo-Pereira *et al.*, 2006). 그렇지만 이와 같이 얻어진 방법이 설령 주어진 몸 크기에 대한 질량의 참값, 또는 그에 가까운 값을 얻게 해준다 하더라도, 회귀식을 얻을 때 시료를 처리하는 방법과 그 회귀식을 이용하는 연구의 시료를 처리하는 방법이 다르다면, 두 과정에서 시료의 몸길이 변화율이 다를 가능성이 높기 때문에 개체군 생체량 추정치 또한 정확치 않을 가능성이 높다.

많은 시료를 채취해야 하는 생태학적 연구에서 시료를 처리하는 방법은 다양하지만, 시료를 처음부터 70% EtOH, 또는 5~10% formalin 보관하거나, formalin에 하루 또는 이틀정도 처리한 후 EtOH에 장기 보관하는 방법이 가장 흔하게 사용된다. 두 보존액은 몸길이 변화에 미치는 영향은 다르다. formalin은 일반적으로 몸길이를 축소시키는데 비하여 (Lasenby *et al.*, 1994; von Schiller and Solimini, 2005), EtOH가 저장된 수서곤충의 몸길이에 미치는 영향은 경향이 일정하지 않다. EtOH는 몸길이를 늘리는 경우도 있지만 (Lasenby *et al.*, 1994) 수서곤충의 종과 EtOH의 농도에 따라 몸길이를 변화시키는 정도는 다를 수 있다 (-17~0%, von Schiller and Solimini, 2005). EtOH나 formalin으로 처리한 시료를 이용하여 회귀식을 구한 경우에도 수서곤충을 죽이기 위해 아주 짧은 시간만 처리한 후 증류수로 씻고 몸길이-질량 관계를 구한 예는 있다 (Bass *et al.*, 1982: Formalin 4% 시간언급 없음; Morin *et al.*, 1988: 95% EtOH, 10 sec). 그렇지만 두 보존액 모두에서 수서곤충은 수 시간이 지나야 몸길이 변화가 안정된다는 것을 고려하면 (Lasenby *et al.*, 1994), 시료의 보존액 처리시간도 회귀식의 질을 결정하는데 중요한 요인임을 알 수 있다. 따라서, 몸길이를

이용하여 수서곤충의 생체량을 추정할 계획이 경우에는 처음부터 formalin을 수서곤충 보존액으로 사용하는 바람직하다고 생각된다. 풍부도(abundance)만을 목적으로 채집된 수서곤충은 건강에 해가 없는 EtOH를 보존액으로 사용하는 것도 좋을 것이다(참고, Wetzel *et al.*, 2005).

결론적으로, 강원도 중부이북의 제한된 지역에서 얻어진 수서곤충의 몸길이-질량 회귀식 중에서 cg-Chironomidae, Tanypodinae, 그리고 Simuliidae 등  $r^2$  값이 낮거나 과 수준의 상위분류군에 대한 회귀식을 제외한 나머지 것들은 우리나라의 산간계류에 서식하는 수서곤충에 적용되어도 큰 오류는 없을 것으로 생각된다. 다만, 석회암지대의 하천이나 광산폐수가 흐르는 하천 등 오염원이 확실한 곳에 적용하는 것은 적절하지 않다고 생각된다. 문헌상의 회귀식을 이용하는 경우에는 가능하면 분류학적으로 동일한 수준에서 얻어진 회귀식을 이용하고(Meyer, 1989), 인위적 오류를 최소화하기 위하여 자신이 시료처리하고 몸크기를 측정하는 방법과 유사한 방법으로 얻어진 회귀식을 이용하는 것이 바람직하다(Benke *et al.*, 1999; Johnston and Cunjak, 1999)

## 적 요

소하천에 서식하는 수서곤충 29 분류군에 대한 몸길이와 건조질량, 그리고 회분외질량에 관한 회귀식이 자연 log로 변환된 먹합수를 이용하여 구해졌다. 수서곤충은 강원도 북부지방의 산간계류에서 채집되었다. 각 분류군에서 주어진 몸길이에 대해 회귀식이 예측하는 건조질량은 기 보고된 다른 저자들의 예측값과 대체로 유사하였지만, 체벽이 연하고 이동할 때 몸을 수축-이완하는 분류군에서는 다른 저자들이 예측값에 비해 높았다. 수서곤충의 평균 회분율은 건조질량의 10%였으며, 섭식기능군간 차이는 인정되지 않았다.

## 사 사

심사위원 세 분은 본 논문의 질적 향상에 도움을 주었습니다. 본 논문은 강원대학교 농업과학연구소의 게재 지원을 받았습니다.

## 인 용 문 헌

Azevedo-Pereira, H.V.S., M.A.S. Graca and J.M. Gonzalez.

2006. Life history of *Lepidostoma hirtum* in an iberian stream and its role in organic matter processing. *Hydrobiologia* **559**: 183-192.

Bass, J.A.B., M. Ladle and J.S. Welton. 1982. Larval development and production by the net-spinning caddis, *Polycentropus flavomaculatus* (Pictet) (Trichoptera), in a recirculating stream channel. *Aquatic Insects* **4**: 137-151.

Benke, A.C., A.D. Huryn, L.A. Smock and J.B. Wallace. 1999. Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United States. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **18**: 308-343.

Benstead, J.P. and C.M. Pringle. 2004. Deforestation alters the resource base and biomass of endemic stream insects in eastern Madagascar. *Freshwat. Biol.* **49**: 490-501.

Bird, D.F. and Y.T. Prairie. 1985. Practical guidelines for the use of zooplankton length-weight regression equations. *J. Plankton Res.* **7**: 955-960.

Britt, N.W. 1953. Differences between measurements of living and preserved aquatic nymphs caused by injury and preservatives. *Ecology* **34**: 802-803.

Burgherr, P. and E.I. Meyer. 1997. Regression analysis of linear body dimensions vs. dry mass in stream macroinvertebrates. *Arch. Hydrobiol.* **139**: 101-112.

Cavaletto, J.F., T.F. Nalepa, D.L. Fanslow and D.W. Schloesser. 2003. Temporal variation of energy reserves in mayfly nymphs (*Hexagenia* spp.) from Lake St Clair and western Lake Erie. *Freshwat. Biol.* **48**: 1726-1738.

Chimney, M.J., M.K. Herring and J.A. Bowers. 2007. Instar determination, length-mass and length-length relationships for the larvae of *Chaoborus punctipennis* Say from a southerern (USA) cooling reservoir. *Arch. Hydrobiol.* **168**: 163-168.

Choi, J.S., O.K. Kwon, J.H. Park and H.K. Byeon. 2001. Feeding habit of *Gobiobotia brevibraba* (Cyprinidae) from Hongcheon River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* **13**: 230-236. (in Korean)

Choi, J.S., Y.S. Jang, K.Y. Lee and O.K. Kwon. 2004. Feeding habit of *Gobiobotia macrocephala* (Cyprinidae) from the Namhan River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* **16**: 165-172. (in Korean)

Choi, J.S., K.Y. Lee, Y.S. Jang, J.H. Park and O.K. Kwon. 2006. Feeding habit of *Rhynchocypris kumgangensis* (Cyprinidae) from the Hongcheon River, Korea (in Korean). *Korean J. Environ. Biol.* **24**: 29-37. (in Korean)

Chung, K. 2005a. Abundance and biomass of macroinvertebrate association in a first order stream at Mt. Jum-

- bong, Kangwon-do. *Korean J. Limnol.* **38**: 1-10.
- Chung, K. 2005b. The Life Cycle and Secondary Production of *Cincticostella levanidovae* (Tshernova) collected From a Headwater Stream in Mt. Jumbong, Korea. *J. Asia-Pacific Entomol.* **8**: 367-374.
- Dermott, R. and C.G. Paterson. 1974. Determining dry weight and percentage dry matter of chironomid larvae. *Can. J. Zool.* **52**: 1243-1250.
- Dudgeon, D. 1996. The life history, secondary production and micro-distribution of *Ephemera* spp. (Ephemeroptera: Ephemeridae) in a tropical forest stream. *Arch. Hydrobiol.* **135**: 473-483.
- Dumont, H.J. and G. Balvay. 1979. The dry weight estimate of *Chaoborus flavicans* (Meigans) as a function of length and instars. *Hydrobiologia* **64**: 139-145.
- Fonseca, L.J.J. and F.A. Esteves. 2000. Life cycle and production of *Campsurus notatus* (Ephemeroptera, Polmitarcyidae) in an Amazonian lake impacted by bauxite tailings (Para, Brazil). *Hydrobiologia* **437**: 91-99.
- Gonzalez, J.M., A. Basaruren and J. Pozo. 2002. Size-mass relationships of stream invertebrates in a northern spa-in stream. *Hydrobiologia* **489**: 131-137.
- Hayes, D.B., J.K.T. Brodziak and J.B. O'Gorman. 1995. Efficiency and bias of estimators and sampling designs for determining length-weight relationships of fish. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* **52**: 84-92.
- Heise, B.A., J.F. Flannagan and T.D. Galloway. 1988. Production of *Hexagenia limbata* (Serville) and *Ephemera simulans* Walker (Ephemeroptera) in Dauphin Lake, Manitoba, with a note on weight loss due to preservatives. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* **45**: 774-781.
- Howmiller, R.P. 1972. Effects of preservatives on weights of some common macrobenthic invertebrates. *Trans. Amer. Fish. Soc.* **101**: 743-746.
- Johnston, T.A. and R.A. Cunjak. 1999. Dry mass-length relationships for benthic insects: a review with new data from Catamaran Brook, New Brunswick, Canada. *Freshwat. Biol.* **41**: 653-674.
- Kawai, T. 1985. An illustrated book of aquatic insects of Japan. Tokai University Press, Hanad-shi. (in Japanese)
- Kim, J.W. 1970. Standing crops of the aquatic insects communities in the east-coastal river in Korea. *Korean Journal of Limnology* **3**: 15-22. (in Korean)
- Kobayashi, S. and T. Kagaya. 2004. Litter patch types determine macroinvertebrate assemblages in pools of a Japanese headwater stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **23**: 78-89.
- Kwak, I.S., M.Y. Song and T.S. Chon. 2004. The effect of natural disturbances on benthic macro-invertebrate. *Korean Journal of Limnology* **37**: 87-95. (in Korean)
- Landahl, C.C. and B. Nagell. 1978. Influence of the season and of preservation methods on wet- and dry weight of larvae of *Chironomus plumosus* L. *Int. Revue. ges. Hydrobiol.* **63**: 405-410.
- Lasenby, D.C., N.D. Yan and M.N. Futter. 1994. Changes in body dimensions of larval *Chaoborus* in ethanol and formalin. *J. Plankton Res.* **16**: 1601-1608.
- Leuven, R.S.E., T.C.M. Brock and H.A.M. van Druten. 1985. Effects of preservation on dry- and ash-free dry weight biomass of some common aquatic macro-invertebrates. *Hydrobiologia* **127**: 151-159.
- Mackay, R.J. 1984 Some causes of variation in estimates of mean weights for *Hydropsyche* Larvae (Trichoptera: Hydropsychidae). *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* **41**: 1634-1642.
- Mason, C.F. 1977. Populations and Production of Benthic Animals in two Contrasting Shallow Lakes in Norfolk. *J. Anim. Ecol.* **46**: 147-172.
- Merritt, R.W., D.H. Ross and G.J. Larson. 1982. Influence of stream temperature and seston on the growth and production of overwintering larval black flies (Diptera: Simuliidae). *Ecology* **63**: 1322-1331.
- Meyer, E. 1989. The relationship between body length parameters and dry mass in running water invertebrates. *Arch. Hydrobiol.* **117**: 191-203.
- Morin, A., M. Constantin and R.H. Peters. 1988. Allometric models of Simuliid growth rates and their use for estimation of production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **45**: 315-324.
- Nolte, U. 1990. Chironomidae biomass determination from larval shape. *Freshwat. Biol.* **24**: 443-451.
- Ra, C.H. and Y.G. Cho. 1986. Ecological studies on the aquatic insects in the Kwang'yang stream. *Korean Journal of Limnology* **19**: 29-49. (in Korean)
- Salas, M. and D. Dudgeon. 2003. Life histories, production dynamics and resource utilization of mayflies (Ephemeroptera) in two tropical Asian forest streams. *Freshwat. Biol.* **48**: 485-499.
- Schröder, Von P. 1987. Biomass values of the larval instars of Central European blackfly species. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **77**: 97-115.
- Smock, L.A. 1980. Relationships between body size and biomass of aquatic insects. *Freshwat. Biol.* **10**: 375-383.
- Son, Y.M. and H.K. Byeon. 2004. Feeding habits of bull-head torrent catfish, *Liobagrus obesus* from Geum River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* (in Korean)
- Stanford, J.A. 1973. A centrifuge method for determining live weights of aquatic insect larvae, with a note on

- weight loss in preservative. *Ecology* **54**: 449-451.
- Stoffels, R.J., S. Karbe and R.A. Paterson. 2003. Length-mass models for some common New Zealand littoral-benthic macroinvertebrates, with a note on within-taxon variability in parameter values among published models. *N Z J. Mar. Freshw. Res.* **37**: 449-460.
- Towers, D.J., I.M. Henderson and C.J. Veltman. 1994. Predicting dry weight of New Zealand aquatic macroinvertebrates from linear dimensions. *N Z J. Mar. Freshw. Res.* **28**: 159-164.
- von Schiller, D. and A.G. Solimini. 2005. Differential effects of preservation on the estimation of biomass of two common mayfly species. *Arch. Hydrobiol.* **164**: 325-334.
- Waters, T.F. 1977. Secondary production in inland waters. *Adv. Ecol. Res.* **10**: 91-164.
- Wenzel, F., E. Meyer and J. Schwoerbel. 1990. Morphometry and biomass determination of dominant mayfly larvae (Ephemeroptera) in running waters. *Arch. Hydrobiol.* **118**: 31-46.
- Wetzel, M.A., H. Leuchs and J.H.E. Koop. 2005. Preservation effects on wet weight, dry weight, and ash-free dry weight biomass estimates of four common estuarine macro-invertebrates: no difference between ethanol and formalin. *Helgol. Mar. Res.* **59**: 206-213.
- Yoon, I.B. 1995. Aquatic insects of Korea. Jeonghansa. Seoul. 262p. (in Korean)
- Yoon, I.B., D.S. Kong, J.K. Ryu and S.W. Lee. 1990. Community structure and seasonal dynamics of standing crops of the benthic macroinvertebrates in Palt'ang reservoir. *Korean Journal of Limnology* **23**: 43-68. (in Korean)
- (Manuscript received 22 July 2008,  
Revision accepted 11 September 2008)