

윤충류 생체량 계산과 적용에 관한 고찰 및 제언: *Polyarthra*의 체장 분포를 이용한 길이-무게 관계식 및 생체량 비교 분석

오혜지 · 서동환 · 최문정 · 정현기¹ · 김현우² · 오종민 · 장광현*

경희대학교 환경학 및 환경공학과, ¹국립환경과학원, ²순천대학교 환경교육학과

Calculation and Applicability of Rotifers Biomass (*Polyarthra* spp.) based on Length-Weight Relationship and Spatial Distribution of Body Length. Oh, Hye-Ji (0000-0003-2098-8485), Dong-Hwan Seo (0000-0003-4016-5435), Moonjung Choi (0000-0002-2986-8036), Hyun-Gi Jeong¹ (0000-0002-5162-7175), Hyun-Woo Kim² (0000-0003-3898-5864), Jong Min Oh (0000-0002-1104-5867) and Kwang-Hyeon Chang* (0000-0002-7952-4047) (Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University; ¹National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea; ²Department of Environmental Education, Suncheon National University)

Abstract In this study, we estimated the applicability of length-weight relationship-based biomass calculations by comparison of body length of genus *Polyarthra* collected from different habitats. Through the comparison, we also tested availability of representative species-specific biomass value of *Polyarthra* which is often used without length measurement. *Polyarthra* samples were collected from rivers (Han River and Nakdong River) and reservoir (Paldang Reservoir), and the body length was measured for statistical comparison among habitats and biomass calculations using different equations suggested previously. According to the results, the body length of *Polyarthra* spp. was significantly different among sampling sites, and the necessity of body length measurement for rotifer species in each situation has been suggested rather than using the representative biomass values which is fixed without considering time and space. Comparison of suggested biomass calculations based on our measured *Polyarthra* body length, the equation suggested by McCauley showed more reasonable range of biomass values than that suggested by EPA. In addition, in order to calculate more accurate biomass, it is necessary to measure the body length of rotifers, at least more than 44 individuals to reduce error probability to less than 5% with 99% probability. However, since direct measurement of rotifers biomass is limited, it is considered that further analyses are required for more precise application of rotifer biomass of which has high variability due to complex morphologies and species-specific cyclomorphosis often induced by biotic and abiotic factors in the habitats.

Key words: body length variability, rotifers biomass, dry weight, Han River

서 론

생체량은 수생태계 먹이망 내 대상 생물의 구조적 위

치를 파악하고 물질순환 측면에서 수체의 기능을 평가 하는데 있어 중요한 역할을 가지고 있으며, 생태계 평가 시 수질항목과 같은 물리화학적 요인뿐만 아니라 피식, 포식 및 경쟁과 같은 생물학적 요인의 영향을 반영할 수 있다 (Choi *et al.*, 2011; Watkins *et al.*, 2011; Jackson *et al.*, 2013). 특히 다양한 크기의 분류군이 속해 있는 부유생물

Manuscript received 11 September 2018, revised 29 September 2018, revision accepted 30 September 2018

* Corresponding author: Tel: +82-31-201-3392, Fax: +82-31-204-8114
E-mail: chang38@khu.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

의 경우, 개체수 기반의 군집분석 시 유사 기능을 수행하는 경쟁종과의 크기 차이로 인한 기능 및 역할 차이가 결과에 반영되지 않는다는 한계를 가지므로 생체량의 활용이 불가피하다.

수생태계 미생물 중 저차 생산자와 고차 소비자를 연결시키는 역할을 수행하는 동물플랑크톤은 수체의 수리학적 특성 및 영양상태를 반영하기 때문에 하천 및 호소 생태계 조사에 있어 필수적인 생물 군집이다(Uhm and Hwang, 2006). 동물플랑크톤 군집은 지각류, 요각류, 윤충류로 분류하여 개체수 기반으로 분석하는 것이 일반적이지만, 세분류군의 현저한 크기 차이로 인해 생태계 기능 측면에서 역할을 파악하고 비교하는데 있어 보다 정확한 정보를 얻기 위해서는 생체량 또는 물질량을 기반으로 한 분석이 필요하다(Kim *et al.*, 2013).

하지만, 상대적으로 크기가 큰 지각류와 요각류에 비해 윤충류는 작은 크기와 형태의 복잡성 및 다양성으로 인해 생체량 측정을 위한 종 특이적 방법이 제시되어있지 않다(Pauli, 1989). 일반적으로 윤충류는 형태에 따라 특정 부위의 길이를 측정하여 이를 생체량으로 환산하는 계산식을 사용하여 생체량을 산출하고 있으나, 소형의 윤충류를 종별로 각각 측정하기에는 한계가 있다(McCauley, 1984). 이에 따라 일부 연구자들은 종별로 제시된 대푯값을 생체량 계산에 사용하고 있지만(Pauli, 1989; Stich *et al.*, 2018) 기술의 제한으로 이에 대한 정확한 검증은 어려운 실정이다(Wetzel and Likens, 1991).

따라서, 본 연구에서는 기존에 제시된 윤충류 생체량 측정 방법을 이용하여 실제 다른 환경에서 채집된 시료에서 윤충류를 선별하여 체장을 측정하고 이를 이용해 계산된 생체량 값의 분포 검증 및 비교를 통해 적절한 적용 방법에 대해 고찰하였다. 특히, 윤충류의 지점별 체장과 생체량 비교를 통해 체장 측정 없이 대푯값 사용의 가능 여부와 실제 체장을 측정해야 하는 경우, 최소 측정 개체수의 범위에 대해 고찰하였다. 검증을 위해서는 형태가 단순하고 국내외적으로 우점하는 *Polyarthra* 속을 대상으로 분석을 진행하였다(Havel *et al.*, 2009; Makino *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2018).

재료 및 방법

분석에 사용된 윤충류 시료는 각각 한강 하류(가양대교 부근), 낙동강의 구미보, 한강의 팔당호에서 채집되었다. 시료는 충분한 양의 윤충류 채집을 위해 표층수(50 cm 수심)를 10 L 이상 채수하여 망목 60 μm 의 동물플랑크톤 네

트를 통해 여과하였다. 팔당호와 낙동강 구미보의 채집시기는 2016년 9월로 동일하며, 한강 하류의 경우 2017년 10월에 채집을 실시하였다. 여과된 윤충류 시료는 포르말린 용액을 이용하여 최종 농도 2%로 고정 후, 침전 농축을 거쳐 현미경(Olympus BX 551) 하에서 각 시료 내 *Polyarthra* spp.의 체장을 측정하였다. 각 개체는 현미경과 연결된 HK3.1 UCMOS 카메라를 이용하여 HKBasic software(KOPTIC; 한국광학)에서 이미지 분석 툴을 통해 몸통 중심의 상단과 하단을 연결하는 직선의 길이(μm)를 측정하였다. 개체 측정의 오차를 줄이기 위해 커버 글라스는 사용하지 않았으며, 개체가 완전히 침전된 후 체장 측정을 실시하였다. 또한, 챔버(Sedgewick-Rafter cell)의 양쪽 끝에 위치해 정확한 크기 측정이 어려운 개체는 측정대상에서 제외하였으며, 50개체 혹은 100개체가 측정될 때까지 새로운 부차시료를 분석하였다.

체장 측정 대상은 검정 시작 후 발견된 *Polyarthra* 개체를 차례로 선정하였으며, 측정 개체수가 증가함에 따른 누적 평균 체장 및 표준편차의 각 지점별 변화 경향을 비교하였다. 각 지점에서 측정된 *Polyarthra* spp.의 평균 체장은 ANOVA, Post-hoc test (Fisher HSD)를 통해 분석, 비교되었으며(R version 3.0.3), 조사 지점들 중 *Polyarthra* spp.가 가장 많이 출현한 한강 하류 지점을 대표로 선정하여 보다 정확한 평균 비교 및 추정을 위해 측정된 100개체의 체장으로 계산된 평균값을 모집단 평균으로 가정하여 오차가 5% 이하가 될 확률(90%, 95%, 99%)에 상응하는 필요 측정 개체수(n)를 산정하였다. 산정은 표본수가 충분하였으므로 표준정규분포의 계산식을 이용하였다(a).

$$\text{표본 크기 } (n) \geq \left(z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{d} \right)^2 \quad (a)$$

$z_{\alpha/2}$ =에서 표준 정규 분포의 역누적 확률

$\alpha = 1 - \text{신뢰수준} / 100$

σ = 모집단 표준 편차

d = 오차

측정된 길이는 체장-무게 관계식을 이용하여 생체량(건중량)으로 환산하였다. 계산식 결과를 비교하기 위해 (1) 체장 기반의 EPA 계산식(EPA Great Lakes National Office, 2003), (2) 윤충류 체적 기반의 환산식(McCauley, 1984)을 이용해 생체량을 계산하였으며, 윤충류 종별 생체량 대푯값과의 비교를 위해 (3) 이전 연구에서 *Polyarthra*속의 생체량 대푯값으로 제시되었던 값(Dumont *et al.*, 1975; Bottrell *et al.*, 1976; Latja and Salonen, 1978)과도 비교하였다(Table 1).

Table 1. Summary of rotifers biomass equation.

	Rotifer biomass (µg)	References
	$= \{(length^3 \times FF) + (\%BV \times length^3 \times FF)\} \times 10^{-6} \times WW:DW$	
(1) EPA	Length = total length (µm) FF = species-specific formula factor = 0.23 (<i>Polyarthra</i> spp. Common value) %BV = volume of appendages as a percent of body biovolume = 0.1 (<i>Polyarthra</i> spp. Common value) 10 ⁻⁶ = conversion to wet weight; assuming a density of 1 WW:DW = 0.1 (Doohan, 1973)	EPA Great Lakes National Office, 2003
(2) Using the volume of rotifers	$= v \times constant\ value\ for\ converting\ to\ dry\ weight \times 10^{-6}$ $v = abc = 0.28 \times a^3$ 10 ⁻⁶ = conversion to wet weight; assuming a density of 1 * constant values for converting to dry weight - Schindler and Novén (1971): 0.05 - Pace and Orcutt (1981): 0.1	a = total length b = 0.7 × a c = 0.4 × a McCauley, 1984
(3) Fixed dry weight	<i>Polyarthra vulgaris</i> 0.043 0.066 <i>Polyarthra</i> spp. 0.74	Bottrell <i>et al.</i> , 1976 Latja and Salonen, 1978 Dumont <i>et al.</i> , 1975

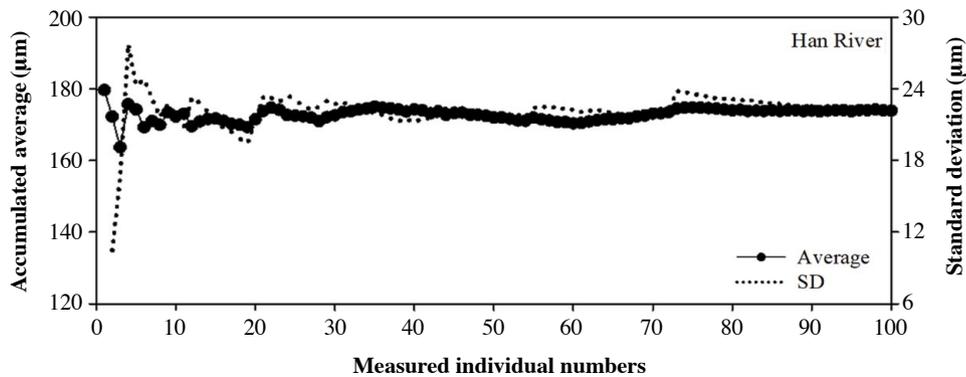


Fig. 1. Accumulated average (µm) and Standard deviation (µm) by measured individual numbers in Han River.

결과 및 고찰

윤충류 시료를 검경하여 *Polyarthra* spp. 개체를 발견한 순서대로 체장을 측정함과 동시에 측정한 개체수 증가에 따른 윤충류 체장의 누적 평균 및 표준편차 변화를 분석, 비교해본 결과, 하천 지점(한강 및 낙동강)과 호소 지점(팔당호)의 경향이 상이한 것으로 나타났다. 팔당호의 경우 개체의 체장 측정이 진행될수록 체장 누적 평균이 증가하는 경향을 보인 반면, 한강과 낙동강 두 하천은 불규칙적인 증감 경향을 보이다 점차 누적 평균값이 안정되는 경향을 나타냈다(Figs. 1-3). 세 지점 모두 체장을 측정한 *Polyarthra* spp. 표본 수가 20개체 이상이 되면서 비교적 일정

한 누적 평균값에 수렴하였다. 팔당호의 체장 표준편차는 측정 초기 증감하는 경향성을 보이다가 누적 평균값과 동일하게 측정 표본 수가 20개 이상이 되면서 감소하였다. 하천 지점들의 표준편차는 측정 초기 급증한 이후 감소하여 누적 평균값을 크게 벗어나지 않는 안정적인 값을 보였으나, 낙동강의 경우 측정 표본 수가 60개 이상이 되면서 표준편차의 값이 커지는 경향을 보였다. 이를 통해 지점별 시료에서 윤충류 체장을 출현 순서대로 일정 개체수까지 측정할 경우 일정 표본 수 이후부터는 안정된 평균값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 누적평균의 수렴 경향은 지점에 따라 상이하게 나타나, 지점에 따른 개체 간의 체장의 변이 정도가 반영되는 것으로 분석되었다.

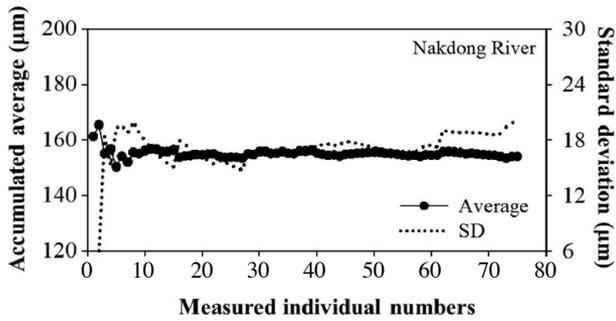


Fig. 2. Accumulated average (μm) and Standard deviation (μm) by measured individual numbers in Nakdong River.

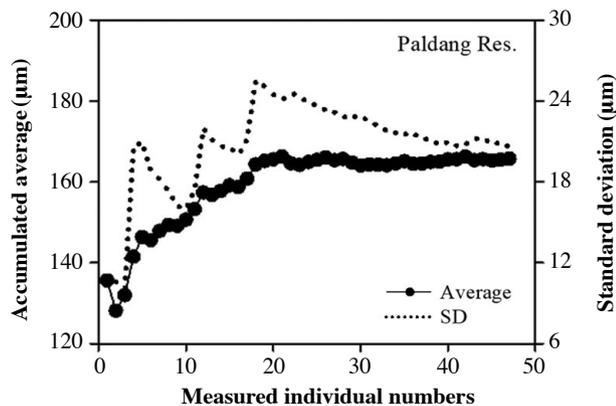


Fig. 3. Accumulated average (μm) and Standard deviation (μm) by measured individual numbers in Paldang Reservoir.

지점별 *Polyarthra* spp.의 평균 체장 비교를 위해 각 지점에서 측정된 개체의 체장 데이터를 이용하여 ANOVA, Post-hoc test (Fisher HSD)로 분석한 결과, 세 지점의 평균은 각각 한강 139.56 μm (Fig. 4(a)), 낙동강 97.39 μm (Fig. 4(b)), 팔당호 120.45 μm (Fig. 4(c))로 서로 다른 것으로 나타났다 (Fig. 4). 낙동강의 윤충류 평균 체장이 한강 및 팔당호 지점의 윤충류 평균 체장과 상이한 값을 갖는 반면 (Fig. 4(a), (b); Fig. 4(b), (c); $p < 0.05$), 한강 하류와 팔당호 윤충류 평균 체장 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다 (Fig. 4(a), (c)). 또한 한강과 팔당호에서 체장 값의 변이가 큰 것으로 분석되어 *Polyarthra* spp.의 평균 체장 및 분포 경향은 지점에 따라 유의한 차이가 존재하는 것으로 나타났다.

세 지점의 *Polyarthra* spp. 평균 체장의 95% 신뢰구간을 구한 결과, 지점에 따라 신뢰구간의 폭이 상이하게 나타났으며, 저수지 환경인 팔당호에서 상대적으로 넓은 신뢰구간을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 향후 윤충류 생체량 계산을 위한 평균치 사용 및 모집단 모수 추정 등에 있어

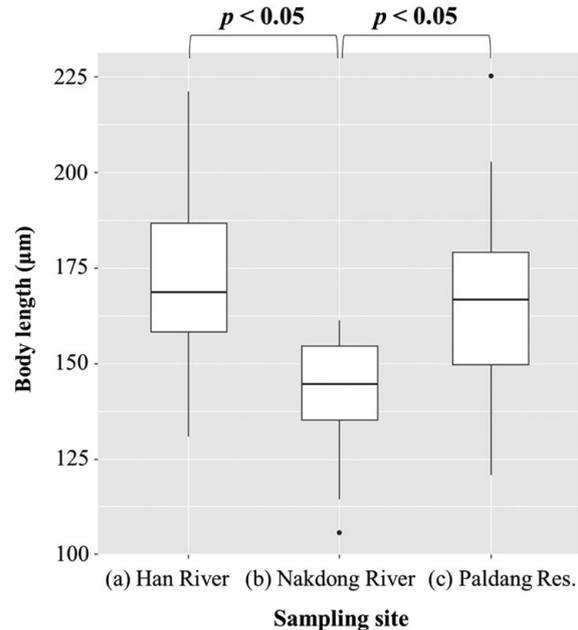


Fig. 4. Comparison of *Polyarthra* spp. body lengths using boxplot (the median with 10th, 25th, 75th, and 90th percentiles with error bars). The results of ANOVA, Post-hoc test (Fisher HSD) among rotifers body length (μm) in different sampling sites were shown in top of plot ($p < 0.05$; significant).

이와 같은 지점에 따른 차이점이 고려되어야 할 것으로 판단된다 (Table 2(a)).

총 100개체의 체장을 측정 한강의 데이터를 이용하여 측정된 *Polyarthra* spp.의 체장을 모집단 평균으로 가정하고 표준정규분포 계산식을 이용, 오차가 5% 이하가 될 확률에 (90%, 95%, 99%) 필요한 측정 개체수 (n)를 계산한 결과, 오차가 5% 이하가 될 확률이 90% 이하가 되려면 5개체, 95% 이하가 되려면 26개체, 99% 이하가 되려면 44개체 이상의 체장을 측정해야 하는 것으로 나타났다. 즉, 오차를 줄이기 위해서는 적어도 44개체 이상의 체장 측정이 필요한 것으로 제시되었다. 이는 세 지점에서의 윤충류 체장의 누적 평균값이 모두 약 40개체 전후로 안정한 값을 가지는 경향과 일치하였다 (Table 2(b)).

측정된 체장은 기존에 사용되어 온 EPA 및 McCauley 생체량 계산식을 이용하여 *Polyarthra* spp.의 생체량으로 환산 후, 계산된 생체량의 비교를 통해 적절한 적용 방법을 제시하고자 하였다. 한강, 낙동강 및 팔당호 세 지점에서 공통적으로 EPA 계산식 기반의 생체량이 McCauley 계산식 기반의 생체량보다 높은 값을 나타내었다. 계산된 생체량 값은 한강, 팔당호, 낙동강 순서대로 높은 것으로 나타났으며, 이는 체장의 차이와 동일한 경향으로, EPA 및 McCauley 계산식 모두에서 동일하게 나타났다 (Fig. 5).

Table 2. Lower and upper bound of rotifers length data for 95% confidence interval in sampling sites (a), and sample size (n) for each 5% error probability (90%, 95%, and 99%) based on rotifers length data in Han River (b).

(a) Confidence interval	95%		
	Han River	Nakdong River	Paldang Reservoir
Lower bound	169.45 μm	149.62 μm	159.80 μm
Upper bound	178.19 μm	158.58 μm	171.61 μm
Interval	8.74	8.96	11.81
(b) Error		5%	
Error probability	90%	95%	99%
(n)	18	26	44

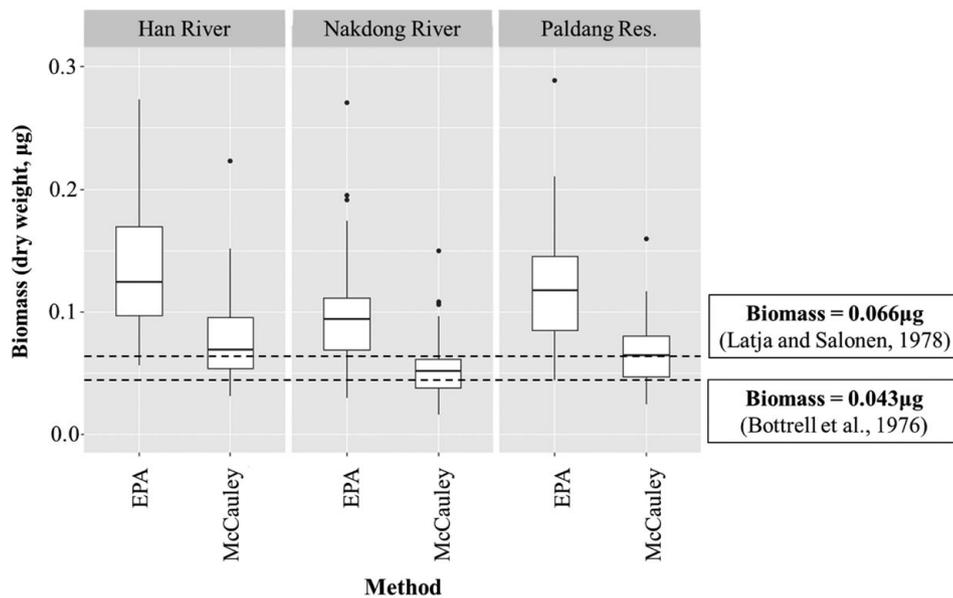


Fig. 5. Comparison of the range of rotifers biomass (dry weight, μg) calculated by EPA method (2003) and McCauley (1984) with fixed representative dry weight (0.043 μg by Bottrell *et al.* (1976); 0.066 μg by Latja and Salonen (1978)). The median with 10th, 25th, 75th, and 90th percentiles with error bars was shown using box plot.

두 가지의 계산식으로부터 산출된 생체량과 일반적으로 윤충류 생체량 연구에서 *Polyarthra* 속의 생체량 대푯값으로 제시된 0.066 μg (*Polyarthra vulgaris*; Latja and Salonen, 1978), 0.74 μg (*Polyarthra sp.*; Dumont *et al.*, 1975) 과 0.043 μg (*Polyarthra vulgaris*; Bottrell *et al.*, 1976)을 비교한 결과, Dumont *et al.* (1975)이 제시한 값의 경우 지점별 두 가지 방법으로 계산된 생체량 범위를 훨씬 웃도는 것으로 나타나 대푯값으로 사용하기에는 타 결과값과의 차이가 큰 것으로 나타났다. 반면, Latja and Salonen (1978) 과 Bottrell *et al.* (1976)이 제시한 값의 경우, McCauley 식으로 계산된 생체량과는 유사한 값을 가지는 반면, EPA 식으로 계산된 생체량과는 다소 상이한 값을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 5). 측정된 체장을 이용하여 생체량을 계산할

경우 기존에 제시된 방법의 결과값 범위를 고려하면 McCauley 계산식을 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

최근 많은 논문에서 윤충류의 종별 생체량 대푯값을 군집분석에 이용하고 있지만(Dumont *et al.*, 1975; Pauli, 1989; Stich *et al.*, 2018), 본 연구에서 지점에 따른 *Polyarthra* spp. 개체의 체장은 상이한 값을 나타내며, 이를 기반으로 계산된 생체량 역시 지점에 따라 다르게 나타나므로 개체별 생체량 대푯값을 이용함으로써 인한 오차 유발 가능성이 큰 것으로 판단된다. 따라서, 보다 정확한 생체량 계산을 위해서는 지점 및 시기별 윤충류 개체의 체장 측정이 필수적인 것으로 보여진다. 체장 측정에 있어서는 측정의 오차를 5% 이하로 낮추기 위해서는 적어도 44개체 이상의 체장을 측정해야 하는 것으로 나타났다(오차가 5% 이하가

될 확률이 99%가 되는 측정 개체수 값). 이는 EPA에서 제시하는 윤충류 생체량 계산을 위한 최소 측정 개체수(20 개체)의 두 배 이상에 해당되는 개체수이지만(EPA Great Lakes National Office, 2003), 통계적으로 보다 정확한 체장 및 이를 기반으로 한 생체량 계산을 위해서는 44개체 이상의 측정이 요구된다. 또한 측정된 체장을 이용한 생체량 계산에는 McCauley (1984)의 계산식을 사용하는 것이 무난할 것으로 판단되지만, 기술적인 제한으로 소형 윤충류의 생체량의 실제 측정을 통한 정확한 검증이 어려우므로 향후 정확한 생체량 측정에 대한 직간접적인 연구 접근이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 국내외적으로 대부분의 부영양화 수역에서 우점하며 윤충류 군집 중 가장 단순한 형태를 갖는 *Polyarthra* spp.를 분석 대상으로 선정하였으나 종 수준 동정의 어려움으로 속 수준에서 생체량을 계산하여 분석하였다. 일반적으로 종에 따라 개체군의 평균 체장의 차이가 발생하므로 본 연구결과에서 나타난 지점별 체장 차이는 지점에 따른 *Polyarthra* spp.의 종 조성의 차이를 의미할 수 있다. 하지만, *P. vulgaris* 한 종만의 체장 범위가 100~192 μm 로 폭넓은 값을 가질 뿐만 아니라 (Carlin, 1943), EPA 계산식에서의 *Polyarthra* spp.의 항목(종 특이성 수식 요인(FF); 생체부피 대비 부속지 부피 비율(%BV))이 일정한 값을 가지는 점을 고려해 볼 때(EPA Great Lakes National Office, 2003), 향후 윤충류 군집의 구조와 기능에 관한 연구에 있어 종 특이적 체장 차이로 인한 생체량 차이를 고려한 접근과 이에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다. 특히, 윤충류는 종에 따라 부속지(appendage) 등을 가지는 복잡한 구조를 가지는 경우가 있으며, 국내 수환경에서도 가장 보편적으로 출현하며 먹이사슬에서의 기여율 또한 높은 *Keratella*, *Brachionus* 등 과 같은 특정 종의 경우, 포식자의 존재 및 다양한 환경 요인에 따라 부속지(spine) 형태 및 길이가 달라지는 특징이 있어(Gilbert, 2018; Zhang *et al.*, 2018), 이와 같은 형태의 다양성을 반영한 보다 정확한 생체량 측정 방법의 검증과 제시가 추가적으로 이루어져야 한다.

적 요

본 연구에서는 다른 환경에서 채집된 윤충류 개체의 체장을 측정하고 기존에 제시된 윤충류 생체량 측정 방법에 적용하여, 생체량 값의 분포 검증 및 비교를 실시하였다. 이를 바탕으로 적절한 윤충류 생체량 계산 방법에 대해 고찰하고, 체장 측정 없이 종별 생체량의 대푯값을 사용하는

것이 가능한지에 대한 여부를 판단했다. 검증을 위한 대상으로 국내외적으로 우점하고 단순한 형태를 가지는 *Polyarthra* 속을 선정, 한강, 낙동강 및 팔당호에서 시료를 채집, 분석하였다. 지점에 따른 *Polyarthra* spp. 개체의 체장은 통계적으로 유의한 차이를 나타내어, 지점별 체장의 차이가 생체량 대푯값을 이용하는데 발생하는 오차의 원인이 될 수 있는 것으로 분석되었다. 보다 정확한 생체량 계산을 위해 윤충류 개체의 체장 측정은 필수적인 것으로 판단되며, 생체량 계산 시 오차가 5% 이하일 확률을 99% 이상으로 높이기 위해서는 44개체 이상의 체장을 측정해야 하는 것으로 나타났다. 측정된 체장을 이용한 생체량 계산에는 EPA 계산식 대비 McCauley (1984)의 계산식을 사용하는 것이 보다 적합할 것으로 보이지만, 기술 검증이 어려운 항목이기 때문에 향후 본 조사에서 보여진 지점 간 변이 이외에 윤충류의 복잡한 형태 및 다양한 부속지의 변화 등을 고려하여 다양한 종을 대상으로 한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(과제번호 18AWMP-B098640-04)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Bottrell, H.H., A. Duncan, Z.M. Gliwicz, E. Grygierek, A. Herzig, A. Hillbricht-Ilkowska, H. Kurasawa, P. Larsson and T. Weglenska. 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norwegian Journal of Zoology* **24**: 419-456.
- Carlin, B. 1943. Die Planktonrotatorien des Montalastrom: zur taxonomie und ökologie der planktonrotatorien. Carl Bloms Boktryckeri.
- Choi, K.H., C.R. Lee, H.K. Kang and K.A. Kang. 2011. Characteristics and variation of size-fractionated zooplankton biomass in the Northern East China Sea. *Ocean and Polar Research* **33**(2): 135-147.
- Doohan, M. 1973. An energy budget for adult *Brachionus plicatilis* Muller (Rotatoria). *Oecologia* **13**(4): 351-362.
- Dumont, H.J., I. Van de Velde and S. Dumont. 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia* **19**(1): 75-97.
- EPA Great Lakes National Office. 2003. Standard operating pro-

- cedure for zooplankton analysis.
- Gilbert, J.J. 2018. Morphological variation and its significance in a polymorphic rotifer: environmental, endogenous, and genetic controls. *BioScience* **68**(3): 169-181.
- Havel, J.E., K.A. Medley, K.D. Dickerson, T.R. Angradi, D.W. Bolgrien, P.A. Bukaveckas and T.M. Jicha. 2009. Effect of main-stem dams on zooplankton communities of the Missouri River (USA). *Hydrobiologia* **628**(1): 121-135.
- Jackson, E.W., J.P. Doubek, J.S. Schaeffer and J.T. Lehman. 2013. Historical and recent biomass and food web relations of *Limnocalanus* in Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research* **39**(3): 404-408.
- Kim, H.W., G.H. La, K.S. Jeong, D.K. Kim, S.J. Hwang, J. Lee and B. Kim. 2013. Carbon, Nitrogen and Phosphorous Ratios of Zooplankton in the Major River Ecosystems. *Korean Journal of Ecology and Environment* **46**(4): 581-587.
- Kim, H.W., H.G. Jeong, J.Y. Choi, S.K. Kim, K.S. Jeong, G.H. La, H.J. Oh and K.H. Chang. 2018. Past History of Freshwater Zooplankton Research in South Korea and Korean Society of Limnology and Future Directions. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**(1): 40-59.
- Latja, R. and K. Salonen. 1978. Carbon analysis for the determination of individual biomasses of planktonic animals: With 4 tables in the text. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen* **20**(4): 2556-2560.
- Makino, W., N. Maruoka, M. Nakagawa and N. Takamura. 2017. DNA barcoding of freshwater zooplankton in Lake Kasumigaura, Japan. *Ecological Research* **32**(4): 481-493.
- McCauley, E. 1984. The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples, p. 228-265. In: A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters (Edmondson, W.T. and G.G. Winberg, eds.). Blackwell, Oxford.
- Nogueira, M.G. 2001. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Parapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* **155**(1-3): 1-18.
- Pauli, H.R. 1989. A new method to estimate individual dry weights of rotifers. *Hydrobiologia* **186**(1): 355-361.
- Pace, M.L. and J.D. Orcutt Jr. 1981. The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community 1. *Limnology and Oceanography* **26**(5): 822-830.
- Schindler, D.W. and B. Novén. 1971. Vertical distribution and seasonal abundance of zooplankton in two shallow lakes of the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **28**(2): 245-256.
- Stich, H.B., M. Schumann and A. Brinker. 2018. Dynamics of pelagic rotifers subject to trophic fluctuations in Upper Lake Constance (1963-2012). *Journal of Plankton Research* **40**(2): 118-128.
- Uhm, S.H. and S.J. Hwang. 2006. Grazing relationship between phytoplankton and zooplankton in lake paldang ecosystem. *Korean Journal of Limnology* **39**(3): 390-401.
- Watkins, J., L. Rudstam and K. Holeck. 2011. Length-weight regressions for zooplankton biomass calculations - A review and a suggestion for standard equations.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens. 1991. Collection, enumeration, and biomass of zooplankton. *Limnological Analyses*: 167-178. Springer, New York.
- Zhang, H., C. Brönmark and L.A. Hansson. 2017. Predator ontogeny affects expression of inducible defense morphology in rotifers. *Ecology* **98**(10): 2499-2505.