

## 야외 실험 수조에서 추정된 연못하루살이 (*Cloeon dipterum*) (Ephemeroptera: Baetidae)의 발육 유효적산온도

이차영 · 김동건 · 최락중 · 백민정 · 윤태중<sup>1</sup> · 배연재\*

(고려대학교 생명과학대학, <sup>1</sup>고려대학교 한국곤충연구소)

Estimation of Accumulated Degree Days Required for the Development of *Cloeon dipterum* (Ephemeroptera: Baetidae) in an Experimental Tub Under Field Conditions. Lee, Cha Young, Dong Gun Kim, Lak Jung Choe, Min Jeong Baek, Tae Joong Yoon<sup>1</sup> and Yeon Jae Bae\* (College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-713, Korea; <sup>1</sup>Korean Entomological Institute, Korea University, Seoul 136-713, Korea)

We aimed to estimate the accumulated degree days required for the development of *Cloeon dipterum* (Ephemeroptera: Baetidae) in an experimental tub under field conditions from August 7 to October 10 in 2011. After 4 days in a tub setting, a dead female adult was found on the water surface at which oviposition had presumably occurred. Adults emerged from 39 days to 61 days after the oviposition date. The total number of emerged adults was 229, and the sex ratio (number of females : total population) was 0.45, although not statistically significant ( $p > 0.05$ ). The males generally emerged earlier than females. Assuming that the basal temperature ( $T_b$ ) value is 0°C, we estimated the number of accumulated degree days required for the development of *C. dipterum* to be  $1,221.8 \pm 116.0$  DD (mean  $\pm$  SD). Since the annual number of accumulated degree days in the reference wetland was measured to be 5,650.0 DD, we estimated that *C. dipterum* is multivoltine, with a maximum of 4 cohorts in 1 year in natural habitats.

**Key words :** *Cloeon dipterum*, mayfly, experimental mesocosm, accumulated degree days, voltinism, wetland

### 서 론

하루살이목 (Ephemeroptera)의 꼬마하루살이과 (Baetidae)는 전 세계적으로 약 100속 900여종이 알려져 있으며, 모든 담수생태계에 널리 분포한다. 꼬마하루살이과에 속한 대부분의 종은 오염되지 않은 유수생태계에 서식하나, 연못하루살이속 (*Cloeon*)의 일부 종들은 정수역에 서식하며, 그 곳 생태계의 주요한 1차소비자이다 (Gattolliat

and Nieto, 2009). 우리나라에는 꼬마하루살이과 (Baetidae)에 7속 16종이 기록되어 있고, 연못하루살이속 (*Cloeon*)에는 연못하루살이 (*Cloeon dipterum*) 1종만이 분포하는 것으로 알려져 있다 (Bae, 2010). 연못하루살이는 북반구의 온대지역에 널리 분포하고 (Bae and Park, 1997), 유충은 먹이로 부식질과 조류를 선호하여 (Cianciara, 1980) 수생 식물이나 조류가 풍부한 연못, 습지, 농수로, 웅덩이 등에 풍부하게 출현한다 (Hwang *et al.*, 2005). 연못하루살이는

\* Corresponding author: Tel: 02) 3290-3408, Fax: 02) 3290-3623, E-mail: yjbae@korea.ac.kr

환경 변화에 대한 상대적 저항력과 회복력이 높아(Ro and Chun, 2004) 수생태계 평가에 적합한 자생 생물종으로 이용할 수 있을 가능성이 높으며, 최근에는 지구온난화의 영향에 대한 환경생태학적 연구(McKee and Atkinson, 2000) 및 독성 평가(Beketov and Liess, 2005; Kim *et al.*, 2009a) 등에 이용되고 있다.

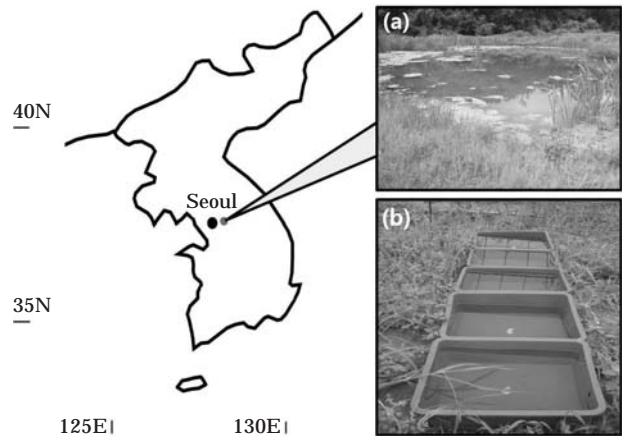
연못하루살이는 지역에 따라 1년 1세대(univoltine)부터 1년 다세대(multivoltine)까지 다양한 생활사를 나타낸다. 유럽에서는 근연종인 *Cloeon simile*가 1년 2세대를 나타내며(Cayrou and Cereghino, 2003), 미국에서는 *Cloeon triangulife*가 최소 1년 3세대 이상을 가진다고 보고되었다(Sweeney and Vannote, 1984).

연못하루살이는 몸길이 8.7~10.3 mm의 소형종에 속하며, 영(instar)의 수가 많고(Cianciara, 1980), 영에 따른 크기의 차이가 명확하지 않아 영기의 구분이 어렵다. 또한 본 연구자들이 대조습지에서 관찰한 미발표 자료에서는 세대가 중복되어 연중 우화와 산란을 반복하므로 성장에 소요되는 시일을 추정하기 어렵다. 국내의 경우 연못하루살이 유충의 온도별 발육에 관한 연구가 실험실 내에서 일부 수행되었을 뿐(Hwang *et al.*, 2005) 야외에서의 생활사를 추정하기 위한 연구는 수행되지 않았다. 야외에 설치한 실험 수조는 자연 서식지의 환경 조건에 준하는 mesocosm의 실험 환경을 제공하여 생활사 연구에 효과적으로 적용할 수 있다(Shawn *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2009b). 따라서 본 연구는 연못하루살이의 한 세대에 필요한 유효적산온도(Accumulated degree days, ADD)를 파악하고자 야외에 설치한 실험 수조에서 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 수조의 설치

본 연구는 2011년 8월 7일부터 10월 10일까지 경기도 남양주시 덕소에 위치한 고려대학교 부속 농장에서 수행되었다. 농장 내에 조성된 지 2년된 습지(대조습지: 약 80 × 20 m, 평균수심 70 cm)(Fig. 1a)는 외부에서 유입된 다양한 수생식물 및 저서생물이 서식하고 있었으며, 본 연구의 대상종인 연못하루살이가 풍부하게 서식하고 있었다. 2011년 8월 7일 대조습지로부터 약 20 m 떨어진 평지에 폴리에틸렌(polyethylene)으로 만들어진 갈색의 불투명한 실험 수조(외경 66 × 51 × 24 cm) 5개를 일렬로 설치하였다(Fig. 1b). 실험 초기의 용수로는 지하수를 사용하였으며, 실험 수조의 바닥에서 약 20 cm 높이의 수위를 유지하기 위하여 망을 설치한 배수구(지름 2.5 cm)를 만들었다. 실험



**Fig. 1.** Study site at the experimental station of Korea University located in Deokso, Namyangju city in Gyeonggi-do, Korea (E: 127° 14' 16.7'' N: 37° 35' 02.1''): (a) reference wetland; (b) experimental tubs placed near the reference wetland.

기간 동안 수위는 강우에 의해 10~15 cm 정도로 유지되었으며, 실험 수조 내에서 녹조류가 자연적으로 발생하였으므로 유충 성장에 필요한 먹이는 달리 공급하지 않았다.

### 2. 연못하루살이 모니터링 및 분석

연못하루살이 유충의 발견 시점을 기준으로 실험 수조에 다른 외부 생물의 유입 및 연못하루살이의 추가 산란을 방지하기 위하여 나일론 망(망목 1 mm)으로 덮개를 씌웠다. 실험 수조의 유충 상태 및 성충의 우화는 2일 간격으로 조사하였다. 실험 수조의 교란을 방지하기 위하여 유충 상태는 육안으로 관찰하였다. 실험 수조와 대조습지의 기온 및 수온은 1시간 간격으로 기록하였다(Model: Optic Stow Away® Temp, USA)(Figs. 2, 3). 우화한 성충은 95% 에틸알코올에 고정하였고, 실험실에서 성별을 구분하였다.

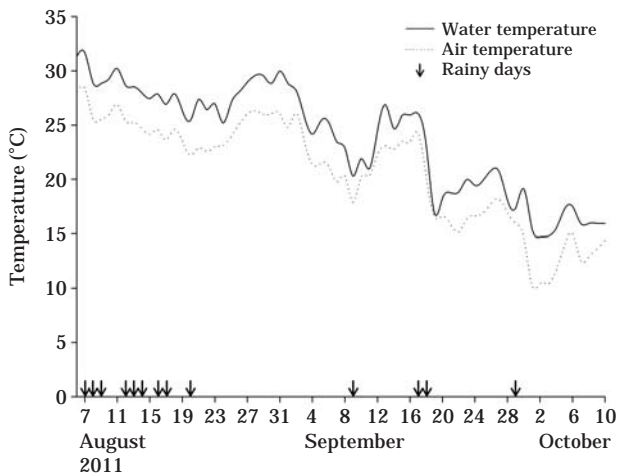
수온은 Rectangle 방법을 사용하여 유효적산온도(ADD)로 변환하였으며, 식은 다음과 같다(Lee *et al.*, 1999)(식 1).

$$\text{Rectangle DD} = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 - T_b \quad (1)$$

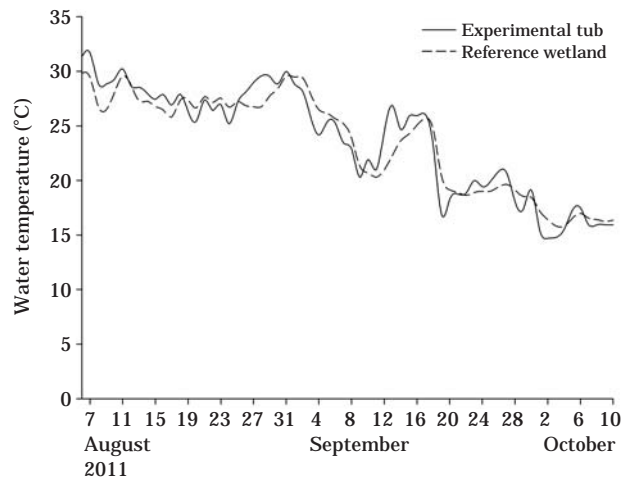
$T_{\max}$ 와  $T_{\min}$ 은 일일 최고온도 및 최저온도를 나타내며,  $T_b$ 는 최저 발육임계온도이다. 최저 발육임계온도는 선행 연구 결과를 바탕으로 0°C로 추정하여 사용하였다(Nagell, 1981).

## 결 과

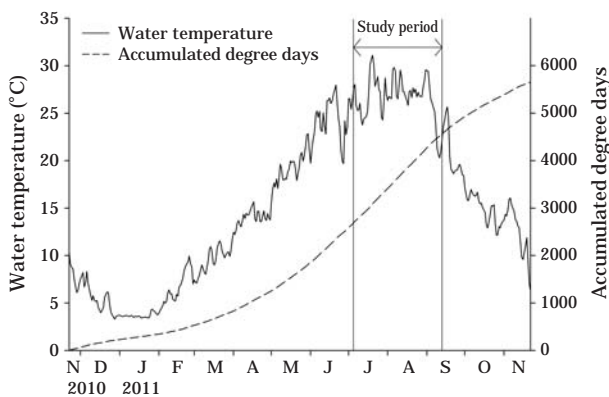
연구 기간 동안(2011년 8월 7일부터 10월 10일까지)



**Fig. 2.** Water temperature in the experimental tub and air temperature at the study site during the study period.



**Fig. 4.** Water temperature in the experimental tub and the reference wetland during the study period.



**Fig. 3.** Annual water temperature and accumulated degree days in the reference wetland.

일평균 기온은  $20.6 \pm 4.9^\circ\text{C}$  (평균±표준편차)로 최고 기온은  $28.4^\circ\text{C}$  (8월 7일), 최저 기온은  $10.7^\circ\text{C}$  (10월 1일)였다 (Fig. 2). 실험 수조 내의 일평균 수온은  $23.6 \pm 4.9^\circ\text{C}$ 였고, 최고 수온은  $31.7^\circ\text{C}$  (8월 7일), 최저 수온은  $14.7^\circ\text{C}$  (10월 2일)였다 (Fig. 2). 총 65일의 실험 기간 동안 강우 일수는 13일이었으며, 총 강우량은 140 mm였다 (Fig. 2). 실험 수조 인근에 위치한 대조습지의 일평균 수온은  $23.6 \pm 4.5^\circ\text{C}$  였으며, 최고 수온  $29.8^\circ\text{C}$  (8월 7일), 최저 수온은  $15.8^\circ\text{C}$  (10월 5일)로 (Fig. 3) 실험 수조 내의 수온과 전체적으로 유사한 경향을 보였다 (Fig. 4). 그러나 수온 일교차의 경우 실험 수조가  $12.6 \pm 3.8^\circ\text{C}$ 로 대조습지  $3.5 \pm 2.0^\circ\text{C}$ 보다 수온 변화의 폭이 훨씬 크게 나타났다. 대조습지의 1년간 (2010년 11월 22일부터 2011년 11월 22일까지) 평균

수온은  $15.5 \pm 8.3^\circ\text{C}$ 로 최고 수온은  $31.1^\circ\text{C}$  (2011년 7월 20일), 최저 수온은  $3.3^\circ\text{C}$  (2010년 12월 28일)로 나타났다 (Fig. 3).

실험 수조 설치일로부터 4일 경과 후 (8월 11일) 수조의 수면 위에 죽어있는 연못하루살이 암컷 성충 개체들을 발견하였으며, 실험 수조 내에 산란이 이루어졌을 것으로 추정하였다 (Fig. 5). 5개 실험 수조 중 4개 수조에서 연못하루살이의 유충이 발견되었으며 (8월 19일), 그 중 3개 수조에서 망을 씌우기 전 수서 딱정벌레 유충과 같은 포식자도 함께 발견되었다. 4개의 수조 중 단지 1개의 수조에서만 연못하루살이가 성충으로 우화하였다.

산란추정일로부터 39일 경과 후 (9월 18일) 성충이 출현하기 시작하였고, 61일 경과 후 (10월 10일) 모든 개체들이 우화하여 실험이 종료되었으며, 우화에 총 24일이 소요되었다 (Fig. 5). 수컷은 산란추정일로부터 39일 후 (9월 18일)부터 57일 후 (10월 6일)까지 우화하였으며, 암컷은 41일 후 (9월 29일)부터 61일 후 (10월 10일)까지 우화하여 전체적으로 수컷이 암컷보다 먼저 우화하는 경향을 보였다 (Fig. 5). 우화한 성충은 총 229개체였으며, 암컷 102개체, 수컷 127개체로 수컷 개체수가 더 많았으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $\chi^2_{11, 0.05} = 3.01, p > 0.05$ ).

연못하루살이의 최초 우화 개체의 유효적산온도는 1,029.5 DD였고, 최종 우화 개체의 유효적산온도는 1,400.7 DD였으며, 산란추정일을 기점으로 알부터 성충까지의 평균 유효적산온도는  $1,221.8 \pm 116.0$  DD였다. 같은 기간 동안 대조습지의 평균 유효적산온도는  $1214.386 \pm 117.0$  DD로 나타났다.

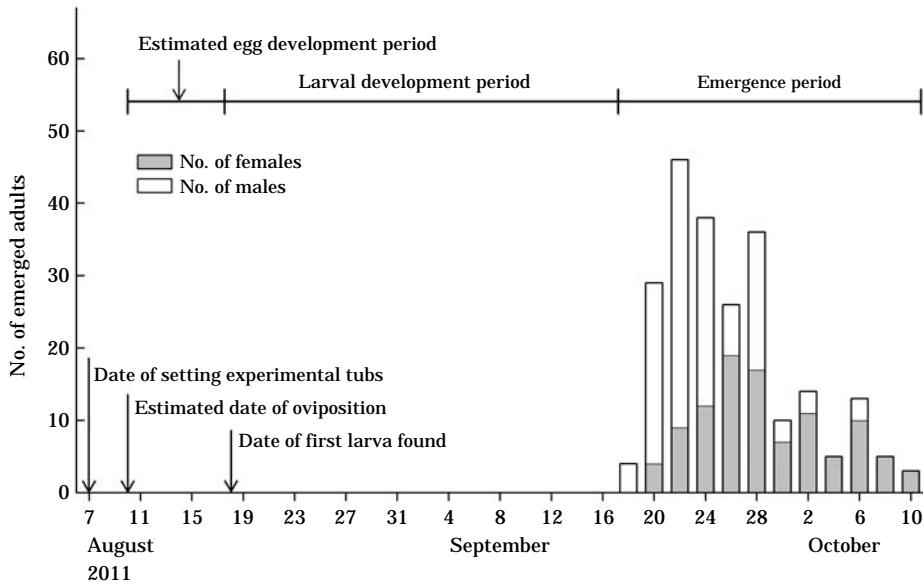


Fig. 5. Number of emerged adults of *C. dipterum* with developmental events during the study period. Total number of emerged females (shaded) was 102 and that of males (white) was 127.

고찰

실험 수조와 대조습지의 일평균 수온은 전체적으로 유사한 경향을 보였으나 수온이 기온보다 더 높고, 실험 수조 내의 수온 일교차가 더 크게 나타났다(Fig. 2). 이러한 결과는 수조 내의 수량이 적고, 지면의 복사열에 의한 영향을 크게 받았기 때문으로 사료된다. 유효적산온도의 경우 실험 수조와 대조습지의 유효적산온도는 각각  $1,221.8 \pm 116.0$  DD와  $1214.386 \pm 117.0$  DD로 유의한 차이를 나타내지 않았으므로 ( $p > 0.05$ ) 실험 수조의 연구 결과를 대조습지에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

연못하루살이의 산란 추정 후 유충이 발견된 수조는 총 4개였으나 그 중 성충이 우화된 수조는 1개였다. 다른 3개의 수조는 연못하루살이 외에 수서 딱정벌레목(Coleoptera)과 잠자리목(Odonata) 유충 등 포식성이 강한 다른 수서곤충이 함께 발견되었으며, 이로 인하여 연못하루살이 유충이 포식당하였을 것으로 추정된다.

연못하루살이 암컷 성충 한 개체의 평균 알 수는 약 1,200개이고 부화율은 87~92%로 보고된 바 있으며(Harker, 1997), 유충의 우화 성공율은 20°C에서 16.7%, 25°C에서 20.0%로 알려져 있다(Hwang et al., 2005). 연구 기간 동안 실험 수조 내에서 우화된 개체는 총 229개 체로, 실험 수조의 일평균 수온이  $23.6 \pm 4.9$ °C로 나타났으므로 Harker가 제시한 암컷 한 개체의 평균 알 수와 부화율 및 Hwang et al. (2005)에서 제시한 온도별 우화

성공률을 적용할 경우 우화된 개체들은 한 배 자손으로 추정할 수 있다.

일반적으로 수서곤충은 0°C 이하에서 거의 성장하지 않는다(Ward, 1992). 그러나 Nagell (1981)은 연못하루살이 유충이 1°C에서도 섭식과 성장을 하는 것으로 보고하였으므로 본 연구에서는 연못하루살이의 성장에 필요한 유효적산온도를 추정하기 위해 최저 발육임계온도를 0°C로 산정하였다. 실험 수조 내에서 추정한 유효적산온도는  $1,221.8 \pm 116.0$  DD로, 같은 기간 동안 대조습지의 유효적산온도  $1214.4 \pm 116.9$  DD와 유사하게 나타났다. 우리나라는 몬순 기후의 영향을 받는 온대 지역으로, 대조습지의 1년간 유효적산온도는 5,650.0 DD로 나타났다(Fig. 3). 본 연구에서 추정한 연못하루살이의 한 세대에 필요한 유효적산온도에 의하면 연못하루살이는 최대 1년 4세대의 생활사를 가질 가능성이 있다. 대조습지에서 7월 중순에 연못하루살이의 대량 우화가 관찰되었으며, 이를 기점으로 본 연구결과를 적용할 경우 8월 말, 10월 말, 이듬해 4월 중순에 각각 우화가 발생할 것으로 추정된다. Hwang et al. (2005)은 이론적으로 연 3회까지 성충이 출현할 가능성을 제시하여 본 연구결과와 다소 차이가 있으나, 이는 실내에서 일정한 온도 하에 수행한 실험과 자연 상태에서 수행한 실험의 차이에서 기인한 것으로 사료된다. Hwang et al. (2005)은 20~25°C 사이에 유충 성장 적정온도가 있을 것으로 추정하였으며, 본 연구 기간 동안 일평균 수온과 우화까지 소요된 시일을 고려할 때,

대조습지에서 연못하루살이는 일평균 수온이 20°C 이상인 6~8월에 두 번의 여름 세대를 가질 가능성이 있다.

본 연구를 통하여 추정된 연못하루살이의 1세대가 우화하는 데 필요한 유효적산온도 자료는 연못하루살이의 생장에 소요되는 시일 추정을 비롯한 생활사 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구는 가을에 우화한 한 세대만을 대상으로 결과를 추정하였으므로, 계절적 차이를 고려하여 봄과 여름에 추가 실험을 수행한다면 더 정확한 생활사 자료를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## 적 요

연못하루살이의 성장에 필요한 유효적산온도를 구하고자 2011년 8월 7일부터 10월 10일까지 야외에 설치한 실험 수조에서 실험을 수행하였다. 실험 수조 설치일로부터 4일 경과 후 수면에서 죽은 암컷 성충 한 개체가 발견되어 산란이 이루어졌을 것으로 추정하였으며, 산란추정일로부터 39일째부터 성충이 우화하기 시작하여 61일째에 마지막 개체가 우화하였다. 우화한 성충은 총 229개체였고, 성비(암컷 수/전체 수)는 0.45로 수컷이 많았으나 통계적으로 유의하지 않았으며 ( $p > 0.05$ ), 전체적으로 수컷이 먼저 우화하는 경향을 보였다. 최저 발육임계온도를 0°C로 하여 유효적산온도를 산출한 값은  $1,221.8 \pm 116.0$  DD였으며, 대조습지의 연간 유효적산온도가 5,650.0 DD임을 고려할 때, 연못하루살이는 본 연구결과를 적용할 경우 야외 서식처에서 최대 1년 4세대의 생활사를 가질 가능성이 있다.

## 사 사

본 연구는 환경부 한국환경산업기술원의 “차세대 에코이노베이션 기술개발 사업 (EI project)”의 “생물자원 이용 기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었음.

## 인 용 문 헌

- Bae, Y.J. 2010. Insect Fauna of Korea. Mayflies (Larvae) (Arthropoda: Insecta: Ephemeroptera). Flora and Fauna of Korea Series. National Institute of Biological Resources, Ministry of Environment, Korea **6**(1): 1-141.
- Bae, Y.J. and S.Y. Park. 1997. Taxonomy of *Cloeon* and *Procloeon* (Ephemeroptera: Baetidae) in Korea. *Korean Journal of Systematic Zoology* **13**: 303-314.
- Beketov, M.A. and M. Liess. 2005. Acute contamination with Esfenvalerate and food limitation: Chronic effects on the mayfly, *Cloeon dipterum*. *Environmental Toxicology and Chemistry* **24**: 1281-1286.
- Cayrou, J. and R. Cereghino. 2003. Life history, growth and secondary production of *Caenis luctuosa* and *Cloeon simile* (Ephemeroptera) in a small pond, S.W. France. *Aquatic Insects* **25**: 191-201.
- Cianciara, S. 1979. Life cycles of *Cloeon dipterum* (L.) in natural environment. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **26**: 501-513.
- Cianciara, S. 1980. Food preference of *Cloeon dipterum* (L.) larvae and dependence of their development and growth on the type of food. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **27**: 143-160.
- Gattolliat, J.L. and C. Nieto. 2009. The family Baetidae (Insecta: Ephemeroptera): synthesis and future challenges. *Aquatic Insects* **31**: 41-62.
- Harker, J.E. 1997. The role of parthenogenesis in the biology of two species of mayfly (Ephemeroptera). *Freshwater Biology* **37**: 287-297.
- Hwang, J.M., S.J. Lee and Y.J. Bae. 2005. Larval growth of *Cloeon dipterum* (Ephemeroptera: Baetidae) in different temperature conditions. *Korean Journal of Environmental Biology* **23**: 114-119.
- Kim, B.S., Y.K. Park, S.S. Hong, Y.J. Yang, K.H. Park, M.H. Joeng, S.R. Kim, K.H. Park, W.H. Yeh, D.H. Kim, M.K. Hong, Y.J. Ahn and J.S. Shin. 2009a. Comparison of acute toxicity of molinate on two aquatic insects, *Chironomus riparius* and *Cloeon dipterum* in different larval stages. *Korean Journal of Pesticide Science* **13**: 256-261.
- Kim, D.G., J.Y. Tae, C.G. Oh, J.G. Kim, E.H. Lee and Y.J. Bae. 2009b. Laval growth rate of *Nannophya pygmaea* (Odonata: Libellulidae), an endangered dragonfly in Korea. *Korean Journal of Limnology* **42**: 290-294.
- Kjellberg, G. 1973. Growth of *Leptophlebia vespertina* L., *Cloeon dipterum* L. and *Ephemera vulgate* L. (Ephemeroptera) in a small woodland Lake. *Entomology of Tidskrift* **94**: 8-14.
- Lee, S.J., Y.J. Bae, I.B. Yoon and N.C. Watanabe. 1999. Comparisons of temperature-related life histories in two ephemerid mayflies (*Ephemera separigata* and *E. strigata*: Ephemerae, Ephemeroptera, Insecta) from a mountain stream in Korea. *Korean Journal of Limnology* **32**: 253-260.
- McKee, D. and D. Atkinson. 2000. The influence of climate



- change scenarios on populations of the mayfly *Cloeon dipterum*. *Hydrobiology* **441**: 55-62.
- Nagell, B. 1981. Overwintering strategy of two closely related forms of *Cloeon* (*dipterum?*) (Ephemeroptera) from Sweden and England. *Freshwater Biology* **11**: 237-244.
- Ro, T.H. and D.J. Chun. 2004. Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean Journal of Limnology* **37**: 137-148.
- Shawn, E.L., S. Newman and J.C. Trexler. 2008. Macroinvertebrate community response to eutrophication in an oligotrophic wetland: an in situ mesocosm experiment. *Wetlands* **28**: 686-694.
- Sweeney, B.R. and R.L. Vannote. 1984. Influence of food quality and temperature on life history characteristics of the parthenogenetic mayfly, *Cloeon triangulifer*. *Freshwater Biology* **14**: 621-630.
- Ward, J.V. 1992. Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and Habitat. John Wiley & Sons, New York.
- (Manuscript received 20 February 2012,  
Revised 13 March 2012,  
Revision accepted 15 March 2012)