

## 생물학적 모기유충 방제기법 적용에 따른 저서성 대형무척추동물 군집 변동

한중수, 안채희, 최준길, 이황구\*

상지대학교 생명과학과

## Changes in benthic macroinvertebrates communities in response to biological mosquito larvae control techniques

Jung Soo Han, Chae Hui An, Jun Kil Choi and Hwang Goo Lee\*

Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Hwang Goo Lee

Tel. 033-730-0430

E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

Received: 12 November 2019

Revised: 25 November 2019

Revision accepted: 26 November 2019

**Abstract:** The study site was the camping area in the Hwarang Amusement Park in Danwon-gu, Ansan-si. Study activities were conducted three times a week from July 20, 2018, to August 1, 2018. A control site, natural enemy site, and Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*) site were selected. The analyses included habitat environment and species composition analyses, community analysis, correlation analysis, and similarity analysis. The water quality analysis found no significant difference in water quality over the study period ( $p > 0.05$ ). A total of 4,818 individuals, 38 species, 22 families, and 11 orders were observed during the study period. The natural enemy site observed during the study period had a similar species composition as the control site. The Bti site differed from other sites by the low number of species and individuals present. According to the community analysis, the natural enemy site was a stable community and the Bti site was an unstable community during the study period. Diptera showed negative associations with temperature and water temperature and mosquito larvae showed significant correlations with temperature and water temperature. The similarity analysis showed that the control site and the natural enemy site were 61.11–73.68% and the Bti site showed 30.77–56.00% similarity.

**Keywords:** mosquito larvae control, *Bacillus thuringiensis israeliensis*, natural enemy

## 서론

과거 모기에 의한 질병의 확산을 방지하기 위해 화학 살충제를 살포하여 모기 성충을 제거하는 방역활동이 활발하게 진행되었다. 하지만 화학 살충제에 대한 저항성 증가 등으로 인해 화학 방제효과가 감소하였으며, 포유류 및 인간에게 미치는 유해성에 대한 문제가 제기되었다(Verschoyle

and Aldridge 1980; Yang 2004). 이로 인해 최근에는 생물을 이용한 생물학적 모기 방제 기법을 적용하기 위해 국내·외로 다양한 연구가 수행되었다(Yu *et al.* 1982; Shaalan and Canyon 2009; Beak *et al.* 2014; Jeong 2018).

천적생물을 이용한 생물학적 방제는 모기유충이 선호하는 서식처와 유사한 환경에서 살아갈 수 있는 종들이 선정되며, 그 중에서 수서곤충의 잠자리목(Odonata), 노

린재목 (Hemiptera), 딱정벌레목 (Coleoptera)은 모기유충과 서식처가 유사하고 대부분의 섭식 특성이 Predators를 나타내어 정수생태계에서 모기 개체수를 조절할 수 있는 가능성이 높은 분류군으로 알려져 있다 (Shaalan and Canyon 2009). 특히 딱정벌레목의 잔물팽팽이 (*Hydrochara affinis*)는 실험실 내 환경에서 비교적 높은 모기 섭식율을 나타내었으며, 모기유충의 개체수 조절에 가능성을 나타내었다 (Baek et al. 2014). 또한, Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*) 균주를 이용하는 Bti 약제는 수중에 투여하여 모기 방제가 이루어지며, Bti 균주의 제형에 따라 탈피촉진, 성장조절, 발육억제 등 독성이 미치는 영향에 차이가 나타나는 것으로 알려져 있다 (Kil et al. 2008). 국외의 경우, Shaalan et al. (2007), Shaalan and Canyon (2009) 등에 의해 생물학적 모기유충 방제기법이 실제 정수생태계에 서식하는 저서성 대형무척추동물에게 미치는 영향에 대한 연구가 다양하게 수행되었다. 하지만 국내에서는 Baek et al. (2014), Jeong et al. (2013), Jeong (2018) 등의 연구와 같이 대부분 실험실 조건에서 연구가 수행되었으며, 천적생물 및 Bti가 정수생태계에 서식하는 저서성 대형무척추동물에게 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 잔물팽팽이를 이용한 천적기법과 Bti 약제 투여에 의한 생물학적 모기유충 방제기법이 정수생태계에 서식하는 저서성 대형무척추동물에게 미치는 영향에 대한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 조사시기

조사지역은 경기도 안산시 단원구에 위치한 화랑유원지 오토캠핑장의 집수정을 대상으로 조사를 실시하였다 (Fig. 1). 조사지점은 기법별로 대조지점 (Control), 천적지점 (Natural enemy), Bti 지점의 집수정을 각 2개소씩 선정하여 총 6개소의 집수정에서 조사를 실시하였으며, 면적은  $2.25\text{m}^2$ 으로 동일하였다.

조사시기는 모기유충의 발생을 고려하여 1차 조사는 2018년 7월 20일, 2차 조사는 2018년 7월 27일, 3차 조사는 2018년 8월 1일에 실시하였다. 천적생물은 방류 이후 서식처 적응기간을 거쳐 약 1주일 후에 가장 높은 포식율을 나타낸 것으로 알려져 있으며 (Kumar and Hwang 2006), 본

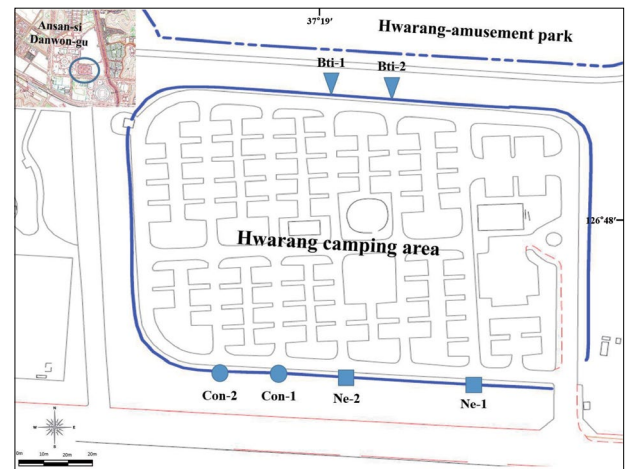


Fig. 1. Map of studied sites in the camping area of Hwarang Amusement Park (Con: control site, Ne: natural enemy site).

연구에서는 1차 조사시기 전에 천적생물인 잔물팽팽이 유충 120개체를 천적지점에 방류하였다. Bti 지점에는 *Bacillus thuringiensis israelensis* H-14 균주가 포함된 Bti 약제를 명시된 적정사용량 ( $50\text{g m}^{-3}$ )을 참고하여 투여하였다. Bti 투여시기는 1차, 2차 조사시기 24시간 전에 투여하였으며, 3차 조사시기에는 저서성 대형무척추동물의 군집 회복양상을 분석하기 위해 투여하지 않았다.

#### Control sites

St. 1:  $37^{\circ}19'20.42''$ ,  $126^{\circ}48'52.91''$

St. 2:  $37^{\circ}19'20.36''$ ,  $126^{\circ}48'54.01''$

#### Natural enemy sites

St. 1:  $37^{\circ}19'20.30''$ ,  $126^{\circ}48'55.21''$

St. 2:  $37^{\circ}19'20.23''$ ,  $126^{\circ}48'57.70''$

#### Bti sites

St. 1:  $37^{\circ}19'25.48''$ ,  $126^{\circ}48'54.91''$

St. 2:  $37^{\circ}19'25.40''$ ,  $126^{\circ}48'56.17''$

### 2. 조사 및 분석방법

#### 1) 서식처 환경 분석

수질분석은 HI98194 (Hanna, USA)를 이용하여 수온, DO (Dissolved Oxygen), pH (Hydrogen exponent), Cond. (Electric conductivity)를 현장에서 측정하였으며, 하상구조는 Cummins (1973)의 방법을 이용하였다. 집수정의 식물 군락을 파악하기 위해 Lee (2003)를 참고하여 분류 및 동정

**Table 1.** Results of the physical and chemical characteristics analyses for the study sites

	WT (°C)	pH	DO (mg L <sup>-1</sup> )	Cond. (μs cm <sup>-1</sup> )	DW (cm)	Bottom structure *B:C:P:G:S	Plant community
Control	1st	30.10	7.94	3.97	476.00	0 : 0 : 0 : 2 : 8	<i>Trifolium pratense</i>
	2nd	32.32	8.22	6.23	528.00		
	3rd	34.11	8.52	6.15	498.00		
	Mean (±SD)	32.18 (±2.01)	8.23 (±0.29)	5.45 (±1.28)	500.67 (±26.10)		
Natural enemy	1st	28.78	7.73	3.13	513.00	0 : 0 : 0 : 3 : 7	<i>Trifolium pratense</i>
	2nd	31.63	7.91	4.53	506.00		
	3rd	31.06	7.87	3.17	489.00		
	Mean (±SD)	30.49 (±1.51)	7.84 (±0.09)	3.61 (±0.80)	501.67 (±12.34)		
Bti	1st	30.33	8.11	2.66	525.00	0 : 0 : 0 : 2 : 8	<i>Trifolium pratense</i>
	2nd	33.56	7.66	3.22	421.47		
	3rd	34.49	8.20	4.57	497.50		
	Mean (±SD)	32.79 (±2.18)	7.99 (±0.29)	3.48 (±0.98)	481.32 (±53.63)		

WT: Water temperature, DO: Dissolved oxygen, Cond.: Electric conductivity, DW: Depth of water  
\*B: Boulder >256 mm, C: Cobble 64-256 mm, P: Pebble 16-64 mm, G: Gravel 2-16 mm, S: Sand 0-2 mm

하였으며, 화랑유원지 오토캠핑장의 일평균 기온은 기상청 (<http://www.kma.go.kr>)의 자료를 이용하여 분석하였다.

## 2) 채집 및 분류

저서성 대형무척추동물의 정량채집은 물리적 환경특성을 고려하여 Dredge sampler (30 cm × 50 cm, mesh 0.2 mm)을 이용하여 지점별 2회씩 실시하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 현장에서 500 mL Vial에 99% Ethanol로 고정하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서 10~25 mL Vial에 옮겨 80% Ethanol로 보존하였다. 비곤충류의 연체동물은 Kwon (1990), 거머리류는 Song (1995)를 참고하였으며, 수서곤충의 동정은 McCafferty (1981), Won *et al.* (2005), Merritt *et al.* (2008) 등을 참고하였다. 깔따구류(Chironomidae spp.)는 정확한 종과 속 수준의 동정이 제한되어 과 수준(Family level)으로 동정하였다. 조사시간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물의 개체수는 기법별 2개의 지점간 유의한 차이( $p > 0.05$ )가 없는 것으로 나타나 평균 개체수를 이용하여 분석하였다.

## 3) 군집분석

채집된 저서성 대형무척추동물을 대상으로 우점도지수(DI: McNaughton 1967), 다양도지수( $H'$ : Shannon-Weaver 1949), 균등도지수( $J'$ : Margalef 1958), 풍부도지수(RI: Pielou 1975)를 분석하였다.

$$DI = \frac{N_1 + N_2}{N}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i (\log_2 P_i), \quad P_i = \frac{N_i}{N}$$

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

$$RI = \frac{S-1}{\ln N}$$

S: 총 종수, N: 총 개체수,  $N_i$ : i종의 개체수,  $N_1$ : 우점종의 개체수,  $N_2$ : 아우점종의 개체수.

## 4) 통계분석

SPSS (Version No. 18.0, USA)를 이용하여 모기 개체수와 기온, 수온, pH, DO, Conductivity의 상관성 분석을 실시하였다. 기법별 유의성을 검증하기 위해 ANOVA-test를 실시하였으며, Biodiversity Pro (Version No. 2.0, UK)를 이용하여 유사도 분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 서식처 환경 분석

서식처 환경 분석 결과, 지점별 평균 수온은 30.49 (±1.51) ~ 32.79 (±2.18), 평균 pH는 7.84 (±0.09) ~ 8.23 (±0.29), 평균 용존산소량은 3.48 (±0.98) ~ 5.45 (±1.28), 평균 전기전도도는 481.32 (±53.63) ~ 501.67 (±12.34), 평균 수심은 28.07 (±1.36) ~ 31.27 (±0.86)으로 나타났으며 (Table 1),

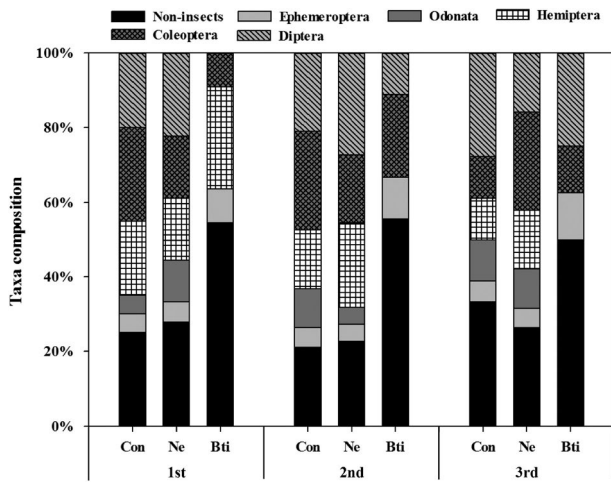


Fig. 2. Changes in taxa composition according to study times (Con: control, Ne: natural enemy).

지점별 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었다( $p=0.875$ ). 하상구조는 gravel과 sand로 구성되어 조사시기별 변동은 없었으며, 식물군락은 붉은토끼풀 (*Trifolium pratense*)로 모든 지점에서 동일한 것으로 나타났다. 정수생태계에서 수질 등의 서식처 환경특성은 저서성 대형무척추동물의 종 구성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나 (Shaalan and Canyon 2009), 본 연구에서는 지점간에 비교적 유사한 환경을 나타내고 있어 서식처 특성에 의한 종 구성의 차이는 적은 것으로 생각된다.

## 2. 종 조성

본 연구기간 동안 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 11목 22과 38종 4,818개체가 출현하였으며, 방제 기법별 조사시기에 따른 저서성 대형무척추동물의 출현 종비율은 다음과 같다 (Fig. 2). 대조지점은 비곤충류, 딱정벌레목이 7종 (25.93%), 천적지점은 비곤충류, 파리목이 7종 (24.14%), Bti 지점은 비곤충류가 7종 (43.75%)로 가장 다양하게 출현하였으며, 조사기간 동안 대조지점과 천적지점은 비교적 유사한 종 구성을 나타내는 것으로 분석되었다. 반면 Bti 지점은 다른 지점에 비해 단순한 종 구성을 나타내는 것으로 분석되었으며, 특히 파리목의 변동이 크게 나타나는 것으로 나타났다. 따라서 기법별 조사시기에 따른 파리목의 종 수 및 개체수 변동을 분석하였다 (Fig. 3). 조사기간 동안 파리목은 대조지점에서 3~6종, 천적지점에서 4~5종으로 유

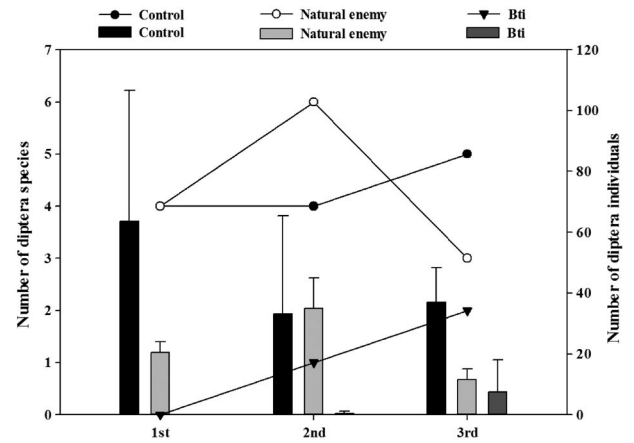


Fig. 3. Number of Diptera species and the ratio of individuals by the mosquito control techniques (Line plot: number of species, vertical bar: number of individuals).

사한 것으로 나타났으나, 평균 개체수는 대조지점에 비해 천적지점에서 비교적 낮은 것으로 분석되었다. 천적생물을 이용한 모기유충 방제는 자연생태계에서 모기유충 외에도 non-target species에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Boyce et al. 2013). 따라서 천적지점에서 잔물땀땀이 유충이 모기유충에게 미친 영향을 명확히 파악하기에는 어려움이 있으나, 조사기간 동안 천적지점의 종 구성이 대조지점과 비교적 유사하게 나타나 특정 분류군에 미치는 영향이 비교적 적은 것으로 분석되었다. 반면 Bti 지점의 1차 조사시기에는 파리목의 출현이 확인되지 않았으며, 단기간 파리목의 변동이 가장 크게 나타나는 것으로 분석되어 파리목에 직접적인 영향을 미치는 Kästel et al. (2017)의 연구 결과와 유사하게 나타난 것으로 판단된다.

## 3. 군집 분석

군집분석을 실시한 결과, 조사기간 동안 천적지점에서 비교적 안정적인 군집을 나타내는 것으로 분석되었다 (Table 2). 대조지점의 2차 조사시기에는 물달팽이, 원돌이물달팽이의 개체수 증가로 인해 우점도지수가 높게 나타난 것으로 판단되며, 조사시기별 천적지점과 비교적 유사한 양상을 나타내는 것으로 분석되었다. 정수생태계의 주요 포식자인 OHC (Odonata-Hemiptera-Coleoptera)-group은 다른 생물을 포식하는 것으로 알려져 있으며 (Jakob and Poulin 2016), 이는 대조지점에서 서식하고 있는 OHC-group이 다른 생물을 섭식함으로써 종 수 및 개체수 변동에 영향을 미

**Table 2.** Results of cluster analysis by the mosquito control techniques at the study sites

		<i>DI</i>	<i>H'</i>	<i>J'</i>	<i>RI</i>
Control	1st	0.69	1.80	0.60	3.15
	2nd	0.77	1.57	0.53	2.93
	3rd	0.51	2.04	0.71	3.12
	Mean (±SD)	0.66 (±0.13)	1.80 (±0.24)	0.61 (±0.09)	3.07 (±0.12)
Natural enemy	1st	0.61	1.92	0.66	3.24
	2nd	0.56	2.05	0.66	3.55
	3rd	0.59	1.99	0.68	3.17
	Mean (±SD)	0.59 (±0.03)	1.99 (±0.07)	0.67 (±0.01)	3.32 (±0.20)
Bti	1st	0.87	1.18	0.49	2.25
	2nd	0.79	1.19	0.54	1.51
	3rd	0.57	1.58	0.76	1.42
	Mean (±SD)	0.74 (±0.16)	1.32 (±0.23)	0.60 (±0.14)	1.73 (±0.46)

*DI*: Dominance index, *H'*: Diversity index, *J'*: Evenness index, *RI*: Richness index

**Table 3.** Results of similarity analysis on the mosquito control techniques

	Con-2	Con-3	Ne-1	Ne-2	Ne-3	Bti-1	Bti-2	Bti-3
Con-1	75.68	66.67	61.11	66.67	64.86	53.33	51.85	30.77
Con-2		74.29	68.57	73.68	72.22	48.28	53.85	40.00
Con-3			64.71	70.27	74.29	50.00	56.00	41.67
Ne-1				64.87	74.29	50.00	40.00	41.67
Ne-2					78.95	51.61	42.86	51.85
Ne-3						48.28	46.15	48.00
Bti-1							63.16	44.44
Bti-2								66.67

\**p*<0.05, Con: Control, Ne: Natural enemy

칠 것으로 판단된다. 따라서 기존에 서식하고 있는 OHC-group에 잔물땀땀이 유충을 추가하는 방법을 적용한 천적 지점이 대조지점과 비교적 유사한 군집양상을 나타낸 것으로 판단된다. 반면 Bti 지점은 조사시간 동안 비교적 불안정한 군집양상을 나타내었으며, 3차 조사시기에는 대조 지점 및 천적지점과 비교적 유사한 군집양상을 나타내는 것으로 분석되었다. 이는 Zequi and Lopes (2007)의 연구 결과와 유사하게 지속적으로 Bti의 영향을 받은 1차, 2차 조사시기에 비해 Bti를 투여하지 않은 3차 조사시기에 Bti의 영향이 비교적 감소한 결과인 것으로 판단된다.

#### 4. 통계분석

각 지점에 서식하는 파리목과 모기유충을 대상으로 수질과의 상관성 분석을 실시한 결과, 파리목과 기온, 수온은 음의 경향성을 나타내었으며, 모기유충과 기온은  $-0.610^*$ , 수온은  $-0.674^*$ 로 유의한 음의 상관성을 나타내는 것으로 분석되었다. 선행연구에 의하면 모기유충은 20~27°C의 수

온에서 가장 높은 생존율을 나타내고, 적정수온 이상에서는 성충화 기간이 단축되어 유충 개체수가 감소하는 것으로 알려져 있다(Bayoh and Lindsay 2004). 따라서 본 연구에서 생물학적 모기유충 방제기법이 적용된 천적지점과 Bti 지점에서 잔물땀땀이 유충과 Bti의 영향 외에도 기온 및 수온으로 인해 모기 유충의 개체수 변동에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 조사시기별 지점에 따른 출현종을 대상으로 유사도 분석을 실시한 결과, 천적지점의 2차, 3차조사시기가 78.95%로 가장 높은 유사도를 나타내는 것으로 분석되었다(Table 3). 대조지점과 천적지점은 조사시기별 61.11~73.68%의 유사도를 나타내었으며, Bti 지점은 30.77~56.00%의 유사도를 나타내어 천적지점에 비해 대조지점과 유사도가 낮은 것으로 분석되었다. 이는 천적지점의 잔물땀땀이 유충은 모기유충 외에도 다른 분류군의 생물을 포식하여 특정 분류군에 미치는 영향이 적은 반면에 Bti는 파리목 전체에 영향을 미쳐 OHC-group과 같은 predators가 간접적인 영향을 받은 결과로 (Shaalan and Canyon 2009; Jakob and Poulin 2016) 천적지점은 대조지점과 비교

적 유사한 종조성을 유지하고, Bti 지점에서는 비교적 종변동이 크게 나타난 결과인 것으로 판단된다.

본 연구의 천적생물인 잔물땀땀이 유충은 실험실 조건에서 하루 최대 약 900개체를 섭식할 수 있어 생물학적 방제에 대한 가능성이 높은 종으로 알려져 있다(Baek *et al.* 2014). 하지만 자연적인 환경에서는 천적생물의 먹이가 모기유충 외에도 다양한 생물종이 서식하고 있어 모기유충에 대한 섭식율이 감소하게 된다(Boyce *et al.* 2013). 이러한 특성으로 잔물땀땀이 유충이 특정 분류군에게 미치는 영향이 적게 나타난 것으로 판단되며, 이로 인해 조사기간 동안 생물학적 모기유충 방제기법이 적용되지 않은 대조지점과 유사한 종조성 및 안정적인 군집을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 천적생물은 서식처 적응기간 등이 필요하며 1주일 후에 가장 높은 포식율을 나타내며, 지속적인 방제가 이루어지기 위해서는 선호하는 환경을 지속적인 관리 등이 필요한 것으로 알려져 있다(Kumar and Hwang 2006; Katayama *et al.* 2013). 따라서 천적생물을 이용한 모기유충의 방제는 시간적 측면을 고려하여 장기적으로 지속적인 방제가 이루어 질 수 있는 환경에 적합한 기법인 것으로 판단된다. 반면 단기간 저서성 대형무척추동물의 종조성에 영향을 미친 Bti 기법은 Bti 투여 후 약 24시간 이후에 가장 높은 효과를 나타내고 약 14일 동안 약효가 지속되는 것으로 알려져 있다(Zequi and Lopes 2007). 본 연구에서도 Bti 지점의 3차 조사시기에 비해 Bti의 영향을 받은 1차, 2차 조사시기에 단기간 파리목의 변동이 크게 나타나 가장 불안정한 군집을 나타낸 것으로 분석되었다. 이는 단기간에 Bti의 약제효과가 천적기법에 비해 높지만 지속효과는 천적기법에 비해 낮은 결과인 것으로 판단된다. 또한, Bti는 파리목 이외에 다른 분류군에게 직접적인 영향을 미치지 않으나, 정수생태계의 주요먹이원인 깔따구류의 감소로 인해 OHC-group이 간접적인 영향을 받아 먹이원이 풍부한 서식처로 이동하게 되는 것으로 알려져 있다(Katayama *et al.* 2013; Kästel *et al.* 2017). 본 연구에서도 Bti 지점에서 파리목 외에 비곤충류, 하루살이목 등의 종수, 개체수에는 큰 변동이 없는 것으로 분석되었으며, 정수생태계의 주요 포식자인 OHC-groups의 출현이 다른 지점에 비해 빈약한 것으로 나타났다. 따라서 천적기법은 종다양성이 높고 비교적 안정적인 군집을 나타내며 지속적인 관리가 이루어지는 습지환경에서 장기적인 효과를 기대할 수 있는 장소에 적합한 기법인 것으로 판단되며, Bti 기법은 단기간 모기유

충의 방제가 필요하고 서식하는 생물의 다양성이 낮은 하수구, 웅덩이, 폐타이어 등의 환경에 적합한 기법인 것으로 생각된다. 하지만 본 연구는 단기간에 하나의 습지유형을 대상으로 실시한 연구 결과로, 조사시기 및 습지유형 등을 고려하여, 다양한 환경에서 잔물땀땀이 유충과 Bti가 저서성 대형무척추동물에게 미치는 영향에 대한 장기적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 2018년 7월 20일부터 2018년 8월 1일까지 안산시 단원구에 위치한 화랑유원지 오토캠핑장의 집수정에서 연구를 실시하였으며, 조사지점은 기법별로 대조지점, 천적지점, Bti 지점을 선정하였다. 서식처 환경 분석 및 채집된 저서성 대형무척추동물을 대상으로 종조성, 군집분석, 상관성 분석, 유사도 분석을 실시하여 잔물땀땀이, Bti가 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향을 파악하였다. 서식처 환경 분석 결과, 수질항목은 지점간 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었으며( $p > 0.05$ ), 하상구조 및 식물군락이 유사하여 서식처 특성에 의한 종조성의 차이는 적을 것으로 판단된다. 조사기간 동안 총 11목 22과 38종 4,818개체가 출현하였으며, 천적지점은 대조지점과 비교적 유사한 종조성을 나타내는 것으로 분석되었다. 반면 Bti 지점은 다른 지점에 비해 단순한 종조성을 나타내었으며, 파리목의 종수 및 개체수가 가장 빈약한 것으로 분석되었다. 군집분석 결과, 조사기간 동안 Bti 지점에서 불안정한 군집양상을 나타내었으며, 천적지점은 비교적 안정적인 군집양상을 나타내는 것으로 분석되었다. 파리목과 모기유충을 대상으로 수질과의 상관성 분석을 실시한 결과, 파리목과 기온, 수온은 음의 경향성을 나타내었으며, 모기유충과 기온은  $-0.610^*$ , 수온은  $-0.674^*$ 로 유의한 음의 상관성을 나타내는 것으로 분석되었다. 출현종을 대상으로 유사도 분석을 실시한 결과, 대조지점과 천적지점은 조사시기별 61.11~73.68%, Bti 지점은 30.77~56.00%의 유사도를 나타내어 천적지점에 비해 대조지점과 유사도가 낮은 것으로 분석되었다. 본 연구는 단기간의 연구 결과로 습지유형 등을 고려하여, 다양한 환경에서 생물학적 모기유충 방제 기법이 저서성 대형무척추동물에게 미치는 영향에 대한 장기적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 한국환경산업기술원(과제번호: 2016000210003, 생물학적 모기방제 기술의 현장적용, 생태계 영향평가 및 유지관리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Baek HM, DG Kim, MJ Baek, CY Lee, HJ Kang, MC Kim and YJ Bae. 2014. Predation efficiency and preference of the Hydrophilid water beetle *Hydrochara affinis* (Coleoptera: Hydrophilidae) larvae on two mosquitos *Culex pipiens molestus* and *Ochlerotatus togoi* under laboratory conditions. Korean J. Environ. Biol. 32:112-117.
- Bayoh MN and SW Lindsay. 2004. Temperature-related duration of aquatic stages of the Afrotropical malaria vector mosquito *Anopheles gambiae* in the laboratory. Med. Vet. Entomol. 18: 174-179.
- Boyce R, A Lenhart, A Kroeger, R Velayudhan, B Roberts and O Horstick. 2013. *Bacillus thuringiensis israelensis* (BTI) for the control of dengue vector: systematic literature review. Trop. Med. Int. Health 18:564-577.
- Cummins KW. 1973. Trophic relation of aquatic insects. Ann. Rev. Entomol. 18:183-206.
- Jakob C and B Poulin. 2016. Indirect effects of mosquito control using bti on dragonflies and damselflies (Odonata) in the Camargue. Insect Conserv. Divers. 9:161-169.
- Jeong HM, HR Kim and YH You. 2013. A study on the ecosystem service of wetland 1. effective biological control of the mosquito larvae using native fishes. J. Wet. Res. 15:19-24.
- Jeong SJ. 2018. Mosquito Control by the Release of Fish Predators *Misgurnus mizolepis* in Natural Mosquito Breeding Rice Paddies. University of Kosin Press, Busan.
- Kästel A, S Allgeier and CA Brühl. 2017. Decreasing *Bacillus thuringiensis israelensis* sensitivity of *Chironomus riparius* larvae with age indicates potential environmental risk for mosquito control. Sci. Rep. 7:13565.
- Katayama N, T Goto, F Narushima, T Amano, H Kobori and T Miyashita. 2013. Indirect positive effects of agricultural modernization on the abundance of Japanese tree tadpoles in rice fields through the release from predators. Aquat. Ecol. 47:225-234.
- Kil MR, DA Kim, SK Paek, JS Kim, SY Choi, DY Jin, YN Youn, IC Hwang, M Ohba and YM Yu. 2008. Characterization of *Bacillus thuringiensis* subsp. *tohokuensis* CAB167 isolate against mosquito larva. Korean J. Appl. Entomol. 47:457-465.
- Kumar R and JS Hwang. 2006. Larvicidal efficiency of aquatic predators: a perspective for mosquito biocontrol. Zool. Stud. 45:447-466.
- Kwon OK. 1990. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea. Mollusca (I). Ministry of Education Press, Seoul.
- Lee TB. 2003. Coloured Flora of Korea. Hyangmunsa Publisher Press, Seoul.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. Gen. Syst. 3:36-71.
- McCafferty WP. 1981. Aquatic Entomology: The Fisherman's and Ecologist's Illustrated Guide to Insects and Their Relatives. Science Book International, Boston, MA.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. Nature 216:168-169.
- Merritt RW, KW Cummins and MB Berg. 2008. An Introduction to the Aquatic Insects of North America (4th ed.). Kendall Hunt Publishing, Dubuque, IA.
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity. John Wiley & Sons Press, New York.
- Shaanan EAS and DV Canyon. 2009. Aquatic insect predators and mosquito control. Trop. Biomed. 26:223-261.
- Shaanan EA, DV Canyon, M Reinhold, WFM Yones, H Abdel-Wahab and A Mansour. 2007. A mosquito predator survey in townsville, Australia and an assessment of *Diplonychus* sp. and *Anisops* sp. predatorial capacity against *Culex annulirostris* mosquito immatures. J. Vector Ecol. 32:16-21.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Song GR. 1995. Systematics of the Hirudinea (Annelida) in Korea. University of Korea Press, Seoul.
- Verschoyle RD and WN Aldridge. 1980. Structure activity relationship of some pyrethroids in rats. Arch. Toxicol. 45:325-329.
- Won DH, SJ Kown and YC Jun. 2005. Aquatic Insects of Korea. Korea Ecosystem Service Press, Seoul.
- Yang BG. 2004. Current situation of re-emerging malaria and elimination plan in Republic of Korea. J. Korean Med. Assoc. 47: 686-688.
- Yu HS, DK Lee and WJ Lee. 1982. Mosquito control by the release of fish predator, *Aphyocypris chinensis* in natural mosquito breeding habitats of rice paddies and stream seepage in South Korea. Korean J. Entomol. 12:61-67.
- Zequi JAC and J Lopes. 2007. Biological control of *Culex* (*Culex*) *saltanensis* dyar, (Diptera, Culicidae) through *Bacillus thuringiensis israelensis* in laboratory and field conditions. Rev. Bras. Zool. 24:164-168.