

# 제주도 궁대오름 일대 교란정도가 다른 연못의 수서곤충 분포 특성에 관한 연구

고경훈 · 김동순<sup>1,2\*</sup>제주자연생태공원, <sup>1</sup>제주대학교 생명자원과학대학(SARI), <sup>2</sup>제주대학교 아열대생명과학연구소

## A Study on the Characteristics of Aquatic Insect Fauna in Differently Disrupted Ponds Located in Gungdaeoreum, Jeju

Gyeong Hun Ko and Dong-Soon Kim<sup>1,2\*</sup>

Jeju Nature Park, Jeju 63630, Korea

<sup>1</sup>Major of Plant Resources Science and Environment, College of Agriculture & Life Sciences, SARI, Jeju National University, Jeju 63243, Korea<sup>2</sup>The Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

**ABSTRACT:** This study was conducted to understand the distribution characteristics of aquatic insects in ecologically different ponds in terms of the disruption. We investigated the fauna of aquatic insects in three artificial ponds (pond 1, 2 and 3) and two natural ponds (pond 4 and 5) located within 1 km each other around Gungdaeoreum in Jeju Island, from March 2018 to June 2020. A total of 50 species belonging to 15 families were found in the surveyed ponds: total 850 individuals with 14 species in 4 families of the order Odonata, total 4,391 individuals with 14 species in 6 families of the order Hemiptera, and total 2,014 individuals with 22 species in 4 families of the order Coleoptera. In overall, total abundance and species numbers were relatively higher than those of artificial pond in natural ponds in which animal and plant ecosystems were well established. In the case of artificial ponds, the number of individuals and species recovered rapidly when reconstituted by introducing aquatic plants, etc. (Pond 1). The nymphs of Odonata were observed largely in ponds without natural enemies such as large fish, and where adults could freely access without interception by artificial structure. Phytophagous Corixidae of the order Hemiptera were abundant, and Haliplidae populations of the order Coleoptera were affected by the distribution of the plants. Accordingly, the major factors affecting aquatic insect abundance were identified as the presence of refuges such as the topography and aquatic plants and presence of predators. Species of the order, Odonata were vulnerable based on these factors. Our results can be useful as basic information for the restoration of wetlands and construction of artificial wetlands or for conservation of species diversity in the future.

**Key words:** Wetlands, Ecological ponds, Aquatic insects, Restoration

**초록:** 본 연구는 교란 정도가 다른 정수역 연못에서 수서곤충 분포 특성을 이해하고자, 2018년 3월부터 2020년 6월까지 제주도 궁대오름 일대 3곳의 인공연못(연못 1, 2, 3)과 2곳의 자연연못(연못 4, 5)에서 조사를 진행하였다. 총 3목 15과 50종의 곤충이 확인되었으며, 잠자리목 4과 14종, 850 개체, 노린재목 6과 14종, 4,391 개체, 딱정벌레목 4과 22종, 2,014 개체가 확인되었다. 수서곤충의 개체수와 종의 수는 상대적으로 기존 동식물 생태계가 안정적으로 잘 조성된 자연연못에서 인공연못보다 높게 나타났다. 인공연못의 경우도 수초 등을 도입하여 재조성한 경우 개체수와 종수가 회복되는 현상을 보였다(연못 1). 잠자리목 유충은 포식자인 대형 어류가 존재하지 않고 성충의 진입이 차단되지 않는 연못에서는 다수 발견되었다. 노린재목의 경우 식식성인 물벌레과의 곤충들이 전체적으로 많이 발견되었으며, 딱정벌레목은 식물생태계 분포에 따라 물진드기과의 개체수에 영향을 받았다. 이렇게 수서곤충상 변화에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 지형과 수생식물을 통한 은신처와 포식자의 존재가 가장 큰 것으로 파악되었으며, 잠자리목에서 가장 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다. 본 결과는 향후 습지를 복원 및 인공 습지를 조성하거나 종 다양성 보전을 위한 기초 자료로 유용할 것으로 생각된다.

**검색어:** 습지, 생태 연못, 수서곤충, 복원

\*Corresponding author: [dongsoonkim@jejunu.ac.kr](mailto:dongsoonkim@jejunu.ac.kr)

Received August 7 2020; Revised November 22 2020

Accepted November 23 2020

수생곤충 혹은 수서곤충(aquatic insects)은 환경변화에 민감하고 서식처 특성에 따라 종 특이적 내성 범위 특성으로 인해 군집 구조가 달라지는 특징을 가지고 있어 수서 환경의 지표생물(indicator animal)로 활용되고 있다(Yoon, 1995; Won et al., 2008; Francis and Robert, 2009). 수서곤충은 해안에 사는 몇 종을 제외하고 대다수가 하천, 호수 등 내륙 습지와 수역에서 서식하고(Friedlander, 1976), 먹이 섭식 방식과 먹이 종류에 따라 분류되기도 한다(Yoon, 1995). 또한 수서곤충은 습지 환경에 가장 민감하게 반응하는데 수질 오염에 민감하며 용존 산소량이 높은 유수역을 선호하는 곤충이 있는가에 반해 정수역을 선호하는 곤충들은 오염원 유입과 같은 문제가 생겼을 때 대피할 수 있는 이동성을 갖추고 있다(Moon, 2019).

국내의 수서곤충 연구는 주로 분포와 군집 구조를 대상으로 하며(No and Jeon, 2004), 일부 서식지 복원, 습지 생태계 평가 등의 연구가 이루어진 바 있다(Nam et al., 2006). 또한 섭식 능력에 따른 곤충군의 분류와 습성에 대한 연구도 이루어져 왔다(Wee et al., 1992). 제주도 정수습지 102곳에서 수서곤충의 출현 종별 분포와 범위 그리고 식성에 대한 연구 결과 대다수가 제한적인 고도의 범위에 서식하고 포식성을 가진 것으로 보고된 바 있다(Jeong et al., 2010).

수서곤충이 서식하는 습지는 육상(terrestrial system)와 수계(aquatic system) 사이의 전이대(ecotone)로서(Cowardin et al., 1979) 다양하고 생산성이 높은 생물상을 가지고 있고(Dobson and Frid, 2008), 수문의 저장과 영양물질의 저장 및 변형 등의 기능을 포함하는(USGS, 1999) 생태계 서비스다. 이러한 습지는 해당 지역의 수질 정화 능력과 함께 경제적, 문화적, 생태적 가치가 매우 높아 예로부터 식수용, 농업용, 방화용, 세척용, 축산용으로 이용되었는데 한동안 그 가치를 인정받지 못하고 무분별하게 개발되어 많이 파괴되었고(Kim, 2003), 폭염 등 기상 측면에서의 부작용으로 인해 더 많은 녹지와 농지를 잃는 것을 대비해야 하는 수준까지 이르렀다(Kim et al., 2018a). 이러한 상황 속에서 습지를 복원 또는 조성하기 위한 노력이 진행되기 시작하였고(Kim and Shin, 2006; Kim et al., 2018b), 습지를 조성하기 위하여 생태 연못을 인위적으로 만드는 시도가 이루어졌다(Kim and Jo, 1999). 국내에서는 서울의 도시 습지 생물 다양성 향상을 위한 복원 및 관리 기법이 연구되었고(Jang and Han, 2013), 유효 농경지를 습지 복원으로 활용하기 위하여 적합한 지역을 선정하기 위한 평가 항목을 적용할 수 있는 분석기법이 제안되기도 하였다(Im, 2007).

이렇게 조성되어진 생태 연못의 생물 종 다양성을 복원하기 위하여 해당 생태계의 생물상 조사가 필요하다. 이 때문에 인제 혹은 사고로 인한 환경오염, 불가피한 기후 변화와 같은 상황

또는 간벌, 공사와 같은 생태계의 기본 구성을 변화시키는 작업을 수행했을 때 지표생물 중 하나인 수서곤충상의 변화를 모니터링 하는 것이 중요하다. 다목적댐과 같은 대형 토목 건설에 의한 곤충상 변화를 연구하여 사업 진행에 따른 변화 양상을 확인하였으며(Im, 2015), 반대로 종 다양성을 증진하기 위하여 곤충생태원을 조성 후 4년에 걸쳐 곤충상의 변화를 모니터링하여 생태원 내의 종 다양성의 증진을 증명한 연구도 진행되었다(Choi et al., 2003).

본 연구의 목적은 근거리 지역 내에서 교란 정도와 관리상태가 상이한 정수역 연못에서 수서곤충상을 비교하고 분포 실태를 이해하기 위하여 수행하였다. 또한 건천이 많고 습지가 적으나 강수량이 많고 아열대성 식물 종이 많은 제주도 습지의 특성(Jang and Lee, 2009)과 환경에 따른 수서곤충상의 변화를 알아보고자 하였다. 또한 추후 습지를 복원하거나 인공 습지를 조성할 때 초기 인공 습지의 종 다양성 보전을 위한 생태계 설계의 기초 자료를 제공할 수 있다.

## 재료 및 방법

### 조사연못(습지)의 특성

연못(습지)의 특성에 따른 수서곤충상을 조사하기 위하여 제주도 서귀포시 궁대오름에 주변에 위치한 인공연못 3곳과 자연 연못(습지) 2곳을 선정하였다. 각 연못은 일반적인 명칭이 존재하지 않아 St. 1부터 St. 5로 표기하였다. 각 연못은 거리가 1 km 이상 떨어져 있지 않은 정수역 이었고 고도차는 30 m를 넘지 않았다. 각 연못의 특성은 Table 1과 같았으며, 수심은 매월 첫 조사 시기에 가슴 장화를 착용 후 물속으로 들어가서 스테인리스 소재의 1 m 자를 이용해 측정하였다. 2018년 1월 이전의 St. 1의 경우 콘크리트 구조물에 적합한 수심 수치를 기재하였다. 참고로 곤충상에 영향을 미칠 수 있는 수생식물 목록과 수중 척삭동물의 목록을 제시하였다(Supp. Table S1 and S2, available online). 해당 생물들은 조사 시기마다 육안으로 판단하여 기록하였으며 식물상의 경우 Braun-Blanquet (1964)의 조사 기준에 따라 대략적으로 피도계급 3이상인 경우 최우점종으로 기록하였다.

연못 St. 1은 지표면 아래에 콘크리트로 형성된 1400 × 500 × 140 cm (가로, 세로, 깊이)의 직육면체 형태로 이루어진 저수시설로 농업용수가 상시 공급되는 구역이었다. 2019년 1월 3일부터 1월 10일까지 바위와 토양을 투입하여 전체적인 높이를 상승시켜 수위를 140 cm에서 평균 82 cm로 낮추고 수초를 활착시켰다. 또한 2019년 4월 17일에 잉어 8개체와 붕어 15개체를 방생하였다. 이 연못은 지속적인 농업용수가 흘러 항상 같은 수

**Table 1.** Characteristics of the ponds surveyed for aquatic insects in this study

Site No.	Pond type	Altitude (m)	Coordination		Flooring material	Average maximum depth of water (m)	Terrain characteristics
			latitude (N)	longitude (E)			
St. 1	Artificial	184	33° 26' 10"	126° 49' 30"	Concrete (to Jan. 2018)	1.40	Cuboid
					Muds, Rocks (from Jan. 2018)	0.82	Cuboid, Rock islands
St. 2	Artificial	192	33° 26' 23"	126° 49' 26"	Concrete, Muds	0.84	Crater shape, Rock island
St. 3	Artificial	193	33° 26' 22"	126° 49' 26"	Waterproof cloth, Muds	0.90	Crater shape
St. 4	Natural	177	33° 26' 18"	126° 49' 35"	Bed rocks, sand, soil	0.71	Gentle slope
St. 5	Natural	165	33° 26' 25"	126° 49' 46"	Muds	0.94	Gentle slope

위가 유지되며 연못 속의 경사가 직각으로 이루어져 일정한 수위가 유지되므로 깊은 곳, 얇은 곳이 구분되지 않아 수위가 다양하지 않았다. 연못 St. 2와 St. 3은 궁대오름 제주자연생태공원 내에 존재하는 2곳의 조류 보호 사육장 시설에 인공적으로 만들어진 생태 연못이며, 2016년 5월에 각각 콘크리트 구조물과, 방수포로 물을 고이게 하여 연못을 조성하였다. St. 1과 다르게 완만한 경사를 이루고 있어 연못 중심으로 들어갈수록 깊어지는 특징을 가지고 있다. St. 2의 경우는 대형 초식 동물(노루, 말)의 먹이 활동으로 인해 조사 기간 내 수초는 침수성 식물인 붕어마름 1종을 제외하고 절멸한 상태로 있었다. St. 4와 St. 5는 자연 습지형 연못인데, St. 4는 궁대오름 탐방로 입구로 들어오는 길에 형성된 연못으로 암반으로 이루어져 있으며 인위적인 간섭이 전혀 없는 곳이다. St. 5는 궁대오름 근처에 있는 목장 내에 존재하는 습지 연못이고 목장의 말들이 음용으로 활용하고 있으며 바닥은 진흙으로 구성되어 있다. 추가로 5개의 연못 모두 포식성 수서곤충들의 주 먹이가 될 수 있는 양서류의 유생들이 대량 확인되었다.

이와 같이 조사대상으로 선정한 연못은 교란 정도와 관리 상태에 차이가 있었다. 따라서 수서곤충상에 어떤 영향을 미치는지 파악하는데 적당하였다.

### 조사방법

각 연못에서 가장 깊은 수역, 가장 얇은 수역 그리고 수초가 가장 많은 구역 총 세 구역을 선정하여 조사하였다. 각 구역 내에서 채집망(지름: 500 mm, 망목 크기: 20mesh, 길이: 1.2 m)과 족대(망목 3 × 3 mm)를 이용하여 물속 바닥면을 5 m 길이로 긁어내는 방법을(Southwood, 1978; Jeong et al., 2010) 3회 취하여 합한 것을 1개 표본으로 하여 3반복 채취하였다. 채집은 수서곤충들의 은신과 비행이 적은 야간 시간대인 오후 8시부터 10시 30분 사이에 실시되었으며, 조사는 2018년 3월 5일부터

2020년 6월 27일까지 월 2-3회씩 총 45회를 진행하였다. 3월에서 10월까지 조사하고 겨울철에는 조사를 수행하지 않았다. 현장에서 육안 동정이 가능한 경우에는 육안 관찰을 통하여 동정하였으며, 불가능한 곤충은 세척 후 50cc 코니컬 튜브에 70% Ethanol 용액을 넣어 보관하여 제주자연생태공원 실험실에서 동정하였다. 수서곤충의 동정은 Yoon (1995), Jeong (2009) 그리고 Kim et al. (2013)에 따랐고, 잠자리 유충은 한국 잠자리 유충(Jeong, 2016)에 따랐다. 곤충명은 한국곤충명집(Anonymous, 1994)의 학명을 사용하였다. 추가로 상기 문서에 포함되지 않고 최근에 명명된 종은 해당 종의 보고 논문의 학명(Lee et al., 2014)을 사용하였다.

### 분석방법

연못 내 수서곤충상 비교에 중점을 두었기 때문에 연못 주변 상공에서 관찰되는 잠자리목 성충, 일부 일시적으로 물에서 생활하는 잎벌레는 조사목록에서 제외하였다. 연못별 채집된 개체수와 종 수는 전체 총 개체수(3반복 평균) 뿐만 아니라 목별 또는 계절별(봄=3-5월, 여름=6-8월, 가을=9-10월)별 구분하여 표본(구역) 당 평균을 계산하여 분석을 실시하였으며, 통계적 유의성이 있는 경우(유의수준 5%) 평균간 비교는 Tukey 검정을 적용하여 분석하였다(SAS Institute, 2013).

### 결과

#### 출현 수서곤충의 총 종 수와 개체수

이번 연구 결과 3년간 총 3목 15과 50종을 조사하였고 물장군과 물방개 2종의 법정 보호종이 확인되었다. 분류군별로 잠자리목(Odonata) 4과 14종, 노린재목(Hemiptera) 6과 14종, 딱정벌레목(Coleoptera) 4과 22종이었다(Table 1). 발견된 각 종

의 종류와 개체수는 보충자료에 제시하였으며(Supp. Table S3, available online), 이 중 아시아실잠자리, 밀잠자리, 물벌레, 방물벌레, 꼬마물벌레, 송장해엄치개, 애송장해엄치개, 꼬마등글벌레, 소금쟁이, 땅콩물방개, 중국물진드기, 알락물진드기, 잔물땡땡이가 5개의 연못 전체에서 확인되었다. 자연 연못에서만 출현한 종은 고추잠자리, 고추좀잠자리, 하나잠자리, 깃동잠자리, 방게아재비, 호랑물방개, 물방개, 애물방개, 물맴이, 남방물땡땡이 총 10종이며 이 중 6종은 단 한곳에서만 출현하였다. 방게아재비, 남방물땡땡이와 같이 고도분포가 한정되어 있거나 발견되기 힘든 종(Jeong, 2006; Jeong et al., 2010), 호랑물방개와 최근 미기록종으로 등록된 종(Lee et al., 2014), 물방개와 같이 멸종 위기 야생 동식물로 지정되어 개체수가 적은 종, 애물방개와 같이 발생 정보가 부족한 종들이 발견되었다.

관찰된 수서곤충 중 가장 많은 개체수를 보인 것은 방물벌레로 총 1,369개체 그 다음으로 꼬마물벌레가 총 663개체, 꼬마등글벌레 600개체, 이후 송장해엄치개 537개체, 물벌레 531개체가 발견되었으며 해당 종들은 모든 연못에서 관찰되었다(Supp. Table S3, available online).

### 각 연못의 수서곤충의 개체수 비교

각 연못의 수서곤충들의 면적당 총 개체 수와 목별 개체수의 차이를 조사한 결과는 Table 2와 같았다. 연못에 따라서 조사기간 중 전체 채집된 수서곤충 개체는 통계적으로 차이가 있었다(df=4, 10; F=87.74; P<0.0001). 인공연못인 St. 1~3의 경우 자연연못 대비 상대적으로 개체수가 적은 것으로 확인되었다. 각 목(Order)별 개체수의 차이도 알 수 있었는데 우선 잠자리목을 비교한 결과 자연 습지에 해당하는 St. 4, 5의 경우는 모든 과정에서 다양한 종의 잠자리 유충이 다수 발견된 것을 확인되었다. 이는 인공연못 3지역과 유의미하게 차이가 있는 것을 확인하였다(df = 4, 10; F = 36.26; P < 0.0001).

노린재목과 딱정벌레목의 경우 인공연못 St. 2, St 3 두 지역

이 다른 연못보다 개체 수가 적게 관찰되며 이를 제외한 연못들이 전부 유의미한 개체 수의 차이가 있는 것을 확인하였다(Hemiptera : df = 4, 10; F = 160.53; P < 0.0001, Coleoptera : df = 4, 10; F = 15.62; P = 0.0003).

### 시간의 변화와 환경 차이에 따른 각 연못의 수서곤충 종수와 개체수와 비교

2018년도부터 2020년도 조사기간까지 월별 수서곤충의 출현 종의 수와 개체 수를 비교한 결과는 Fig. 1과 같았다. 대체로 5월부터 증가하는 모습을 보이며 8월 사이에 많은 종이 출현하는 것이 확인되었다.

연못 내의 각 목별 개체수의 변동은 Fig. 2와 같았다. 전체 연못에서 노린재목과 딱정벌레목에 경우 Fig. 1의 분포처럼 3월에서 개체수가 증가추세를 보여 5월에서 8월 사이에 많은 종이 출현하고 이후 하락하는 것이 확인되었다. 잠자리목의 경우 모든 연못에서 5월에서 8월 사이에 개체수가 증가하는 현상을 보이지 않았으며, St. 1의 경우 2018년 초기 조사시기에는 전체 연못 중에 가장 많은 잠자리 유충이 발견되었으나, 이후 급감하여 2019년부터는 거의 관찰 되지 않았다. 노린재목은 2018년도에는 80개체까지 조사되는 시기가 있었으나, 2019년도에는 조사 평균 10개체를 넘기지 않았다. St. 2~5의 경우 연평균 비슷한 개체 수 변동을 나타내었고 상대적으로 노린재목에 해당하는 곤충의 종 개체수가 가장 많고 그 다음 딱정벌레목, 잠자리목 순으로 종 개체수가 많은 것을 확인하였다. 이 중 St. 3에서는 St. 2와 비슷한 정도의 노린재목 개체수가 관찰되지만 잠자리목과 딱정벌레목에서 더 다양한 종의 수서곤충들이 관찰되었으며, St. 4와 St. 5는 시간에 경과에 따른 종 수와 개체 수에 큰 변화가 없었다.

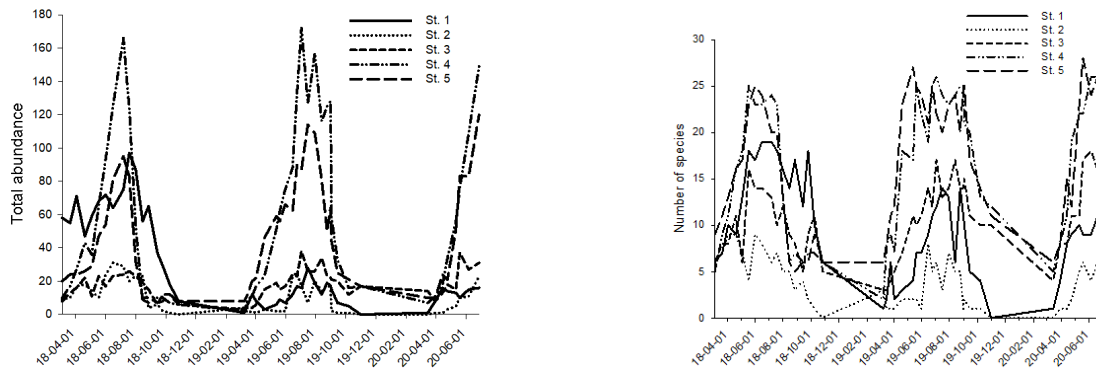
각 연못의 계절에 따른 구역당 평균 개체수를 조사한 결과 Table 3과 같았다. 2018년 봄부터 2020년 여름까지 각 계절마

**Table 2.** Summary of the number of families and species of aquatic insects found during this survey in each pond (see Supp. Table S3. for details, available online)

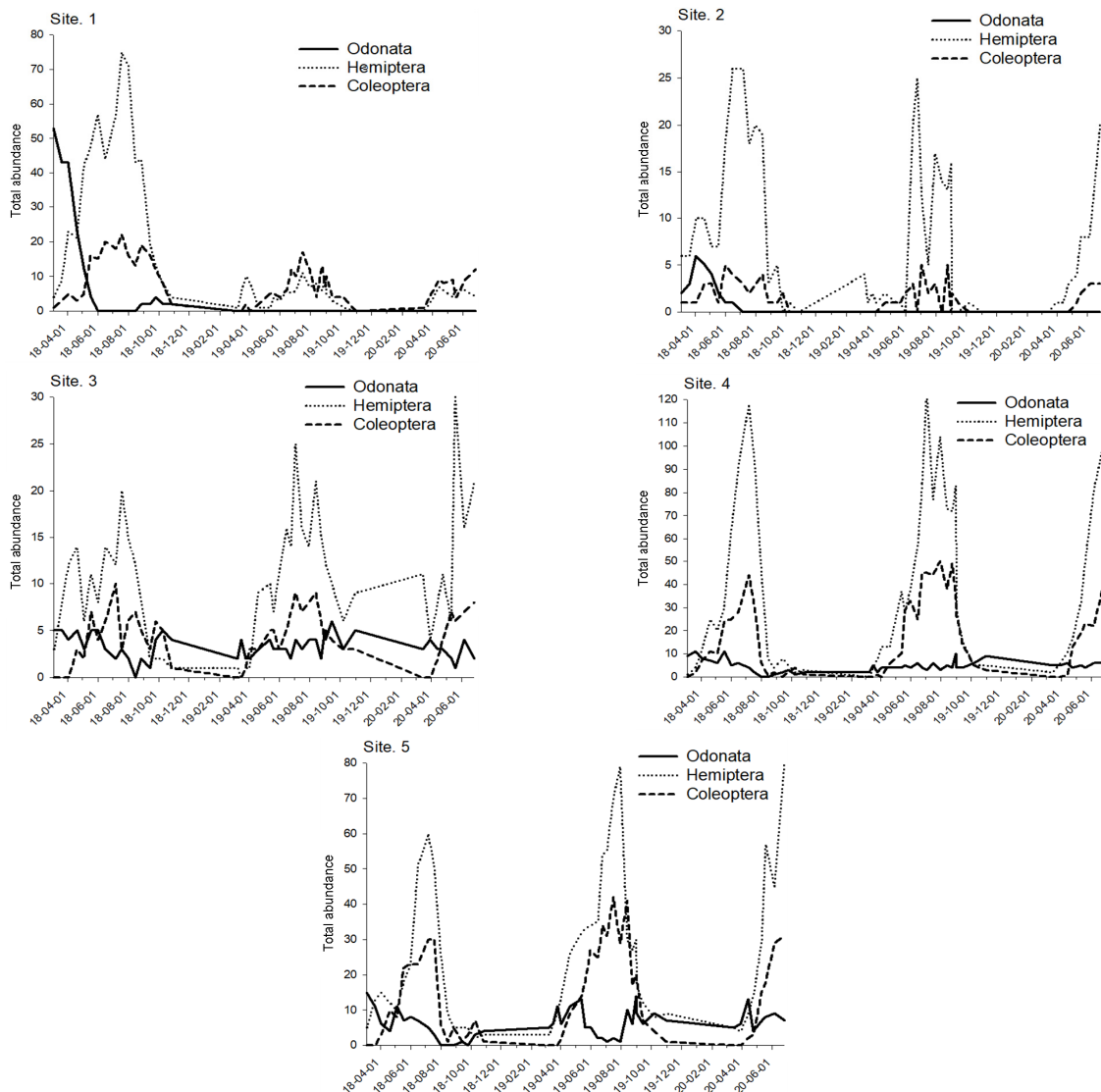
Order	Family	Species	Species per pond (Population average)				
			Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Odonata	4	14	6 (63.3 ± 5.89b <sup>1</sup> )	3 (8.0 ± 1.25c)	8 (49.3 ± 3.78b)	12 (71.0 ± 3.30ab)	14 (91.7 ± 5.30a)
Hemiptera	6	14	9 (240.0 ± 6.51c)	8 (120.7 ± 8.91d)	12 (156.0 ± 9.42ad)	13 (567.0 ± 6.60a)	11 (380.0 ± 14.52b)
Coleoptera	4	22	16 (122.7 ± 10.98bc)	4 (23.3 ± 3.31d)	13 (64.0 ± 12.39d)	19 (258 ± 2.90a)	21 (203.3 ± 34.47b)
Total	14	50	31 (426.0 ± 2.29bc)	15 (152.0 ± 7.59c)	33 (269.3 ± 2.88c)	44 (896.0 ± 31.44a)	46 (675.0 ± 43.87ab)

The values in parentheses indicate the average number of individuals (Mean±SE) per sample found in the survey period.

<sup>1</sup>The means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test (P<0.05).



**Fig. 1.** Temporal changes in the abundance (total no. of individuals)(above) and species numbers (below) of aquatic insects in 5 ponds of Gungdaeurem in Jeju Island, South Korea.



**Fig. 2.** Temporal variation of the total abundance of aquatic insects according to the insect order in each pond. The population of Odonata at Site 1 was frequently discovered in the beginning of 2018, but thereafter the number of observations decreased sharply, and the population was rarely found in 2019.

다 연못의 평균 개체수는 통계적으로 차이가 있었다. 2018년 봄에는 St. 1에서 다른 연못보다 가장 많은 개체수가 발견되었으며(df = 4, 10; F = 29.76; P < 0.0001) 같은 해 여름에는 St. 1과 St. 5에서 비슷하게 많은 개체군들이 발견되었다(df = 4, 10; F = 40.90 P < 0.0001). 가을에도 St. 1에서 상대적으로 다른 연못에 비해 개체군들이 발견되었으나 전체적으로 개체군 수가 줄어들었다(df = 4, 10; F = 22.75; P < 0.0001). 2019년 봄에는 자연 연못인 St. 4-5가 인공 연못보다 더 많은 개체수가 발견되었으며(df = 4, 10; F = 122.56; P < 0.0001), 여름에만 자연 연못의 개체군 차이가 있었으나(df = 4, 10; F = 46.89; P < 0.0001) 가을까지 상대적으로 자연 연못에서 많은 개체수를 확인하였다(df = 4, 10; F = 70.82; P < 0.0001). 이와 같은 양상은 2020년 봄(df = 4, 10; F = 33.77; P < 0.0001)과 여름초기(df = 4, 10; F = 102.93; P < 0.0001)까지 유지되었다.

각 연못에서 계절별 관찰된 종의 수와 평균 종의 수를 조사한 결과는 Table 4와 같았다. 각 연못 계절별로 유의미한 개체 수 차이가 있는 것을 확인하였다(2018 Spring : df = 4, 10; F =

5.61; P < 0.0001, 2018 Summer : df = 4, 10; F = 45.93; P < 0.0001, 2018 Fall : df = 4, 10; F = 15.11; P < 0.0001, 2019 Spring : df = 4, 10; F = 49.80; P < 0.0001, 2019 Summer : df = 4, 10; F = 44.08; P < 0.0001, 2019 Fall : df = 4, 10; F = 14.62; P < 0.0001, 2020 Spring : df = 4, 10; F = 21.10; P < 0.0001, 2020 Summer : df = 4, 10; F = 133.18; P < 0.0001). 2018년도 가을을 제외하고 전체적으로 자연 연못인 St. 4-5에서 평균적으로 인공 연못보다 많은 곤충의 종이 발견되었으며 St. 1은 2018년도까지는 자연 연못과 비슷하거나 더 다양한 종이 발견되었으나 2019년도부터 관찰되는 종 수가 줄어들었다. St. 2에서는 전기간 타 연못 대비 가장 적은 종이 관찰되었다. St. 3은 대체적으로 자연 연못보다 적은 종이 발견되었으나 St. 2보다 다양한 개체가 발견되었고 2019년도부터는 St. 1과 비슷한 수치의 종이 발견되었다.

St. 3의 경우 St. 2와 비슷한 정도의 수서곤충 개체수가 관찰되지만 더 많은 종 수의 수서곤충들이 관찰되었다. 이는 많은 수초와 바위, 진흙으로 인한 지형의 은신 공간과 같은 특성으로

**Table 3.** Seasonal changes in total abundance (no. of individuals per sample) of aquatic insect species in each pond

Pond	2018			2019			2020	
	Spring	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall	Spring	Summer
St. 1	19.89 ± 1.03a <sup>1</sup>	24.57 ± 2.13a	7.67 ± 0.30a	2.17 ± 0.14bc	5.83 ± 0.27c	2.25 ± 0.24c	3.44 ± 0.16bc	5.17 ± 0.98c
St. 2	4.33 ± 0.31c	7.33 ± 0.74c	0.67 ± 0.31b	0.71 ± 0.19c	5.83 ± 0.83c	0.33 ± 0.07c	1.11 ± 0.28c	5.67 ± 0.49c
St. 3	5.17 ± 0.62c	7.00 ± 0.31c	3.00 ± 0.74b	3.46 ± 0.12b	9.00 ± 0.91c	5.83 ± 0.30b	5.83 ± 0.36b	9.67 ± 1.53c
St. 4	11.00 ± 1.04b	27.48 ± 0.85a	2.75 ± 0.31b	10.42 ± 0.75a	43.58 ± 3.67a	10.33 ± 0.68a	11.22 ± 1.02a	43.00 ± 1.65a
St. 5	9.44 ± 1.31bc	17.38 ± 1.20b	2.92 ± 0.36b	12.04 ± 0.30a	27.38 ± 2.20b	8.92 ± 0.49a	11.06 ± 0.86a	33.83 ± 1.96b

<sup>1</sup>The means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test (P < 0.05).

**Table 4.** Seasonal changes in the number of species of aquatic insect (no. of species per sample) in each pond

Pond	2018			2019			2020	
	Spring	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall	Spring	Summer
St. 1	14.0 ± 0.94ab <sup>1</sup> (21)	18.3 ± 0.54a (26)	11.7 ± 0.98a (19)	7.7 ± 0.54bc (15)	12.3 ± 0.98b (21)	5.7 ± 0.27bc (13)	11.0 ± 1.41bc (16)	8.7 ± 0.27c (15)
St. 2	6.7 ± 0.72b (12)	5.7 ± 1.19c (10)	2.0 ± 0.47c (5)	2.7 ± 0.27c (6)	6.7 ± 0.27c (10)	1.0 ± 0.47c (3)	3.7 ± 0.72c (8)	4.7 ± 0.27d (8)
St. 3	9.7 ± 1.78ab (20)	12.7 ± 1.09b (19)	9.0 ± 0.94ab (16)	9.3 ± 0.98b (20)	14.3 ± 1.19b (27)	13.0 ± 1.41ab (19)	11.3 ± 1.44b (24)	12.0 ± 0.47b (21)
St. 4	18.3 ± 1.52a (34)	23.3 ± 0.27a (34)	6.3 ± 0.27b (16)	21.3 ± 1.91a (36)	24.7 ± 0.54a (39)	15.0 ± 2.05a (29)	21.0 ± 0.82a (32)	21.3 ± 0.98a (33)
St. 5	16.3 ± 2.60a (34)	22.0 ± 0.94a (36)	7.0 ± 0.82b (16)	24.7 ± 0.98a (39)	23.0 ± 1.25a (40)	14.0 ± 1.41a (29)	21.3 ± 1.91a (38)	23.3 ± 0.54a (30)

The values in parentheses indicate the number of species found during each season, did not overlap.

<sup>1</sup>The means with same letters in a column are not significantly different by Tukey test (P < 0.05).

인해 St. 2와 같은 특정 종군의 절멸 현상이 일어나지는 않았다. 또한 2018년 5월부터 2019년 10월까지 St. 1과 같은 포식자인 잉어 등의 대형 어류가 존재하였으나 이 지역은 St. 1과 다르게 어류들이 출입하지 못하는 수위가 낮은 구역에서 종 다양성이 유지될 수 있었고, 개체수에 큰 영향을 미치지 않았다. 추가로 2019년도 6월부터 물장군의 서식이 확인되었는데, 같은 시기에 서식이 확인된 St. 4에 서식하던 개체군이 비슷한 시기에 해당 지역으로 이동하여 번식을 한 것으로 추정한다. St. 4와 St. 5는 시간에 경과에 따른 종 수와 개체 수에 큰 변화가 없었는데 2018년 7월 중순부터 8월 말까지 지속된 폭염으로 인해 연못의 물이 고갈되는 상태가 발생하면서도 시간이 지나고 강우 등으로 인해 습지가 재생되면서 생존한 수서곤충들과 외부 다른 습지에서 유입된 수서곤충들로 인해 곤충상이 회복된 것을 알 수 있었다. 이에 따라 단기적인 연못 생태계의 붕괴는 곤충상에 큰 영향을 주지 않으며 순환적인 습지 내 붕괴 현상이 일어나더라도 수심과 수질이 이전과 비슷한 수준으로 회복되면 해당 지역의 곤충상도 이전과 같은 수준으로 회복될 수 있다는 결론을 내릴 수 있었다. 마지막으로 St. 5에는 미꾸리와 참붕어와 같은 어류가 존재하였으나 St. 1의 잉어와는 다르게 수서곤충에 대한 포식자의 역할을 하지 못하기 때문에 어류들의 영향으로 인한 개체수의 변동이 일어나지는 않았으며 어류가 없는 St. 4와 비교하여 개체 수 차이가 크지 않은 것으로 본다.

## 고찰

생태적으로 상이한 연못에서 수서곤충의 개체수와 종 수는 상대적으로 기존 동식물 생태계가 안정적으로 잘 조성된 자연 연못이 인공연못보다 많이 나타났다. 인공연못은 초기 지형 구성과 식물상 천이가 자연 습지 대비 단순하여 많은 곤충군이 서식할 수 있는 환경이 조성되어 있지 않은 것으로 판단된다. 인공 연못에서도 다양한 수생식물을 인위적 입식하고, 바위와 진흙 같은 다양한 지형 조성이나 어류와 양서류 등과 같은 먹이, 천적 동물의 인위적인 유입을 시켰을 때 개체수와 종 수의 변화를 유발할 수 있을 것이다. 이러한 측면에서 본 연구에서 조사한 5개 연못의 수서곤충상의 발생상의 특성에 대하여 고찰하였다.

계절에 따른 수서곤충의 개체수와 종 수의 변화도 대체적으로 자연연못이 인공연못보다 더 많은 개체수와 종 수를 보여주었다. 다만 2018년도에만 자연연못 St. 4~5가 인공연못 St. 1에 비해 개체수와 종 수가 비슷하거나 적은 적이 있었는데 당시 저수지로 활용되던 St. 1에서 수중의 올챙이와 수면의 생태숲의 나뭇잎들이 부유물로 존재하고 천적의 위험이 없어 이를 먹이로 하는 다수의 왕잠자리목과의 유충과 물벌레목이 발견되었

고, 같은 해 폭염으로 인해 8월부터 St. 4~5의 연못의 물이 여름에 2주 동안 고갈되어 수서곤충들이 일시적으로 도태되었다. 이후 수위가 회복되고 난 후에 여름철 개체수는 2018년도보다 많은 수치를 기록하였으며, St. 1은 인공연못으로 재조성 후에 다른 인공연못 St. 2~3과 비슷한 개체 수와 종 수를 기록하기 시작하였다.

생태연못의 수서곤충의 목(Order) 비율은 대체적으로 노린재목에서 가장 많은 개체수가 확인되었으며, 그 다음 딱정벌레목, 잠자리목 순으로 확인되었으나 종 수는 딱정벌레목에서 가장 다양하게 발견되었다. 잠자리목의 경우 자연연못에서는 모든 과에서 다양한 종의 잠자리 유충을 발견할 수 있었으나, 인공 연못에서는 특정과에 편중된 모습을 확인 할 수 있었다. 실잠자리과와 청실잠자리과는 인공 연못 St. 1~3 중 St. 3에서만 다수 관찰되었는데 St. 1~2의 경우는 식물생태계가 제대로 형성되어 있지 않아 실지렁이나 물벼룩, 갈따꾸 유충과 같은 주 먹이가 부족한 점이 가장 크지만 어느 정도 식물생태계가 자리 잡은 St. 3에서는 침수 우점된 검정말 사이로 다수의 곤충들이 발견된 것을 확인할 수 있었다. 왕잠자리과의 경우는 사육장 알파망 케이지가 있는 St. 2와 St. 3에서는 실잠자리과와 달리 날개를 접을 수 없고 큰 크기로 인해 케이지를 통과할 수 없어 출입 자체가 불가하여 거의 발견되지 않은 경우로 판단된다. 이 연못에는 먹이생물인 올챙이가 다수 존재하였으므로 출입이 원활하였을 때에는 많은 개체수가 발견될 수 있었을 것으로 추정한다. 이는 출입이 용이한 St. 1이 Fig. 1에서 확인되는 것처럼 같이 초기에 많은 잠자리 유충들이 다수 확인되었는데, 전부 왕잠자리과였고 이 당시에는 식생 조성이 전혀 없고 양서류 유생이 풍부한 상황이었다. 이후 인공 연못으로 재조성된 이후 관찰되지 않았는데 이는 재조성 당시 유입된 잉어와 같은 대형 어류의 여파로 잠자리 유충들이 피식되어 개체수가 급감한 것으로 판단된다. 잠자리과의 경우 대체적으로 자연 연못에서 더 다양한 종과 많은 개체수가 확인되었으며 자연 연못에서도 St. 5에서 상대적으로 더 관찰되었다. 이는 잠자리의 유충은 바닥의 진흙에서 많이 관찰되었는데 바닥층에 숨어 지내기 쉬운 환경을 갖춘 St. 5에서 많이 생존하였기 때문이다. 하지만 예외적으로 밀잠자리같이 소수의 개체군이 모든 연못에서 관찰이 되기도 하였으며, 분포 범위가 상당히 넓은 된잠잠자리(Lee, 2015)의 경우는 성체가 직접 연못으로 출입할 수 없는 St. 3에서도 일정 개체수가 발견되었는데 이에 관해서는 추가적인 연구가 필요하다.

노린재목에서는 식물의 수액을 빠는 물벌레과의 속하는 곤충들이 가장 많이 관찰되었다. 상대적으로 식물생태계가 빈약한 St. 2에서 가장 적은 개체수가 나왔으며 기본적인 식물생태

계가 풍부한 자연 연못 St. 4-5에서는 다수가 관찰되는 것이 확인되었다. 포식성을 갖는 다른 노린재목은 5개 연못 모두 올챙이와 같은 충분한 양의 먹이 생물이 존재하였기 때문에 부유성 활동을 하며 이동성이 좋은 송장헤엄치게는 전체적으로 다수가 관찰되었으며 이는 식물의 영향을 크게 받지 않는다는 것을 확인 할 수 있었다. 물장군과와 장구애비과는 St. 1~2에서 관찰되지 않았는데 타 노린재목 곤충 대비 큰 크기로 인해 은신이 상대적으로 어렵고 특히 St. 1의 경우 잉어와 같은 포식자의 존재, 상대적으로 깊은 수심 그리고 수중성 식물과 같은 은신처와 휴식처 부재로 인해 전혀 발견할 수 없었다. 소금쟁이과 역시 식물의 영향에 큰 영향을 받지 않는 것으로 보이나 등빨간소금쟁이, 애소금쟁이와 같이 일부 지역에만 관찰된 종도 있는데 이는 절대적인 개체수가 적거나 이동성이 크지 않아 특정 지역에 국지적으로만 발견되는 것으로 판단된다.

딱정벌레목의 경우 종마다 약간의 지역적 차이를 보이고 있지만 대체로 수중 내 실지렁이, 물벼룩과 같은 미소 절지동물을 먹이로 하는 물진드기과를 제외하고는 식물생태계가 마련되어 있지 않은 St. 2에서 거의 관찰되지 않았다. 이는 수생식물이 없는 상태로 포식활동과 분해 활동을 겸하는 수서 딱정벌레의 유입이 다른 연못에 비해 적었고, 외부 이동이 자유로운 일부 물진드기와 같은 소형 딱정벌레와 노린재목의 일부만 살아남은 것으로 추정한다. 동물성 먹이가 풍족한 5개 연못에서 대다수가 포식성을 가진 딱정벌레의 분포 개체 수의 결과는 연못 내 식물생태계의 분포, 자유로운 이동성으로 인한 서식지 선택, 그리고 갑각 등으로 인해 어류와 같은 외부 동물의 공격으로부터 다른 곤충목에 비해 상대적으로 안전함으로 인해 생긴 현상으로 추정한다.

시간에 따른 수서곤충 개체수는 기존 제주도 내 수서 딱정벌레 분포에 관한 연구의 결과와 같은 양상을 보였으며(Jeong, 2006), 이러한 양상은 수서 노린재목에도 적용할 수 있었다. 그러나 잠자리목이 유충은 수서곤충이 가장 많이 관찰되는 5월에서 8월 사이에 다수가 관찰되지 않고 그 전후에도 비슷한 개체수가 관찰되거나 더 많은 경우를 보이기도 하였는데, 잠자리목의 경우 수서곤충들이 가장 활발하게 활동하는 시기에 대부분 성충으로 물 밖에서 활동하기 때문이다. 인공 연못 3지역은 조성된지 5년이 채 되지 않은 채 방치되었거나 불완전한 식물생태계를 갖추고 있었으므로 세월의 경과 혹은 인위적 조경을 통해 다양한 지형과 식물생태계가 조성이 되면 자연연못에 준하는 수서곤충 개체수와 종 수를 관찰할 수 있을 것이다.

본 연구는 같은 지역 내의 생태적 차이가 있는 연못의 곤충상 분포의 특성과 차이를 알아보고 이에 따라서 종 다양성을 유지시킬 수 있는 생태연못 조성을 위한 기초 자료를 제시하기

위함이다. 수서곤충상에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 수생식물을 통한 은신처와 먹이확보, 지형의 복잡한 정도와 포식자의 존재가 가장 큰 것으로 파악되며 유충 시기만 물속에서 보내는 잠자리목에서 가장 큰 영향을 받는다. 또한 대형 어류와 같은 포식자가 유입되어 피식이 강제되었을 경우 수서곤충상의 종 다양성이 단순해지는 현상이 일어날 수 있다. 따라서 습지 복원을 위한 인공연못을 조성할 때 수서곤충상의 종 다양성을 위해서는 다양한 수위를 이룰 수 있게 지형적으로 변화를 두어서 얕은 지역과 깊은 지역을 혼재시킬 수 있는 것이 중요하고 다양한 식물상의 존재는 해당 식물을 섭식하거나 산란처, 은신처로 쓰는 곤충들의 유입 효과를 가져 올 수 있다. 또한 대형 민물 어류와 같은 외부 수생 동물의 유입을 제한할 필요가 있다. 이번 연구 결과는 일시적인 환경변화와 인공 연못이 막 조성된 이후에 식물상 천이가 제대로 이루어지지 않은 상황에서의 조사가 이루어졌으므로 시간이 지나면서 더 다양한 식물상의 구축과 외부 곤충들의 유입이 계속해서 유지될 것이므로 수생식물의 식물상과 우점도에 따른 곤충상의 차이를 지속해서 모니터링을 하여 인위적인 생태 연못 조성과 그 과정, 그리고 조성 이후의 시간 변화에 따른 수서곤충상 변화에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 추가로 조사할 필요가 있을 것으로 판단한다.

## Acknowledgements

Part of this study was conducted with research grants provided by Jeju Nature Park.

We are grateful to Sustainable Agriculture Research Institute (SARI) in Jeju National University for providing the experimental facilities.

## Supplementary Information

Supplementary data are available at Korean Journal of Applied Entomology online (<http://www.entomology2.or.kr>).

## 저자 직책 & 역할

고경훈: 제주자연생태공원, 연구원; 실험수행 및 분석, 원고 작성

김동순: 제주대, 교수; 자료분석, 원고작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.



## Literature Cited

- Anonymous, 1994. Check list of insects from Korea. The Entomological Society of Korea & Korean Society of Applied Entomology. Kon Kuk University Press.
- Braun-Blanquet, J., 1964. Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde, 3 Aufl. Springer, Wien.
- Choi, Y.C., Kim, G.Y., Park, H.C., Lee, Y.B., Kim, J.G., Choi, J.Y., Sim, H.S., Moon, T.Y., 2003. Changes of Insect diversity after construction of the insect garden. Korean J. Appl. Entomol. 42, 35-38.
- Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C., LaRoe, E.T., 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States, U.S. Department of the interior, Fish and Wildlife Service Office of Biological Services.
- Dobson, M., Frid, C., 2008. Ecology of aquatic systems. 2nd ed. Oxford university Press Inc.
- Francis, O., Robert, B., 2009. Ecological integrity of upper Warri River, Niger Delta using aquatic insects as bioindicators. Ecol. Indic. 3, 455-461.
- Friedlander, C.P., 1976. The biology of insects. Hutchinson, London.
- Im, J.R., 2015. Change of Insect fauna by construction of national multipurpose dam. Ms. thesis, Kyungpook National University, 32 p.
- Im, Y.R., 2007. A study on selecting suitable abandoned farmland site for wetland restoration to promote biodiversity : Focusing on Gounpo Ban-wol river watershed. Ms. thesis, Seoul National University, 102 p.
- Jang, J.H., Han, B.H., 2013. Method of restoration and management for biodiversity improvement of urban wetlands in Seoul. Ph.D. thesis, Seoul National University, 317 p.
- Jang, Y.C., Lee, C.W., 2009. Gotjawal rorest in Jeju Island, an internationally important wetland. J. Wetl. Res. 11, 99-104.
- Jeong, G.S., 2009. A systematic study on the larvae of Aeshnidae (Odonata) from Korea. Ms. thesis, Andong National University, 75 p.
- Jeong, G.S., 2016. Academic Series 3 Odonata larvae of Korea. Econature, Seoul, Korea.
- Jeong, S.B., 2006. The aquatic insects (Coleoptera) fauna and characteristics of distribution in Jeju island. Ms. thesis, Jeju National University, 56 p.
- Jeong, S.B., Oh, H.S., Jeon, H.S., Yang, G.S., Kim, W.T., 2010. Aquatic insects fauna and characteristics of distribution on Jeju Island wetlands. J. Wetl. Res. 12, 35-45.
- Kim, G.G., 2003. Wetland and environment. Academy books, Seoul, Korea.
- Kim, G.G., Jo, D.G., 1999. The Effects of the biodiversity increase after creation of the artificial wetland. J. Korean Inst. Landsc. Archit. 75, 1-17.
- Kim, G.H., In, S.R., Sohn, C., 2018a. Effects of conversion of paddy field to urban use on the ground meteorological elements of nearby area under heat wave. Korea Spat. Plan. rev. 99, 113-130.
- Kim, M.C., Cheon, S.P., Lee, J.G., 2013. River ecosystems and freshwater invertebrates. Geobook, Seoul, Korea.
- Kim, N.Y., Song, Y.G., Lee, G.H., 2018b. Change in the wetland vegetation structure after the ecological restoration. J. Korean Env. Res. Tech.. 21, 95-113.
- Kim, S.B., Shin, H.J., 2006. A study on the value extraction of wetlands through restoration costs. J. Wetl. Res. 8, 83-92.
- Lee, D.H., Lee, S.H., Ahn, K.J., 2014. *Hyphydrus falckenstromi* Gschwendtner and *Sandracottus mixtus* (Blanchard) (Coleoptera: Dytiscidae) new to Korea. Korean J. Appl. Entomol. 53, 35-38.
- Lee, S.Y., 2015. The Distribution pattern of Odonata insects in wetland on Halla Mountain. Ms. thesis, Jeju National University, 53 p.
- Moon, M.Y., 2019. Studies on the relationships between biological traits and environmental characteristics of aquatic insects. Ms. thesis, Kyung Hee University, 33 p.
- Nam, S.H., Park, Y.J., Jo, Y.H., Oh, H.S., Kwon, O.S., Han, Y.G., 2006. Fauna of macroinvertebrates and composition of functional feeding groups about the aquatic insects to microhabitats from the Geum River, Korea. J. Ecol. Field Biol. 29, 415-425.
- No, T.H., Jeon, D.J., 2004. Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. Korean J. Limnol. 37, 137-149.
- SAS Institute, 2013. SAS OnlineDoc<sup>®</sup>, Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Southwood, T.R.E., 1978. Ecological methods. Halsted Press, Chapman and Hall, London.
- USGS (United States Geological Survey), 1999. Restoration, creation, and recovery of wetlands wetland function, values, and assessment, national water summary on wetland resources. United States Geological Survey Water Supply Paper Ref. 2425, USA.
- Wee, I.S., Jo, Y.G., Lee, J.B., Na, C.H., Kim, J.S., 1992. Feeding habits of 4 sublipalpien stoneflies (Plecoptera, Insecta). Korean J. Limnol. 25, 63-72.
- Won, D.H., Kwon, S.J., Jeon, Y.C., 2008. Korean aquatic insects. Ecological research team Co. Ltd., Gwacheon, Korea.
- Yoon, I.B., 1995. Search of aquatic insects with pictures and morphological key. Jungahaengsa, Seoul, Korea (In Korean).