

원주천의 월동수조류 군집에 영향을 미치는 환경요인 연구

박영욱·이황구*·원경호**·최준길*[†]

상지대학교 환경공학과

*상지대학교 생명과학과

**원주시청

A Study on the Environmental Factors Affecting the Population of the Wintering Waterbirds in Wonju-Stream

Yung Wook Park·Hwang Goo Lee*·Kyung Ho Won**·Jun Kil Choi*[†]

Department of Environmental Engineering, Sangji University, Korea

**Department of Biological Science, Sangji University, Korea*

***Wonju City hall, Wonju-si, Korea*

(Received : 02 August 2017, Revised: 01 October 2017, Accepted: 01 October 2017)

요약

월동수조류의 군집에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위하여 원주천을 6구간으로 나누어 조류의 군집 및 하천의 크기, 기온, 수질, 저서성무척추동물, 어류를 조사하였다. 원주천에서 수조류의 군집에 영향을 미치는 요인은 하천의 구조 및 기온, 수질이었다. 하천의 구조 중 월동수조류의 군집에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 저수로의 폭과 흐르는 물의 넓이인 유폭으로 그 넓이가 넓을수록 월동수조류의 종수와 개체수가 많았으며, 둔치의 폭이 넓어서 저수로의 폭과 유폭이 좁아질수록 개체수는 적었다. 월동기의 기온 변화는 하천의 결빙으로 이어지므로 수조류의 군집에 영향을 미쳤으며 결빙되지 않는 구간은 기온의 하강과 상승에 뚜렷한 증가와 감소를 보였다. 수질조사 항목 중 pH, 수온, COD, BOD, T-N, T-P, 총대장균의 수치는 하류로 갈수록 증가하여 월동수조류의 개체수 증가와 높은 상관성을 보였는데 하류에 위치한 하수처리장의 영향으로 S6의 수질검사 항목의 수치가 높게 나타났으며 월동수조류의 개체수 또한 가장 많이 관찰되었다. 하수처리장 배출수는 수질에 상당한 영향을 미치는 것으로 보이는데 T-N을 비롯하여 여러 항목 수치의 증가는 하천의 영양화를 촉진시키고 이로 인해 유기물질의 축적과 수서생물의 증식을 가져옴으로 이를 먹이원으로 하는 월동수조류의 증가 원인이 될 수 있을 것으로도 여겨진다. 저서성 대형무척추동물의 군집과 어류의 군집은 원주천 모든 구간에서 대체적으로 양호한 것으로 나타났으나 월동수조류의 군집과의 상관성을 보이지 않았다.

핵심어 : 기온, 도시하천, 생태하천, 수질, 하천설계, 하수처리장

Abstract

In order to understand the environmental factors affecting the waterbird community in winter, we divided the watershed into 6 sections and investigated the size of the stream, the water quality, benthic invertebrates, and fish including birds. The influences on the community of water birds in Wonju stream were river structure, temperature and water quality. Among the structure of the river, the factors affecting the waterbird community in winter were the width of the stream and the width of the flowing water. The wider the width, the more species and the number of the winter waterbirds were. As the width of river water was wide, the smaller the width and width of the waterway, the fewer the population. The temperature changes of the wintering season affected the community of water birds because it led to freezing of rivers. The sections that were not frozen showed a significant increase and decrease in the temperature drop and rise. The values of pH, water temperature, COD, BOD, TN, TP and total E. coli increased with the increase of the downstream waterbirds population in the water quality survey. The water quality of S6 was affected by the downstream sewage treatment plant. The number of wintering waterbirds was also highest. The effluent from the sewage treatment plant seems to have a considerable influence on the water quality. The increase of several items such as TN promotes the nutrition of the river, which leads to the accumulation of organic matter and the proliferation of aquatic organisms. This may be the cause of the increase in winter waterbirds as a food source. The benthic macroinvertebrate communities and fish communities did not show any correlation with the wintering water-birds communities.

Key words : Ecological river, River design, Sewage treatment plant, Temperature, Urban river, Water quality

[†] To whom correspondence should be addressed.
Department of Biological Science, Sangji university, Korea
E-mail: jkilchoi@sangi.ac.kr

1. 서론

우리나라는 물새들에게 중요한 이동경로이자 월동지의 역할을 담당하고 있어(Li *et al.*, 2009) 서해안의 갯벌(Lee *et al.*, 2003)이나 천수만(Yoo *et al.*, 2008), 금강하구(Lee *et al.*, 2001, Kang *et al.*, 2010), 우포늪(Kang and Hahm, 1997), 주남저수지, 낙동강하구(Hong, 2004), 한강(Kang *et al.*, 2008) 등 다양한 습지 환경에서 많은 수의 조류가 월동한다. 전국의 도시하천 또한 적지 않은 수의 조류가 도래하여 월동하는 것으로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2010; Park and Park, 2012) 도시하천의 결빙되지 않는 구간은 기온의 영향을 많이 받는 월동수조류에게 좋은 월동지가 된다(Park *et al.*, 2017).

도시하천은 시민들의 생활에 중요한 기능을 담당하고 있어 생활용수, 하수 등 물의 이용뿐만 아니라 하천의 둔치는 운동, 휴식, 휴양, 주차, 통행 등의 역할을 제공함으로써 활용도가 매우 높다. 둔치를 따라 길게 조성된 보행로와 자전거 도로에는 운동하는 이들의 통행이 적지 않아서 도시하천에서 월동하는 조류에게 직·간접적 영향을 미친다. 또한 조류를 향해 돌을 던지거나 소리를 지르는 등 상당한 위협을 가함으로써 잦은 이동을 초래하기도 한다. 하천의 공원화로 인한 조류군집은 큰 폭의 변화를 보이는데(Kim and Koo, 2003), 생태하천 조성 방법에 따라 총수와 개체수가 증감될 수 있으므로(Kim *et al.*, 2003) 안정적인 조류의 군집 및 야생 동물 서식에 영향을 미치는 환경요인을 올바르게 파악하는 것이 건강한 도시하천을 설계하는데 도움을 줄 수 있음을 알 수 있다.

조류의 군집구조를 결정하는 가장 중요한 요인 중 하나는 식생분포, 수심, 하폭 및 기타 환경요인들과 같은 서식처 형태(Weller, 1999; Moon *et al.*, 2010)인데, 도시하천은 사람의 통행이 많을뿐만 아니라 하천의 공원화로 인하여 하상의 구조와 식생이 단순화 되어 있고, 도시에서 흘러드는 오염물질로 인하여 수질오염의 위험이 높으므로, 도시하천을 수조류의 안정적인 서식지와 건강한 생태하천으로 조성하는 것은 도시하천에 도래하는 조류뿐만 아니라 사람의 건강한 삶을 위해 매우 중요한 사안이라 여겨진다. 하지만 도시하천을 생태공원화 함에 있어서 거의 모든 하천에 건설되는 자전거도로나 보행자도로가 조류의 서식에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로(Kim and Koo, 2003) 야생동물의 안정적인 서식지 확보를 비롯한 건강한 생태하천을 조성하기 위한 기본적인 자료가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 월동수조류의 군집에 영향을 미치는 여러 환경 요인 중 하천의 크기, 기온, 수질, 먹이원(어류, 저서성대형 무척추동물) 등의 조사를 통해 건강한 야생동물의 서식지로서 도시하천의 설계 및 복원의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 조사지역

치악산에서 발원하여 원주시를 가로질러 섬강으로 유입되는 도시하천인 원주천을 조사지역으로 하였다. 조사구간은 원주시 관설동의 대평교에서 호지면 주산리의 주산교에 이르는

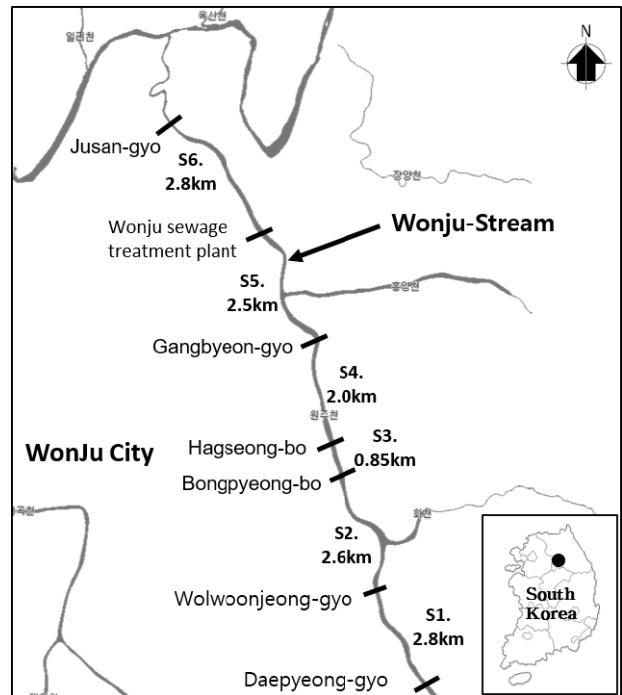


Fig. 1. Location of study sites in Wonju stream, Korea.

약 13.5km 구간이며, 도시하천에 도래하는 월동기 수조류의 군집에 영향을 미치는 환경요인을 알아보기 위하여 조사구간인 원주천 13.5km를 6구간으로 나누어 각 구간마다 도래하는 월동수조류의 개체수를 조사하였는데, 1구간(S1)은 대평교에서 월운정교에 이르는 2.8km, 2구간(S2)은 월운정교에서 봉평보에 이르는 2.6km, 3구간(S3)은 봉평보에서 학성보에 이르는 0.85km, 4구간(S4)은 학성보에서 강변교에 이르는 2.0km, 5구간(S5)은 강변교에서 하수처리장에 이르는 2.5km, 6구간(S6)은 하수처리장에서 주산교에 이르는 2.8km 구간이며, 구간별(S1~S6) 조류군집과 비교하기 위한 수질, 수서곤충, 어류에 대한 조사지점은, S1은 대평교, S2는 월운정교(수서 대형무척추동물, 어류), 치악교(수질), S3은 원주교, S4는 학성보 상류(수질)와 하류(수서 대형무척추동물, 어류), S5는 강변교 상류, S6은 주산교이다(Fig. 1).

2.2 조사지 개황

1구간(S1)은 대평교에서 월운정교까지 이어지는 2.8km 구간이며 첫 510m는 둔치가 없고 제방만 있는 구간으로 수로 외에 하천바닥 전체가 달뿌리풀을 비롯하여 여러 종류의 풀로 덮여 있으며, 이후 2.3km는 시민들이 산책이나 자전거를 탈 수 있도록 둔치가 깨끗하게 정리되어 있으며 저수로는 물이 흐르는 부분 외에 달뿌리풀 등의 초본류로 가득 차 있다. 2구간(S2)은 원주천에서 가장 변화한 곳으로 운동이나 산책하는 사람뿐만 아니라 주거지에서 상업지구로 이어지는 통행량이 많고, 인라인스케이트장, 게이트볼장, 축구장 등 둔치가 넓게 조성되어 있으며 주차장이 넓게 설치되어 있고, 주차장에는 새벽시장까지 열리고 있어 하천의 활용도가 아주 높은 곳이다. 3구간(S3)은 조사구간 중



Photo 1. Study area in Wonju-stream.

짧은 곳으로 봉평보에서 학성보까지 이어지는 850m 구간으로 S2에 맞닿아 있음으로 통행량이 많은 편이며 학성보로 인하여 넓게 가두어진 물에서 낚시를 하는 사람이 적지 않다. 4구간(S4)은 학성보에서 강변교까지 이어지는 2.0km 구간으로 둔치가 넓게 조성되어 있는 곳으로, 우안 둔치는 게이트볼장이나 주차장, 체육시설 같은 시설이 되어있으나 좌안 둔치는 관리되지 않아 자전거를 타거나 운동을 위해 통행하는 수가 적다. 하천 서쪽은 농경지이며 동쪽은 산이 인접해 있는 곳이 있어 주변환경은 나쁘지 않은 곳이다. 저수로가 가장 좁으며 수로 외의 하상에는 달뿌리풀, 갈대, 환삼덩굴 등의 초본류로 가득 차 있다. 5구간(S5)은 강변교에서 가현동에 위치한 하수처리장의 퇴수구 상류에 위치한 무명보까지 2.5km구간으로 서쪽으로는 공장지대가 있고 동쪽으로는 주거지와 군부대가 넓게 자리 잡고 있는 곳이다. 낚시나 운동을 위해 통행량이 적지 않으며 하류 500m는 둔치가 없어 제방으로만 차량과 사람의 통행이 가능한 곳이다. 6구간(S6)은 원주천의 하류이며 하수처리장에서 주산교까지 이어지는 2.8km이다. 1.1km는 둔치에 자전거 도로가 조성되어 있으나 이후 하류쪽으로는 제방 위에 자전거 도로가 연결되어 있어 둔치가 조성되지 않은 곳으로 저수로의 폭 및 유폭이 가장 넓은 곳이다(Photo 1).

2.3 조사방법

월동수조류에 대한 조사는 겨울철새의 이동기와 월동기에 해당하는 2015년 10월부터 2016년 4월, 2016년 10월부터 2017년 4월까지 주 1회씩 56차례 실시하였다. 조사시간은 수조류의 이동이 적은 오전 10시부터 오후 4시에 실시하였으며(Shin *et al.*, 2016), 주산교를 기점으로 강변을 따라 자전거와 도보로 이동하며, 정점조사법(Point census)과 선조사법(Line census)을 병행하여 조사하였다. 개체식별과 개체수는 쌍안경(Leica 8×20)과 망원경(Field scope, Swalovski 85 mm x20-60)을 이용하여 확인하였다.

원주천의 수질은 2014년 11월 27일부터 2017년 1월 2일까지 10차에 걸쳐 수온, BOD, COD, DO, SS, pH, 전기전도도, T-N, T-P, 대장균, 10가지 항목을 조사하였다. 저서성 대형무척추동물과 어류는 봄과 가을에 각각 1회씩 총 4회 조사하였는데 2015년에는 5월 26일과 9월 2, 3일에, 2016년에는 5월 20일, 9월 23일에 실시하여 월동기 전과 후의 조사 결과를 통하여 수조류의 월동기 군집과 비교하였다.

2.4 분석방법

상관성분석을 위하여 SPSS 통계프로그램(IBM SPSS Statistics v21.0)을 사용하였으며 개체수 정리 및 수식은 엑셀(Excel 2016) 프로그램을 사용하였다. 기온은 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr)의 원주기상대 자료를 이용하였으며, 저서성 대형무척추동물과 월동수조류 군집의 비교분석은 개체수와 종조성을 비롯하여 ESB(Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community)지수와 저서동물지수인 BMI(Benthic Macroinvertebrate Index) 값을 구하여 비교분석하였으며, 어류와 월동수조류 비교분석은 어류평가지수인 FAI(Fish Assessment Index)를 이용하였다.

우점도지수를 알아보기 위하여 각 조사차수별로 2의 우점종을 선정하였으며, 지수의 산출방법은 Mcnaughton's dominance index(DI)에 의거하였다(McNaughton's, 1967). 종다양도지수(Species diversity)는 Shannon의 지수인 H'(Index of Shannon diversity)를 이용하였으며(Shannon and Weaver, 1949), 종풍부도지수(Species richness)는 Margalef(1958)의 지수인 RI(Index of Margalef diversity)를 이용하였다. 분석에 사용된 식은 다음과 같다.

$$\text{우점도(Dom.\%)} = \frac{n_i}{N} \times 100(\%)$$

(n_i: 한 종의 개체수, N: 전체 개체수)

$$\text{우점도지수(DI)} = \frac{N(n_1+n_2)}{N}$$

(N: 전체 개체수, n₁,n₂: 우점종의 개체수)

종다양도지수(H') = $-\sum (ni/N)\ln(ni/N)$
 (ni: 한 종의 개체수, N: 지역의 총 개체수)
 균등도지수(J') = $H' / \ln S$
 (H': 다양도, S: 전체 종수)
 종풍부도지수(RI) = $(s-1)/\ln(N)$
 (s: 전체 종수, N: 관찰된 총 개체수)

3. 결과 및 고찰

3.1 월동기 원주천의 구간별 조류군집현황

56회의 조사기간 동안 원주천에서 관찰된 수조류는 5목 8과 44종으로 각 종의 최대개체수 합은 4,204개체였으며, 평균 14종 1,537개체, 최소 10종 363개체, 최대 20종 3,189개체를 기록하였다.

원주천의 1구간에 도래한 월동수조류는 5목 7과 17종 232개체였고, 2구간은 5목 7과 21종 44개체, 3구간은 5목 7과 22종 302개체, 4구간은 4목 6과 16종 345개체, 5구간은

5목 8과 26종 988개체, 6구간은 5목 7과 33종 3,085개체였다. 4구간이 가장 적은 목, 과, 종을 기록했으며, 5구간이 가장 많은 과를 기록했고 6구간이 가장 많은 종수와 개체수를 기록했다(Fig. 2). 개체수와 종수는 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. S3은 S2에 비해 개체수가 줄어든 것처럼 보이나 이는 구간의 길이에 따른 원인으로 S3의 구간 길이가 850m로 다른 구간에 비해 짧은 점을 감안하면 상당히 많은 종과 개체수가 관찰되었음을 알 수 있었다.

1구간의 조사차수별 관찰된 종수 및 개체수는 평균 4.96종(±1.16)으로 최대 8종, 최소 2종, 평균개체수 52(±29.74)개체로 최대 140개체에서 최소 3개체였으며, 2구간은 평균 5.79종(±1.66), 최대종수 10종 최소 3종, 평균개체수 160.16(±94.03)개체, 최대개체수 380개체, 최소 8개체를 기록했다. 3구간은 평균 5.55(±1.45)종, 최대종수 9종, 최소 3종, 평균개체수 107.45(±37.89)개체, 최대개체수 193개체, 최소 31개체였으며, 4구간은 평균 6.46(±1.86)종, 최대 10종, 최소 3종, 평균개체수 113.34(±46.94)개체, 최대 224개체, 최소 12개체였고, 5구간은 평균 7.52(±1.66)종, 최대 11종, 최소 4종, 평균개체수 328.04(±156.38)개체, 최대 764개체, 최소 107개체였으며, 6구간은 평균 11.86(±2.6)종, 최대 19종, 최소 8종, 평균개체수 955.7(±623.1)개체, 최대 2,464개체, 최소 175개체였다(Fig. 3).

조사구간에 따른 과별 종수와 개체수는 다른 양상을 나타냈다. 오리과의 종수와 개체수는 하류로 내려 갈수록 증가하는 경향을 보였으나 S4에서 감소하였으며 최상류인 S1에서 개체수와 종수가 가장 적게 관찰되었다. 논병아리과는 최상류인 S1을 제외하고 개체수의 변동이 크지 않았으며, S6에서 검은목논병아리가 1회 1개체가 관찰되었다. 갈매기과는 S5에서 세가락갈매기가 단 한 차례 비행하고 있는 것이 관찰되었다. 도요과는 최상류인 S1과 최하류인 S6의 종수와 개체수가 비슷하였지만 S1이 더 많은 개체수를 나타내었다. 이는 월동하는 깃도요를 비롯하여 번식하는 깃잡도요 등이 하류에 비해 많이 관찰되기 때문인 것으로 보인다. 물떼새

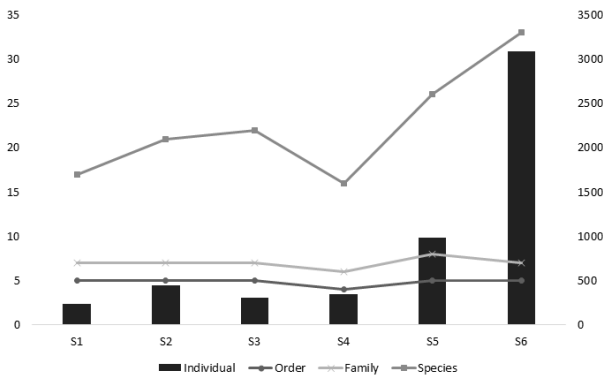


Fig. 2. Fluctuation of species and population of wintering waterbirds according to the survey area in Wonju-stream.

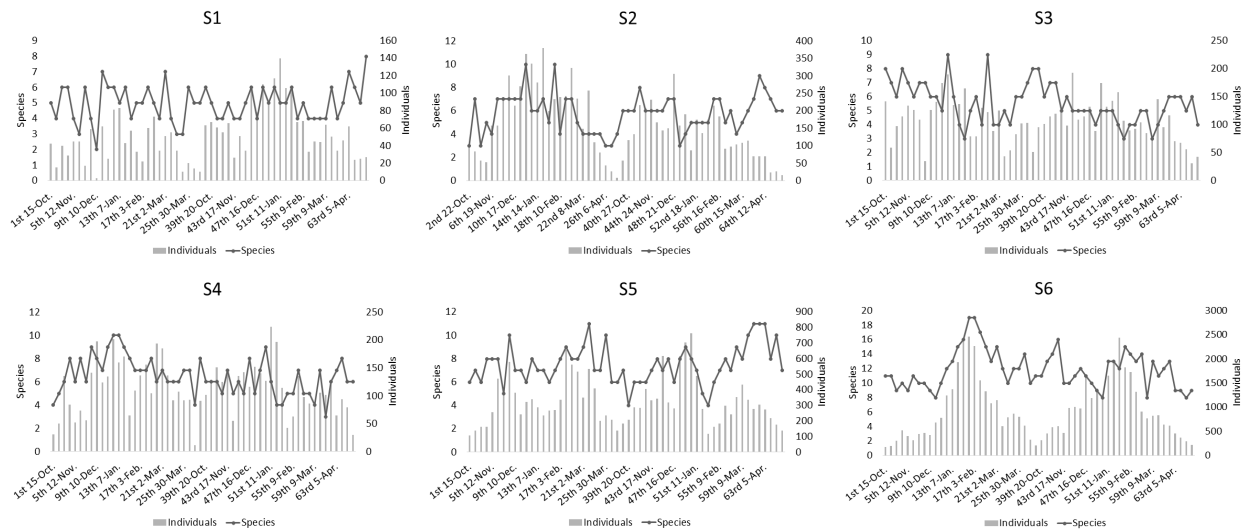


Fig. 3. Fluctuation of species and individuals of wintering waterbirds from S1 to S6 in Wonju-stream, Oct. 2015-Apr. 2016, Oct. 2016-Apr. 2017.

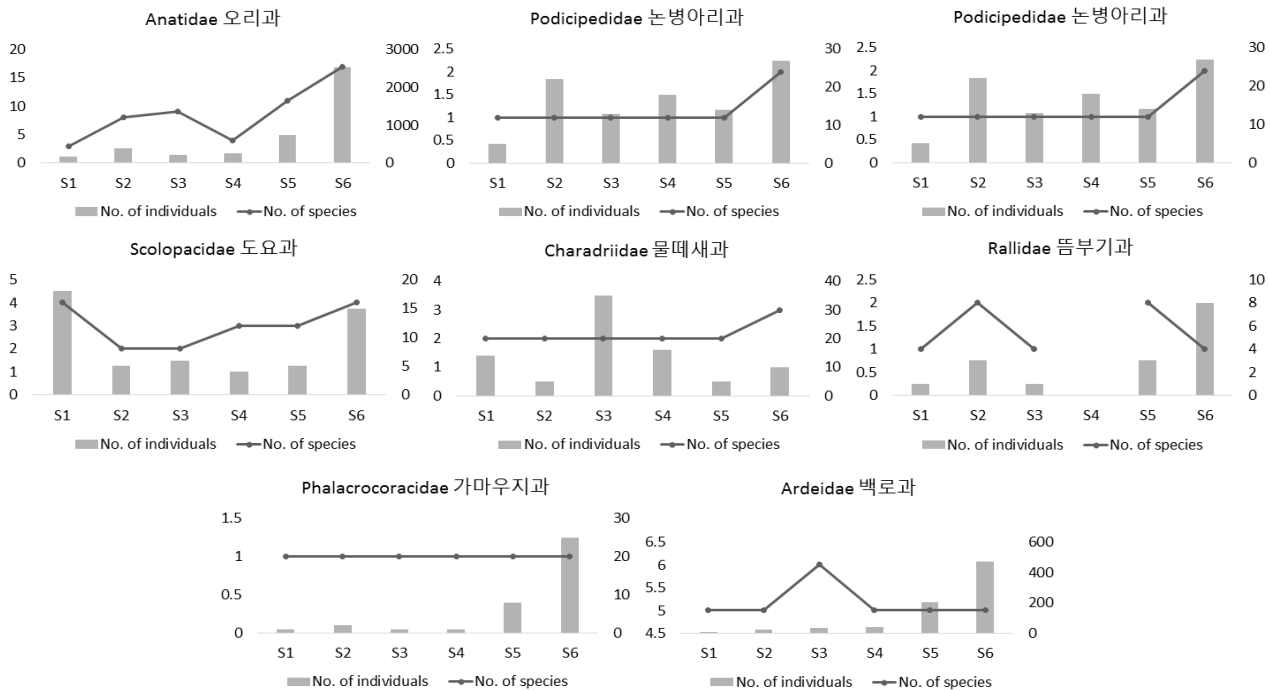


Fig. 4. Fluctuation of species and population according to the survey area in Wonju-stream, Oct. 2015-Apr. 2016, Oct. 2016-Apr. 2017.

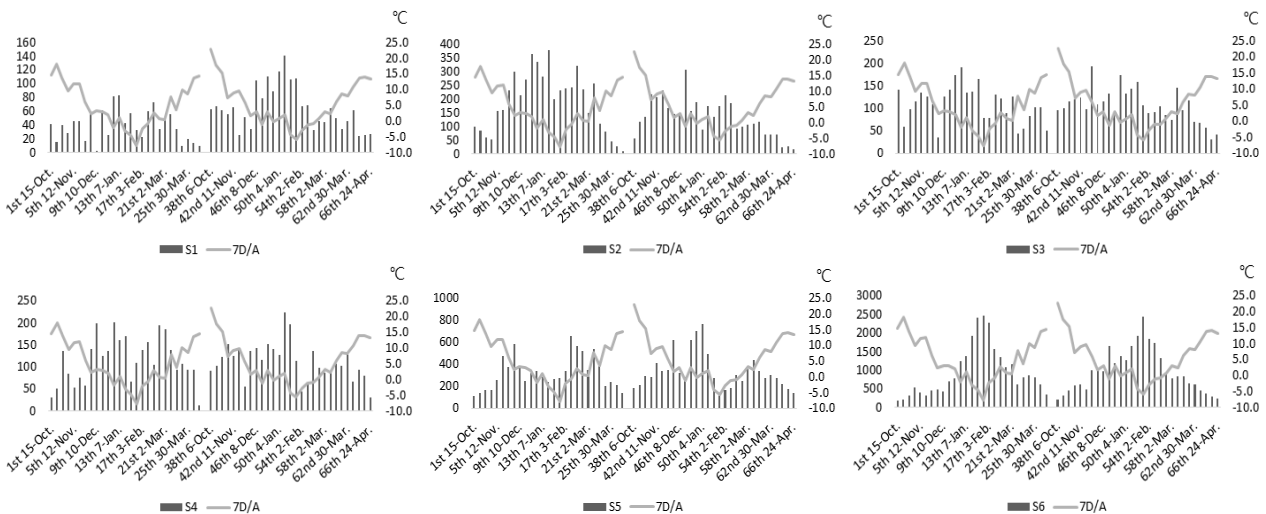


Fig. 5. Change of the temperature and individuals of wintering waterbirds by each section in Wonju-stream, Oct. 2015-Apr. 2016, Oct. 2016-Apr. 2017.

과는 구간이 가장 짧은 S3에서 가장 많이 관찰되었는데 이는 흰목물떼새가 보 구조물에서 집단으로 월동하기 때문이며, 뜰부기과는 저수위가 좁고 수심이 얇은 S4에서만 관찰되지 않았고 하류인 S6에서 가장 많은 개체수가 관찰되었다. 가마우지과는 상류에서도 1,2개체가 관찰되기도 하지만 잠수하여 먹이를 찾는 가마우지의 특성상 하류인 S5와 S6에서 주로 관찰되었다. 백로과는 S3에서 해오라기가 관찰되어 다른 구간보다 1종이 더 많이 기록되었지만 대체적으로 하류로 갈수록 개체수가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4).

3.2 기온변동에 따른 구간별 월동수조류의 군집

조사일을 포함한 이전 7일 동안의 평균기온(7D/A)에 대한

구간별 개체수 변동은 유의한 상관성을 보여주었다. 하수처리장 하류에 위치하여 결빙이 되지 않는 S6은 기온이 하강함에 따라 개체수의 증가로 이어지는 뚜렷한 반비례 곡선을 그렸고, 하수처리장에 맞닿은 상류에 위치한 S5는 월동기가 시작되면서 개체수의 증가를 보이다가 기온이 0°C에 가까워지자 개체수의 감소를 보였으며, 최저기온 이후 다시 증가하는 경향을 보였다. 나머지 상류와 중류 구간에서도 최저기온을 기록한 시기를 전후로 하여 개체수가 감소하는 현상을 보였는데 여울이 적거나 물의 흐름이 약하여 결빙되기 쉬운 구간일수록 변화의 폭이 뚜렷하였다(Fig. 5). 특히 S2는 모든 구간 중 주거지와 상업지역을 지나면서 사람의 통행량이 가장 많은 구간이지만 상류(S1)와 중류(S2, S3, S4)의 4구간 중 가장

많은 개체수를 기록하였고, 결빙의 영향이 가장 적었다. 최저 기온에서도 결빙되지 않는 여울은 월동수조류의 군집에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.

3.3 하천의 크기와 월동수조류의 군집

하천의 길이는 S1이 2.8km, S2가 2.6km, S3이 0.85km, S4가 2.0km, S5가 2.5km, S6이 2.8km로 S1과 S2가 가장 길고, S3이 가장 짧았다. 하천의 너비는 일시적으로 좁아지거나 넓어지는 곳을 제외한 최소폭과 최대폭을 측정하였으며 평균을 구하였다. S1은 76-86m, S2는 78-157m, S3는 127-130m, S4는 107-148m, S5는 91-140m, S6는 85-143m로 S1을 제외한 나머지 구간이 비슷하였고 하폭의 평균은 S3 > S4 > S2 > S5 > S6 > S1순으로 넓어 종류가 하류보다 하폭이 넓은을 알 수 있었다. 유폭은 저수로 내에 물이 흐르는 넓이를 측정하였으며 일시적으로 좁아지거나 보로 인하여 넓어지는 곳은 제외하였다. S1은 10-38m, S2는 14~50m, S3는 10~64m, S4는 10~28m, S5는 7~68m, S6는 21~103m였으며 유폭의 평균은 S6 >

S5 > S3 > S2 > S1 > S4순으로 S4의 유폭이 가장 좁았다. 저수로 폭은 둔치와 둔치사이의 너비를 측정하였으며 일시적으로 좁아지거나 넓어지는 곳을 제외하였다. S1는 32-84m, S2는 35-73m, S3는 42-60m, S4는 45-50m, S5는 50-110m, S6는 67-143m로 저수로의 평균은 S6 > S5 > S1 > S2 > S3 > S4순으로 S4가 가장 좁았다. S4는 하천의 너비에 비해 둔치의 폭이 넓어 저수로폭과 유폭이 가장 좁게 나타났다(Table 1).

원주천에 도래하는 월동수조류의 개체수와 종수는 저수로의 너비와 물이 흐르는 유폭에 큰 상관성을 나타냈다(Fig. 6). 구간별 개체수는 저수로폭($r=0.945, P<0.01$)에 대하여 높은 상관성을 보였고, 물이 흐르는 유폭($r=0.913, P<0.05$)에도 상관성을 보였으며, 구간별 종수의 유폭($r=0.976, P<0.01$)과 저수로 폭($r=0.924, P<0.01$)에 대한 상관성 또한 매우 높은 것으로 나타났다. 개체수는 저수로의 폭에 비례하여, 저수로의 폭이 넓어지면 증가하고 좁아지면 감소하였다. 하천의 폭이 두 번째로 넓은 S4의 경우 사람의 통행이 많지 않고 하상에 초본이 피복되어 있어

Table 1. Size of stream by section in Wonju-stream

Section	Length of section(km)	Width/River (m)			Width/water way (m)			Width/Water (m)		
		Min.	Max.	Average	Min.	Max.	Average	Min.	Max.	Average
S1	2.8	76	86	81	32	84	58	10	38	24
S2	2.6	78	157	117.5	35	73	54	14	50	32
S3	0.85	127	130	128.5	42	60	51	10	64	37
S4	2.0	107	148	127.5	45	50	47.5	10	28	19
S5	2.5	91	140	115.5	50	110	80	7	68	37.5
S6	2.8	85	143	114	67	143	105	21	103	62

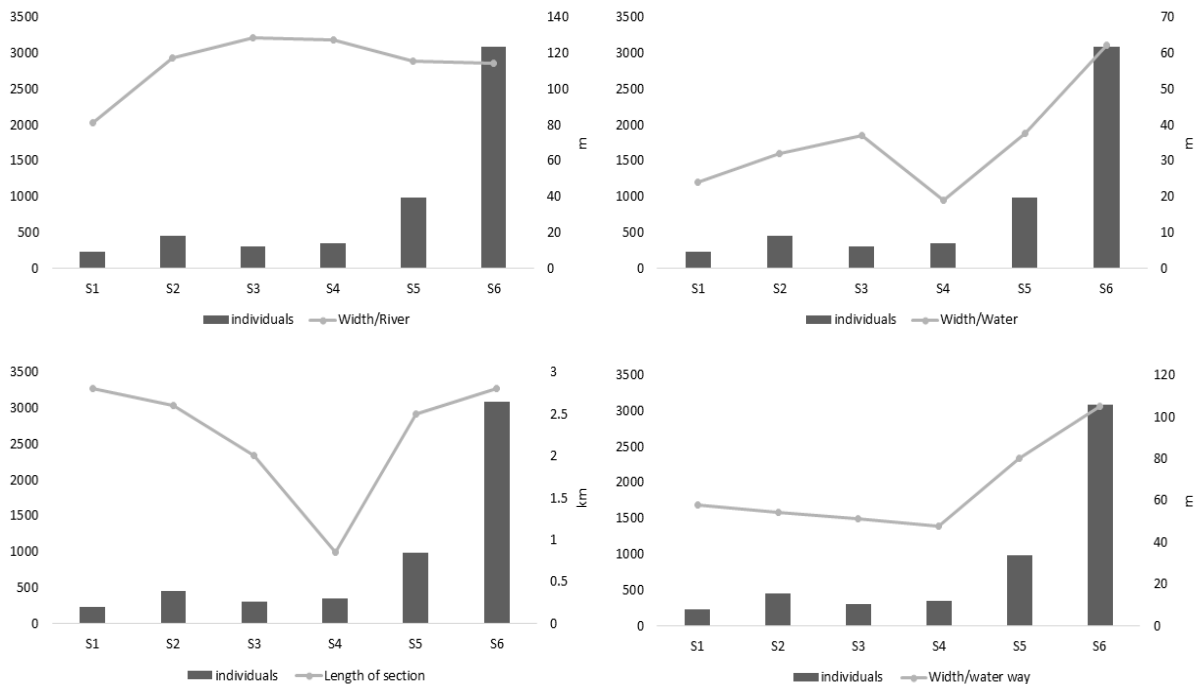


Fig. 6. Comparison of river size and population of wintering waterbirds by section in Wonju-stream, Oct. 2015-Apr. 2016, Oct. 2016-Apr. 2017.

월동수조류에게 좋은 서식환경을 제공할 것으로 여겨졌지만 둔치에 통행량이 많은 S2에 비해 중수와 개체수가 확연히 적게 나타났다. 하천의 너비는 상류에서 하류까지 거의 일정하게 나타났지만 S6에 가장 많은 개체수가 도래한 것은 둔치가 없어 사람의 통행로와 거리가 멀기 때문에 인간의 위협에 대해 안전을 확보할 수 있는 거리가 확보되기 때문인 것으로 파악되었다. 하천의 너비는 수조류의 군집에 상관성을 보이지 않았는데, 원주천의 하폭은 상류부터 하류까지 거의 일정하여 만약 개체수가 하천의 너비에 비례한다면 구간의 길이에 따라 개체수는 일정하게 증감하여야 하지만 구간의 길이에 비례하지 않았다. 따라서 제방과 제방 사이의 하천 너비보다는 둔치와 둔치 사이의 저수로 폭과 물이 흐르는 유폭이 월동수조류의 군집에 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

식생분포나 수심, 강폭 및 환경요인들과 같은 서식처 형태는 조류 군집구조를 결정하는 가장 중요한 요인들 중의 하나인데(Weller, 1999) 도시하천인 원주천에서 수조류의 군집에 영향을 미치는 요인은 저수로의 폭과 물의 넓이를 쟁 유폭으로 나타났다. Kwon *et al.*(2007)의 연구에서 월동수조류의 중요한 환경요인은 강폭, 자연제방, 수심 등이 라고 하였는데, 자연제방이 거의 없는, 제방과 제방사이의 거리인 하폭이 거의 일정한 원주천에서는 그 차이를 확인할 수 없었으며, 이는 도시를 끼고 흐르는 대부분의 하천이 홍수를 대비해 인공적으로 조성된 인공제방임을 감안하면 제방에 의한 군집의 영향은 거의 없을 것으로 여겨진다. 하지만 도시하천은 둔치의 활용성을 높이기 위해 주차장, 운동시설 및 편의시설을 설치할 뿐만 아니라 자전거 도로와 보행자 도로를 나누어 건설하는 등 사람의 통행과 이용도를 높이기 위해 둔치의 폭이 넓어졌으므로 수조류의 양호한 월동환경과 하천의 건강한 수생태계 유지를 위해서는 둔치의 과도한 개발을 자제하고 저수로의 폭을 넓히는 것이 바람직한 것으로 보인다. 수심은 종다양성과 큰 상관이 있지만 하천의 발원지에서 멀지 않은 원주천의 경우, 발원지와 멀리 떨어진 하천과는 달리 여울구간이 많고 인공보의 영향으로 여울과 정수역이 반복되는데, 원주천을 찾는 대부분의 수조류가 수심이 깊은 정수역 보다는 여울이나 얇은 물에서 많이 군집하는 것으로 보아 정수역의 수심이 깊지 않은 도시하천은 잠수성오리류보다는 수면성오리가 많음을 알 수 있었고, 수면성오리류의 휴식과 취식에 방해가 되지 않는, 물이 넓게 흐르는 휴식 장소가 중요함을 알 수 있었다. 이는 서울의 하천에서 연구된 강폭이 넓고 수심이 낮으며 쉴 수 있는 공간이 많은 지역을 선호한다는(Kwon *et al.*, 2007) 결과와 동일하였다. 공주시를 가로지르는 금강에 위치한 소화섬의 연구에서 수심이 1m 이하일 때 수면성오리류가 우점하였지만 수심 3m로 높아지면 잠수성오리류가 증가하였고 수면성오리류는 급감하여 수심이 수조류의 군집에 미치는 영향이 큼을 알 수 있는데(Baek *et al.*, 2010), 원주천 S6의 경우 2015-2016년 월동기에 안정적인 휴식처로 이용되던 모래톱이 2016년

하절기에 사라짐에 따라 2016-2017년 월동기에는 단 한 차례 이전 개체수를 기록하였을 뿐 안정적인 군집을 지속적으로 보이지 못하고 분산된 것은 수심의 영향과 더불어 휴식처의 영향이 매우 중요함을 알 수 있었다. 또한, 모래톱이나 자연적인 휴식처를 대신할 수 있는 구조물의 역할이 큼을 알 수 있었는데, 인공보 아래 보 구조물을 편평하고 넓게 만들어 물이 전체로 흐르는 봉평보와 학성보에 많은 수의 오리류가 취식이나 휴식하는 것으로 보아 얇은 수심의 여울과 사람의 위협에서 안전거리가 확보되는 저수로의 너비가 수조류의 군집에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

3.4 원주천의 수질과 월동수조류의 군집비교

수질 분석결과 pH는 평균 7.2~8.5로 나타났으며, 지점별 편차가 크지 않은 것으로 나타났다. 용존산소는 평균 11.1~12.0 mg/L로 지점별 차이는 크지 않았으며, 전기전도도는 평균 298.2~407.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 하류로 가면서 증가하여 S6이 가장 높았다. 수온은 평균 13.5~18.3°C였으며 겨울에도 결빙되지 않는 S6구간은 2월 19일인 동절기에도 9°C로 나타나 모든 구간 중에 가장 높은 수온을 보였다. COD는 평균 2.1~8.5 mg/L로 나타났는데 S1구간이 가장 낮고 S6구간이 가장 높았으며, BOD는 평균 1.2~4.3 mg/L로서 마지막 지점인 S6을 제외하고 하천수질 환경기준 ' 좋음 ' 등급을 나타냈으며, T-N은 평균 2.602~6.802 mg/L로 S6에서 가장 높고 다른 지점들은 편차가 크지 않았으며, 하천의 부영양화와 밀접한 관련이 있는 T-P는 평균 0.029~0.241 mg/L로 S1에서 가장 낮고 S6이 하수처리장의 영향으로 가장 높게 나왔으며 나머지 구간에서는 '약간 좋음'과 ' 좋음 '을 나타냈으며, SS는 평균 1.7~8.4 mg/L로 S4에서 가장 높았는데 이는 보 공사로 인해 3차에 한 번 아주 높게 나왔지만 모든 차수에서 S6이 가장 높게 나왔으며, 총대장균은 평균 98~454 개/mL로 조사되어 S6이 가장 높았다. 대부분의 수질측정항목이 하류로 가면서 증가하는 경향을 나타내었고, 상업지구와 주거지를 끼고 흐르며 둔치에 사람의 통행이 가장 많은 S2에서도 대체로 높게 나타났다(Table 2).

각 항목의 수치는 하류로 갈수록 증가하여 10가지의 검사항목 중 7개 항목에서 각 구간별 조류의 군집과 비례하는 양상을 보였는데(Fig. 7), pH($r=0.997$, $P<0.01$), 수온($r=0.945$, $P<0.01$), COD($r=0.989$, $P<0.01$), BOD($r=0.988$, $P<0.01$), T-N($r=0.971$, $P<0.01$), T-P($r=0.984$, $P<0.01$), 총대장균($r=0.919$, $P<0.01$)에서 모두 높은 양의 상관성을 나타냈다. 상류의 수질은 아주 양호한데 비해 하류는 도시의 생활하수의 유입으로 수치들이 증가하였고, 특히 S6은 하수처리장 배출수의 영향을 받아 급증하였다. 하지만 이 수치는 COD와 T-P만 약간나쁨의 상태를 보였을 뿐 나머지는 항목은 보통 이상의 수질을 보여주어 S6를 비롯한 원주천 전체의 수질은 대체적으로 양호한 것으로 나타났다. 하수처리장 배출수는 수질에 상당한 영향을 미친 것으로 보이는데 T-N을 비롯하여 여러 항목 수치의 증가는 하천의 영양화를 촉진시키고 이로 인해 유기물

Table 2. Average of water-quality analysis result in Wonju(10 times), Nov. 2014-Jan. 2017

Section	S1	S2	S3	S4	S5	S6
pH	7.2(±0.5)	7.3(±0.5)	7.3(±0.7)	7.3(±0.6)	7.5(±0.6)	8.2(±0.5)
DO (mg/L)	11.8(±1.6)	11.2(±2.5)	11.3(±2.3)	11.1(±3.0)	12.0(±1.9)	11.5(±1.7)
EC (us/cm)	302.2(±74.9)	329.6(±85.9)	370.3(±100.5)	369.0(±116.3)	397.0(±122.1)	407.8(±84.3)
Water temperature (°C)	13.5(±7.2)	13.8(±8.0)	14.4(±8.8)	14.7(±8.1)	16.1(±9.0)	18.3(±7.0)
COD (mg/L)	2.1(±0.9)	2.4(±1.0)	2.8(±1.2)	2.8(±1.2)	3.4(±1.1)	8.5(±2.5)
BOD (mg/L)	1.2(±0.5)	1.5(±1.0)	1.5(±1.3)	1.8(±1.5)	2.0(±0.9)	4.3(±3.4)
T-N (mg/L)	2.936(±0.705)	2.602(±0.731)	2.831(±0.734)	2.999(±0.918)	3.009(±0.689)	6.802(±2.682)
T-P (mg/L)	0.029(±0.022)	0.041(±0.021)	0.052(±0.032)	0.073(±0.070)	0.096(±0.048)	0.241(±0.249)
SS (mg/L)	1.7(±1.8)	2.3(±1.7)	3.7(±4.0)	8.4(±18.2)	4.8(±3.8)	6.5(±4.2)
Total Coliform (cfu/mL)	98(±115)	140(±57)	225(±264)	124(±140)	146(±52)	454(±510)

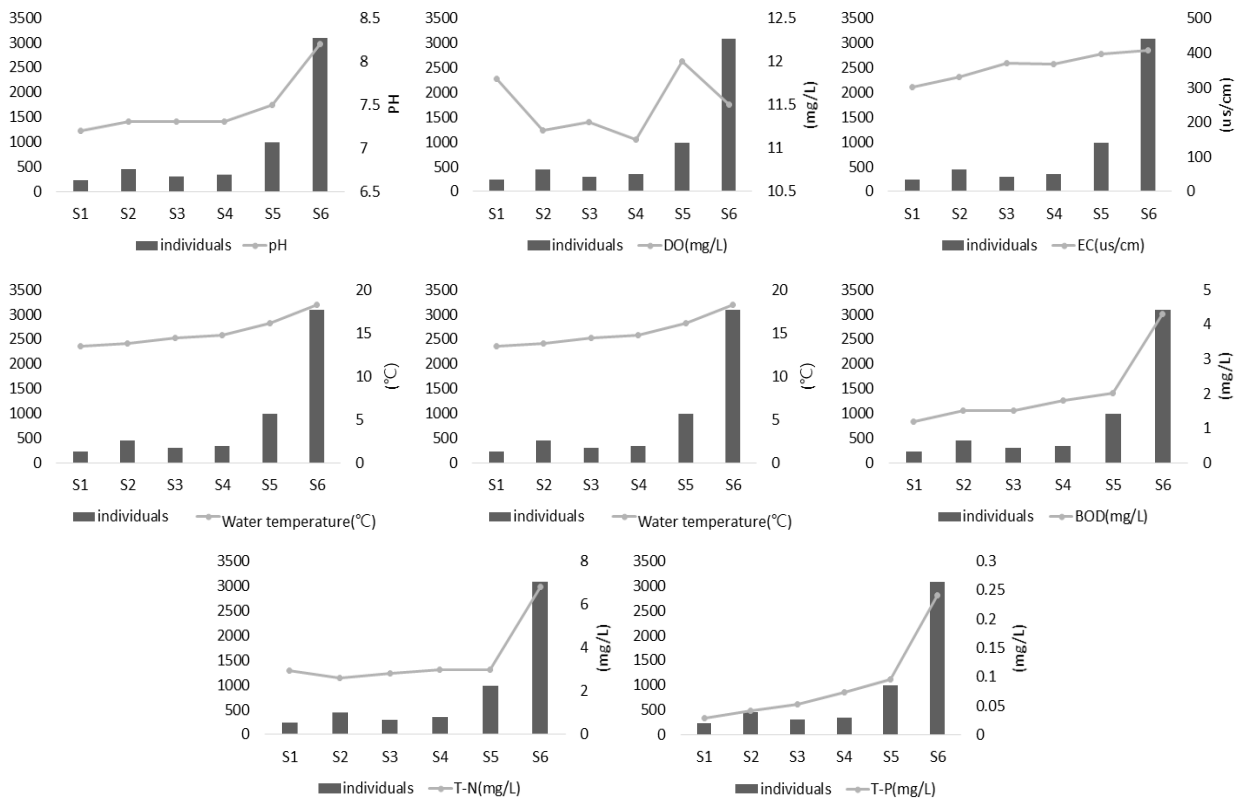


Fig. 7. Comparison of water quality and population of wintering waterbirds by section in Wonju-stream, Oct. 2015-Apr. 2016, Oct. 2016-Apr. 2017.

질의 축적과 수서생물의 증식을 가져옴으로, 이를 먹이원으로 하는 월동수조류의 증가 원인이 될 수 있을 것으로도 여겨진다. 또한 높은 수온의 배출수로 인해 하천의 결빙을 막아줌으로 흑한기의 기온을 보일 때 개체수의 급증을 보이는 것으로 보인다. 하지만 각 항목 수치의 일정량 증가가 월동수조류의 수증 먹이원에 미치는 영향에 대한 더 많은 연구가 필요하다.

3.5 원주천의 저서성 대형무척추동물과 월동수조류의 군집 비교

조사수역에서 출현한 저서성 대형무척추동물은 4문 6강 13목 48과 96종 9,975개체가 조사되었고, 법정보호종은 출

현하지 않았다. 분류군별 출현종수는 비곤충류에서 20종 (20.8%)이 출현하였으며, 곤충류에서는 하루살이목 27종 (28.1%), 잠자리목 19종(19.8%), 날도래목 13종(13.5%), 파리목 8종(8.3%), 딱정벌레목 5종(5.2%), 노린재목 3종 (3.1%), 뱀잠자리목 1종(1.0%) 등의 순으로 출현하였다 (Table 3). 분류군별 출현 개체수는 비곤충류에서 2,956개체(29.6%)를 차지하였으며, 곤충류에서는 파리목 3,208개체(32.2%), 하루살이목 2,404개체(24.1%), 날도래목 1,251개체(12.5%), 잠자리목 118개체(1.2%), 노린재목 27개체 (0.3%), 딱정벌레목 10개체(0.1%), 뱀잠자리목 1개체 (0.01%) 등의 순으로 출현하였다(Table 4). 2015년부터

Table 3. Species composition of Benthic invertebrates in Wonju-stream, 2015-2016

Taxon		No. of species by Order						Total	(%)
		S1	S2	S3	S4	S5	S6		
Non-insect species		12	11	10	9	11	7	20	20.8
Insecta	Ephemeroptera	21	13	12	10	16	10	27	28.1
	Odonata	9	8	2	7	4	6	19	19.8
	Hemiptera	0	0	1	1	1	2	3	3.1
	Megaloptera	0	0	0	0	0	1	1	1.0
	Coleoptera	3	0	0	0	1	0	5	5.2
	Diptera	6	5	4	5	7	6	8	8.3
	Trichoptera	10	3	3	2	5	7	13	13.5
Total		61	40	32	34	45	39	96	100.0

Table 4. Number of individuals of Benthic invertebrates in Wonju-stream, 2015-2016

Taxon		No. of individuals by Order						Total	(%)
		S1	S2	S3	S4	S5	S6		
Non-insect species		477	641	889	658	128	68	2,956	29.6
Insecta	Ephemeroptera	483	97	137	157	745	410	2,404	24.1
	Odonata	43	13	3	15	9	10	118	1.2
	Hemiptera	0	0	4	1	6	13	27	0.3
	Megaloptera	0	0	0	0	0	1	1	0.01
	Coleoptera	6	0	0	0	1	0	10	0.1
	Diptera	620	701	315	440	659	301	3,208	32.2
	Trichoptera	133	53	78	139	399	413	1,251	12.5
Total		1,762	1,505	1,426	1,410	1,947	1,216	9,975	100.0

Table 5. Evaluation of environmental quality in Wonju-stream, 2015-2016

Site	ESB	Evaluation of environmental quality			Saprobity
		Environmental condition*	Area determination	Grade of water quality	
S1	81.3	Very good	Priority protection waters	I	Oligosaprobic
S2	46.0	Some good	Protection waters	II	β -mesosaprobic
S3	35.0	Some bad	Improvement waters	II	β -mesosaprobic
S4	38.3	Some bad	Improvement waters	II	β -mesosaprobic
S5	53.8	Some good	Protection waters	II	Oligosaprobic
S6	45.0	Some good	Protection waters	II	β -mesosaprobic

* 81~100 : Very good, 61~80 : good, 41~60 : Some good, 21~40 : Some bad, 1~20: Bad

2016년까지 조사지점별 출현종수는 상류에서 높고, 중류에서 낮은 경향을 나타내었으며, 하류에서 다시 높아지는 양상을 나타내었다. 출현종이 낮은 중류는 원주천의 도심하천 특성상 유기오염물의 축적량이 높은 지역으로 종다양성의 제한 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 개체수는 하류인 S5의 강변교에서 가장 높은 것으로 조사되었고, 개체밀도가 가장 높은 S5의 강변교는 유기물의 영향으로 개뿔하루살이, 명주각다귀 KUa, 깔따구류, 줄날도래 등이 높은 개체수로 우점하였기 때문이었다.

우점도지수는 0.24~0.58였으며 주로 실지렁이, 명주각다귀 KUa, 네점하루살이, 깔따구류(백색), 깔따구류(적색), 플라나리아, 개뿔하루살이, 줄날도래, 가시우묵날도래 등이 우

점하였으며, 다양도지수는 2.05~3.07, 균등도지수는 0.59~0.78, 풍부도지수는 4.27~8.03으로 나타나 조사지점별 군집구조가 안정적인 것으로 조사되었다. 평균 군집분석 결과 우점도지수는 원주천의 중류지역에서 높고, 상류 및 하류에서 다소 낮은 군집양상을 나타내고 있었으며, 다양도지수는 상대적으로 상류와 하류에서 종다양성이 높은 것으로 나타났다. 우점도지수와 다양도지수는 서로 상반되게 나타나는 특징을 가지고 있으며, 상류지역에서 상대적으로 안정한 군집양상을 보이고, 중류지역에서 우점도가 높고 다양성이 낮은 불안정한 군집구조를 유지하였으며, 균등도지수 역시 중류지역 보다는 상류와 하류지역에서 상대적으로 균등하게 분포하고 있었다. 풍부도지수는 상류에서 종풍부도가 가장 높았으며,

Table 6. Assessment of aquatic ecosystem condition in Wonju-stream, 2015-2016

Site	BMI (Benthic Macroinvertebrate index)	Evaluation of environmental quality	
		Biotic grade	Environmental condition*
S1	80.2	A	very good
S2	70.2	B	good
S3	56.6	C	nomal
S4	55.0	C	nomal
S5	71.4	B	good
S6	71.8	B	good

* 80 ≤ ~ ≤ 100 : Very good, 60 ≤ ~ < 80 : Good, 45 ≤ ~ < 60 : Nomal, 0 ≤ ~ < 45 : Bad

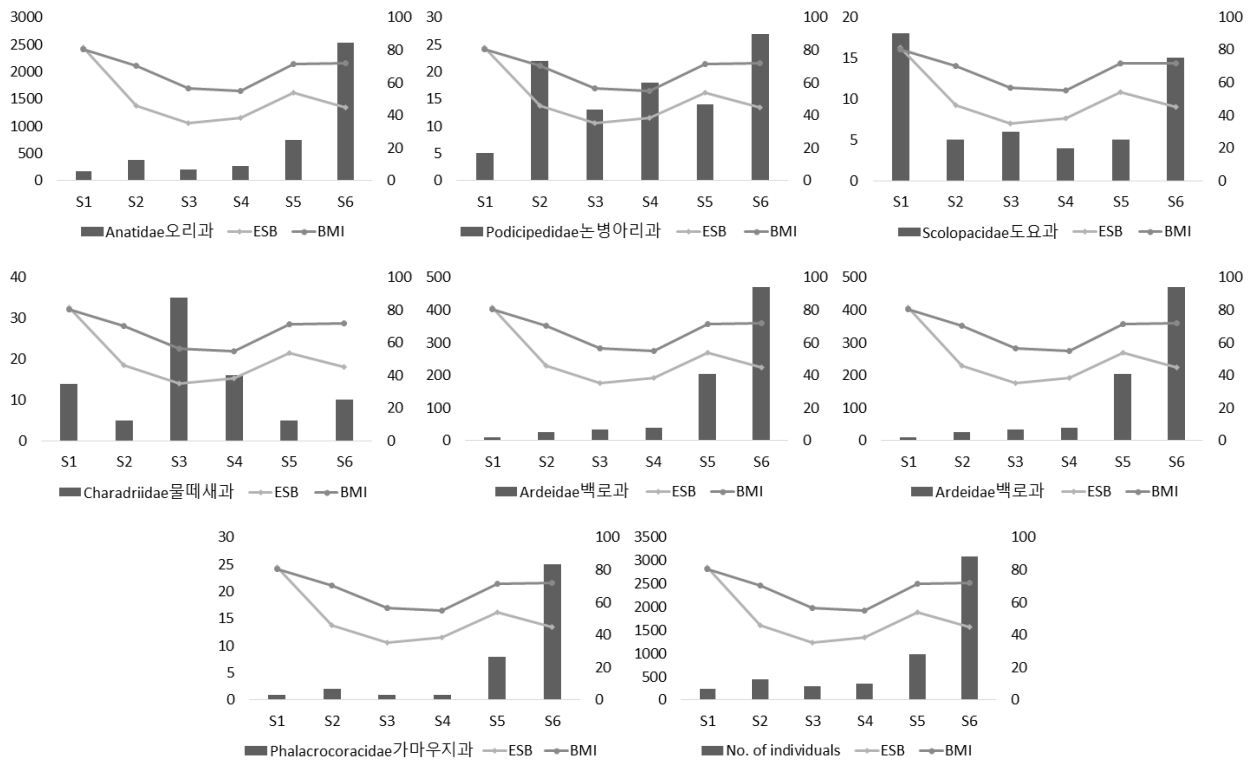


Fig. 8. Comparison of ESB, BMI and population of wintering waterbirds by section in Wonju-stream.

중류지역에서 종풍부도가 낮았다. 중류지역은 수환경에 따른 특정종의 비율이 높고, 교란에 내성이 강한 종이 차지하는 비율이 높아 군집구조가 상대적으로 불안정하였다.

출현한 종을 대상으로 조사지점별 평균 ESB(Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community) 지수를 산출한 결과 S1는 환경상태가 매우 양호한 최우선보호수역으로 수질등급 I 등급, S2, S5, S6은 다소 양호한 보호수역으로 수질등급 II 등급, S3, S4는 다소 불량한 개선수역으로 수질등급 III 등급으로 평가되었다. 조사시기별 ESB 지수는 출현종의 증감에 따라 지수값의 변동을 보이고 있으며, 중류지역에서 수환경상태가 상대적으로 불량한 상태를 유지하고 있었다(Table 5).

출현한 종을 대상으로 저서동물지수(BMI; Benthic Macroinvertebrate index) 이용하여 평균 수생태계 건강성을 평가한 결과 BMI 값이 55.0(S4)~80.2(S1)의 범위로 평가

되었다. S1에서 생물등급 A의 최상의 환경상태를 나타냈으며, S2, S5, S6에서는 생물등급 B의 양호한 환경상태, S3, S4에서는 C의 보통의 환경상태를 보였다. 수생태계 건강성이 불량하게 평가된 S3와 S4는 원주천의 중류에 해당하며, 도심 하천의 특성상 유기오염물의 축적량이 높아 저서성 대형무척추동물의 다양성이 낮게 나타난 결과로 판단된다(Table 6).

원주천의 저서성 대형무척추동물에 의한 수환경평가에 있어 '매우 좋음'에서 '다소불량'까지 다양한 수환경을 보였으나 각 구간별 조류의 군집은 저서성 대형무척추동물의 종조성이나 개체수에 상관성을 보이지 않았다. ESB지수를 통해 수생태계를 살펴본 결과 사람의 통행이 많고 하천 이용도가 높으며, 주변에 상가와 주거지가 밀접한 중류(S2, S3)의 수환경이 가장 불량한 것으로 나타났으며 다음으로는 하수처리장 하류인 S6의 수환경이 좋지 않은 것으로 나타났는데, ESB지수와 구간별 조류군집은 상관성이 없는 것으로 나타났으며,

Table 7. Dominant, sub-dominant species and community indices of fishes in Wonju-stream, 2015-2016

Year	Site	dominant species /Subdominant species	DI	Biotic diversity index		
				H'	E	RI
2015	S1	<i>Nipponocypris koreanus</i> 참갈겨니 / <i>Zacco platypus</i> 피라미	0.52	2.00	0.81	1.97
	S2	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Nipponocypris koreanus</i> 참갈겨니	0.73	1.46	0.61	1.63
	S3	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Pungtungia herzi</i> 돌고기	0.83	1.03	0.45	1.60
	S4	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Pungtungia herzi</i> 돌고기	0.86	0.88	0.34	2.20
	S5	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Pungtungia herzi</i> 돌고기	0.75	1.33	0.54	1.87
	S6	<i>Pungtungia herzi</i> 돌고기 / <i>Zacco platypus</i> 피라미	0.56	1.97	0.75	2.42
2016	S1	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Nipponocypris koreanus</i> 참갈겨니	0.66	1.64	0.64	2.11
	S2	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Nipponocypris koreanus</i> 참갈겨니	0.82	1.11	0.43	1.91
	S3	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Pseudogobio esocinus</i> 모래무지	0.67	1.50	0.63	1.75
	S4	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Carassius carassius</i> 붕어	0.78	1.27	0.47	2.17
	S5	<i>Zacco platypus</i> 피라미 / <i>Carassius carassius</i> 붕어	0.79	1.17	0.44	2.06
	S6	<i>Microphysogobio yaluensis</i> 돌마자 / <i>Pungtungia herzi</i> 돌고기	0.49	2.11	0.73	3.02

Table 8. Assessment of aquatic ecosystem condition in Wonju-stream, 2015-2016

Site	FAI(Fish Assessment Index)*			Evaluation of condition	
	2015	2016	Mean	Biotic grade	Environmental condition
S1	96.9(±4.4)	87.5(±0.0)	92.2(±6.65)	A	Very good
S2	65.7(±4.5)	68.8(±8.8)	67.25(±2.19)	B	Good
S3	53.2(±13.2)	71.9(±4.4)	62.55(±13.22)	B	Good
S4	43.8(±0.0)	59.4(±4.4)	51.6(±11.03)	C	Nomal
S5	46.9(±13.3)	59.4(±4.4)	53.15(±8.84)	C	Nomal
S6	62.6(±8.8)	68.8(±0.0)	65.7(±4.38)	B	Good

* 87.5 ≤ ~ ≤ 100 : Very good, 56.2 ≤ ~ < 87.5 : Good, 25.0 ≤ ~ < 56.2 : Nomal, 0 ≤ ~ < 25.0 : Bad

조류의 과별 개체수도 상관성을 보이지 않았다. 또한 BMI를 이용하여 원주천의 건강도를 측정했을 때 '최상'에서 '보통'까지 다양한 하천 건강도를 나타냈지만 월동수조류의 구간별 군집과 상관성을 보이지 않았다(Fig. 8).

3.5 원주천의 어류와 월동수조류 군집 비교

2015년에 출현한 어류는 7과 24종 2,351개체가 조사되었으며, 법정보호종은 출현하지 않았다. 분류군별 출현종은 잉어과에서 15종(62.5%)으로 가장 다양하였으며, 미꾸리과 4종(16.7%), 종개과, 동자개과, 메기과, 꺾지과, 동사리과 1종(4.2%)이 출현하였다. 분류군별 개체수는 잉어과에서 2,270개체(96.6%)로 개체수의 대부분을 차지하였으며, 미꾸리과 45개체(1.9%), 동사리과 26개체(1.1%), 종개과, 메기과 3개체(0.2%), 동자개과, 꺾지과 2개체(0.1%)등의 순으로 출현하였다. 어류상을 특징지을 수 있는 한국고유종은 8종(33.3%)이 출현하여 다소 높은 고유성을 나타냈으며, 생태계교란종은 출현하지 않았다. 출현종별 비교풍부도는 피라미가 54.4%로 가장 우세하게 출현하였으며, 참갈겨니(12.4%), 돌고기(11.2%), 붕어(4.3%), 모래무지(3.1%), 긴물개(2.7%), 버들치(2.6%) 등의 순으로 출현함. 그 외의 출현종은 2% 미만의 희소성을 보였다. 우점도지수는 0.52(S1)~0.86(S4)의 범위로 분석되었으며, 대부분의 조사지점에서 피라미가 우점하고 참갈겨니, 돌고기 등

이 차우점하였고, 다양도지수는 0.88(S4)~2.00(S1), 균등도지수는 0.34(S4)~0.81(S1), 풍부도 지수는 1.60(S3)~2.42(S6)로 조사되었다. 원주천 지역의 수생태계 모니터링 결과 특정종인 피라미의 우점으로 군집구조가 다소 불안정하였으며, 상류(S1)에서 다양성이 가장 양호한 것으로 조사되었다(Table 7).

2016년에 출현한 어류는 7과 25종 2,862개체가 조사되었으며, 법정보호종은 출현하지 않았다. 분류군별 출현종은 잉어과에서 16종(64.0%)으로 가장 다양하였으며, 미꾸리과 4종(16.0%), 메기과, 송사리과, 꺾지과, 동사리과, 가물치과에서 각각 1종(4.0%)이 출현하였으며, 분류군별 개체수는 잉어과에서 2,790개체(97.5%)로 개체수의 대부분을 차지하였으며, 미꾸리과 40개체(1.4%), 송사리과 14개체(0.5%), 동사리과 13개체(0.5%), 메기과, 꺾지과에서 각각 2개체(0.1%), 가물치과 1개체(0.03%)등의 순으로 출현하였다. 어류상을 특징지을 수 있는 한국고유종은 9종(36.0%)이 출현하여 다소 높은 고유성을 나타냈으며, 생태계교란종은 출현하지 않았다. 출현종별 비교풍부도는 피라미가 1696개체(62.3%)로 가장 우세하게 출현하였으며, 돌고기 255개체(9.4%), 참갈겨니 214개체(7.9%), 붕어 152개체(5.6%), 모래무지 137개체(5.0%), 참마자 64개체(2.4%), 누치 34개체(1.2%), 버들치, 긴물개 각각 32개체(1.2%) 등의 순으로 출현하였으며 그 외의 출현종은 2%

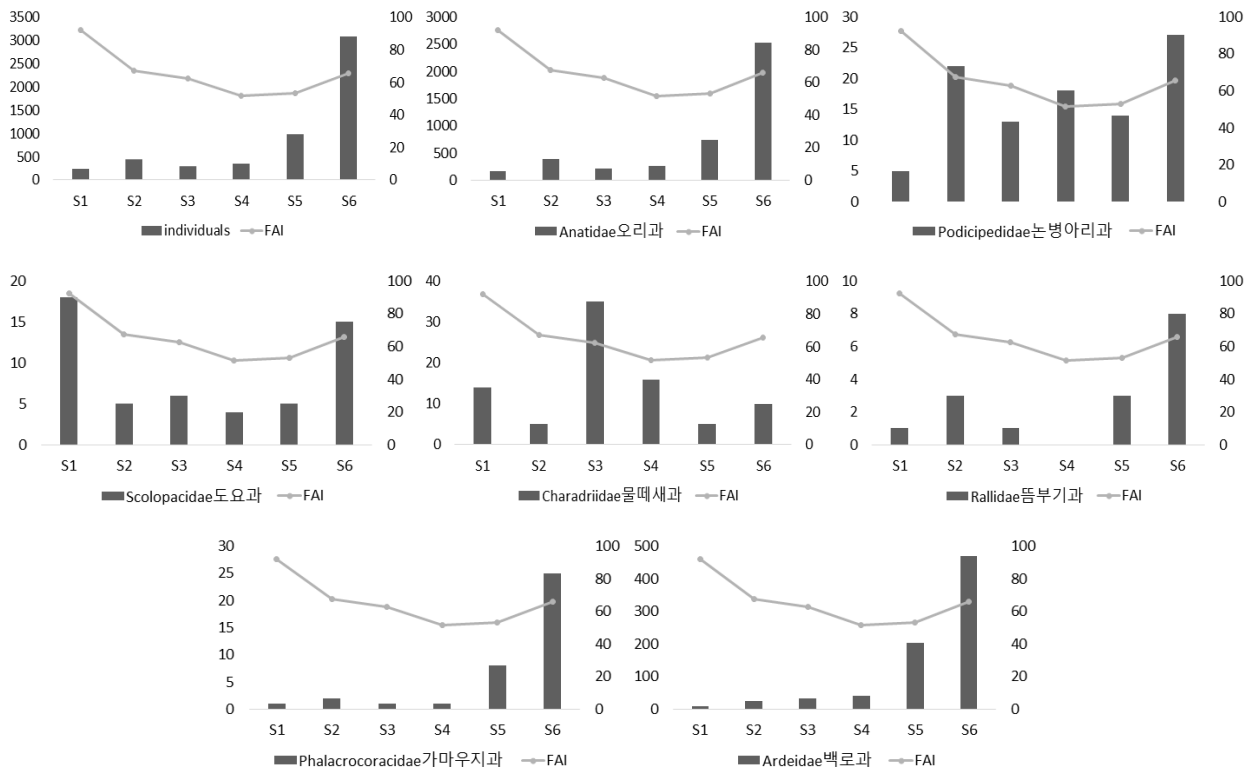


Fig. 9. Comparison of FAI and population of wintering waterbirds by section in Wonju-stream.

미만의 희소성을 나타냈다. 우점도지수는 0.49(S4)~0.82(S2)의 범위로 분석되었으며, 대부분의 조사지점에서 피라미가 우점하고 참갈겨니, 모래무지, 붕어, 돌마자, 돌고기 등이 차우점하였다. 다양도지수는 1.11(S2)~2.11(S6), 균등도지수는 0.43(S2)~0.73(S6), 풍부도 지수는 1.75(S3)~3.02(S6)로 조사되었다. 원주천 지역의 수생태계 모니터링 결과 특정종인 피라미의 우점으로 군집구조가 다소 불안정하였으며, 상대적으로 S6에서 우점도는 낮고 다양도, 균등도, 풍부도 지수가 높은 가장 안정적인 군집구조를 유지하고 있는 것으로 조사되었다(Table 7).

현지조사시 출현한 종을 대상으로 8개의 메트릭을 이용하여 수생태계 건강성을 평가한 결과 2015년은 S1에서 메트릭값이 평균 96.9(±4.4)로 생물등급 A등급인 최상의 환경상태로 평가되었고 S2, S6은 생물등급 B등급인 양호의 환경상태, S3, S4, S5는 생물등급 C등급인 보통의 환경상태를 나타내었고, 2016년은 S1에서 메트릭값이 평균 87.5(±0.0)로 생물등급 A등급인 최상의 환경상태로 평가되었고, S2, S3, S4, S5, S6은 생물등급 B등급인 양호의 환경상태를 나타내어 2016년의 구간별 평균 FAI는 S1에서 92.2(±6.65)로 생물등급 A등급인 최상의 환경상태로 평가되었고, S2, S3, S6은 생물등급 B등급인 양호의 환경상태를, S4, S5는 C등급인 보통의 환경상태를 나타냈다(Table 8).

어류의 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수를 비롯하여 어류의 개체수는 원주천의 월동수조류와 상관성을 보이지 않았다. 원주천의 FAI는 A등급인 최상의 상태부터 C등급인 보통의 상태까지 다양한 평가결과가 나왔지만 수조류의

군집과 상관성을 보이지 않았는데, FAI지수는 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보인 반면 수조류의 군집은 하류로 갈수록 증가하였고, 섭금류 또한 하류의 개체수가 월등히 많아 비교 할 수 없었다. 과별 개체수와 FAI를 비교하였을 때 도요과의 군집과 낮은 상관성($r=0.819$, $P<0.05$)을 나타냈다(Fig. 9). 조류의 군집과 어류 간에 상관성을 보이지 않는 것은 원주천에 도래하는 수조류 중 물고기를 주먹이원으로 하지 않는 수면성오리류인 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리의 비율이 높기 때문인 것으로 여겨지며, 물고기를 주식으로 하는 중대백로, 왜가리, 쇠백로 등의 군집도 물고기의 군집과 일치하지 않는 것은 먹이의 양이 전체적으로 일정량 이상일 때 먹이원 보다 다른 환경요인이 이들 백로류의 군집에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 물고기를 먹이로 하는 조류 중 논병아리과는 여울보다는 유속이 약하고 정수역이 많은 중·하류쪽에 많이 분포하였고 백로과의 경우 다른 하천이나 서식지로의 이동이 용이한 하류를 선호하는 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구는 도시하천에 도래하는 월동수조류의 군집에 영향을 미치는 환경요인을 알아보기 위하여 원주천의 월동수조류 군집 및 기온, 하천의 크기, 수질, 어류, 저서성 대형 무척추동물을 조사하여 분석하였다. 원주천은 인공보로 인한 정수역이 반복적으로 나타나지만 수심이 깊지 않고 여울과 자갈, 모래톱이 반복적으로 나타남으로 잠수성오리류

는 적고 수면성 오리가 대부분을 차지하였다. 원주천에서 수조류의 군집에 영향을 미치는 요인은 다음과 같다.

1) 저수로의 폭과 흐르는 물의 넓이인 유폭이 넓을수록 더 많은 조류가 도래하였는데, 사람의 위협에서 안전거리가 확보되는 저수로의 너비가 수조류의 군집에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 도시하천은 둔치의 활용성을 높이기 위해 주차장, 운동시설 및 편의시설을 설치할 뿐만 아니라 자전거 도로와 보행자 도로를 나누어 건설하는 등 사람의 통행과 이용도를 높이기 위해 둔치의 폭이 넓어졌지만, 수조류의 양호한 월동환경과 하천의 건강한 수생태계 유지를 위해서는 하천 양쪽에 건설된 자전거, 보행자도로 중 한 쪽의 도로를 폐쇄하거나, 둔치의 폭을 줄이고 저수로의 폭을 넓히는 것이 바람직한 것으로 보인다.

2) 월동기의 기온변화는 조류의 군집에 상당한 영향을 주는 것으로 나타났다. 기온의 하강은 하천의 결빙으로 이어지므로 정수역의 결빙시에는 결빙되지 않은 하류와 여울지역으로 이동하였으며, 기온이 상승함에 따라 산개하였다. 특히, 하수처리장에서 흘러나오는 퇴수의 영향으로 월동기 동안 결빙이 일어나지 않는 6구간은 최저기온 시 최대 종수와 개체수를 기록하였다. 도시하천의 결빙되지 않은 구간은 월동수조류의 중요한 월동지가 됨을 알 수 있었으므로, 도시하천을 생태하천화 하여 수조류가 서식하기에 적당한 환경을 마련하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

3) 수질검사항목 중 pH, 수온, COD, BOD, T-N, T-P, 총대장균의 7개 항목에서 각 구간별 조류의 군집과 비례하는 양상을 보여, 높은 양의 상관성을 나타냈다. 하수처리장 배출수는 수질에 상당한 영향을 미친 것으로 보이는데 T-N을 비롯하여 여러 항목 수치의 증가는 하천의 영양화를 촉진시키고 이로 인해 유기물질의 축적과 수서생물의 증식을 가져오므로, 이를 먹이원으로 하는 월동수조류의 증가 원인이 될 수 있을 것으로도 여겨진다. 하지만 수질의 각 항목 수치 증가가 월동수조류의 수중 먹이원에 미치는 영향에 대한 더 많은 연구가 필요한 것으로 보인다.

4) 저서성 대형무척추동물의 군집과 어류의 군집은 월동수조류의 군집과의 연관성을 보이지 않았다. 이는 저서성 대형무척추동물이나 물고기를 먹이로 하는 수조류의 개체수가 많지 않으므로 먹이 경쟁이 없기 때문인 것으로 보이며, 또한 동물성 먹이를 섭취하는 논병아리류나 백로류, 가마우지류는 먹이가 일정량 이상일 때 먹이원보다 다른 원인이 군집에 더 큰 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

5) 원주천의 하류인 6구간은 둔치가 없을 뿐만 아니라 월동기에도 결빙이 되지 않아 많은 오리류가 도래하므로, 멸종위기 야생조류 1급인 검독수리, 흰꼬리수리를 비롯하여 2급인 참매 등의 맹금류가 도래하며, 둔치가 있지만 저수로의 폭이 넓게 자연형 수로로 조성한 인공보의 완만한 경사면에는 멸종위기 조류 2급인 흰목물떼새가 무리지어 월동하였다.

본 연구를 통하여 도시하천의 겨울철새 월동지로서의 서식환경에 대하여 조금이나마 이해할 수 있었는데, 다양하고

많은 철새가 도래하는 건강한 하천을 가진 생태도시를 설계하거나, 겨울철새탐조 등의 교육활동 및 자연교육 계획에 도움이 되며, 또한 겨울철새의 서식지 이동에 관한 특성을 파악하는데 기초적인 자료가 될 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 원주시(과제번호: 20141121941-03, 원주천 생태하천 복원사업 공사중 모니터링 연구용역)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Baek, CR, Yi, JH, Oh, TH, Yeom, KS, Han, IH, Jung JW, and Cho, SR(2010) Investigation of habitat preferences, according to changed of water level in ducks, *Kor. J. Orni.* 17(3), pp. 205-216. [Korean Literature]
- Hong, SB(2004) Regional Characteristics of Bird Community in Nakdong River Basin, *Kor. J. Ecol.* 27(5), pp. 269-281. [Korean Literature]
- Kang, JH and Hahm, KH(1997) The Birds of the Upo Wetland, *Kor. J. Orni.* 4(1), pp. 35-46. [Korean Literature]
- Kang, TH, Lee, KS, Yoo, SH, Kim, IK, Cho, HJ, Kim, HJ, and Lee, JB(2008) A Study on the Community Characteristics of Wintering Waterbirds in Hangan River, Korea. *Kor. J. Orni.* 15(1), pp. 51-59. [Korean Literature]
- Kang, TH, Kim, SH, Han, SW, Lee, SW and Paek, WK(2010) A Study on the Community Characteristics and Habitat use of Wintering Waterbirds in Geumgang River, Korea, *Kor. J. Orni.* 17(1), pp. 1-10. [Korean Literature]
- Kim, IK, Lee, HS, Paek, WK and Lee, JW(2010) A Study on the Bird Communities and Similarity of Three Streams in Daejeon Metropolitan City, *Kor. J. Env. Eco.* 24(2), pp. 147-156. [Korean Literature]
- Kim, JS, Chae, JH and Koo, TH(2003) Variation of Bird Community after Implementation of Close-to-Nature River Improvement Techniques in the Yangjae Stream, *Kor. J. Limnol.* 36(1), pp. 74-82. [Korean Literature]
- Kim, JS and Koo, TH(2003) Influence of the eco-park development on bird community in urban stream, *Kor. J. Ecol.* 26(3), pp. 97-102. [Korean Literature]
- Kwon, YS, Nam, HK, Yoo, JC and Park, YS(2007) Distribution Patterns of Wintering Waterbird Communities in Urban Streams in Seoul, Korea, *Kor. J. Env. Eco.* 21(1), pp. 55-66. [Korean Literature]
- Lee, SW, Je, JK and Lee, HS(2003) Tidal Flat Aspects of Yellow Sea Area and Conservation for Migratory Birds, *Kor. J. Eco.* 17(3), pp. 295-303. [Korean Literature]
- Lee, WS, Park, CR, Rhim, SJ and Hur, WH(2001) Characteristics, Protection and Management of Bird

- Community in Geum River Estuary. *Kor. J. Ecol.* 24(3), pp. 181–189. [Korean Literature]
- Li ZWD, Bloem, A, Delany, S, Martakis, G and Quintero, JO(2009) *Status of Waterbirds in Asia Results of the Asian Waterbird Census: 1987_2007*. Wetlands International, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 276
- Margalef, R(1958) Information theory in ecology. *General Systematics* 3, pp. 36–71.
- McNaughton, SJ(1967) Relationship among functional properties of California Grassland, *Nature*. 216, pp. 168–169.
- Moon, YM, Choi, JH and Yoo, JC(2010) Environmental factors affecting wintering waterbird abundance and species richness in reservoirs, *Kor. J. Orni.* 17(4), pp. 289–302. [Korean Literature]
- Park, SJ and Park, HW(2012) Wintering Waterbirds Status at Soyang River: Focused on Soyang Dam~Soyang-2 Bridge, *Kor. J. Orni.* 19(3), pp. 211–221. [Korean Literature]
- Park, YW, Lee, HG and Choi, JK(2017) A Study on the population fluctuation of wintering waterbirds on Wonju-Stream by the temperature, *Kor. J. Environ. Ecol.* 31(2), pp. 135–151. [Korean Literature]
- Shannon, CE and Weaver, W(1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, pp. 233
- Shin, YU, Shin, MS, Lee, HS, Kang, YM, Jeong, WS, Choi, JD, Yoon, HC and Oh, HS(2016) Home-Range of Mallard and Spot-billed Duck in Korea, *Kor. J. Environ. Ecol.* 30(2), pp. 165–172. [Korean Literature]
- Weller, MW(1999) *Wetland Birds: Habitat Resources and Conservation Implications*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Yoo, SH, Kim, IK, Kang, TH, Yu, JP, Lee, SW and Lee HS(2008) Wintering Bird Community in Cheonsu Bay and the Relationship with Food Resources, *Kor. J. Env. Eco.* 22(3), pp. 301–308. [Korean Literature]
- http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp