

원주천 월동 수조류의 기온에 따른 군집 변동에 관한 연구¹

박영욱² · 이황구³ · 최준길^{3*}

A Study on the Population Fluctuation of Wintering Waterbirds on Wonju-Stream by the Temperature¹

Yung-Wook Park², Hwang-Goo Lee³, Jun-Kil Choi^{3*}

요약

2015년 10월부터 2016년 4월까지 주 1회 원주천의 조류를 관찰하여 각 수조류의 도래에 미치는 기온의 조건을 알고자 하였다. 원주천에 도래하는 수조류의 개체수는 기온의 변화와 반비례하여 기온이 낮아짐에 따라 개체수는 증가하였고, 최저기온을 보인 16차(27-Jan) 조사에서 최고개체수를 기록하였다가 기온이 상승함에 따라 감소하였다. 원주천 수조류의 전체 개체수는 인근 저수지와 하천의 결빙율에 비례하여 결빙율이 높아질수록 개체수가 증가하였고 낮아질수록 감소하였다. 기온변화에 따른 종별 개체수의 상관성을 알아보기 위하여 1차(15-Oct)에서 27차(18-Apr)에 이르는 월동기 전체의 상관관계(1~27상관)를 비롯하여 최저기온을 기록한 16차를 기준으로 1차(15-Oct)에서 16차(27-Jan)의 월동 전반기의 상관관계(1~16상관), 16차(27-Jan)에서 27차(18-Apr)에 이르는 월동 후반기의 상관관계(16~27상관)를 알아보았다. 대부분 월동 수조류는 기온에 대해 음의 상관성을 보였으나 쇠백로(*Egretta garzetta*), 민물가마우지(*Phalacrocorax carbo*) 및 왜가리(*Ardea cinerea*)는 양의 상관성을 보였다. 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*)가 기온의 변화에 대한 가장 높은 상관성(1-16상관, 7D/H3A, $r=-0.960$, $P<0.000000001$)을 보였으며, 전체 월동 수조류는 모든 상관분석(1~27상관($r=-0.942$, $P<0.01$), 1~16상관($r=-0.947$, $P<0.01$), 16~27상관($r=-0.958$, $P<0.01$))에서 4D/LA에 가장 높은 상관성을 보였다. 각각의 수조류와 기온에 대한 상관성은 종마다 기온(AT, HT, LT)과 기간(1D~7D)의 조건에 대해 각각 다르게 나타났다. 대부분의 종이 최고기온보다는 최저기온과의 상관성이 큰 것으로 나타났으며, 기온이 하강하는 월동 전반기에는 4일~7일의 기온에, 월동 후반기에는 1일~3일의 기온에 높은 상관성을 보였다.

주요어: 조류상, 하천, 상관관계, 기온변화, 결빙, 하수처리장

ABSTRACT

Waterbirds were surveyed once a week from Oct. 2015 to Apr. 2016 to study the conditions of temperature of staying waterbirds on Wonju-Stream. The population staying on Wonju-Stream was in inverse proportion to the temperature change; birds increased as the temperature went down, and showed the highest peak counts on the 16th(27-Jan) survey, which was the lowest in temperature. decreasing as the temperature rose. The total population of Wonju River water birds increased with increasing freezing rate in proportion to the freezing rate

1 접수 2016년 12월 28일, 수정 (1차: 2017년 2월 21일, 2차: 2017년 2월 26일), 게재확정 2017년 2월 27일

Received 28 December 2016; Revised (1st: 21 February 2017, 2nd: 26 February 2017); Accepted 27 February 2017

2 상지대학교 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, SangJi Univ., 83 Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do(26339), Korea

3 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do(26339), Korea

* 교신저자 Corresponding author: jkilchoi@sangji.ac.kr

of nearby reservoirs and tributaries. To clarify the relation of the numbers of the birds to temperature fluctuation, the correlation of the first period of wintering (1st~16th) and that of the later period(17th~27th) as well as the whole period was surveyed, based on the 16th which was the lowest in temperature. While most wintering waterbirds showed a negative correlation to the temperature, *Egretta garzetta*, *Phalacrocorax carbo*, and *Ardea cinerea* were positive in temperature relativity. *Anas poecilorhyncha* was in the highest relation to temperature fluctuation showing (7D/H3A($r=-0.960$, $P<0.000000001$)) at 1-16 correlation(Cor.), with the whole wintering waterbird species showing the maximum correlation at 4D/LA in the every correlation(1~27Cor.($r=-0.942$, $P<0.01$), 1~16Cor.($r=-0.947$, $P<0.01$), 16~27Cor.($r=-0.958$, $P<0.01$)). Each waterbird showed the correlation to the temperature variation(AT, HT, LT) and th duration(1D~7D) depending on the species differently. Most species demonstrated a bigger correlation to the lowest temperature rather than to the highest temperature. During the first half period of the wintering with the temperature falling it showed a high correlation to the temperature at the duration of 4D~7D, While it was for D1~D3 during the next half period.

KEY WORDS: AVIFAUNA, RIVER, CORRELATION, CHANGE OF TEMPERATURE, FREEZING, SEWAGE TREATMENT PLANT

서론

우리나라에서 월동하는 겨울철새는 가을에 남하하여 봄철에 북쪽의 번식지로 향한다. 이동의 주원인은 기후 변화에 의한 것으로 기후에 따른 먹이 유용성의 변화에 대응하는 것이다(Pettingill, 2000). 북반구의 여름은 기온이 높아 먹이를 구하고 번식하기에 좋은 환경을 제공하지만 가을을 지나 겨울이 오면 기온의 하강에 따른 결빙과 적설량에 따라 서식처의 환경이 나빠짐으로 먹이를 찾을 수 있는 곳으로의 이동이 이루어지는데 먹이의 양과 종마다 견딜 수 있는 온도에 따라 그 시기가 정해진다(Perrins, 2003).

우리나라는 다양한 물새류의 통과지역이자 월동지로서 매우 중요한 역할을 담당하고 있으며(Li *et al.*, 2009), 이동하는 새들에게 좋은 먹이터와 쉼터를 제공하고 있기에, 서해안의 갯벌(Lee *et al.*, 2003)을 비롯하여 겨울철새의 월동지가 되는 천수만(Yoo *et al.*, 2008), 새만금(Kang *et al.*, 2011), 금강하구(Lee *et al.*, 2001), 우포늪(Kang and Hahm, 1997), 주남저수지, 낙동강하구(Hong, 2004), 한강(Kang *et al.*, 2008) 등 넓은 간척지와 습지, 하천 등 주요 월동지에 대한 조류의 군집에 대하여는 많은 조사와 연구가 이루어져 왔다. 하지만 작은 규모의 지방하천이나 도시하천에 대한 연구는 대전의 하천(Kim *et al.*, 2010)이나 춘천의 소양강(Park and Park, 2012) 등에서 실시되었지만 전국의 도시나 하천의 수에 비하면 매우 부족한 실정이다. 또한 기온의 변화에 따른 수조류의 상관성에 대해 한강(Lee, 2006), 금강(Yu, 2014), 중랑천(Kim, 2005) 등에서 연구된 바가

있으나, 일주일에 1회씩 조류의 이동과 기온의 상관성을 제대로 파악할 수 있는 연속적인 조사가 이루어진 적은 없었으므로 겨울철새의 이동이나 군집을 유도하는 종마다의 기온조건은 자세히 알려지지 않고 있다.

우리나라의 주요 철새도래지는 경상남도 및 전라남도의 남부지역과 서,남해안의 간척지인데 이는 결빙율이 낮은 특징을 가지고 있어 겨울철새의 도래와 결빙은 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 여겨진다. 도시하천은 시민들의 생활용수를 위한 공급원이 될 뿐만 아니라 생활하수가 처리되어 나오는 물길의 역할을 담당하고 있는데 하수처리장에서 나온 퇴수로 인해 도시하천의 하류는 동절기에도 결빙되지 않는 특징을 가지고 있어 동절기 월동조류의 중요한 월동지의 역할을 담당할 수 있음을 보여준다. 이처럼 기온을 비롯하여 저수지나 습지의 결빙정도가 수조류의 군집과 이동에 큰 영향을 미치지만 결빙정도에 따른 조류의 군집에 관한 연구가 많지 않은 실정이다.

따라서 본 연구는 겨울철새의 도래가 시작되는 10월부터 월동을 마치고 북상하는 이듬해 4월까지 원주천에 도래하는 수조류를 중심으로 개체수의 변화를 조사하였으며, 수조류의 개체수 변동에 따른 기온과의 상관관계를 구체적으로 파악하기 위해 조사일을 기준으로 1일~7일 사이의 최고기온, 평균기온, 최저기온과의 상관성을 분석하여 각 수조류의 이동과 군집에 영향을 미치는 기온의 조건을 알아보고자 하였으며 하천과 저수지의 결빙정도에 따른 수조류 군집의 상관성을 파악하고자 하였다.

조사지역 및 연구방법

1. 조사지역

원주천은 강원도 원주시 관북면에 위치한 치악산에서 발원하여 영랑천, 흥양천, 단계천, 화천, 신천 등의 소하천이 합류되어 흐르다가 원주시 호저면 옥산리에서 섬강으로 유입되는 원주시에 위치한 도심하천이다. 동쪽으로는 치악산(1,282m), 남쪽으로는 백운산(1,086m)이 위치하고 있어 해발 1,000 m 이상의 동남쪽으로 가로막은 지리적 형태를 보인다. 하천 둔치에는 시민들에게 편의를 제공하기 위하여 체육활동 시설이나 자전거 및 보행도로가 설치되어 있으며, 곳곳에 주차공간으로도 활용되고 있어 새들이 서식하기에 좋은 환경은 아니지만 곳곳에 수변식물이 자라고 얕고 깊은 물이 번갈아 흐름으로 각각의 환경에 적합한 새들이 도래하여 서식하고 있다. 특히 원주천이 시내를 통과한 지점인 가현동에는 하수처리장이 위치하고 있어 하수처리장 퇴출수의 영향으로 하수처리장 하류의 하천은 한겨울에도 결빙되지 않아 해마다 많은 수조류가 월동하는 곳이다(Figure 1). 원주천에 도래하는 조류에 관하여는 조사가 진행된 적은 있으나(Han *et al.*, 2009; Noh *et al.*, 2013) 계절별 연속적으로 조사한 자료는 전무한 실정이다.

2. 조사방법

겨울철새의 이동기와 월동기에 해당하는 2015년 10월

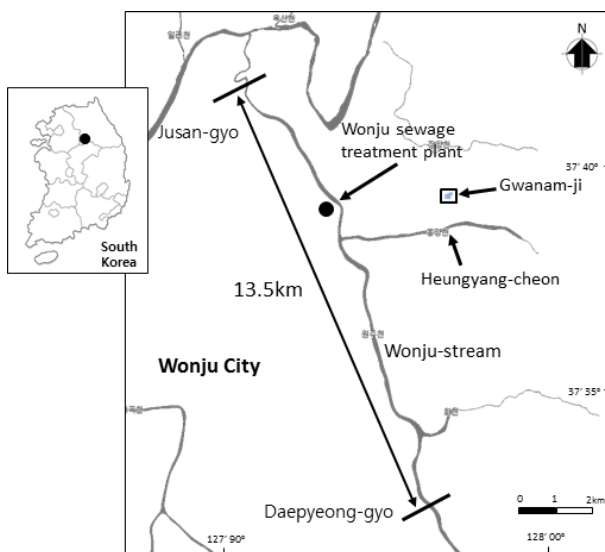


Figure 1. The map of research area

15일 부터 이듬해 2016년 4월 18일까지 매주 1회 원주천 일부구간인 원주시 관설동에 위치한 대평교에서 호저면 주산리에 위치한 주산교까지 약 13.5 km구간에 대하여 조사를 실시하였다(Figure 1). 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 20~60×)을 이용하여 확인하였다. 본 조사결과의 분석에는 수조류만을 대상으로 하였으며, 분류 및 학명, 영명은 Howard and Moore(1998)의 분류체제와 The Ornithological Society of Korea(2009)의 한국조류목록에 따라 정리하였으며 수조류의 동정은 Lee *et al.*(2000), Park(2014) 등을 참고하였다.

3. 분석방법

기온분석은 기상청 홈페이지의(www.kma.go.kr) 원주기상대 자료를 이용하였다. 결빙률과 수조류 군집의 상관성을 알아보기 위하여 저수지와 하천 두 곳을 구분하여 결빙정도를 조사하였는데 원주천 인근 수암리에 위치한 관암지와, 원주천의 지천인 흥양천의 결빙 정도를 조사하였다. 원주천에 도래한 수조류의 개체수와 결빙의 상관성을 구하기 위하여 결빙율은 1~7로 나누어 숫자로 구분하였는데 정수역의 결빙이 0%일 때 결빙율을 1, 1~20%는 2, 21~40%은 3, 41~60%는 4, 61~80%은 5, 81~99%는 6, 100%일 때 7로 나누어 각각 표기하였으며, 결빙도에 따른 수조류의 이동과 군집을 알아보기 위하여 원주천에 도래한 수조류 전체 개체수와와의 상관성을 분석하였다.

조류의 도래와 기온과의 상관성을 알아보기 위하여 조사 당일(1D)의 기온을 비롯하여 조사일을 포함한 2일(2D), 3일(3D), 4일(4D), 5일(5D), 6일(6D), 7일(7D) 동안의 기온을 평균기온(A), 최고기온(HA), 최저기온(LA)으로 구분하였다. 또한 조사일 포함 7일의 최고기온(H1)과 최저기온(L1) 및 조사일 포함 7일(7D)의 기온 중 최고기온을 기록한 상위 3일의 최고기온의 평균값(H3A)과 상위 4일 최고기온 평균값(H4A), 최저기온을 기록한 하위 3일 최저기온의 평균값(L3A), 하위 4일 최저기온의 평균값(L4A)을 산출하여 수조류 개체수 변동과의 상관관계를 분석하였다.

통계분석을 위하여 SPSS 통계프로그램(IBM SPSS Statistics v21.0)을 사용하였으며 개체수 정리 및 수식은 엑셀(Exel 2016) 프로그램을 사용하였다. 각 수조류의 정규분포를 확인하기 위해 비모수 통계인 Kolmogorv-smirnov 검정을 실시하였으며 정규분포를 따르는 종에 대하여 기온 변화에 따른 종별 군집의 상관관계 및 결빙율과 수조류의

상관관계를 파악하기 위하여 Pearson's correlation 분석을 실시하였다.

결 과

1. 월동 수조류의 도래현황

2015년 10월부터 2016년 4월까지 27차에 걸쳐 월동기 동안 관찰된 수조류는 5목 8과 31종으로 최대개체수의 합은 3,912개체였다. 평균 종수는 15.3종(SD=±2.6, range=11~20, n=27)이었으며, 평균개체수는 1,816개체(SD=±770, range=544~3,189, n=27)였다(Table 1). 동절기 조사기간동안 관찰된 수조류를 과별로 보면 오리과 15종 3,202개체(81.9%), 논병아리과 2종 64개체(1.6%), 갈매기과 1종 1개체, 도요과 3종

Table 1. Waterbirds on wonju-stream. Oct. 2015 - Apr. 2016(27times)

| No. | scientific name | Korean name | No. of observation | SD | Max. counts | Min. counts | Average | Dom.% | peak |
|-----|-------------------------------|-------------|--------------------|-----|-------------|-------------|---------|-------|-----------------|
| 1 | <i>Aix galericulata</i> | 원앙 | 19 | 18 | 56 | 0 | 14.4 | 1.4 | 19th |
| 2 | <i>Anas acuta</i> | 고방오리 | 6 | 1 | 6 | 0 | 0.6 | 0.2 | 16th |
| 3 | <i>Anas clypeata</i> | 넓적부리 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.0 | 0.0 | 5th |
| 4 | <i>Anas crecca crecca</i> | 쇠오리 | 27 | 133 | 573 | 34 | 261.6 | 14.6 | 18th |
| 5 | <i>Anas falcata</i> | 청머리오리 | 11 | 1 | 5 | 0 | 0.9 | 0.1 | 16th |
| 6 | <i>Anas formosa</i> | 가창오리 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0.1 | 0.0 | 17th,19th |
| 7 | <i>Anas penelope</i> | 홍머리오리 | 9 | 2 | 7 | 0 | 0.9 | 0.2 | 16th |
| 8 | <i>Anas platyrhynchos</i> | 청둥오리 | 27 | 226 | 743 | 1 | 223.3 | 19.0 | 16th |
| 9 | <i>Anas poecilorhyncha</i> | 흰뺨검둥오리 | 27 | 451 | 1739 | 265 | 1038.9 | 44.5 | 16th |
| 10 | <i>Anas strepera</i> | 알락오리 | 17 | 5 | 13 | 0 | 4.0 | 0.3 | 18th |
| 11 | <i>Anser albifrons</i> | 쇠기러기 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.0 | 0.0 | 2nd |
| 12 | <i>Aythya ferina</i> | 흰죽지 | 8 | 1 | 4 | 0 | 0.6 | 0.1 | 22nd |
| 13 | <i>Aythya fuligula</i> | 댕기흰죽지 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.0 | 0.0 | 12th |
| 14 | <i>Mergus merganser</i> | 비오리 | 8 | 12 | 51 | 0 | 4.7 | 1.3 | 15th |
| 15 | <i>Tadorna ferruginea</i> | 황오리 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.0 | 0.0 | 8th |
| 16 | <i>Podiceps nigricollis</i> | 검은목논병아리 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.0 | 0.0 | 18th |
| 17 | <i>Tachybaptus ruficollis</i> | 논병아리 | 27 | 16 | 63 | 4 | 26.7 | 1.6 | 13th |
| 18 | <i>Rissa tridactyla</i> | 세가락갈매기 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.0 | 0.0 | 5th |
| 19 | <i>Actitis hypoleucos</i> | 깍작도요 | 7 | 1 | 4 | 0 | 0.5 | 0.1 | 1st |
| 20 | <i>Gallinago gallinago</i> | 깍도요 | 21 | 3 | 9 | 0 | 4.4 | 0.2 | 3rd,5th |
| 21 | <i>Tringa ochropus</i> | 삑삑도요 | 25 | 2 | 7 | 0 | 2.6 | 0.2 | 4th |
| 22 | <i>Charadrius dubius</i> | 꼬마물떼새 | 4 | 4 | 18 | 0 | 1.3 | 0.5 | 25th |
| 23 | <i>Charadrius placidus</i> | 흰목물떼새 | 27 | 12 | 41 | 1 | 14.1 | 1.0 | 11th |
| 24 | <i>Fulica atra</i> | 물닭 | 13 | 2 | 8 | 0 | 1.3 | 0.2 | 16th |
| 25 | <i>Gallinula chloropus</i> | 쇠물닭 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0.2 | 0.0 | 4,6,7,8,11,14th |
| 26 | <i>Phalacrocorax carbo</i> | 민물가마우지 | 10 | 6 | 27 | 0 | 2.9 | 0.7 | 22nd |
| 27 | <i>Ardea alba alba</i> | 대백로 | 26 | 8 | 39 | 0 | 8.3 | 1.0 | 14th |
| 28 | <i>Ardea alba modesta</i> | 중대백로 | 26 | 51 | 239 | 0 | 30.7 | 6.1 | 10th |
| 29 | <i>Ardea cinerea</i> | 왜가리 | 27 | 63 | 195 | 11 | 68.2 | 5.0 | 25th |
| 30 | <i>Butorides striata</i> | 검은댕기해오라기 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0.1 | 0.1 | 1st |
| 31 | <i>Egretta garzetta</i> | 쇠백로 | 26 | 12 | 54 | 0 | 11.9 | 1.4 | 25th |

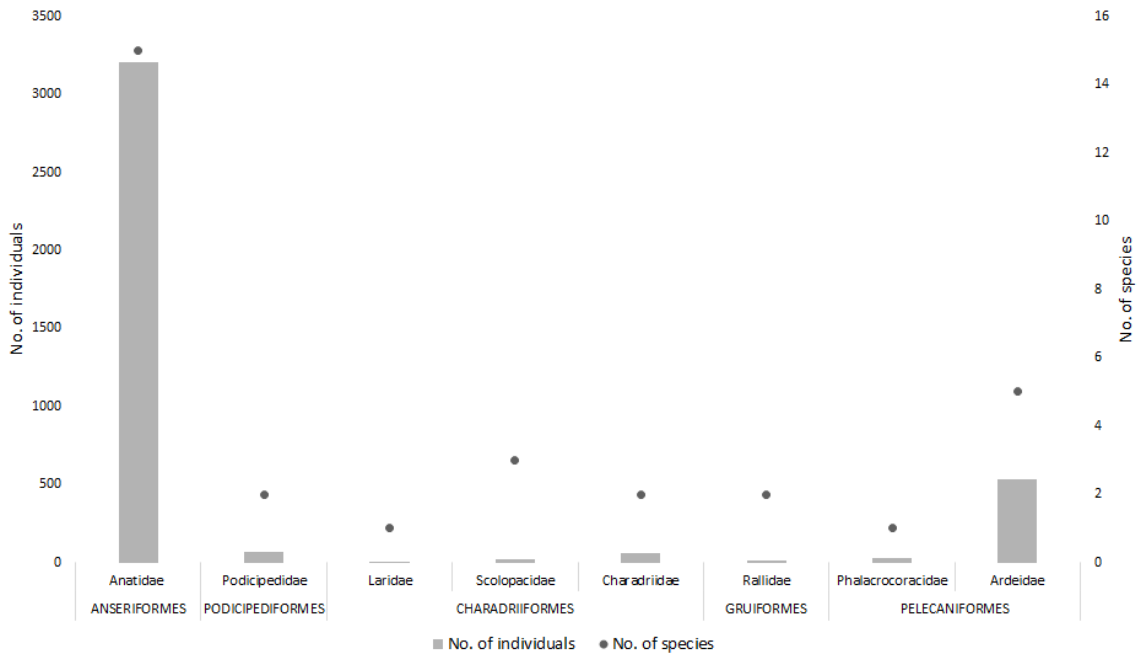


Figure 2. Waterbirds on wonju-stream. Oct. 2015 - Apr. 2016

20개체(0.5%), 물떼새과 2종 59개체(1.5%), 뜰부기과 2종 9개체(0.2%), 가마우지과 1과 27개체(0.7%), 백로과 5종 530개체(13.5%)로 오리과가 가장 많은 개체수를 기록하였으며 (Figure 2), 오리과의 조류 중에서 수면성오리류(Dabbling Ducks)는 10종 3,144개체, 잠수성오리류는(Diving Ducks) 3종 56개체, 기러기류(Geese)는 1종 1개체, 흑부리오리류(Shelducks)는 1종 1개체였다.

가장 우점한 종은 흰뺨검둥오리로 최대개체수는 1,739개체로 우점도는 44.5%이었다. 차우점한 종은 청둥오리로 최대개체수 743개체(우점도는 19.0%)였으며, 쇠오리의 최대개체수는 573개체(우점도는 14.6%), 중대백로의 최대개체수는 239개체(우점도는 6.1%), 왜가리는 최대개체수 195개체(우점도 5.0%) 등의 순으로 우점하였다. 전체 수조류 중 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리 세 종이 차지하는 비율은 최저 59%(27차)에서 최대 93%(6차)에 이르고(Figure 3), 전체 오리류 중 차지하는 비율은 평균 99%이며 최소 96%에서 최대 100%를 기록했다(Figure 4).

27차례의 조사 중 27번 모두 관찰된 수조류는 6종으로 쇠오리(*Anas crecca*), 청둥오리(*Anas platyrhynchos*), 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*), 논병아리(*Tachybaptus ruficollis*), 대백로(*Ardea alba alba*), 왜가리(*Ardea cinerea*)이며, 최저기온을 기록한 16차 조사에서 가장 많은 개체수가 관찰되었으며, 16차에서 18차까지 가장 많은 종(20종)이 관찰되었다.

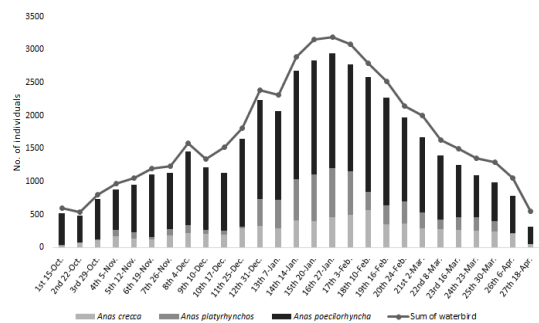


Figure 3. Population change of the dominance ducks with sum of waterbird in Wonju-stream, 2015-2016 winter

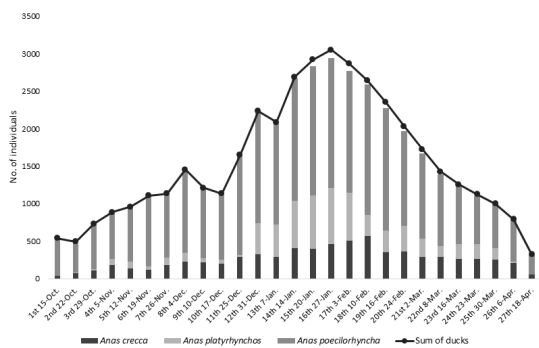


Figure 4. Population change of the dominance ducks with Sum of ducks in Wonju-stream, 2015-2016 winter

2. 기온에 따른 종별 군집변동

원주기상대 자료에 따른 2015년 10월 9일부터 2016년 4월 18일까지 원주의 평균기온은 5.1°C였으며 최저기온은 -18°C, 최고기온은 26°C였다. 동절기 전체의 기온변화는 서서히 하강하였다가 상승하는 완만한 V형 곡선을 보였으며 최저점은 1월말이었다. 기온 하강의 흐름은 7차(26-Nov)에서 최저기온이 0°C 이하로 떨어졌으며, 12차(31-Dec)에서 평균기온이 영하의 기온(-1.9°C)을 기록하였으며 13차(7-Jan)에서 영상의 기온으로 회복했으나 14차(14-Jan)에서 다시 영하로 내려가 18차(10-Feb)까지 이어졌다. 16차(27-Jan)에서는 일주일의 기온 중 최저기온(7D/L1)(-18°C)뿐만 아니라 평균기온(7D/A)(-7.8°C)과, 최고기온평균(7D/HA)(-3.2°C)도 영하를 기록하였다(Table 2)(Figure 5).

원주천에 도래하는 전체수조류의 개체수는 기온의 변화와 반비례하였다. 기온이 낮아짐에 따라 증가하였고 최저기온을 보인 16차(27-Jan)에 최고개체수를 기록하였으며 기온이 상승함에 따라 줄어들었다(Figure 6). 동절기 종별 개체수의 변화를 알아보기 위해 우점종으로 나타난 5종(흰뺨검둥오리, 쇠오리, 청둥오리, 중대백로, 왜가리)을 기온값 중 7D/A, 7D/HA, 7D/LA와 비교한 결과 종마다 다른 양상을 보였다. 흰뺨검둥오리의 개체수 변화는 기온에 대한 뚜렷한 반비례 곡선을 보였다. 최저기온을 기록한 16차에서 가장 많은 개체수를 기록하였는데 기온이 하강함에 따라 서서히 증가하였으며, 기온이 올라감에 따라 개체수가 줄어드는 양상을 보였다(Figure 7). 쇠오리는 흰뺨검둥오리와 비슷한 개체수 상승 패턴을 보였으나 최저기온을 기록한 16차 이후에도 개체수가 증가하여 18차에 최고개체수(573개체)를 보였고 평균기온(7D/A)이 영상으로 올라간 19차에서 대폭(38.7%)감소하였다(Figure 8). 청둥오리의 개체수 변화는 평균기온 0°C에 매우 높은 연관성을 보여주었는데 이는 Lee *et al.*(2006)의 한강조사에서 보인 결과와 동일하였다. 평균기온이 0°C 이상인 11차(25-Dec)까지는 개체수가 적을 뿐만 아니라 개체수의 변동이 적었으나 평균기온(7D/A)이 0°C를 기록한 12차(31-Dec)에는 414개체로 늘어나 11차 대비 아주 높은 상승률(1871%)을 보였다. 이후 기온의 하강과 함께 개체수가 증가하여 최저기온을 기록한 16차(27-Jan)에서 최고개체수(743개체)를 기록하였으며, 평균기온(7D/A)이 0°C에 가까워진 18차(10-Feb)에서는 개체수가 급감하여 이전 대비 57.3%의 감소를 보였다. 4월인 26차(6-Apr)에서 개체수가 14개체로 줄어들었으며, 27차(18-Apr)에서는 1개체만 기록하였다(Figure 9). 중대백로의 개체수는 월동초기인 1차부터 9차까지와 월동후기인 22차부터 27차까지에서 적은 수를 보였지만(max=19, min=0) 10차(17-Dec)에서 최고개체수(239개체)를 기록하였고, 최

저기온이 영하를 기록한 21차까지 개체수의 큰 변화를 보였다(Figure 10). 왜가리의 개체수는 최저기온을 기록한 16차(27-Jan)까지 기온과의 연관성이 보이지 않았으나, 이후 기온이 증가함에 따라 개체수가 조금씩 증가하다가 3월인 21차(2-Mar)에는 급격한 상승률을 보였다(Figure 11).

3. 결빙율과 수조류 군집의 상관성

저수지의 결빙과 해빙은 급격한 변화를 보인 반면 하천은 단계적인 결빙과 해빙을 보였다. 저수지의 결빙은 1차(15-Oct.)~10차(17-Dec.)까지 결빙율 1을 보이다가 11차(25-Dec.)에 결빙율 7이 되어 19차(16-Feb.)까지 완전결빙이 유지되었으며 20차(24-Feb.)에 결빙율 3을 기록하였다가 21차(2-Mar.)에 해빙되었다. 하천의 결빙율은 정수역에 한하여 조사하였으며 저수지의 완전결빙이 일어난 11차(25-Dec.)에 결빙율 2를 기록하여 12차(31-Dec.)까지 이어졌으며, 13차(7-Jan.)에 결빙율 3, 14차(14-Jan.)에 결빙율 5, 15차(20-Jan.)에 결빙율 7을 기록하여 16차(1월 27일)까지 이어졌으며, 17차(2월3일)에 결빙율 6, 18차(2월10일)에 결빙율 4, 19차(2월16일)에 결빙율 3, 20차(2월24일)와 21차(2-Mar.)에 결빙율 2를 기록하였다가 22차(8-Mar.)에 완전 해빙되었다(Table 3).

저수지 및 하천의 결빙이 진행됨에 따라 수조류 전체의 개체수는 증가하였고, 완전 결빙 되었을 때 최대개체수를 기록하였으며 해빙이 진행되면서 개체수의 감소를 보였다(Figure 12). 이와 같은 수조류의 개체수 변동은 저수지와 하천의 결빙율과 높은 상관성을 보였으며, 특히 저수지의 결빙($r=0.860$, $P<0.001$)보다 하천의 결빙($r=0.880$, $P<0.001$) 및 전체 결빙율에 매우 높은 상관성($r=0.880$, $P<0.001$)을 보였다(Table 4).

4. 우점종의 군집과 기온의 상관성

원주천에 도래한 수조류에 대하여 Kolmogorov-smirnov 검정을 실시한 결과 12종(원앙, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 알락오리(*Anas strepera*), 논병아리, 깡도요(*Gallinago gallinago*), 백백도요(*Tringa ochropus*), 흰목물떼새(*Charadrius placidus*), 대백로, 왜가리, 쇠백로(*Egretta garzetta*))이 정규분포를 따랐다(Table 5).

정규성 분포를 만족하는 12종에 대하여 기온변화에 따른 종별 개체수의 상관성을 알아보기 위하여 3가지로 나누어 분석하였다. 1차(15-Oct)에서 27차(18-Apr)에 이르는 월동기 전체의 상관성(1~27상관)을 비롯하여, 최저기온을 기록한 16차를 기준으로 1차(15-Oct)에서 16차(27-Jan)까지 기온이 하강함에 따른 상관관계(1~16상관), 16차(27-Jan)에서

Table 2. Temperature on Wonju-City, from Nov. 2015 to Apr. 2016

| | 1st 15-Oct. | 2nd 22-Oct. | 3rd 29-Oct. | 4th 5-Nov. | 5th 12-Nov. | 6th 19-Nov. | 7th 26-Nov. | 8th 4-Dec. | 9th 10-Dec. | 10th 17-Dec. | 11th 25-Dec. | 12th 31-Dec. | 13th 7-Jan. | 14th 14-Jan. | 15th 20-Jan. | 16th 27-Jan. | 17th 3-Feb. | 18th 10-Feb. | 19th 16-Feb. | 20th 24-Feb. | 21st 2-Mar. | 22nd 8-Mar. | 23rd 16-Mar. | 24th 23-Mar. | 25th 30-Mar. | 26th 6-Apr. | 27th 13-Apr. |
|---------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 1D/A | 17.9 | 17.5 | 8.4 | 13.2 | 14.5 | 8.9 | -2.7 | -0.4 | 7.8 | -4.6 | -0.8 | 0.7 | -3.4 | -3.4 | -10.5 | -1.1 | -2.4 | 2.7 | -2.7 | -3.0 | 3.1 | 2.7 | 8.4 | 8.4 | 12.8 | 14.7 | 12.6 |
| 1D/H | 26.1 | 23.1 | 14.7 | 19.2 | 21.0 | 10.8 | 0.9 | 3.1 | 9.2 | -0.4 | 3.7 | 2.8 | 1.4 | 1.3 | -5.2 | 4.3 | 4.0 | 10.7 | 1.1 | 2.2 | 8.1 | 7.0 | 14.9 | 13.7 | 19.5 | 23.1 | 19.4 |
| 1D/L | 12.1 | 14.5 | 3.2 | 8.6 | 10.2 | 6.7 | -4.8 | -4.4 | 5.8 | -7.4 | -4.9 | -1.9 | -5.9 | -8.4 | -14.5 | -4.7 | -8.3 | -4.3 | -6.7 | -6.8 | -2.2 | -1.4 | 2.9 | 4.0 | 6.9 | 6.4 | 7.7 |
| 2D/A | 17.5 | 17.7 | 9.2 | 12.7 | 13.1 | 9.7 | -0.2 | -0.6 | 6.4 | -2.8 | 0.4 | 0.5 | -2.6 | -4.0 | -11.7 | -2.2 | -3.9 | 1.5 | -4.3 | -1.2 | 0.2 | 5.4 | 7.1 | 9.0 | 12.4 | 13.9 | 12.7 |
| 2D/H | 25.3 | 22.9 | 15.3 | 19.5 | 19.4 | 11.7 | 3.1 | 3.2 | 10.1 | 1.2 | 4.5 | 3.6 | 1.6 | 0.7 | -7.1 | 3.0 | 2.5 | 8.1 | -0.6 | 3.4 | 5.1 | 9.6 | 13.8 | 14.8 | 19.1 | 21.4 | 18.0 |
| 2D/L | 11.5 | 14.2 | 4.4 | 7.2 | 8.4 | 7.6 | -2.0 | -3.8 | 2.5 | -6.2 | -3.3 | -2.7 | -5.4 | -8.3 | -14.8 | -6.6 | -9.2 | -4.1 | -8.4 | -5.7 | -4.9 | 1.7 | 0.5 | 3.3 | 5.7 | 6.3 | 8.6 |
| 3D/A | 16.7 | 18.1 | 10.1 | 12.4 | 12.0 | 11.1 | 1.8 | 1.6 | 5.2 | -0.3 | 2.2 | -0.7 | -2.6 | -4.4 | -9.9 | -4.6 | -4.6 | 1.4 | -3.7 | -0.4 | -1.1 | 6.2 | 6.1 | 9.4 | 11.2 | 13.7 | 13.7 |
| 3D/H | 24.0 | 23.6 | 15.5 | 19.2 | 17.4 | 14.2 | 5.0 | 5.0 | 9.9 | 3.5 | 6.5 | 3.3 | 1.5 | 0.7 | -4.6 | 0.9 | 1.3 | 7.2 | 1.5 | 3.6 | 3.0 | 10.7 | 12.3 | 15.4 | 18.3 | 20.8 | 19.9 |
| 3D/L | 10.3 | 14.6 | 5.5 | 7.0 | 8.2 | 8.7 | -0.4 | -1.6 | 1.2 | -3.5 | -1.2 | -4.7 | -5.2 | -8.6 | -14.0 | -9.2 | -9.1 | -4.2 | -7.8 | -4.5 | -5.2 | 2.6 | 0.5 | 3.5 | 3.9 | 6.7 | 8.7 |
| 4D/A | 15.6 | 18.1 | 11.4 | 12.0 | 11.7 | 11.4 | 3.5 | 2.2 | 4.4 | 1.0 | 2.4 | -2.0 | -1.5 | -4.2 | -7.0 | -7.1 | -4.4 | 0.4 | 0.0 | -0.5 | -0.7 | 7.5 | 5.3 | 9.6 | 10.2 | 13.2 | 14.2 |
| 4D/H | 22.5 | 23.7 | 16.3 | 18.2 | 16.1 | 14.2 | 6.5 | 6.3 | 9.1 | 4.3 | 6.8 | 2.3 | 2.5 | 0.8 | -2.1 | -2.0 | 1.1 | 6.3 | 4.8 | 3.8 | 4.0 | 11.4 | 10.4 | 15.3 | 17.3 | 19.5 | 20.8 |
| 4D/L | 9.8 | 14.4 | 7.1 | 6.8 | 8.6 | 9.2 | 1.3 | -1.5 | 0.1 | -2.0 | -1.3 | -5.9 | -4.5 | -8.1 | -10.7 | -11.4 | -8.5 | -5.2 | -4.4 | -4.4 | -4.6 | 4.2 | 0.7 | 4.0 | 3.1 | 7.4 | 8.4 |
| 5D/A | 14.6 | 18.0 | 12.3 | 11.0 | 11.6 | 11.8 | 4.8 | 2.6 | 3.8 | 1.9 | 2.4 | -2.7 | 0.1 | -3.3 | -5.6 | -7.9 | -3.4 | -0.3 | 1.7 | -0.1 | 0.1 | 8.6 | 4.7 | 9.9 | 9.5 | 13.7 | 14.5 |
| 5D/H | 20.8 | 23.8 | 17.6 | 17.1 | 15.2 | 14.8 | 8.3 | 6.8 | 8.8 | 5.8 | 6.5 | 1.6 | 3.9 | 1.4 | -1.1 | -3.2 | 1.9 | 5.4 | 5.8 | 4.3 | 4.8 | 13.2 | 9.8 | 15.7 | 16.4 | 20.2 | 20.8 |
| 5D/L | 9.4 | 14.0 | 8.1 | 5.7 | 8.9 | 9.5 | 2.2 | -1.0 | -0.4 | -1.4 | -1.1 | -6.5 | -2.6 | -7.0 | -8.9 | -12.3 | -7.3 | -5.4 | -2.2 | -4.0 | -3.5 | 4.6 | -0.1 | 4.1 | 2.5 | 7.4 | 9.0 |
| 6D/A | 14.3 | 18.2 | 13.1 | 10.1 | 11.4 | 11.9 | 5.5 | 2.6 | 3.7 | 2.4 | 2.2 | -2.1 | 1.1 | -3.1 | -4.8 | -7.9 | -2.5 | -0.7 | 2.7 | 0.3 | 0.5 | 8.6 | 4.1 | 10.1 | 8.9 | 13.9 | 14.4 |
| 6D/H | 20.2 | 24.3 | 18.3 | 16.3 | 14.6 | 14.7 | 9.5 | 6.3 | 8.6 | 6.7 | 6.4 | 2.1 | 4.8 | 1.5 | 0.0 | -3.3 | 2.5 | 5.1 | 7.1 | 4.3 | 5.3 | 13.3 | 9.1 | 16.0 | 15.5 | 20.9 | 20.5 |
| 6D/L | 9.6 | 13.7 | 9.0 | 4.9 | 9.0 | 9.7 | 2.7 | -0.7 | -0.2 | -1.0 | -1.5 | -6.0 | -2.0 | -6.9 | -8.2 | -12.1 | -6.3 | -5.6 | -1.6 | -3.4 | -3.5 | 4.6 | -0.8 | 4.7 | 2.5 | 6.9 | 9.2 |
| 7D/A | 14.6 | 18.1 | 13.7 | 9.4 | 11.7 | 11.9 | 6.1 | 2.2 | 3.1 | 3.0 | 1.9 | -1.9 | 1.1 | -3.1 | -4.6 | -7.8 | -2.2 | -0.7 | 2.7 | 0.8 | 0.4 | 7.8 | 3.7 | 10.0 | 8.7 | 13.7 | 14.4 |
| 7D/H | 20.3 | 24.3 | 18.8 | 15.5 | 15.3 | 14.5 | 10.2 | 5.8 | 7.8 | 7.5 | 6.4 | 2.3 | 4.7 | 1.5 | 0.2 | -3.2 | 2.6 | 4.9 | 7.6 | 4.8 | 5.3 | 12.6 | 8.6 | 16.2 | 15.0 | 20.8 | 20.6 |
| 7D/L | 10.0 | 13.6 | 9.9 | 4.5 | 9.1 | 9.8 | 3.3 | -1.0 | -0.8 | -0.4 | -1.9 | -5.8 | -2.2 | -6.9 | -8.2 | -11.8 | -6.2 | -5.4 | -1.9 | -3.1 | -3.8 | 3.6 | -0.9 | 4.1 | 2.3 | 6.5 | 9.1 |
| 7D/HI | 26.1 | 26.6 | 22.8 | 19.8 | 21.0 | 19.3 | 15.7 | 10.4 | 10.9 | 12.2 | 10.6 | 4.7 | 9.5 | 3.8 | 5.4 | 4.3 | 5.4 | 10.7 | 14.4 | 7.8 | 8.1 | 20.3 | 14.9 | 17.4 | 19.5 | 24.4 | 23.9 |
| 7D/LI | 7.8 | 12.4 | 3.2 | 1.1 | 6.6 | 6.7 | -4.8 | -4.4 | -4.4 | -7.4 | -4.9 | -9.5 | -5.9 | -9.1 | -15.1 | -18.0 | -10.0 | -8.3 | -10.0 | -6.8 | -7.5 | -2.2 | -4.0 | 0.5 | 0.2 | 4.0 | 7.5 |
| 7D/HSA | 24.0 | 25.3 | 22.1 | 19.2 | 19.3 | 16.9 | 15.2 | 9.1 | 9.9 | 11.8 | 8.4 | 4.2 | 8.1 | 2.5 | 4.5 | 1.2 | 4.9 | 7.2 | 12.9 | 6.2 | 7.9 | 15.9 | 12.3 | 17.4 | 18.3 | 23.5 | 22.9 |
| 7D/LSA | 8.0 | 12.7 | 5.5 | 1.4 | 7.9 | 8.5 | -0.4 | -3.4 | -3.3 | -3.8 | -4.3 | -9.0 | -5.2 | -8.6 | -14.0 | -16.1 | -9.1 | -7.1 | -7.8 | -5.2 | -6.4 | 0.2 | -3.2 | 2.3 | 0.4 | 4.9 | 7.8 |
| 7D/H4A | 23.1 | 25.0 | 21.2 | 18.2 | 17.9 | 16.2 | 14.1 | 7.8 | 9.4 | 10.9 | 7.8 | 3.9 | 7.1 | 2.1 | 3.7 | 0.1 | 4.5 | 6.4 | 12.2 | 5.8 | 7.7 | 15.2 | 11.1 | 17.2 | 17.3 | 22.7 | 22.3 |
| 7D/L4A | 8.6 | 12.9 | 7.1 | 2.5 | 8.3 | 9.1 | 1.0 | -2.9 | -2.8 | -2.6 | -3.6 | -8.0 | -4.7 | -8.2 | -12.6 | -14.9 | -8.5 | -6.4 | -7.0 | -4.5 | -5.6 | 1.3 | -2.8 | 2.7 | 0.5 | 5.3 | 8.1 |
| Average | 16.3 | 18.7 | 12.0 | 11.6 | 12.9 | 11.5 | 3.9 | 1.8 | 4.7 | 1.1 | 1.9 | -1.4 | -0.2 | -3.3 | -6.7 | -5.7 | -2.8 | 0.8 | 0.2 | -0.2 | 0.5 | 7.2 | 5.5 | 9.6 | 10.3 | 13.9 | 14.4 |

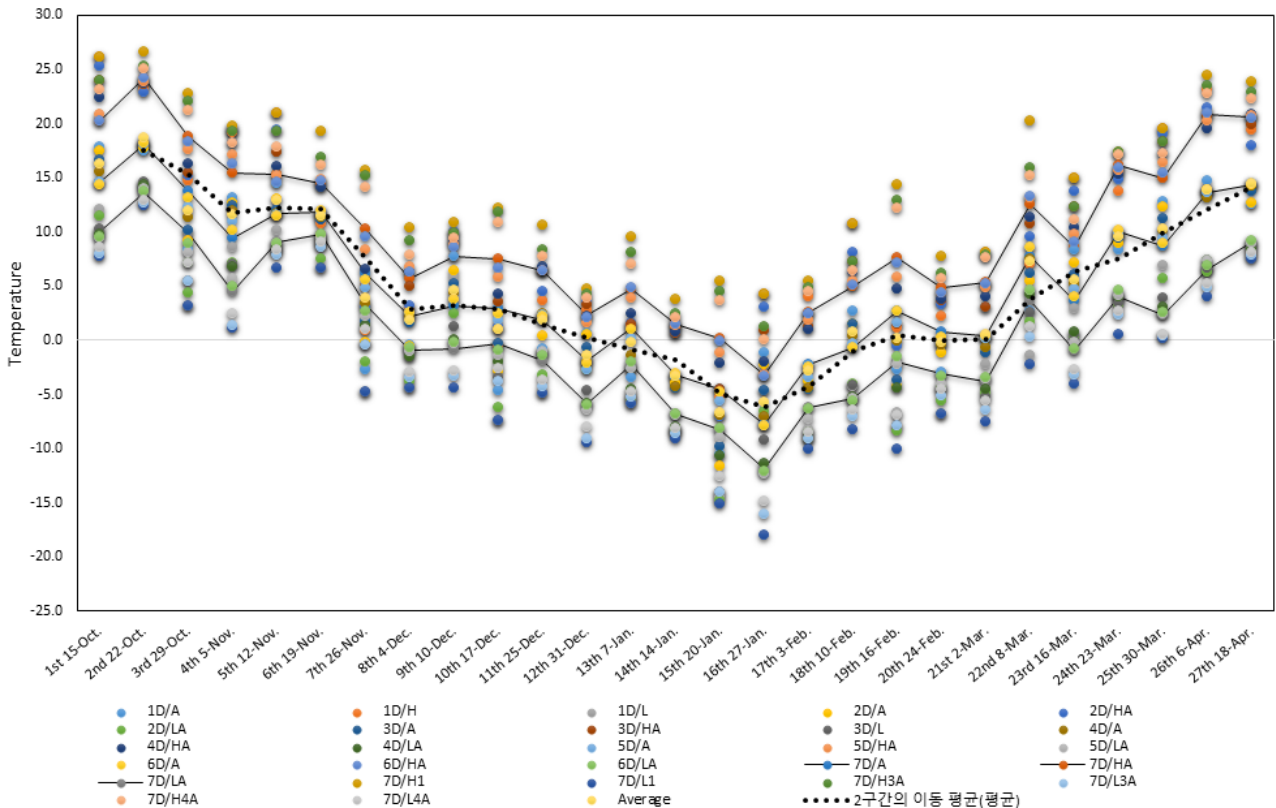


Figure 5. Fluctuation of temperature on Wonju-City, from Nov. 2015 to Apr. 2016

27차(18-Apr)에 이르는 상승하는 기온의 변화와 개체수와
의 상관관계(16~27상관)를 분석한 결과 각 종마다 기온의
조건(평균기온: AT, 최고기온: HT, 최저기온: LT)과 일수
(1D,2D,3D,4D,5D,6D,7D)에 대한 상관성이 다를 수
있었고, 1~27상관(Table 4), 1~16상관(Table 5), 16~27상
관(Table 6)의 결과 값을 통해 월동수조류의 기온에 대한
반응은 기온이 하강하는 월동전반기와 상승하는 월동후반
기가 다를 수 있었다. 수조류 전체의 개체수는 모든
상관관계(1~27상관, 1~16상관, 16~27상관)에서 4D/LA와
가장 높은 상관성을 보여 조사일 이전 4일의 최저기온 평균
이 월동기 조류의 이동 및 군집에 가장 큰 영향을 미치는
것으로 생각된다.

기온이 하강하는 월동기 전반의 1~16상관관계는 종마다
각기 다른 특성을 보였다. 원양은 상관성을 보이지 않았으
며, 쇠오리는 6D와 7D의 최저기온과 평균기온에서 높은
상관성을, 청둥오리는 최저기온에 높은 상관성을 보였는데
4D, 5D의 최저기온에 가장 높은 상관성을 나타내었다. 흰
뺨검둥오리는 최고기온에 높은 상관성을 보였는데 일주일
중 최고기온을 보인 3일과 4일(7D/H3A, 7D/H4A)에 가장
높은 상관성을 보였으며, 알락오리는 5D, 6D의 최저기온에

상관성을, 논병아리는 최고기온에 높은 상관성을 보였는데
7D/H3A, 7D/H1, 7D/H4A순으로 높은 상관성을 보였으며,
흰목물떼새는 조사당일의 최고기온에만 상관성을 보였고,
대백로는 최고기온에 높은 상관성을 보였는데 7D/H1,
7D/H3A, 7D/H4A 등의 순으로 높은 상관성을, 왜가리는
2D와 3D에 가장 높은 상관성을, 쇠백로는 2D, 3D, 1D 순으
로 최고기온에 가장 높은 상관성을 나타내었다(Table 5).

기온이 상승하는 월동기 후반의 16~27상관에서는 기온
의 조건보다는 일수에 높은 상관성을 보인 종이 많았다. 원
양은 2D, 1D의 기온에 가장 높은 상관성을 보였고, 쇠오리
는 최저기온에 높은 상관성을 보였는데 5D, 6D, 7D, 4D순
이었고, 청머리오리는 7D/L1, 7D/L3A, 7D/L4A순으로 최
저기온에 높은 상관성을 나타내었고, 청둥오리는 5D, 4D의
최저기온, 5D, 6D의 평균기온 순으로 매우 높은 상관성을
보였으며, 흰뺨검둥오리는 3D,2D 등 최저기온에 가장 높은
상관성을, 알락오리는 1D~3D에 높은 상관성을, 깍도요는
4D와 3D의 최저기온과 평균기온에서 높은 상관성을, 뺨뺨
도요는 1D~3D의 기온에만 낮은 상관성을 보였으며, 흰목
물떼새는 1D/H, 2D/HA, 2D/A에만 낮은 상관성을 보였고,
대백로는 2D와 3D의 기온에 상관성을 보였고, 왜가리는

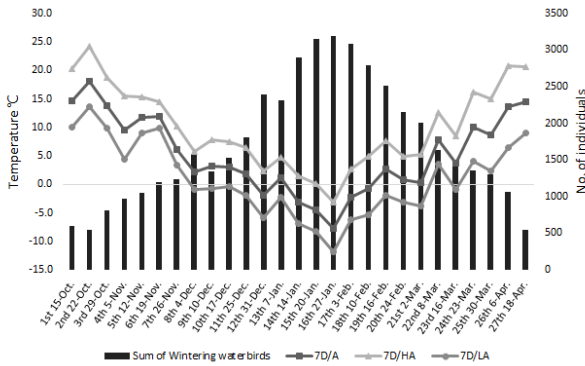


Figure 6. Change of the temperature and individuals of waterbird in Wonju-stream, 2015-2016 winter

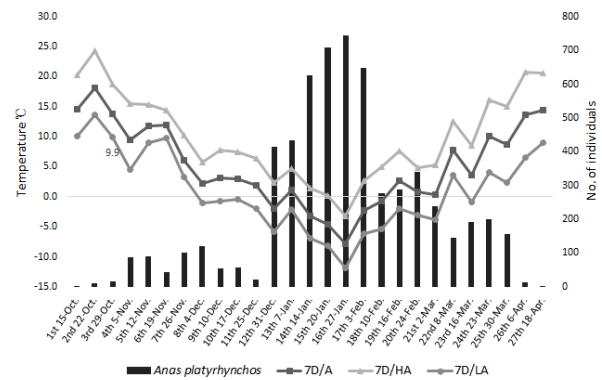


Figure 9. Change of the temperature and individuals of *Anas platyrhynchos* in Wonju-stream, 2015-2016 winter

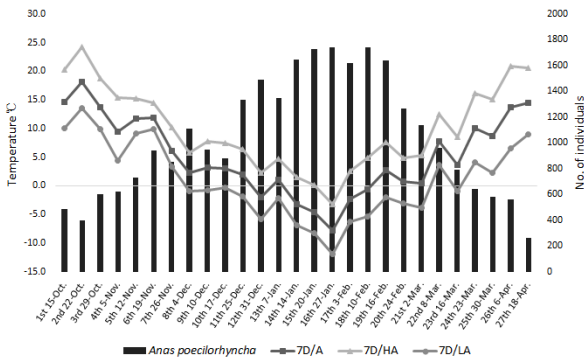


Figure 7. Change of the temperature and individuals of *Anas poecilorhyncha* in Wonju-stream, 2015-2016 winter

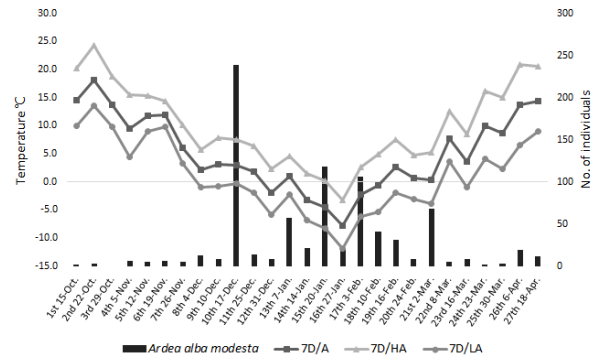


Figure 10. Change of the temperature and individuals of *Ardea alba modesta* in Wonju-stream, 2015-2016 winter

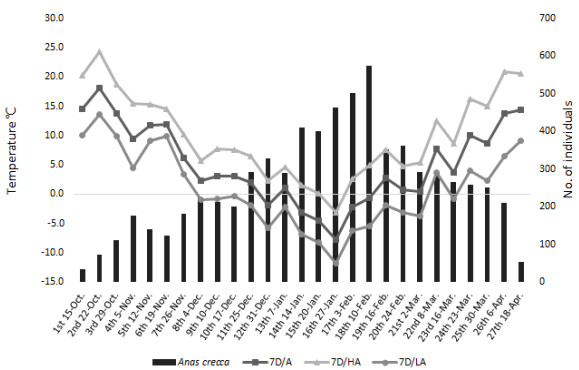


Figure 8. Change of the temperature and individuals of *Anas crecca* in Wonju-stream, 2015-2016 winter.

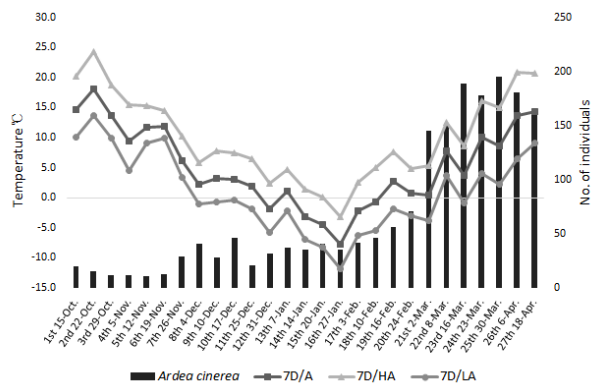


Figure 11. Change of the temperature and individuals of *Ardea cinerea* in Wonju-stream, 2015-2016 winter

1D~3D의 최저기온과 평균기온에 높은 양의 상관성을 보였고, 쇠백로는 1D/A, 2D/HA, 1D/H, 2D/A, 1D/L, 3D/HA,

3D/A 등의 순으로 1D~3D에 높은 양의 상관성을 보였다 (Table 6).

Table 3. Freezing level of Gwanam-reservoir and HeungYang-stream in WonJu-city, 2015-2016 winter

| No. and date | Freezing Level* | | |
|--------------|-----------------|-------|--------|
| | Re/FL | Ri/FL | Sum/FL |
| 1st 15-Oct. | 1 | 1 | 2 |
| 2nd 22-Oct. | 1 | 1 | 2 |
| 3rd 29-Oct. | 1 | 1 | 2 |
| 4th 5-Nov. | 1 | 1 | 2 |
| 5th 12-Nov. | 1 | 1 | 2 |
| 6th 19-Nov. | 1 | 1 | 2 |
| 7th 26-Nov. | 1 | 1 | 2 |
| 8th 4-Dec. | 1 | 1 | 2 |
| 9th 10-Dec. | 1 | 1 | 2 |
| 10th 17-Dec. | 1 | 1 | 2 |
| 11th 25-Dec. | 7 | 2 | 9 |
| 12th 31-Dec. | 7 | 2 | 9 |
| 13th 7-Jan. | 7 | 3 | 10 |
| 14th 14-Jan. | 7 | 5 | 12 |
| 15th 20-Jan. | 7 | 7 | 14 |
| 16th 27-Jan. | 7 | 7 | 14 |
| 17th 3-Feb. | 7 | 6 | 13 |
| 18th 10-Feb. | 7 | 4 | 11 |
| 19th 16-Feb. | 7 | 3 | 10 |
| 20th 24-Feb. | 3 | 2 | 5 |
| 21st 2-Mar. | 1 | 2 | 3 |
| 22nd 8-Mar. | 1 | 1 | 2 |
| 23rd 16-Mar. | 1 | 1 | 2 |
| 24th 23-Mar. | 1 | 1 | 2 |
| 25th 30-Mar. | 1 | 1 | 2 |
| 26th 6-Apr. | 1 | 1 | 2 |
| 27th 18-Apr. | 1 | 1 | 2 |

*Re/FL=Freezing level of Reservoir, Ri/FL=Freezing level of River, Sum/FL=Sum of Re/FL, Ri/FL(1=0%Freezing, 2=1~20% Freezing, 3=21~40%Freezing, 4=41~60%Freezing, 5=61~80% Freezing, 6=81~99%Freezing, 7=100%Freezing)

월동하는 수조류의 대부분이 기온에 대한 음의 상관성을 보였지만 쇠백로는 모든 상관분석(1~27상관, 1~16상관, 16~27상관)에서 양의 상관성을 보였으며, 왜가리는 1~16상관에서 음의 상관성을 보인 반면 16~27상관에서는 양의 상관성을 나타내었다. 출현빈도가 낮은 몇 종을 제외한 대부분의 종들이 기온과의 높은 상관관계를 보였으며 종마다 기온의 조건에 대한 군집 경향이 다름을 알 수 있었다. 기온이 하강하는 1-16상관에서 최저기온에 높은 상관성을 보인 종은 쇠오리, 알락오리, 비오리 등이었으며, 최고기온에 높은 상관성을 보인 종은 흰뺨검둥오리, 논병아리, 대백로였다. 조사일을 기준으로 5D~7D의 기온에 높은 상관성을

보인 종은 쇠오리, 알락오리였으며, 청둥오리는 4D, 5D에 높은 상관성을 보였고, 왜가리, 쇠백로는 2D, 3D에 높은 상관성을, 흰목물떼새는 1D, 2D에 상관성을 보여주었다. 기온이 상승하는 16-27상관에서 최저기온에 높은 상관성을 보인 종은 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리 등이었으며, 최고기온에 높은 상관성을 보인 것은 대백로였고, 원앙, 흰목물떼새는 조사당일과 2D에 높은 상관성을 보인 것을 비롯하여, 흰뺨검둥오리, 대백로, 알락오리, 뺨뺨도요, 왜가리, 쇠백로 등 많은 종이 1D~3D의 기온에 높은 상관성을 보였고, 청둥오리, 깎도요는 4D,5D의 기온에 높은 상관성을 보였다.

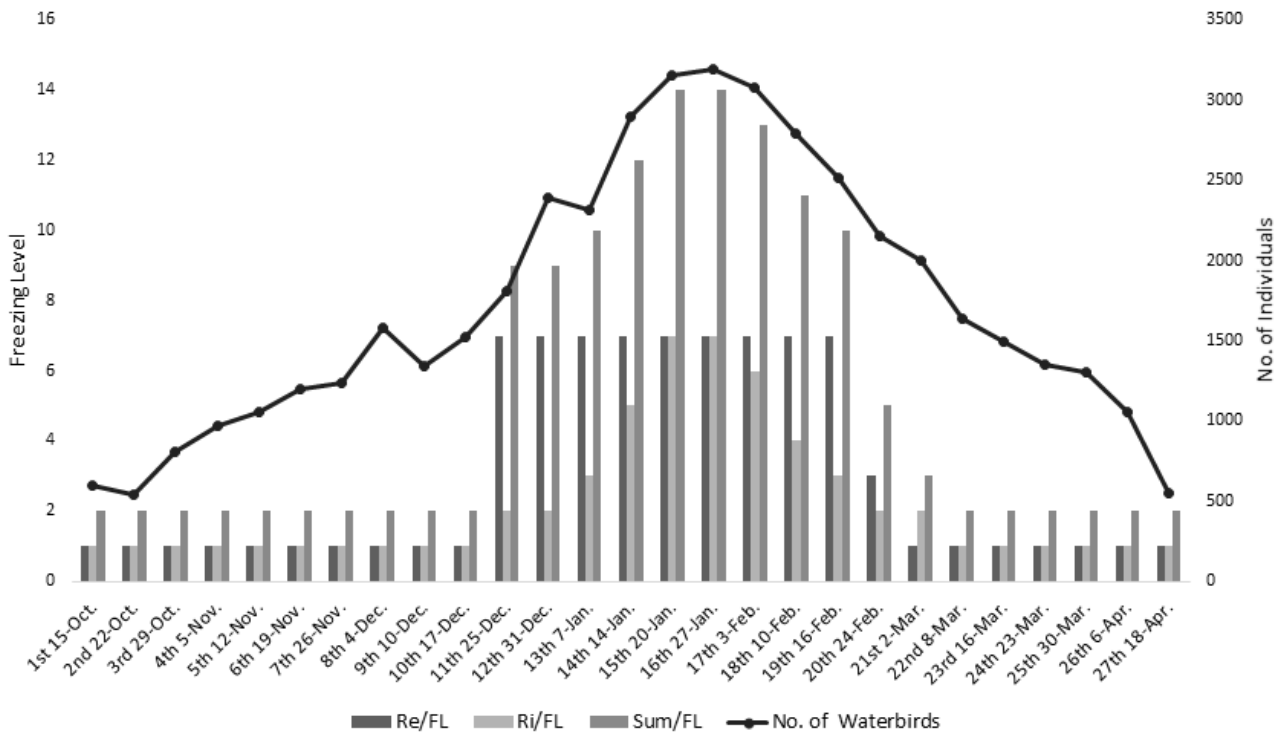


Figure 12. Change of the Freezing level and No. of individuals of Waterbirds in Wonju-stream, 2015-2016 winter

Table 4. Pearson Correlative relationship of the waterbirds by the Freezing level on Wonju-stream

| | Re/FL | Ri/FL | Sum/FL |
|-------------------|----------|----------|----------|
| No. of Waterbirds | 0.860*** | 0.880*** | 0.910*** |

***. Correlation is significant at the 0.001 level (2-tailed)

Re/FL=Freezing level of Reservoir, Ri/FL=Freezing level of River, Sum/FL=Sum of Re/FL,Ri/FL

Table 5. Kolmogorov-Smirnov Test of the waterbirds on Wonju-stream, 2015-2016 winter

| | N | Normal Parameters | | Most Extreme Differences | | | Kolmogorov -Smirnov Z | Asymp. Sig. (2-tailed) |
|-------------------------------|----|-------------------|----------------|--------------------------|----------|----------|-----------------------|------------------------|
| | | Mean | Std. Deviation | Absolute | Positive | Negative | | |
| <i>Aix galericulata</i> | 27 | 14.407 | 18.4501 | .217 | .212 | -.217 | 1.130 | .156 |
| <i>Anas crecca</i> | 27 | 261.593 | 135.0474 | .112 | .112 | -.046 | .581 | .889 |
| <i>Anas platyrhynchos</i> | 27 | 223.333 | 230.6938 | .170 | .170 | -.168 | .885 | .413 |
| <i>Anas poecilorhyncha</i> | 27 | 1038.852 | 459.1386 | .122 | .122 | -.119 | .634 | .816 |
| <i>Anas strepera</i> | 27 | 4.037 | 4.6532 | .225 | .225 | -.193 | 1.168 | .131 |
| <i>Tachybaptus ruficollis</i> | 27 | 26.704 | 16.5525 | .167 | .167 | -.085 | .870 | .436 |
| <i>Gallinago gallinago</i> | 27 | 4.444 | 3.0926 | .174 | .147 | -.174 | .904 | .387 |
| <i>Tringa ochropus</i> | 27 | 2.556 | 1.7614 | .216 | .216 | -.115 | 1.124 | .160 |
| <i>Charadrius placidus</i> | 27 | 14.111 | 12.6956 | .212 | .212 | -.151 | 1.101 | .177 |
| <i>Ardea alba alba</i> | 27 | 8.259 | 8.2769 | .172 | .172 | -.159 | .892 | .404 |
| <i>Ardea cinerea</i> | 27 | 68.222 | 64.3365 | .302 | .302 | -.187 | 1.568 | .015 |
| <i>Egretta garzetta</i> | 27 | 11.889 | 12.0267 | .213 | .213 | -.161 | 1.106 | .173 |
| sum | 27 | 1721.000 | 826.6280 | .134 | .134 | -.088 | .694 | .721 |

Table 6. Pearson Correlative relationship of the waterbirds by the temperature on Wonju-stream, from 1st(15-Oct 2015) to 27th(18-Apr 2016)

| Scientific name | 1D/A | 1D/H | 1D/L | 2D/A | 2D/H | 2D/L | 3D/A | 3D/H | 3D/L | 4D/A | 4D/H | 4D/L | 5D/A | 5D/H | 5D/L | 6D/A | 6D/H | 6D/L | 7D/A | 7D/H | 7D/L | 7D/H3A | 7D/L3A | 7D/H4A | 7D/L4A | | |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <i>Aix galericulata</i> | -.384** | -.313 | -.441* | -.443* | -.387* | -.504** | -.492** | -.444* | -.537** | -.485* | -.439* | -.521** | -.472* | -.441* | -.407** | -.458* | -.429* | -.481* | -.450* | -.417* | -.482* | -.400* | -.495** | -.413* | -.498** | -.401* | -.503** |
| <i>Anas crecca</i> | -.676** | -.606** | -.747** | -.732** | -.670** | -.797** | -.788** | -.739** | -.838** | -.830** | -.784** | -.866** | -.842** | -.804** | -.874** | -.848** | -.809** | -.878** | -.853** | -.814** | -.883** | -.796** | -.841** | -.828** | -.858** | -.825** | -.866** |
| <i>Anas platyrhynchos</i> | -.665** | -.607** | -.692** | -.725** | -.672** | -.758** | -.795** | -.742** | -.827** | -.828** | -.783** | -.843** | -.829** | -.801** | -.836** | -.821** | -.796** | -.824** | -.816** | -.794** | -.819** | -.790** | -.790** | -.793** | -.818** | -.791** | -.822** |
| <i>Anas poecilorhyncha</i> | -.814** | -.786** | -.832** | -.865** | -.843** | -.872** | -.901** | -.883** | -.897** | -.916** | -.903** | -.904** | -.914** | -.917** | -.889** | -.908** | -.906** | -.909** | -.881** | -.875** | -.874** | -.874** | -.904** | -.884** | -.904** | -.904** | -.885** |
| <i>Anas strepera</i> | -.445* | -.372 | -.527** | -.493** | -.437* | -.563** | -.546** | -.507** | -.593** | -.552** | -.518** | -.585** | -.553** | -.518** | -.585** | -.558** | -.521** | -.595** | -.521** | -.595** | -.472* | -.593** | -.522** | -.588** | -.514** | -.592** | |
| <i>Tachyopsis nificallis</i> | -.682** | -.702** | -.637** | -.704** | -.714** | -.671** | -.732** | -.737** | -.698** | -.761** | -.767** | -.734** | -.770** | -.787** | -.729** | -.768** | -.787** | -.727** | -.769** | -.791** | -.723** | -.789** | -.692** | -.795** | -.718** | -.800** | -.721** |
| <i>Gallinago gallinago</i> | -.448* | -.437* | -.422* | -.483* | -.468* | -.500** | -.511** | -.491** | -.516** | -.438* | -.483* | -.517** | -.415* | -.475** | -.507** | -.411* | -.457* | -.487** | -.386* | -.458* | -.460* | -.440* | -.424* | -.452* | -.452* | -.403* | |
| <i>Tringa ochropus</i> | -.057 | -.084 | -.035 | -.075 | -.050 | -.060 | -.059 | -.035 | -.015 | -.011 | -.003 | -.002 | -.005 | -.017 | -.007 | -.008 | -.017 | -.001 | -.002 | -.009 | -.037 | -.025 | -.001 | -.051 | -.005 | -.036 | |
| <i>Charadrius placidus</i> | -.396* | -.482* | -.289 | -.351 | -.424* | -.253 | -.308 | -.378 | -.206 | -.291 | -.370 | -.198 | -.277 | -.356 | -.175 | -.263 | -.344 | -.166 | -.256 | -.331 | -.159 | -.348 | -.187 | -.324 | -.160 | -.330 | |
| <i>Ardea alba alba</i> | -.530** | -.556** | -.520** | -.581** | -.595** | -.564** | -.602** | -.612** | -.568** | -.577** | -.587** | -.541** | -.543** | -.564** | -.494** | -.532** | -.553** | -.493** | -.553** | -.493** | -.592** | -.467* | -.569** | -.475* | -.561** | -.485** | |
| <i>Ardea cinerea</i> | .230 | .273 | .142 | .218 | .254 | .124 | .197 | .237 | .104 | .191 | .234 | .109 | .196 | .249 | .096 | .183 | .241 | .081 | .165 | .228 | .052 | .213 | .099 | .211 | .086 | .217 | |
| <i>Egretta garzetta</i> | .596** | .615** | .541** | .598** | .623** | .532** | .575** | .618** | .488** | .541** | .593** | .452* | .514** | .571** | .419* | .499** | .557** | .404* | .492** | .549** | .396* | .495** | .473* | .529** | .428* | .529** | |
| sum | -.801** | -.749** | -.838** | -.860** | -.816** | -.892** | -.910** | -.873** | -.933** | -.934** | -.902** | -.942** | -.932** | -.915** | -.927** | -.909** | -.925** | -.925** | -.908** | -.924** | -.885** | -.906** | -.906** | -.922** | -.904** | -.925** | |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Table 7. Pearson Correlative relationship of the waterbirds by the temperature on Wonju-stream, from 1st(15-Oct 2015) to 16th(27-Jan 2016)

| Scientific name | 1D/AT | 1D/HT | 1D/LT | 2D/AT | 2D/HT | 2D/LT | 3D/AT | 3D/HT | 3D/LT | 4D/AT | 4D/HT | 4D/LT | 5D/AT | 5D/HT | 5D/LT | 6D/AT | 6D/HT | 6D/LT | 7D/AT | 7D/HT | 7D/LT | 7D/HI | 7D/LI | 7D/H3A | 7D/L3A | 7D/H4A | 7D/L4A | | |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <i>Aix galericulata</i> | -210 | -.122 | -.236 | -.268 | -.202 | -.308 | -.348 | -.273 | -.402 | -.395 | -.328 | -.436 | -.420 | -.375 | -.455 | -.423 | -.377 | -.454 | -.416 | -.374 | -.444 | -.281 | -.446 | -.330 | -.471 | -.336 | -.471 | -.336 | -.469 |
| <i>Anas crecca</i> | -.782** | -.761** | -.792** | -.837** | -.809** | -.861** | -.902** | -.869** | -.918** | -.940** | -.910** | -.948** | -.952** | -.937** | -.953** | -.957** | -.942** | -.958** | -.960** | -.945** | -.961** | -.942** | -.921** | -.951** | -.947** | -.950** | -.947** | -.955** | -.955** |
| <i>Anas platyrhynchos</i> | -.633** | -.582* | -.654** | -.700** | -.655** | -.730** | -.787** | -.732** | -.819** | -.818** | -.773** | -.833** | -.822** | -.798** | -.827** | -.818** | -.794** | -.822** | -.812** | -.793** | -.816** | -.773** | -.784** | -.785** | -.785** | -.816** | -.786** | -.820** | -.820** |
| <i>Anas poecilorhyncha</i> | -.806** | -.798** | -.811** | -.855** | -.845** | -.865** | -.908** | -.890** | -.913** | -.938** | -.922** | -.935** | -.942** | -.944** | -.928** | -.941** | -.947** | -.926** | -.942** | -.948** | -.927** | -.943** | -.881** | -.960** | -.960** | -.908** | -.959** | -.917** | -.917** |
| <i>Anas strepera</i> | -.552* | -.496 | -.573* | -.612* | -.563* | -.650** | -.692** | -.642** | -.728** | -.750** | -.706** | -.772** | -.744** | -.791** | -.777** | -.751** | -.791** | -.770** | -.747** | -.778** | -.683** | -.774** | -.716** | -.783** | -.783** | -.723** | -.783** | -.782** | -.782** |
| <i>Taiphoptus nigicollis</i> | -.720** | -.735** | -.707** | -.751** | -.753** | -.761** | -.806** | -.801** | -.799** | -.836** | -.830** | -.833** | -.839** | -.832** | -.832** | -.821** | -.838** | -.845** | -.831** | -.885** | -.851** | -.885** | -.760** | -.886** | -.798** | -.879** | -.879** | -.813** | -.813** |
| <i>Gallinago gallinago</i> | -.283 | -.238 | -.301 | -.289 | -.243 | -.321 | -.314 | -.296 | -.314 | -.303 | -.312 | -.288 | -.284 | -.293 | -.272 | -.283 | -.287 | -.273 | -.271 | -.269 | -.262 | -.236 | -.348 | -.217 | -.294 | -.234 | -.234 | -.276 | -.276 |
| <i>Tringa ochropus</i> | .183 | .218 | .130 | .169 | .210 | .129 | .177 | .214 | .143 | .192 | .242 | .147 | .190 | .240 | .138 | .178 | .235 | .120 | .157 | .211 | .102 | .134 | .147 | .162 | .084 | .170 | .090 | .090 | .090 |
| <i>Charadrius placidus</i> | -.460 | -.524* | -.409 | -.418 | -.479 | -.371 | -.385 | -.454 | -.312 | -.368 | -.443 | -.302 | -.344 | -.415 | -.272 | -.334 | -.408 | -.271 | -.332 | -.396 | -.277 | -.433 | -.254 | -.420 | -.230 | -.419 | -.242 | -.242 | -.242 |
| <i>Ardea alba alba</i> | -.499* | -.515* | -.508* | -.523* | -.550* | -.526* | -.542* | -.546* | -.529* | -.535* | -.537* | -.516* | -.504* | -.511* | -.479 | -.501* | -.477 | -.505* | -.521* | -.482 | -.592* | -.399 | -.579* | -.418 | -.569* | -.442 | -.442 | -.442 | -.442 |
| <i>Ardea cinerea</i> | -.830** | -.817** | -.839** | -.828** | -.839** | -.839** | -.833** | -.835** | -.824** | -.820** | -.812** | -.801** | -.797** | -.790** | -.788** | -.782** | -.779** | -.776** | -.777** | -.779** | -.768** | -.770** | -.788** | -.748** | -.769** | -.752** | -.774** | -.774** | -.774** |
| <i>Egretta garzetta</i> | .564* | .584* | .526* | .576* | .607* | .523* | .549* | .587* | .495 | .519* | .557* | .466 | .488 | .528* | .438 | .475 | .519* | .422 | .470 | .519* | .418 | .442 | .483 | .463 | .437 | .480 | .437 | .437 | .437 |
| sum | -.800** | -.772** | -.810** | -.855** | -.828** | -.874** | -.917** | -.884** | -.931** | -.944** | -.937** | -.942** | -.936** | -.934** | -.924** | -.900** | -.925** | -.936** | -.937** | -.924** | -.900** | -.937** | -.925** | -.936** | -.936** | -.931** | -.931** | -.931** | -.931** |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Table 8. Pearson Correlative relationship of the waterbirds by the temperature on Wonju-stream, from 16th(27-Jan 2016) to 27th(18-Apr 2016)

| Scientific name | 1D/A | 1D/H | 1D/L | 2D/A | 2D/H | 2D/L | 3D/A | 3D/H | 3D/L | 4D/A | 4D/H | 4D/L | 5D/A | 5D/H | 5D/L | 6D/A | 6D/H | 6D/L | 7D/A | 7D/H | 7D/L | 7D/H3A | 7D/L3A | 7D/H4A | 7D/L4A | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| <i>Aix galericulata</i> | -.927** | -.911** | -.929** | -.944** | -.939** | -.935** | -.916** | -.918** | -.903** | -.850** | -.858** | -.831** | -.798** | -.819** | -.754** | -.783** | -.744** | -.760** | -.718** | -.810** | -.772** | -.768** | -.758** | -.749** | -.756** | | |
| <i>Anas crecca</i> | -.723** | -.657* | -.806** | -.756** | -.683* | -.805** | -.777** | -.745** | -.821** | -.826** | -.803** | -.848** | -.838** | -.817** | -.853** | -.816** | -.853** | -.840** | -.821** | -.855** | -.787** | -.827** | -.830** | -.829** | -.832** | -.831** | |
| <i>Anas platyrhynchos</i> | -.748** | -.703* | -.746** | -.781** | -.732** | -.796** | -.833** | -.797** | -.857** | -.896** | -.871** | -.906** | -.905** | -.888** | -.914** | -.897** | -.887** | -.895** | -.892** | -.882** | -.896** | -.879** | -.885** | -.877** | -.894** | -.895** | |
| <i>Anas poecilorhyncha</i> | -.881** | -.824** | -.927** | -.922** | -.884** | -.935** | -.929** | -.909** | -.941** | -.925** | -.917** | -.924** | -.910** | -.913** | -.894** | -.897** | -.896** | -.886** | -.891** | -.892** | -.827** | -.926** | -.866** | -.917** | -.867** | -.913** | |
| <i>Anas strepera</i> | -.862** | -.834** | -.897** | -.854** | -.845** | -.838** | -.840** | -.837** | -.809** | -.810** | -.837** | -.765** | -.774** | -.796** | -.722** | -.762** | -.779** | -.770** | -.784** | -.732** | -.737** | -.774** | -.788** | -.749** | -.779** | -.756** | |
| <i>Tachybaptus ruficollis</i> | -.720** | -.665* | -.734** | -.780** | -.737** | -.795** | -.827** | -.787** | -.862** | -.878** | -.846** | -.911** | -.905** | -.889** | -.924** | -.912** | -.898** | -.926** | -.912** | -.899** | -.924** | -.795** | -.926** | -.848** | -.938** | -.940** | |
| <i>Gallinago gallinago</i> | -.786** | -.738** | -.819** | -.883** | -.854** | -.894** | -.907** | -.896** | -.916** | -.910** | -.895** | -.917** | -.904** | -.905** | -.886** | -.892** | -.890** | -.883** | -.885** | -.878** | -.882** | -.855** | -.885** | -.855** | -.892** | -.891** | |
| <i>Tringa ochropus</i> | -.576* | -.639* | -.543 | -.599* | -.642* | -.579* | -.575 | -.583* | -.564 | -.441 | -.462 | -.427 | -.369 | -.404 | -.332 | -.324 | -.354 | -.297 | -.324 | -.336 | -.324 | -.319 | -.478 | -.278 | -.441 | -.264 | -.433 |
| <i>Charadrius placidus</i> | -.567 | -.616* | -.514 | -.590* | -.614* | -.573 | -.560 | -.543 | -.561 | -.449 | -.460 | -.446 | -.395 | -.425 | -.371 | -.350 | -.375 | -.332 | -.344 | -.349 | -.352 | -.346 | -.506 | -.301 | -.462 | -.289 | -.456 |
| <i>Ardea alba alba</i> | -.548 | -.573 | -.573 | -.671* | -.680* | -.674* | -.673* | -.682* | -.656* | -.566 | -.577* | -.540 | -.501 | -.528 | -.446 | -.468 | -.486 | -.433 | -.471 | -.475 | -.454 | -.491 | -.524 | -.456 | -.519 | -.420 | -.516 |
| <i>Ardea cinerea</i> | .857** | .789** | .888** | .869** | .843** | .850** | .850** | .831** | .848** | .843** | .827** | .847** | .826** | .825** | .807** | .804** | .805** | .784** | .791** | .789** | .778** | .757** | .804** | .783** | .797** | .780** | .792** |
| <i>Egretta garzetta</i> | .852** | .844** | .828** | .831** | .845** | .780** | .786** | .818** | .718** | .733** | .781** | .657* | .691* | .740** | .610* | .674* | .717** | .596* | .676* | .709** | .607* | .675* | .677* | .718** | .638* | .706* | .623* |
| sum | -.857** | -.796** | -.901** | -.904** | -.853** | -.927** | -.929** | -.901** | -.952** | -.935** | -.958** | -.946** | -.939** | -.941** | -.935** | -.927** | -.931** | -.934** | -.924** | -.937** | -.882** | -.949** | -.908** | -.948** | -.909** | -.946** | |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

고 찰

기온은 새들의 서식분포에 영향을 주는 것(Elkins, 2004)으로 알려진 바와 같이 원주천에 도래한 수조류의 군집은 기온과 매우 높은 상관성을 보였다. 월동수조류는 하천의 수계를 중심으로 인근 농경지를 오가며 생활함으로 하천은 월동기 흰뺨검둥오리의 주간 서식지 이용율이 가장 높은 곳이며, 청둥오리 또한 수계(하천, 지류, 대규모 농수로, 저수지 등) 의존성이 매우 높아(Shin *et al.*, 2016; Kang *et al.*, 2014) 월동기 수조류에게 하천은 휴식과 취식을 위한 매우 중요한 서식환경이다.

월동수조류의 경우 환경요인에 따라 이동이나 활동 영역이 달라지는데, 방해요인이나 환경변화(먹이 손실, 결빙 등)가 없을 경우 오리류는 월동지의 이동이 없고 안정적이다(Kang *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2014; Shin *et al.*, 2016). 하지만 수조류의 서식지 선택은 먹이자원과 밀접한 연관이 있으며, 특히 야생조류의 일일 이동은 먹이자원, 먹이의 양, 취식지와의 거리, 방해요인, 기온 등 다양한 요인에 따라 발생할 수 있으므로(Shin *et al.*, 2016) 월동하는 수조류의 서식지 선택의 노력은 끊임없이 일어날 수밖에 없다. Hwang (2016)의 연구에서 볼 수 있는 것처럼 도심지역은 농촌지역에 비해 먹이원의 환경이 좋지 못하고 방해 요인이 많기 때문에 도심지역의 하천에서 월동하는 수금류의 이동거리나 행동권은 훨씬 높게 나타난다. 청둥오리가 다양한 먹이원을 이용할 수 있는 서식지에서는 이동거리가 감소하고 먹이가 감소할 경우 이동거리가 증가하는 경향을 보이는데(Davis and Afton, 2010) 서식지가 파괴된 경우에는 더욱 먼 거리를 이동하는 경향을 보인다(Kang *et al.*, 2014). 월동기의 서식지 환경은 결빙정도에 따라 크게 달라지는데 저수지나 습지, 농수로, 하천 등이 결빙됨에 따라 결빙되지 않은 지역으로 이동할 수밖에 없으며 기온의 상승으로 인한 해빙은 수조류 군집의 분산으로 이어진다. 흰뺨검둥오리의 경우 기온의 하강과 상승에 따른 개체수의 증가와 감소가 일치하였고, 쇠오리와 청둥오리의 경우 최저기온을 기록한 이후 2,3주 동안 개체수가 증가하거나 비슷한 경향을 보였는데 이는 -0°C 이하의 이온이 지속됨으로 인해 결빙이 유지된 결과로 여겨진다. 도시하천인 원주천은 주변에 인가가 많을 뿐 아니라 농경지가 적고 상대적으로 산이 많아 충분한 먹이를 제공하지 못하므로 결빙정도와 기온에 따라 주변에 이용할 수 있는 농경지나 저수지, 습지 등을 찾아 이동하는 것으로 보인다.

원주천을 찾은 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 청둥오리의 기온에 대한 상관성이 매우 높은 것은 기온이 떨어져 견디기 어려운 추운 날씨가 될 경우 강변 보다는 수로 쪽으로 모이는

경향을 보인 청둥오리(Jorde *et al.*, 1984)와, 혹독한 기후적 변화를 피하기 위해 증랑천 하류 일대로 모인 고방오리(Ahn and Yoo, 2004)의 경우처럼 혹독한 추위를 피하기 위해 결빙이 되지 않는 원주천으로 이동한 것으로도 보이는데, 수금류의 분산과 개체수의 영향으로 생존자체 뿐 아니라 서식지 이용 면에서 강한 영향을 받기에(Ebbinge, 1991; Madsen, 1995) 서식지의 범위가 좁고 먹이가 부족할 경우 환경변화에 따라 서식지를 찾아 이동하는 것이 안전함으로, 겨울철 기온의 하강으로 인한 결빙은 월동하는 조류에게 가장 혹독한 서식지 환경변화 요인으로 작용하여 안정적인 취식과 휴식을 위한 장소로의 이동을 유발하는 것으로 판단된다. 중대백로는 기온, 먹이조건, 위협 등 여러 요인에 따라 원주천이 합류하는 섬강을 오가며 월동하기 때문인 것으로 추정되며, 왜가리의 개체수가 월동후기에 크게 증가한 것은 3월부터 원주천에 맞닿아 위치한 야산(원주시 호저면 주산리)에서 번식을 시작하기 때문인 것으로 확인되었다.

원주천 수조류의 개체수 증가와 감소를 살펴보면 겨울철 새의 이동은 가을부터 점진적으로 이루어지며 주변에 결빙이 시작된 이후로도 비슷한 증가세를 보이는 것으로 보아, 도래한 지역에 결빙이 진행되면 결빙정도에 따라서 결빙되지 않는 곳으로 이동하였다가 해빙이 진행되면 다시 흩어졌다가 봄철에 북상하는 것으로 보여지는데, 이는 원주천에서 약60km 북쪽에 위치한 소양강에서 실시한 Park and Park(2012)의 연구에서, 10월부터 개체수가 늘어나다가 결빙이 되어 서식지를 이용할 수 없게 되면 다른 지역으로 이동하여 관찰되지 않는데 해빙이 되면 다시 관찰된 결과와 일치한다. 결빙은 월동지 이용에 제한을 가져옴으로 결빙되지 않는 도시하천은 월동수조류에게 중요한 월동지가 될 수 있음을 알 수 있다.

원주천의 월동 수조류의 이동은 계절의 변화에 따른 단순한 반응행동이 아니라 기온과 밀접한 관계가 있으며 종마다 상관하는 기온의 조건이 다를 수 있었는데, 대부분 조류의 군집이동은 최고기온보다는 최저기온과의 상관성이 큰 것으로 나타났다. 특히 수조류의 기온에 대한 반응은 그날의 기온에 즉각적으로 영향을 받기 보다는 며칠간 지속적으로 기온에 영향을 받는다는 Lee *et al.*(2006)의 결과와 같았는데 종마다 기온의 반응기간은 달랐다. 대체적으로 기온이 하강하는 월동전반기에는 4D~7D의 기온에 상관성을, 월동후반기에는 1D~3D의 기온에 높은 상관성을 보인 것으로 보아 월동 전반의 월동지로 향할 때와 후반의 번식기가 가까워지는 시기의 기온에 대한 반응이 다를 수 있었다.

본 연구를 통하여 동절기에도 결빙되지 않는 하수처리장의 퇴수의 영향에 대한 긍정적인 측면을 살펴볼 수 있었으며 이러한 조류의 이동 및 군집과 기온에 대한 상관성 연구

는 조류의 특성을 파악하는데 기초적인 자료가 될 것으로 기대한다.

REFERENCES

- Ahn, J.Y. and J.C. Yoo(2004) A study on the population fluctuation and the influence of weather condition in Jungrang stream, Seoul, Bull. Kor. Inst. Orni. Vol. 9, No. 1: 29-34. (in Korean with English abstract)
- Davis B.E. and A.D. Afton(2010) Movement distances and habitat swiching by female mallards wintering in the Lower Mississippi Alluvial valley. Waterbirds. 33(3): 349-356.
- Ebbinge, B.S.(1991) The impact of hunting on mortality rates and spatial distrubution of geese wintering in the western Palaearctic. Ardea, 79: 197-210.
- Elkins N.(2004) Weather and bird behaviour (3rd ed). T&A D Poyser, London. 239pp.
- Han, B. H., J. W.Cho, J. S. Kim and T. H. Noh(2009) A Study of wildbird Habitat Characteristics on Biotope Type of Stream, Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con. 19(2): 177~181. (in Korean with English abstract)
- Hong, S.B(2004) Regional Characteristics of Bird Community in Nakdong River Basin. Kor. J. Ecol. 27(5): 269~281. (in Korean with English abstract)
- Howard, R. and A. Moore(1998) AComplete Checklist of the Birds of World(2nd de.). Academic Press, London, 641pp.
- http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp
- Hwang(2014) Movements and Home-range of Mallards by GPS-Mobile based Telementary (WT-200) in Korea. Korean J. Environ. Ecol. 28(6): 642-649. (in Korean with English abstract)
- Hwang, J.K., M.S. Shin, Y.M. Kang, H.Y. Yoom, J.D. Choi, W.S. Jeong and J.W. Lee(2016) Interzonal Comparative Analysis of the Wintering Habitat of Spot-billed Duck (*Anas poecilorhyncha*), Korean J. Environ. Ecol. 30(4): 676-683. (in Korean with English abstract)
- Jorde, D.G., G.L. Krapu, D.C. Crawford and M.A. Hay(1984) Effects of weather on habitat selection and behavior of mallards wintering in Nebraska. Condor. 86: 258-265.
- Kang, J.H. and K.H. Hahm(1997) The Birds of the Upo Wetland. Kor. J. Orni. Vol. 4, No. 1: 35-46. (in Korean with English abstract)
- Kang, T.H., D.H. Kim, H.J. Cho, Y.U. Shin, H.S. Lee, J.H. Seo and J.K. Hwang(2014) Movements and Home-range of Mallards by GPS-Mobile based Telementary (WT-200) in Korea, Korean J. Environ. Ecol. 28(6): 642-649. (in Korean with English abstract)
- Kang, T.H., K.S. Lee, S.H. Yoo, I.K. Kim, H.J. Cho, H.J. Kim and J.B. Lee(2008) A Study on the Community Charateristics of Wintering Waterbirds in Hangan River, Korea. Kor. J. Orni. Vol. 15, No. 1: 51-59. (in Korean with English abstract)
- Kang, T.H., S.H. Kim, S.W. Han, S.W. Lee and W.K. Paek(2010) A Study on the Community Characteristics and Habitat use of Wintering Waterbirds in Geumgang River, Korea. Kor. J. Orni. Vol 17, No. 1 : 1-10. (in Korean with English abstract)
- Kang, T.H., S.H. Yoo, J.P. Yu, H.S. Lee and I.K. Kim(2011) A study on the Community of wintering Waterbirds in Saemangeum. Kor. J. Env. Eco. 25(1): 081~090. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.K., H.S. Lee, W.K. Paek and J.W. Lee(2010) A Study on the Bird Communities and Similarity of Three Streams in Daejeon Metropolitan City. Kor. J. Env. Eco. 24(2) : 147~156. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.R, Y. K. Lee, J.Y. Ahn, I.H. Kim and J.C. Yoo(2005) The role of jungrangchun for a wintering waterbirds in Hangan. Korean J. Ecol. 28(1): 45~53. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.S., K.G. Lee and J. C. Yoo(2006) Population Fluctuations of Waterbirds Staying on Hangan River in Seoul by the Temperature and Wind Speed. Kor. J. Orni. Vol. 13, No. 2 : 73-84. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.W., J.K. Je and H.S. Lee(2003) Tidal Flat Aspects of Yellow Sea Area and Conservation for Migratory Birds. Kor. J. Eco. 17(3) : 295~303. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.S., C.R. Park, S.J. Rhim and W.H. Hur(2001) Characteristics, Protection and Management of Bird Community in Geum River Estuary. Korean J. Ecol. 24(3): 181~189. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.S., T.H. Koo and J.Y. Park(2014) A Field guide to the birds of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, 383pp. (in Korean)
- Li Z.W.D., A. Bloem, S. Delany, G. Martakis and J.O. Quintero(2009) Status of Waterbirds in AsiaResults of the Asian Waterbird Census: 1987_2007. Wetlands International, Kuala Lumpur, Malaysia. 276pp.
- Loesch, C.R. and R.M. Kaminski(1989) Winter body-weight patterns of female Mallards fed agricultural seeds. Journal of Wildlife Management 53(4): 1081-1087.
- Madsen, J.(1985) Habitat selection of farmland feeding geese in West justland. Denmark: An example of niche shift. Ornis. Scand. 16: 140-144.
- Min, K.S(2014) A Study on the Construction of Pollution Management System with Influx the Urban Stream, Journal of Korea Spatial Information Society Vol.22, No.2 : 45-52. (in Korean with English abstract)
- Noh, T.H., J.H. Pi, J.W. Choi and K.J. Lee(2013) Properties of Wildbirds Habitat According to Biotope Types at Seom River and Wonju Stream. Korean J. Environ. Ecol. 27(6): 676-689. (in Korean with English abstract)

- Park, J.K.(2014) Wild bird field guide, Nature and Ecology, Seoul, 680pp. (in Korean)
- Park, S.J. and H.W. Park(2012) Wintering Waterbirds Status at Soyang River: Focused on Soyang Dam~Soyang-2 Bridge, Kor. J. Orni. Vol. 19, No. 3: 211-221. (in Korean with English abstract)
- Perrins, C.M. and J. Elphick(2003) The complete encyclopedia of Birds and bird migration. Chartwell books, 12-13pp.
- Pettingill, O. S. Jr.(2000) Ornithology. Academy Publishing Company, 316pp.
- Shin, Y.U., M.S. Shin, H.S. Lee, S.W. Han, S.M. Jung and H.S. Oh(2016) A Study on Spot-billed Ducks' Daily Habitat Use Pattern During Wintering Period in Korea, Korean J. Environ. Ecol. 30(3): 328-334. (in Korean with English abstract)
- Shin, Y.U., M.S. Shin, H.S. Lee, Y.M. Kang, O.K. Moon, H.S. Park and H.S. Oh(2016) Study for Habitat Usage of Spot-billed Duck in Korea, Using GPS-Mobile Telemetry (WT-200), Korean J. Environ. Ecol. 30(2): 146-154. (in Korean with English abstract)
- Shin, Y.U., M.S. Shin, H.S. Lee, Y.M. Kang, W.S. Jeong, J.D. Choi, H.C. Yoon and H.S. Oh(2016) Home-Range of Mallard and Spot-billed Duck in Korea, Korean J. Environ. Ecol. 30(2): 165-172. (in Korean with English abstract)
- Smith, L.M., R.L. Pederson and R.M. Kaminski(1989) Habitat management for migrating and wintering waterfowl in North America. Texas Tech University Press. Texas. 560pp.
- Yoo, S.H., I.K. Kim, T.H. Kang, J.P. Yu, S.W. Lee and H.S. Lee(2008) Wintering Bird Community in Cheonsu Bay and the Relationship with Food Resources, Kor. J. Env. Eco. 22(3): 301~308. (in Korean with English abstract)
- Yu, J.P., S.W. Han, S.D. Jin, I.H. Paik and W.K. Paek(2014) A study on the community variation of wintering waterbirds in Geum River, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 28(2): 113-122. (in Korean with English abstract)