

## 기후요인에 의한 철원지역 두루미류 월동개체수 변화 – MODIS 위성영상을 이용한 눈 덮임 범위와 지속기간의 영향 –

유승화 · 이기섭<sup>1,\*</sup> · 정화영 · 김화정<sup>2</sup> · 허위행<sup>2</sup> · 김진한<sup>2</sup> · 박종화<sup>3</sup>

국립생태원, <sup>1</sup>한국물새네트워크, <sup>2</sup>국립생물자원관, <sup>3</sup>서울대학교 환경대학원

**Wintering Population Change of the Cranes according to the Climatic Factors in Cheorwon, Korea: Effect of the Snow Cover Range and Period by Using MODIS Satellite Data. Yoo, Seung-Hwa, Ki-Sup Lee<sup>1,\*</sup>, Hwa-Young Jung, Hwa-Jung Kim<sup>2</sup>, Wee-Haeng Hur<sup>2</sup>, Jin-Han Kim<sup>2</sup> and Chong-Hwa Park<sup>3</sup> (National Institute of Ecology, Seocheon 325-813, Korea; <sup>1</sup>Korean Waterbird Network, Seoul 110-776, Korea; <sup>2</sup>National Institute of Biological Resources, Incheon 404-708, Korea; <sup>3</sup>Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)**

**Abstract** In this study, we hypothesized that the size of wintering crane population would change due to the climate factors. We assumed that wintering population size would differ by climate values in January, which is the coldest period in year. Especially, White-naped cranes were able to choose wintering site between Cheorwon and other alternative place where snow coverage had low influence, differing from Red crowned cranes. For this reason, we predicted the population size of White-naped cranes would fluctuate according to the extent of snow coverage in Cheorwon. Therefore we used snow coverage data based on MODIS and climate data from KMA (Korea Meteorological Administration) that are generally used. We analyzed the crane's population size in Cheorwon in January from 2002 to 2014. The temperature in the Cheorwon increased from 2002 to wintering period in 2007~2008 and went down, showing the lowest temperature in 2011~2012. With this phenomenon, warmth index showed the similar pattern with temperature. Amount of newly accumulated snow (the amount of snow that fallen from 0:01 am to 11:29 pm in a day) was low after 2002, but rapidly increased in 2010~2011 and 2011~2012. The area of snow coverage rapidly declined from 2002 to 2005~2006 but suddenly expanded in wintering period in 2009~2010 and 2010~2011. Wintering population size of the White-naped cranes decreased as snow coverage area increased in January and the highest correlation was found between them, compared to the other climatic factors. However, the number of individuals of Red crowned cranes had little relationship with general climate factors including snow cover range. Therefore it seems that population size of the Red crowned crane varied by factors related with habitat selection such as secure roosting site and area of foraging place, not by climatic factors. In multiple regression analysis, wintering population of White-naped cranes showed significant relationship with logarithmic value of snow cover range and its period. Therefore, it suggests that the population size of the White-naped crane was affected by snow cover range and wintering period and this was because it was hard for them to find out rice grains which are their main food items, buried in snow cover. The population size variation in White-naped

Manuscript received 22 June 2015, revised 19 August 2015,  
revision accepted 20 August 2015

\* Corresponding author: Tel: +82-10-8788-0678, Fax: +82-2-734-0678,  
E-mail: larus@daum.net

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

cranes was caused by some individuals which left Cheorwon for Izumi where snow cover had little influence on them. The wintering population in Izumi and Cheorwon had negative correlation, implying they were mutually related.

**Key words:** climate effect, winter weather, remote sensing, endangered species, Grus

## 서론

최근 기후변화는 동물의 서식지 선택과 관련하여 중요한 주제로 떠오르고 있으며 (Bellard *et al.*, 2012), 넓은 분류군의 다양한 종에서 영향이 인지되고 있으며 (Roy *et al.*, 2001; Parmesan and Yohe, 2003), 이동성 조류의 경우 정주성 조류에 비하여 환경의 변화에 민감한 것으로 알려져 있다 (Sanderson *et al.*, 2006; Lemoine *et al.*, 2007). 이러한 기후변화의 영향은 조류의 분포와 개체수에 영향을 주는 요인이다 (Gaston, 2000; Opdam and Wascher, 2004). 추가적으로 기후변화와 관련하여 생물의 서식범위와 개체군의 수가 변화하는 경향이 보고되고 있다 (Bethke and Nudds, 1995; Harsch *et al.*, 2009; Reif and Flousek, 2012; Chamberlain *et al.*, 2013). 이처럼 동물에 있어서 서식범위가 바뀌는 것은 개체의 선택이라 할 수 있지만, 기반환경 및 서식여건의 변화에 따른 국지적 개체군의 절멸, 그리고 새로운 서식지로의 유입에 따른 서식영역 창출의 결과라 할 수 있다 (Hilty *et al.*, 2006).

한반도는 여름철이 고온다습하며, 겨울이 저온 건조한 온대몬순의 기후특성을 보인다. 특히, 기온이 하강하며 건조한 겨울철의 기후조건은 야생동물에게 생존에 어려운 조건이며, 강설, 결빙 등의 기후요인은 그들의 분포 및 개체수의 변화에 크게 영향을 줄 수 있다 (Jędrzejewski *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 2006; Bartoń and Zalewski, 2007). 그리고 강설 및 한파에 의한 눈 덮임의 경우 먹이를 찾거나 이용할 수 있는 확률을 떨어뜨려 생존가능성에 영향을 주는 중요한 요인이 된다 (Jędrzejewski *et al.*, 1992; Newton, 1998). 우리나라의 경우 북반구 전체 차원에서 눈으로 덮이는 영역의 경계에 속한다. 따라서 기후변화에 따른 겨울철 온도, 강설 등 기후요인의 증가 혹은 감소에 따라 본 지역에 서식하는 동물의 생활은 달라지게 될 것이라 예측할 수 있다. 특히 비행을 통하여 서식지의 이동이 가능한 조류의 경우 민감하게 반응하여 큰 변화가 발생할 것이라 예상할 수 있다 (Elkins, 1988; Lee *et al.*, 2006).

월동개체군의 경우는 번식개체군의 서식범위와는 달리 기후요인에 의해 큰 변동을 갖게 될 것이다 (Lee, 2000; Lee *et al.*, 2006). 하지만 대체 가능한 월동지가 없는 경우

에는 기후변화에 의한 영향을 직접적으로 받게 되고, 이에 의한 개체군 자체의 영향이 발생할 가능성이 크다. 검은목 두루미 (Eurasian Crane: *Grus grus*)에 있어서는 번식면적과 이주거리가 변화하는 영향이 나타났다 (Nowald *et al.*, 2010). 사례로 시베리아흰두루미 (Siberian Crane: *Grus leucogeranus*)의 번식은 1년간 눈이 덮이지 않은 일수 (without snow cover day)에 영향을 받았다 (Pshennikov, 2010). 일부 종에 따라서는 눈 덮임 등의 겨울철 날씨요인 때문에 개체군의 증감뿐만 아니라 국지적인 멸종이 발생하기도 한다 (Bartoń and Zalewski, 2007). 따라서 철원지역에 도래하는 두루미류 또한 월동기 농경지에서 먹이를 취하기 때문에 눈 덮임의 범위와 잔존일수는 월동개체군에 영향을 줄 것이다 (Yoo *et al.*, 2011b). 특히 재두루미의 경우 낙곡에 대한 의존도가 높기 때문에 (Koo, 1980), 눈이 덮인 농경지와 덮이지 않는 농경지의 선호도가 달라질 것이므로 기후변화의 양상에 따라 철원지역을 이용하는 기간이나 개체수의 규모가 달라질 것으로 예상할 수 있다.

적설량과 눈이 덮인 일수 및 두께는 여러 가지 조건에 따라 차이가 존재하며, 따뜻한 기온이나 비에 의하여 녹거나, 고도, 경사도, 향, 식생의 피도, 바람, 일조량 및 일조시간에 의해서 눈이 덮인 면적이나 두께는 차이를 보일 것이다 (Hall *et al.*, 2002). 따라서 적설량만을 이용해 과거에 눈이 얼마나 덮여 있었는지 추정하는 것은 불가능할 것이다. 더구나, 조류가 이용하기 힘들어지는 눈 덮임의 두께변화나 눈 덮임 일수는 기상청의 과거자료만을 이용해서는 확인 할 수 없을 것이다. 또한 현재 기상청의 적설량 데이터는 강수량 측정기준과 달라서 눈의 양이 얼마나 되는지에 대한 정량적인 값을 제시하지 못하고 있다. 그리고, 눈이 얼마나 넓은 범위에 얼마 동안 덮고 있었는지에 대한 자료는 제공하지 않고 있다. 이에 눈 덮임의 범위와 기간이 두루미류의 서식에 어떤 영향을 주는지를 알기 위한 새로운 방법이 필요한 실정이다.

눈 덮임과 같은 기후의 변화는 10년 정도의 단기간에 변화를 알 수 있는 요소가 아닐 것이다. 하지만, 위성영상을 이용하면 과거 눈 덮임의 검출 (detection) 및 시계열적인 분석이 가능하다 (Hall *et al.*, 2002; Yeom *et al.*, 2009; MODIS Tutorial, 2012). Terra와 Aqua 위성에서 촬영되는 MODIS 영상은 0.405~14.385  $\mu\text{m}$ 의 파장영역에 대해 36

개 밴드영상으로 기록되며, 12 bit의 radiometric resolution으로 250 m (1, 2밴드), 500 m (3~7밴드), 1 km (8~16밴드)의 세 가지 공간해상도로 구성된다. MODIS의 지상 관련자료 중 지표반사율 영상은 대기를 구성하는 인자들의 성분을 바탕으로 대기 및 구름의 효과를 제거한 지표에서의 반사율을 나타내는 영상으로 대기효과를 보정하기 위해서 기압, 오존, 수증기, 에어로졸의 입력자료를 이용하게 된다(Hall *et al.*, 2002; MODIS Tutorial, 2012). 매일 수신되는 MODIS의 영상은 상당 양의 구름이 포함되는 경우가 많으므로, 8일 동안의 영상을 이용하여 구름이 포함되지 않는 지역을 구분하여 반사율 합성자료를 생성하는데, 1개월에 3개 내지는 4개에 해당하는 자료가 만들어지며 1년에 46개의 영상을 얻게 된다(Hall *et al.*, 2002; MODIS Tutorial, 2012).

위성영상의 눈 덮임을 이용한 두루미류의 월동개체수 변화 연구는 Yoo *et al.* (2011b)에서 북반구를 대상으로 25×25 km 격자 기준의 자료가 제공되는 MODIS 데이터(MODIS/Terra, Global EASE-Grid 8-day blended SSM/I and MODIS Snow Cover)를 이용해 재두루미의 개체군과의 상호관계를 밝힌 바가 있다. 해당 연구에서는 눈 덮임 두께 값을 제공하는 데이터를 이용하였기 때문에 전체적인 경향을 확인할 수 있었지만, 하나의 격자가 너무 넓은 관계로 두루미류의 월동지만을 대상으로 변화를 파악하는 것은 불가능하였다. 따라서 해상도가 높은 영상자료를 이용하여 눈 덮임의 변화를 살펴볼 필요성이 있었다.

본 연구에서는 두루미류의 월동개체수와 기후변화 경향 간에 상관관계가 존재하는지 연구하려 하였다. 일반적으로 활용되는 기온, 강수량 등의 기후변수뿐만 아니라 위성영

상의 눈 덮임 자료를 분석하여 밝히도록 하였다. 특히, 재두루미의 월동개체군의 수에 영향을 주는 주요 기후요인을 도출하고, 재두루미의 또 다른 월동지인 일본의 이즈미와의 상호관계를 확인하고자 하였다.

## 연구 방법

### 1. 가설 및 검증 방향

일반적으로 수조류의 월동개체수는 기상조건에 의한 변화가 나타나지만(Lee *et al.*, 2006), 두루미류의 경우 장소에 대한 선호성이 강하여 대체 가능한 서식지로의 이동이 적게 나타날 것으로 기대된다. 본 연구에서는 기후요인에 의하여 두루미류의 월동개체군 규모가 달라질 것으로 가설을 세웠다. 그중 가장 추운 시기인 1월의 기후변수에 의하여 월동개체수가 달라질 것이라고 가정하였다. 본 연구에서는 기온이 낮고 눈 덮임이 넓은 범위에 지속적으로 이루어질수록 두루미류의 월동개체수가 감소할 것이라 가설을 세웠다. 특히, 재두루미의 경우 철원지역 이외에 눈 덮임의 영향이 적은 월동지가 있기 때문에 개체군의 증감이 발생할 것으로 예측하였다. 이에 월동기의 눈 덮임 범위 및 기간과 두루미류 월동개체군의 규모 간의 상관관계를 평가하도록 하였다.

### 2. 연구범위

조사지역은 강원도 철원군 철원읍, 동송읍, 김화읍에 해당하는 민간인통제지역 인근지역이다(Fig. 1). 두루미류의

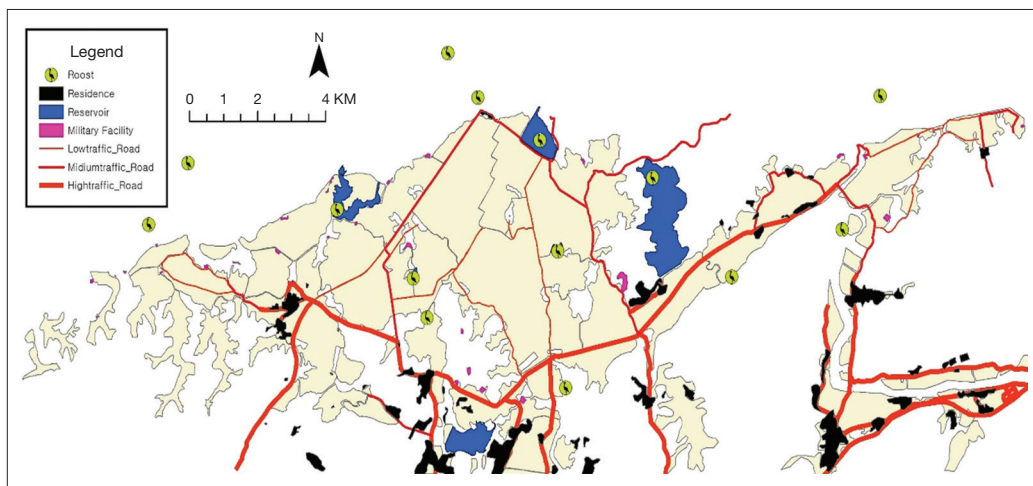


Fig. 1. Survey area and distribution of factors influencing crane habitat selection, such as reservoirs, roosting sites, human residence area, military facilities and roads classified by the different levels of traffic volume (low, medium and high traffic according to the Yoo *et al.*, 2007).

**Table 1.** List and definitions of climatic variables tested in multi-variate regression model.

Variables	Definition	Scale or range of grade
NSJAN	New Snow in January	Accumulated Depth (cm)
SCP	Snow Cover Periods	Snow Cover Periods which values above 25
SCPandRA	Snow Cover Periods and Range	Snow Cover Periods × Range (values above 25 ~ 50: I, 51 ~ 100: II, 101 ~ 150: III, 151 ~ 200: IV, 201 ~ 255: V)
AucSCR	Accumulated Snow Cover Range	Sum of Average Snow cover range value of points in crane's habitat (1 ~ 255)
LNAucSCR	Log <sub>e</sub> value of the Sum of Snow Cover Range (AucSCR)	LN (AucSCR)
Preci.	Precipitation in January	Accumulated precipitation level (cm)
AT	Average Mean temperature	°C in January
AMinT	Average Minimum temperature	°C in January
AMaxT	Average Maximum temperature	°C in January
WI <sub>Jan</sub>	Sum of the number of days that maximum temperature was recorded above 5°C	Modified Warmth Index

취식지는 주로 논이며, 추수 후 남겨진 낱곡을 주요 먹이로 한다 (Pae, 1994, 2000). 조사는 2002년 10월부터 2014년 3월까지 12개 월동기간 (10월~3월) 동안 월 1회 이루어졌으며, 개체군 변동이 낮은 매년 1월의 분포 (Pae, 2000) 12개 자료의 결과를 분석에 활용하였다. 조사 범위는 Fig. 1의 범위와 같았다 (Yoo *et al.*, 2011b).

### 3. 조사 및 분석방법

#### 1) 기후자료 수집 및 분석

두루미류의 월동개체군을 판정하는 시기는 1월 말이며 (Cheorwon County, 2002; NIER, 2004), 이 시기는 우리나라의 기후여건에서 가장 추운 시기이다. 따라서 12월 중순부터 1월말까지의 기후여건이 두루미류의 월동여부에 대한 판정시기인 것으로 가정하고 분석대상으로 하였다. 따라서, 기상청 (Korea Meteorological Administration; KMA, 2014)의 기후자료 중 과거자료에서 철원지역의 2002년부터 2014년의 12월 15일부터 1월 31일까지 (두루미류의 핵심 월동기) 최저기온, 최고기온, 평균기온, 강수량 및 적설량을 수집하여 년도에 따른 변화와 두루미류 개체수의 상관관계를 살펴보았다 (Table 1). 또한 수집된 자료 중 1월만의 자료를 추출하여 비교하였다.

평균기온뿐만 아니라, 기후변화와 관계하여 많이 사용되는 지수인 온량지수 (warmth index)는 식물의 서식과 관계하여 연중 평균기온이 5°C 이상이 되는 일수의 합을 의미한다 (Kira, 1945; Yim, 1977; Kong *et al.*, 2013). 본 연구에서는 온난화 및 눈 덮임에 의한 영향을 살펴보기 위하여 해당기간 중 온량지수를 변형하여 사용하였다. 온량지수의 관계식은 다음과 같으며, 상관관계는 SPSS 18.0K 프로그램을 사용하여 피어슨 상관관계를 구하였다.

$$WI_{Jan} = \sum_{i=1}^n (t-5), t > 5t: \text{일별 최고기온}$$

#### 2) MODIS 위성영상 자료에 의한 눈 덮임 범위의 증감

눈이 덮인 일수 및 지속시간은 기상청에 의하여 수집되고 있는 자료가 아니다. 따라서, NASA의 Terra 위성의 영상자료인 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 영상의 북반구지역 전체를 대상으로 8일간의 전체 눈 덮임 자료의 전 처리가 된 것을 이용하였다. 분석 자료는 NASA에서 제공하는 위성영상 검색제공 사이트 (EROS: NASA's Earth Resources Observation and Science Center)를 이용하여, 2002년에서 2014년까지의 MOD10A2 (MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 500 m Grid, Version 5: 8일간 500미터 격자에 대하여 눈이 덮인 범위를 기록한 자료)를 이용하였으며, 이를 12월에서 1월을 대상으로 검색을 실시하였다. 검색결과 2002년 12월 15일에서 2014년 1월 말일까지의 164개 전처리 영상을 수집할 수 있었으며 (GeoTIFF 파일형식 다운로드 가능), 철원지역에 해당하는 지역의 눈 덮임 범위를 ArcGIS 프로그램을 통해 확인하였다 (Fig. 2, left). 자료에 대한 검증은 두루미류의 현지 분포자료를 이용하여 검증하였다 (Fig. 2, right). 자료에서 각 격자별 (250 m × 250 m) 지정된 수치는 0~255의 범위이며 최대치인 255값은 전체 지역에 눈이 덮여 있다는 것을 의미한다 (Fig. 3). 전체적인 자료를 살펴보았을 때, 산악 및 식생이 많은 지역은 약한 눈 덮임의 경우 감지되지 않는 경향이 있었지만, 본 연구에서의 두루미류 취식지는 개방지역의 경사가 낮고, 추수 후의 농경지이기 때문에 눈 덮임에 대한 분석에 영향을 주지 않는 것으로 판단하였다. 따라서 전체 검색된 자료에서 두루미류가 서식하며 넓은 개활지역인 지점을 33개 지정하여 ArcGIS 프로그램의 공간분석, 추출 기능을 통해 눈 덮임 범위 값을 추출하였다

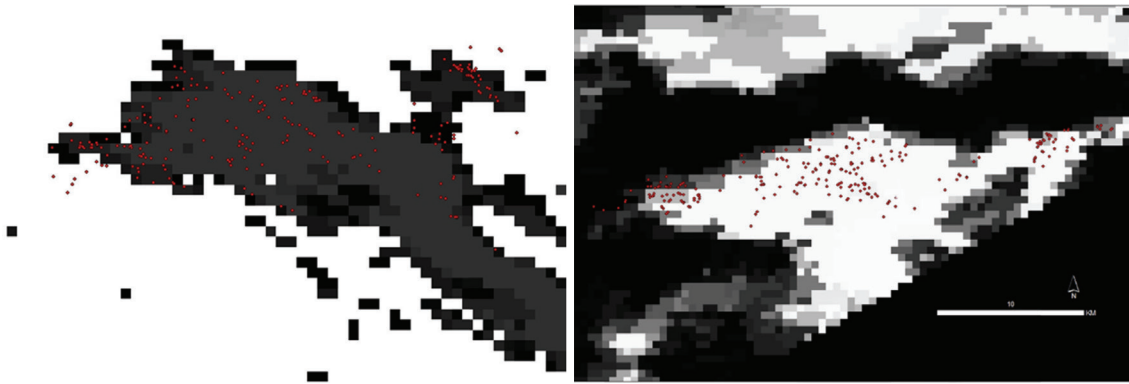


Fig. 2. Overlapped image of snow coverage map in MODIS and distribution of cranes (left) and its converted image as WGS84 (right).

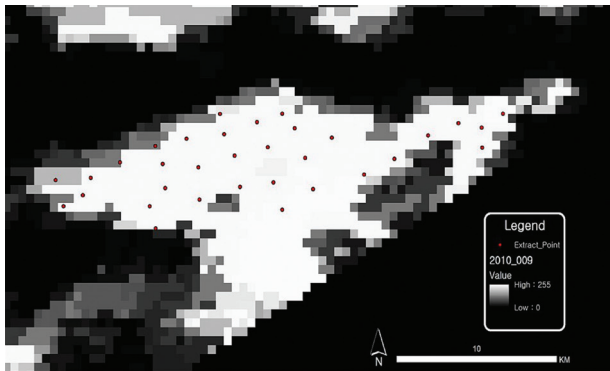


Fig. 3. Snow coverage data in MODIS and data extraction points.

(Fig. 3). 33개 지점은 전체 조사지역 중 산림이나, 산림에 둘러싸인 경사진 농경지, 도로, 인공구조물(불투수 피복), 마을지역이 포함되지 않은 곳으로 선별하였다. 추출된 값을 통해 각 시기별 전체 지점의 평균값을 구하였고, 25~50, 51~100, 101~150, 151~200, 201~255 기준으로 눈 덮임 범위를 5개 단계로 등급화하였다(Table 2). 25 이상의 값을 대상으로 등급화 한 것은 두루미류의 서식에 5% 이하의 눈 덮임은 영향이 미미한 것으로 간주한 것이다. 등급화 한 값은 눈 덮임 범위 및 일수 지수(Snow cover period and range index)로 정의하였다. 수식은 다음과 같이 표현된다.

$$SCPandRA = \sum_{i=1}^n SCRI$$

∴ SCRI: *i*시기에 눈이 덮인 범위 등급(0~255 값을 50 단위로 등급화한 수치, 단 25 이상인 경우), *n*: 해당기간

이를 통하여 재두루미의 각 연도별 월동개체수와 상관관계 및 회귀식을 구하였다. 상관관계는 Pearson's correlation을 수행하였으며, 주성분분석을 통하여 상관관계가 높은 변수들을 도출하였다. 회귀관계는 단계진입방식을 사

용하여 다중회귀분석(MVRM: multivariable regression model)을 실시하였다. 분석은 SPSS 18.0K를 통해 수행하였으며, 분석을 위하여 사용된 기후변수는 Table 1과 같다.

## 연구 결과

### 1. 두루미와 재두루미의 월동개체수 변화

매년 1월의 개체수를 기준으로 두루미와 재두루미의 월동개체수 변화를 비교하였다(Fig. 4). 두루미의 월동개체수는 2002년부터 안정적으로 증가하는 양상을 보이다가 2011~2012년도 월동기부터 감소하는 양상을 보였다. 재두루미의 월동개체수는 2002년 500개체 수준에서 2006~2007년까지 1,500개체로 급격한 증가를 보이다가 2008~2009년까지 안정된 양상을 보였으나 이후 크게 증가하는 변화를 나타내었다. 2014년에는 최대개체수인 2000개체가 넘는 월동개체수를 나타내었다.

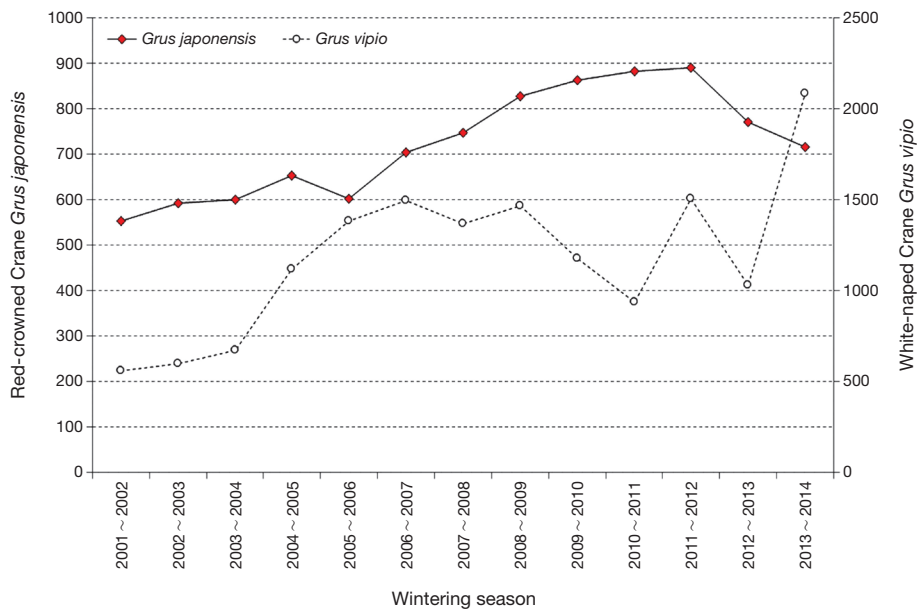
### 2. 기온, 강수 및 강설량의 변화

기상청에 의하여 지속적으로 모니터링 되어온 철원지역 기후자료 중 2002년 이후 2014년까지의 1월의 평균기온과 평균최저기온(AT-AMinT:  $r=0.984$ ,  $p<0.001$ ), 평균최고기온(AT-AmaxT:  $r=0.967$ ,  $p<0.001$ )은 서로 상관관계를 가지면서 변동하였고(AminT-AmaxT:  $r=0.922$ ,  $p<0.001$ , Fig. 5), 2007~2008년도 월동기까지 증가하다가 이후 감소하며, 2011~2012년도 월동기에 가장 낮은 온도를 보였다. 하지만 이후 다소 증가하는 양상을 보였다. 온량지수의 변형으로 수행되었던, 최고기온이 5°C 이상 되는 날의 수는 2007~2008년도까지 꾸준히 증가한 후 감소하는 경향이 있었다(Fig. 6).

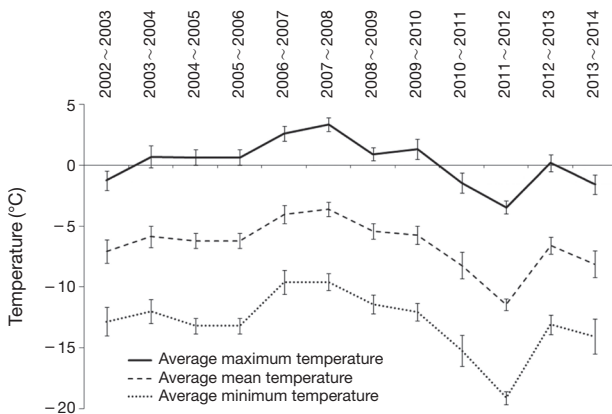
**Table 2.** Correlation coefficient matrix between each climatic factors.

Climatic variables	NSJAN	NSfromDec	SCPweek	SCPandRA	Preci.	WI
NSfromDec	0.87***					
SCPweek	0.64*	0.60*				
SCPandRA	0.49 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.93***			
Preci.	0.62*	0.63*	0.55 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>		
AT	-0.45 <sup>ns</sup>	-0.60*	-0.20 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.15 <sup>ns</sup>	
AMinT	-0.38 <sup>ns</sup>	-0.50 <sup>ns</sup>	-0.012 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>	
AMaxT	-0.59*	-0.69*	-0.28 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.24 <sup>ns</sup>	
WJ <sub>Jan</sub>	-0.48 <sup>ns</sup>	-0.39 <sup>ns</sup>	-0.49 <sup>ns</sup>	-0.58*	0.01 <sup>ns</sup>	
LNAucSCR	0.21 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	0.71**	0.80**	0.15 <sup>ns</sup>	-0.38 <sup>ns</sup>

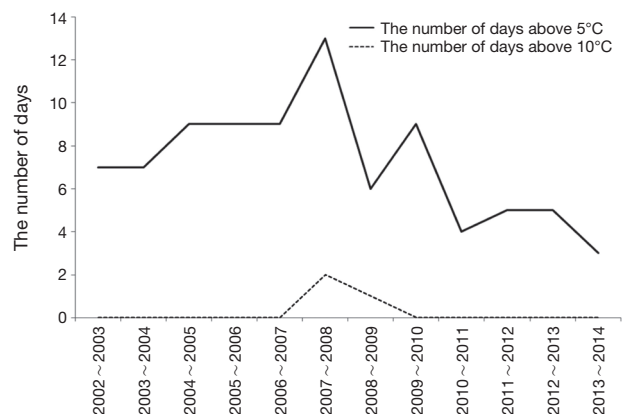
\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ , <sup>ns</sup>:  $p \geq 0.05$



**Fig. 4.** Fluctuation of wintering population of the Red-crowned Crane and White-naped Crane in Cheorwon each January from 2002 to 2014.



**Fig. 5.** Fluctuation in the number of days of which maximum temperature in a day exceeds 10°C and 5°C respectively from December 15th and January 31st each year.



**Fig. 6.** Changes of the days above 10°C and 5°C in maximum temperature in wintering season from 15th December to 31st January.

2002년부터 2014년까지 매년 1월의 강수량과 신적설량의 합계는 2006~2007년의 한 해를 제외하고 유사한 증감을 나타내었으며 (Fig. 7). 이는 동시기의 강수가 대부분 강설에 의한 것임을 보여주는 것이다. 전체적으로 강설량은 증감을 반복하는 양상을 보였으며, 2002년에서 2009년까지는 감소하는 양상을 보였다. 하지만 2008년 이후 강설량

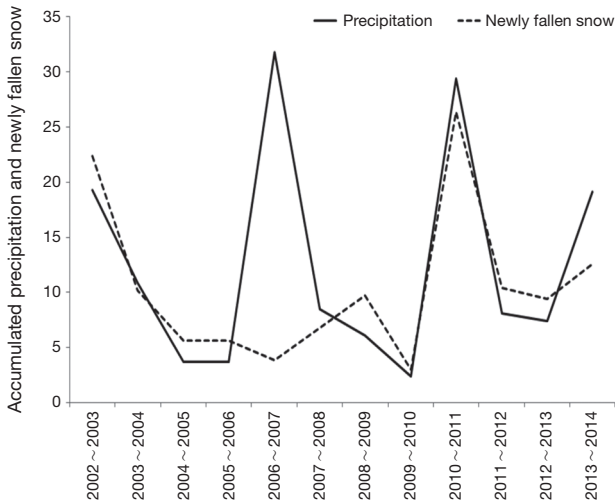


Fig. 7. Annual change of the accumulated precipitation and newly fallen snow depth in January during wintering seasons from 2002 to 2014.

은 급격한 변화를 보였다 (Fig. 7).

MODIS 위성영상에 의한 눈 덮임 범위의 값은 2002~2003년 높은 값을 가지다가 2006~2007년 높은 값을 제외하고는 2008~2009년 월동기 전까지 지속적으로 감소하는 양상을 보였다 (Fig. 8). 하지만 2009~2010년, 2010~2011년 월동기에는 눈 덮임 범위가 크게 증가하고 오랫동안 잔존하는 양상을 보였으며, 이후에는 눈 덮임 범위가 감소하였다. 결과적으로 위성영상의 눈 덮임 범위의 값이 증가한 경우 재두루미의 월동기 개체군이 감소하는 경향을 보여주었다.

### 3. 기후변수 사이의 상호관계

기온과 강설 등의 기후변수가 서로 상관관계가 있을 것으로 판단하여 요인을 축소하여 평가하도록 하였다. 피어슨 상관관계 분석을 통하여 기후요인 간의 상관관계를 살펴본 결과 요인 간의 상관관계가 매우 높게 나타났다 (Table 2). 특히 온도요인과 눈 덮임 지수 내에서의 상관관계가 긴밀하게 나타났다. 하지만, 기상청에 의한 1월의 신적설량의 합은 MODIS의 눈 덮임 범위와 상관관계가 나타나지 않았다 (Table 2). 또한, 기온요인도 눈 덮임 범위와 상관관계가 없었다. 이것은 일조량이나 바람 등 다른 원인에 의하여 눈 덮임 범위가 결정되는 것을 의미할 것이다.

전체 요인 중 공통된 성질의 요인들을 묶어주기 위하여

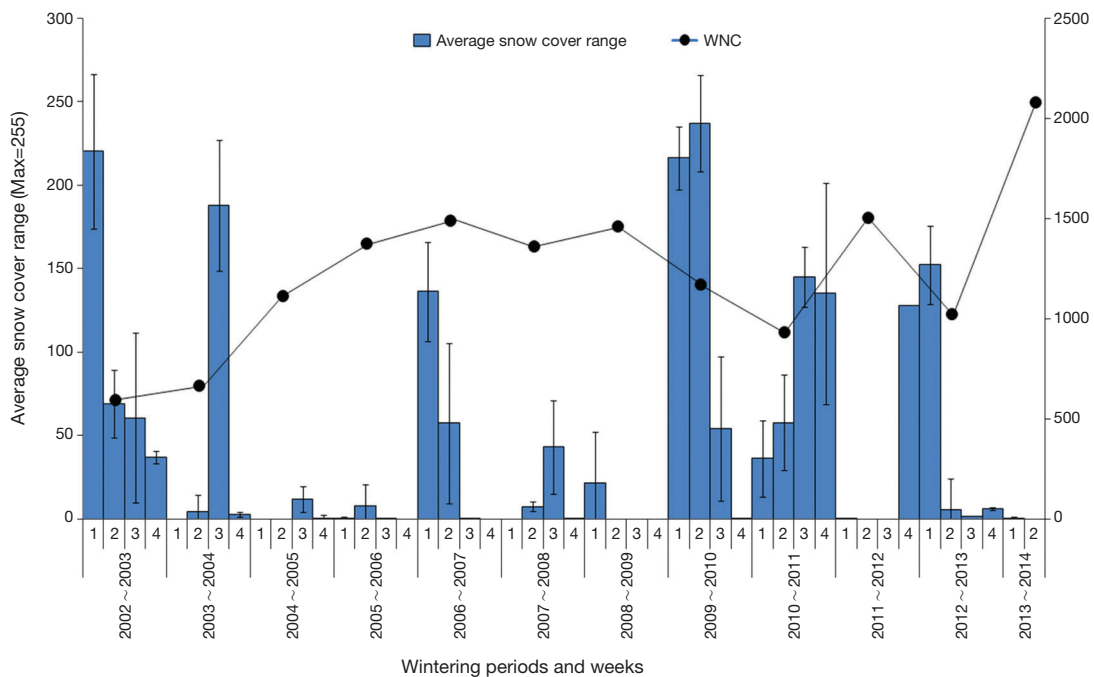


Fig. 8. Annual changes of the values of accumulated precipitation and the amount of newly accumulated snow in January from 2002 to 2014. WNC: Wintering population size of the White-naped Crane in Cheorwon.

**Table 3.** Eigenvalues and cumulative variance of the correlation matrix of climatic variables.

Principal components	Eigenvalue		
	Sum	Proportion (%)	Cumulative proportion (%)
1	8.212	54.749	54.749
2	3.416	22.776	77.526
3	1.294	8.630	86.155

**Table 4.** Correlation coefficients between factors and principal components (PC1, 2, 3) and the factors representing each principal component.

Factors	Major principal components		
	PC1	PC2	PC3
NSJAN	.689	-.445	.339
NSfromDec	.682	-.556	.314
SCPweek	.970	.111	.081
SCPandRA	.932	.274	-.160
AucSCRJan	.933	.273	-.181
AucSCRgrade	.797	.190	.162
AucSCRDecJ	.898	.146	-.061
SCPandRAo50	.946	.252	-.117
Rangeover50	.957	.181	.011
Preci.	.502	-.180	.772
AT	-.311	.899	.258
AMinT	-.222	.889	.336
AMaxT	-.410	.879	.146
WJan	-.590	-.025	.354
LNAucSCR	.654	.437	-.222
Character	Snow cover	Temperature	Precipitation

주성분분석을 한 결과, 고유값이 1 이상인 3개의 주성분이 누적된 고유값 비율의 86.2%를 차지하였다 (Table 3). 최종적으로 각 주성분의 대표성은 눈 덮임 (PC1), 기온 (PC2) 그리고 강수량 (PC3)으로 나타낼 수 있었으며 주성분의 구성요소이었다 (Table 4).

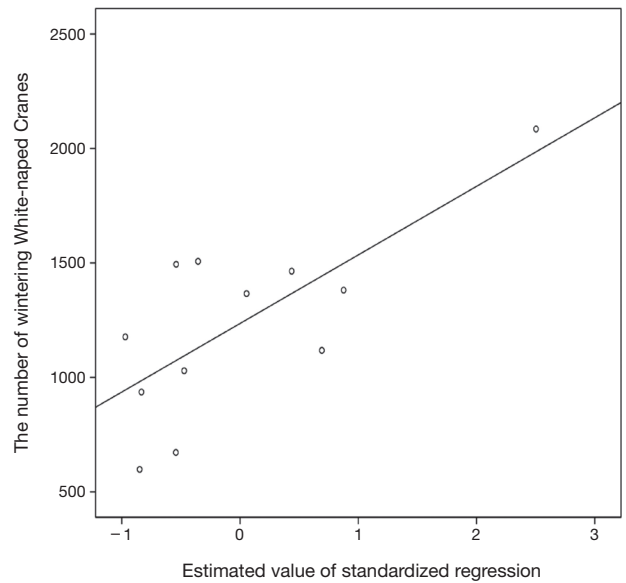
각 기후변수와 두루미, 재두루미 월동개체수와의 상관관계를 보았을 때 재두루미만이 기후요인 중 눈 덮임과 관계가 있었으며, 두루미의 경우에는 어느 변수와도 상관관계가 나타나지 않았다 (Table 5). 결과적으로 기후요인 간의 상관관계는 있었지만 기온과 눈 덮임은 서로 관계가 낮아 서로 독립적인 요인이라 할 수 있었으며, 재두루미만이 기후요인 중 눈 덮임의 범위에 영향이 있다고 할 수 있었다 (Table 5).

**4. 두루미류 월동개체수의 기후변수에 의한 회귀모델**

기후변수를 이용하여 단계선택을 통한 회귀분석을 한

**Table 5.** Correlation between crane's wintering population and weather and snow cover variables.

Variables	Red-crowned Crane		White-naped Crane	
	r	p	r	p
NSfromDec	0.28	ns	-0.08	ns
NSJAN	0.14	ns	-0.33	ns
SCPweek	0.19	ns	-0.56	0.058
SCPandRA	0.15	ns	-0.71	p<0.01
AucSCR	0.26	ns	-0.57	0.053
LNAucSCR	0.24	ns	-0.74	p<0.01
AucSCgrade	-0.02	ns	-0.27	ns
SCPandRA50	0.23	ns	0.01	ns
Preci.	0.03	ns	-0.20	ns
AT	-0.42	ns	-0.19	ns
AMinT	-0.42	ns	-0.09	ns
AMaxT	-0.31	ns	-0.52	ns
WJan	-0.46	ns	0.35	ns



**Fig. 9.** Relationship between estimated value of standardized regression of LNAucSCR and the number of wintering White-naped Crane in Cheorwon.

경우에는 MODIS 눈 덮임 범위의 로그값 (LNAucSCR)만이 유의미한 요인으로 선택되었으며 (Fig. 9, F=11.76, df=10, p<0.01, R<sup>2</sup>=0.495), 수식은 아래와 같다.

$$\text{Wintering Population of White-naped Crane} = 1178.1 - 133.7 * \text{LNAucSCR} \pm \epsilon$$

$$\therefore \text{LNAucSCR} = \text{Log}_e (\text{Accumulated MODIS snow cover range})$$



이는 눈이 덮인 범위의 누적 값이 높을수록 재두루미의 개체수는 감소한다는 것을 의미하는 것이다. 기후변수를 이용한 회귀식이 주성분에 의한 회귀식보다 설명력이 더 높았으며, 재두루미 월동개체수의 최대값을 현실적으로 반영하기 때문에 더 좋은 결과로 나타났다.

## 고 찰

지구온난화 현상은 일시적인 한파에도 불구하고 대체적으로 받아들여지는 현상이다. 오히려 북극지역 제트기류의 변동으로 인해 지역적으로 강한 한파가 남하함으로써 극심한 저온과 눈 덮임에 시달리기도 하는 것이 최근의 관측이다 (Wang *et al.*, 2010, Prior and Kendon, 2011). 본 연구에서 기상청 기후자료의 분석결과, 2000년대 초반부터 중반까지 철원지역 또한 겨울철 온난화의 징후가 나타났다. 하지만 2009년에서 2010년까지, 2010년에서 2011년까지 겨울 동안 극한 저온현상과 대설이 나타났는데 이는 북극진동 (Arctic Oscillation)의 약화로 인한 것으로 알려져 있다 (Wang *et al.*, 2010, Prior and Kendon, 2011, Lee and Choi, 2013). 이에 따라 지속적으로 증가해 왔던 재두루미의 월동개체수는 2009년 이후 2년 연속 급감하여 1,000개체 미만으로 감소하였다. 반대로 2013~2014년이 되어 온난한 겨울이 되자 월동개체수는 2000개체를 초과하는 최고기록을 나타내었으며 (NIBR, 2014), 2015년 1월의 경우 1800여 개체를 나타내었다 (NIBR, 2015).

겨울철 온난화의 현상이 나타난 시기 (2003~2008년)에는 적설량의 감소 또한 나타났다. 이 시기에는 적설이 존재했음에도 불구하고 눈 덮임 범위의 누적 값 (AucSCR)이 0 mm에 가까운 경우가 많았다. 이것은 눈이 내리더라도 덮여있는 지속기간은 짧았다는 의미일 것이며, 상대적으로 높은 기온, 일조 혹은 강수에 의하여 내린 눈이 녹아서 없어졌기 때문으로 판단된다 (Hall *et al.*, 2002). 이렇게 내렸던 눈이 제거된다면 낙곡의 이용가능성이 증가하고, 두루미류가 철원지역에 체류할 수 있는 일수는 증가할 것이다. 반면 추위와 눈 덮임을 피해 남쪽으로 이동하는 개체수는 감소할 것으로 예상할 수 있다. 2009년 이후 재두루미의 개체수는 급변하였는데, 눈 덮임의 변화 때문에 발생한 것으로 판단된다. 2010년 1월 중 한파기간에 다수의 재두루미가 한반도 남측 지역 주남, 낙동강 등의 주요 월동지에서 개체수가 증가하였으며, 재두루미가 관찰되지 않았던 지역에서 나타나는 등 국지적인 이동이 나타났다 (Yoo *et al.*, 2011b).

본 연구 이전에 조류는 기온에 의한 영향에 민감하게 반

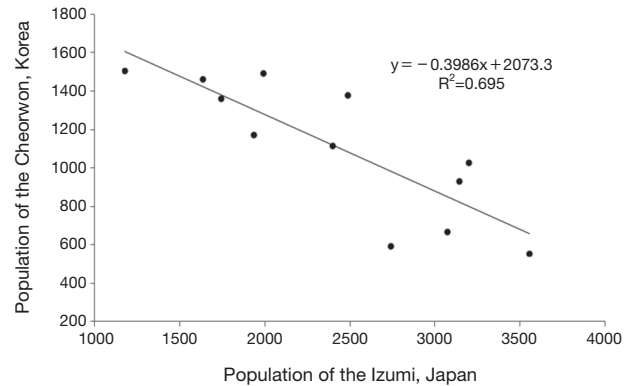


Fig. 10. Relationship between wintering White-naped Cranes in Cheorwon, Korea and Izumi, Japan.

응하는 것으로 알려져 있었다 (Lee *et al.*, 2006). 마찬가지로 두루미류의 월동개체수 변화가 기온에 의한 영향이 클 것이라 예측하였지만 년간의 변화에서는 기온의 변화보다는 눈 덮임의 변화에 의해 결정되었다. 일반적으로 한해 월동기 내에서는 온도의 변화에 의해서 월동개체수가 변화하리라 기대할 수 있을 것이다 (Yoo *et al.*, 2004). 반면에 매년 핵심월동기의 월동개체수 규모는 기온보다는 적설의 범위 및 적설이 얼마나 오래 지표에 덮고 있는지가 더 중요한 요인이라 판단되었다. 재두루미의 월동개체수는 눈 덮임에 민감하게 반응하였다. 원인은 일반적으로 수조류가 수면의 결빙에 영향을 받기 때문에 기온을 증감에 민감하게 영향을 받는 반면 (Lee *et al.*, 2006), 재두루미의 경우 기온보다는 취식지가 눈이 덮여 먹이를 찾기가 어렵게 될 경우 서식지를 이동하기 때문이다. 따라서 멸종위기종의 부양 차원에서 추진되고 있는 두루미류 먹이주기는 1월의 눈이 덮인 시기에 분산하여 (집중화 회피목적) 제공받는 것이 타당할 것이다.

2002년에서 2006년까지 온난화가 진행되었던 시기에 철원지역의 재두루미는 증가양상을 보였으며, 재두루미의 최종 월동지인 일본 이즈미 (Izumi) 지역의 재두루미는 감소하였으며 이는 서로 강한 상관관계를 나타내었다 (Fig. 10). 이는 더 낮은 위도인 일본 이즈미로 이동하는 재두루미의 이동시기가 철원지역의 온난화 및 눈 덮임의 약화로 인하여 지연되었기 때문으로 사료된다 (Ozaki and Momose Personal Communication). 반대로, 폭설 및 눈 덮임이 지속되었던 2009~2010년, 2010~2011년의 경우 철원지역 재두루미의 개체수는 감소하였고, 일본 이즈미 지역의 재두루미 개체수는 증가하여 강한 상관관계를 나타내었다.

기후변화에 의한 영향은 생물 종의 습성과 영향의 정도에 따라 달라진다 (Foden *et al.*, 2008, 2013). 두루미와 재

두루미에 있어서 기후변화에 따른 개체수의 변화가 있었던 재두루미는 기후변화 지표종으로 지정되어 있으며 (NIBR 2010. 7. 26 보도자료), 기후변화에 대한 적응능력이 뛰어나고 대체 가능한 서식지가 있는 상황이라 판단할 수 있다. 하지만 두루미의 경우 대체월동지가 제한적인 것이라 할 수 있기 때문에 오히려 고산지역에 서식하는 침엽수와 같이 기후변화에 대하여 취약한 (Vulnerable) 종이라 할 수 있다. 두루미의 개체수는 2013~2014년의 감소를 제외하고 기후 및 눈 덮임 범위의 변화에도 불구하고 안정적이었다. 따라서 두루미의 개체군 변동은 기후요인에 변화하지 않고 다른 서식지 선택요인 (안정적 잠자리, 취식지 넓이 등)에 의해 결정되기 때문이라 판단된다. 또한 기후 및 기상요인에 따라 남하할 수 있는 대체가 가능한 월동지가 없기 때문으로 사료된다. 두루미의 월동지로는 한반도를 통틀어 철원지역이 가장 선호되는 지역이며 (Yoo *et al.*, 2007), 대안적인 월동지인 연천과 파주의 민통선 지역은 연천댐 및 개성공단 등의 개발사업으로 인하여 교란을 받고 있기 때문에 대체 가능한 서식지가 아니었던 것으로 판단된다. 국제두루미재단에서는 북한의 안변, 과거 두루미의 월동지에 대한 복원활동을 하여 왔지만 (Healy, 2011), 2014년 현재까지 일시적으로 기착하는 두루미가 관찰되었을 뿐, 지속적으로 월동하는 개체군을 확인할 수 없었다. 두루미의 서식이 기후에 의해 변화하지 않는 것은, 두루미의 서식이 잠자리, 먹이자원 등의 서식여건에 좌우될 뿐만 아니라 인공물 및 인간의 간섭에 의해 더 크게 영향을 받기 때문이다 (Yoo *et al.*, 2011a). 이러한 결과를 종합한다면, 2012년 이후 증가추세가 잦아들고, 반대로 감소하는 경향을 보이는 두루미의 월동개체수 변화는 재두루미와 같이 다른 월동지로의 이동이 아닌 개체군 자체의 감소인 것으로 추정된다.

겨울철 서식여건 중 온난화는 동물의 서식수를 증가시키는 요인으로 알려져 있지만 (Gaston *et al.*, 2000), 온난한 겨울이 반드시 좋은 조건은 아닐 수 있다. 온난한 겨울에 의해 눈이 덮이지 않으면, 낙곡을 먹이로 하는 또 다른 경쟁종인 쇠기러기 또한 재두루미와 유사한 측면에서 월동개체수가 증가할 가능성이 있었다 (Yoo *et al.*, 2011b). 이러한 재두루미와 쇠기러기의 증가는 먹이원에 대한 경쟁자로서 먹이의 고갈로 인한 월동개체수 감소의 가능성이 있다. Gaston *et al.* (2000)에 의하면 기후변화 상황에서 서식이 풍부한 종과 희귀종이 서로 다른 영향을 받게 되는데, 기후변화의 영향이 서식이 풍부한 종에게 유리하게 작용하며, 반대로 희귀종의 경우 풍부도와 서식영역이 약화될 수 있다고 하였다. 이 경우 두루미류의 개체수는 철원지역에 많지만, 쇠기러기에 비해 개체수가 적기 때문에 종 간

의 간접적 경쟁에 의해 개체수가 감소하는 악영향이 나타날 수 있다 (Newton, 1998). 이에 철원지역 두루미류의 보전을 위해서 이용 가능한 먹이량을 증대시키고 (벚꽃조지 등) 안정적 서식지 여건을 조성하여 주는 방향으로의 관리 방안이 요망된다.

## 적 요

본 연구에서는 기후요인에 의하여 두루미류의 월동개체군 규모가 달라질 것으로 가설을 세웠다. 그중 가장 추운 시기인 1월의 기후변수에 의하여 월동개체수가 달라질 것이라고 가정하였다. 특히, 재두루미의 경우 두루미와는 달리 철원지역 이외에 눈 덮임의 영향이 적은 대체 월동지 (일본의 이즈미)가 있다. 따라서 철원지역 눈 덮임의 정도에 따라 연도별로 개체군의 증감이 발생할 것으로 예측하였다. 이에 일반적으로 분석되는 기상청의 기후자료와 함께 MODIS 위성영상을 이용한 눈 덮임 범위 자료를 활용하여 요인을 분석하였다. 철원지역 두루미류의 개체수 자료는 2002년부터 2014년까지의 1월 개체수를 활용하였다. 철원지역의 기온은 2002년부터 2007~2008년도 월동기까지 증가하다가 감소하며 2011~2012년도 월동기에 가장 낮은 온도를 보였다. 이와 함께 온량지수도 유사한 증감의 경향을 보였다. 신적설량은 2002년 이후 낮게 유지되었으나 2010~2011, 2011~2012년 크게 증가한 형태를 보였다. 눈 덮임의 범위는 2002년부터 2005~2006년까지 급속히 감소하였다가, 2009~2010, 2010~2011년 월동기에 급격히 증가한 양상을 보였다. 재두루미의 월동개체수는 다른 기후요인에 비하여 1월의 눈 덮임 범위가 넓을수록 감소하였으며 가장 높은 상관관계를 보였다. 하지만 두루미의 개체수는 일반적 기후요인뿐만 아니라 눈 덮임 관련 요인에 대해서도 상관관계를 나타내지 않았다. 따라서 두루미의 개체군 변동은 기후요인에 변화하지 않고 다른 서식지 선택요인 (안정적 잠자리, 취식지 넓이 등)에 의해 결정되기 때문이라 판단된다. 재두루미의 월동개체수는 다중 회귀분석에서 눈 덮임 범위 및 기간의 로그값과 유의미한 회귀관계가 성립하였다. 따라서 재두루미의 월동개체수는 월동기 눈 덮임의 범위에 영향을 받으며 이는 눈 덮임에 의해 먹이원인 낙곡을 찾기 힘들어지기 때문인 것으로 판단된다. 재두루미의 개체수 변화는 다른 월동지로 이동한 것으로 보이며, 눈 덮임의 영향이 적은 월동지인 일본의 이즈미시로 이동한 것으로 나타났다. 이즈미 월동지의 재두루미 개체수와 철원의 개체수는 음의 상관관계를 가져 서로 연관된 것으로 파악되었다.

## 사 사

본 연구는 투고에 앞서 일부 내용이 2015년 한국환경생태학회 및 한국조류학회 학술발표대회에서 소개가 되었음을 밝힙니다. 또한 본 연구의 주요 내용은 Yoo *et al.* (2011b)의 연구를 기반으로 데이터를 추가하고 향상된 자료분석과 해석을 추가한 것입니다. 본 연구는 2002년부터의 지속연구로서 국립환경과학원과 국립생물자원관의 조사비 지원이 있었으며, 국립생태원의 “통합생태자료를 활용한 한반도생태계평가 (NIE-2014-0011)”와 “국가장기생태연구”에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

## REFERENCES

- Bartoń, K.A. and A. Zalewski. 2007. Winter severity limits Red Fox populations in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography* **16**: 281-289.
- Bellard, C., C. Bertelsmeier, P. Leadley, W. Thuiller and F. Courchamp. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* **15**: 365-377.
- Bethke, R.W. and T.D. Nudds. 1995. Effects of climate change and land use on duck abundance in Canadian Prairie-Parkland. *Ecological Application* **5**(3): 588-600.
- Chamberlain, D.E., R.J. Fuller, R.G.H. Bunce, J.C. Duckworth and M. Shrubbs. 2000. Changes in the abundance of farmland birds in relation to the timing of agricultural intensification in England and Wales. *Journal of Applied Ecology* **37**: 771-788.
- Cheorwon County; CC. 2002. Conservation plan of the migratory birds and the establishment strategy of sustainable development. Cheorwon County Office, 398pp. (in Korean)
- Elkins, N. 1988. Weather and bird behaviour. T & A Poyser Ltd. Calton. Second Edition. 239p.
- Foden, W., G. Mace, J.C. Vie, A. Angulo, S. Butchart, L. DeVantier, H. Dublin, A. Gutsche, S. Stuart and E. Turak. 2008. Species susceptibility to climate change impacts. In: Vie, J.C. Hilton, C. Taylor and S.N. Stuart (eds). The 2008 Review of the IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland, pp. 77-88.
- Foden, W.B., S.H.M. Butchart, S.N. Stuart, J. Vié, H.R. Akçakaya, A. Angulo, L.M. DeVantier, A. Gutsche, E. Turak, L. Cao, S.D. Donner, V. Katariya, R. Bernard, R.A. Holland, A.F. Hughes, S.E. O'Hanlon, S.T. Garnett, Ç.H. Şekercioğlu, G.M. Mace. 2013. Identifying the world's most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PLoS ONE* **8**: e65427.
- Gaston, K.J., T.M. Blackburn, J.J.D. Greenwood, R.D. Gregory, R.M. Quinn and J.H. Lawton. 2000. Abundance-occupancy relationship. *Journal of Applied Ecology* **37**(1): 39-59.
- Hall, D.K., G.A. Riggs, V.V. Salomonson, N.E. DiGirolamo and K.A. Bayr. 2002. MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment* **83**: 181-194.
- Harsch, M.A., P.E. Hulme, M.S. McGlone and R.P. Duncan. 2009. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology Letters* **12**: 1040-1049.
- Healy, H. 2011. A vision for cranes in a divided Korea. *ICF Boogle* **37**(1): 1-3.
- Hilty, J.A., W.Z. Lidicker and A.M. Merenlender. 2006. Corridor Ecology: The science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation. Island Press, Washington, Covelo, London. 323p.
- Jędrzejewski, W., B. Jędrzejewska, H. Okarma and A.L. Ruprecht. 1992. Wolf predation and snow cover as mortality factors in the ungulate community of the Białowieża National Park, Poland. *Oecologia* **90**: 27-36.
- Kira, T. 1945. A new classification of climate in Eastern Asia as the basis for agricultural geography. Horticultural Institute. Kyoto University, Kyoto.
- Kong, S.J., J.H. Shin and K.C. Yang. 2013. RCP 8.5 The study of adaptable plant species according to warmth index using RCP 8.5 scenarios in Cheonan-Si. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology* **16**(3): 19-30. (in Korean with English abstract)
- Koo, T.H. 1980. Crane Ecology. *Nature Conservation* **32**: 32-33. (in Korean)
- Korean Meteorological Administration. 2014. Available: <http://www.kma.go.kr/index.jsp>
- Lee, K.S. 2000. Current status and population fluctuations of waterbirds on the west coast of Korea. Ph. D. Dissertation of the Kyung-Hee University. 211pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.S., K.G. Lee and J.C. Yoo. 2006. Population fluctuation of waterbirds staying on Hangang River in Seoul by the temperature and wind speed. *Korean Journal of Ornithology* **12**(2): 73-84. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.M. and Y.E. Choi. 2013. Study on the relationship between arctic oscillation and temperature, precipitation and extreme climate events during spring over the Republic of Korea. *The Geographical Journal of Korea* **47**(4): 453-464. (in Korean with English abstract)
- Lemoine, N., H.G. Bauer, M. Peintinger and K. Böhning-Gaese. 2007. Effects of climate and land-use change on species abundance in a Central European bird community. *Conservation Biology* **21**: 495-503.
- MODIS Tutorial 2012. Available in: [https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/modis/docs/MODIS\\_LP\\_QA\\_Tutorial-1b.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/modis/docs/MODIS_LP_QA_Tutorial-1b.pdf)
- NIER; National Institute of Environmental Research. 2004. Com-

- prehensive report of winter waterbird census of Korea from 1999 to 2004. National Institute of Environmental Research, Incheon. (in Korean)
- NIBR; National Institute of Biological Resources. 2014. 2014 winter waterbird census of Korea. National Institute of Biological Resources, Korea. NIBR No. 2014-01-021. (in Korean)
- NIBR. 2015. 2014-2015 winter waterbird census of Korea. National Institute of Biological Resources. NIBR No. 11-1480592-000013-10. (in Korean)
- Newton, I. 1998. Population limitation in birds. Academic Press, London, UK. 597p.
- Nowald, G., N. Donner and M. Modrow. 2010. Influence of climate change on the wintering site selection of Eurasian Cranes. In: International Crane Foundation. Proceedings of the International Workshop: Climate-Cranes-People. Muraviovka Park, Amur Region, Russia.
- Opdam, P. and D. Wascher. 2004. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation* **117**: 285-297.
- Pae, S.H. 1994. Wintering ecology of Red-crowned Crane *Grus japonensis* and White-naped Crane *Grus vipio* in Chollwon basin, Korea. M. Sc. Thesis, Kyung Hee University. 43p.
- Pae, S.H. 2000. A study on habitat use of wintering cranes in DMZ, Korea: with carrying capacity and spatial distribution analysis using GIS. Dissertation of the Kyung Hee University. 77pp. (in Korean with English abstract)
- Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**: 37-42.
- Prior, J. and M. Kendon. 2011. The UK winter of 2009/2010 compared with severe winters of the last 100 years. *Weather* **66**(1): 4-10.
- Pshennikow, A. 2010. Dynamics of tundra landscapes in areas of Siberian Crane reproduction. In: International Crane Foundation. Proceedings of the International Workshop: Climate Cranes People. Muraviovka Park, Amur Region, Russia.
- Reif, J. and J. Flousek. 2012. The role of species' ecological traits in climatically driven altitudinal range shifts of central European birds. *Oikos* **121**: 1053-1060.
- Roy, D.B., P. Rothery, D. Moss, E. Pollard and J.A. Thomas. 2001. Butterfly numbers and weather, predicting historical trends in abundance and the future effects of climate change. *Journal of Animal Ecology* **70**: 201-217.
- Sanderson, F.J., P.F. Donald, D.J. Pain, I.J. Burfield and F.P.J. van Bommel. 2006. Long-term population declines in Afro-Paleartic migrant birds. *Biological Conservation* **131**: 93-105.
- Wang, C., H. Liu and S.K. Lee. 2010. The record-breaking cold temperatures during the winter of 2009/2010 in the Northern Hemisphere. *Atmospheric Science Letters* **11**: 161-168.
- Yeom, J.M., K.S. Han and G.L. Lee. 2009. The characteristics of visible reflectance and infrared band over snow cover area. *Korean Journal of Remote Sensing* **25**(2): 193-203.
- Yim, Y.J. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula III. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Japanese Journal of Ecology* **27**: 177-189.
- Yoo, S.H., H.S. Kwon, J.J. Park and C.H. Park. 2011a. Spatial distribution of feeding site and the relationship between density and environmental factors (Roosting Site, road and residence) of cranes in Cheorwon Basin, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **25**(4): 516-525. (in Korean with English abstract)
- Yoo, S.H., K.S. Lee and J.C. Yoo. 2007. Reaction to the vehicle and trade-off between vehicular interruption and food resources of cranes: focused on the wintering cranes in Cheorwon basin, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **21**(6): 526-535. (in Korean with English abstract)
- Yoo, S.H., K.S. Lee, J.H. Kim and J.H. Park. 2011b. Long-term monitoring result and factors of the wintering crane's population change in Cheorwon, Korea: historic change and impact assessment of weather change by the MODIS. *Korean Journal of Ornithology* **18**(1): 59-71. (in Korean with English abstract)