

두루미류 취식지역의 공간적 분포 및 서식밀도와 잠자리, 도로, 인가지역과의 관계^{1a}

유승화² · 권혁수² · 박종준² · 박종화^{3*}

Spatial Distribution of Feeding Site and the Relationship between Density and Environmental Factors(Roosting Site, Road and Residence) of Cranes in Cheorwon Basin, Korea^{1a}

Seunghwa Yoo², Hyuk-Soo Kwon², Jong-Jun Park², Chong-Hwa Park^{3*}

요 약

본 연구는 두루미류의 공간적 분포 양상을 확인하고, 환경요인(잠자리, 도로, 인가)의 영향범위와 영향력을 평가한 것이다. 조사는 2007년 1월에서 2월까지 4회에 걸쳐 철원지역 두루미류의 분포를 거리측정기와 GPS를 이용하여 수집하였다. 두루미류의 서식이 가능한 것으로 조사된 지역은 총 76.9km² 였으며, 두루미 *Grus japonensis* 와 재두루미 *Grus vipio* 555개 무리의 분포위치를 수집한 후 환경요인과의 거리별 밀도를 분석하였다. 두루미류의 취식분포는 특정지역에 밀집한 분포를 보였으며, 인근지역에서 취식하는 두루미류 취식무리 간의 개체수는 공간적자기상관관계가 없는 것으로 나타났다. 두루미류의 취식무리수 밀도는 잠자리와의 거리에 따라 상관이 없었다. 하지만, 포장도로와 인가지역은 가까울수록 서식밀도가 낮은 경향을 보였다. 포장도로의 경우 1,500m 에서 밀도 변곡점을 보였으며, 인가지역으로 부터 취식밀도는 1,750m 에서 밀도 변곡점을 보였다. 잠자리와 취식지간의 거리별 밀도변화는 취식무리수 밀도에서만 확인할 수 없었다. 포장도로와의 거리가 멀어짐에 따라 두 종의 취식무리수 밀도는 증가하지 않았으나, 개체수밀도는 유의하게 증가하는 양상을 보였다. 인가와와의 거리가 늘어남에 따라 두루미와 재두루미 모두 취식무리 밀도와 개체수밀도 모두에서 유의한 증가양상을 나타내었다. 잠자리와의 거리가 멀어질수록, 두루미는 취식무리 밀도와 개체수밀도가 모두 감소하는 경향을 보였으나 재두루미의 경우 증감의 경향을 보이지 않았다.

주요어: 취식지, 인간에 의한 영향, 도로변의 영향, 취식지 분포, 서식지 선택의 요인

ABSTRACT

We studied the influence certain environmental factors (proximity of roosting site, roads, and residential areas) have on the spatial distribution of cranes in the Cheorwon, Korea. Using a range finder and GPS, data were collected from January to February 2007 and were subsequently evaluated with ArcGIS. The size of the cranes' wintering habitat was estimated to be 76.9 km². Five hundred and fifty-five flocks of cranes were observed and detailed distributions were collected. Feeding distribution of the cranes showed clustered distribution,

1 접수 2010년 12월 1일, 수정(1차: 2011년 8월 22일), 게재확정 2011년 8월 23일

Received 1 December 2010; Revised(1st: 22 August 2011); Accepted 23 August 2011

2 서울대학교 환경대학원, 협동과정조경학과 Dept. of Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul(151-742), Korea(ecogrus@naver.com)

3 서울대학교 환경대학원 Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul(151-742), Korea

a 본 논문은 한국조경학회 2009년도 추계학술논문발표회에서 발표한 것을 발전시킨 것임.

* 교신저자 Corresponding author(rsgis@snu.ac.kr)

however, no tendencies of spatial autocorrelation were apparent. Adjacent regions with paved roads and residences showed lower densities than other areas. Distances at which paved roads and residential areas induced changes in feeding flock densities were 1500m and 1750m, respectively. Feeding flock density decreased with increased distance from roosting site. Feeding flock density of the two crane species did not increase as distance from roads increased, however, the density of individuals showed a significant increasing tendency with increased distance from roads. In both species, density of feeding flocks and individuals significantly increased with increasing distance from residential areas. In Red-crowned Cranes, the density of feeding flocks and individuals significantly decreased with increasing distance from roosting site, however, in the case of White-naped Cranes, there was an even distribution in density of feeding flocks and individuals.

KEY WORDS: FEEDING SITE, HUMAN IMPACT, ROADSIDE EFFECT, FEEDING DISTRIBUTION, FACTORS OF HABITAT SELECTION

서론

생물체의 분포는 크게 구분하여 임의분포(random), 규칙적인 분포(regular), 집단분포(aggregated)의 형태를 보인다(Perrins and Birkhead, 1983; Begon *et al.*, 1996). 두루미류의 공간적분포(spatial distribution)는 가족군의 세력권 형성(Alonso *et al.*, 2004)에 의한 규칙적 분포와, 비가족군에 의한 임의분포(Ohsako, 1989)가 혼재된 양상을 보여주고 있다. 또한, 인공먹이급여(Yoo, 2004) 및 잡자리(Pae, 1994; Spalding and Kraup, 1994), 잡자리와 취식지 간의 일주행동(Pae, 2000), 민간인통제지역(Civilian Control Zone, CCZ: Yoo *et al.*, 2008) 등에 의하여 나타나는 분포양상이 존재한다.

두루미류의 분포양상에 대한 종래의 연구는 주로 번식지의 선택에 관련한 연구가 대부분이었다(Herr and Queen, 1993; Timoney, 1999). 왜냐하면, 번식장소는 월동장소에 비하여 고정적이며 환경 변수에 의한 영향이 비교적 확실하였기 때문이다(Herr and Queen, 1993). 하지만, 두루미류의 경우 월동지에서도 세력권 행동을 보이고 있으며 연구되고 있는 상황이다(Ohsako, 1989; Alonso *et al.*, 2004; Stehn and Prieto, 2008). 따라서, 월동지역에서의 분포양상 또한 생태적으로 의미있는 결과라 할 수 있을 것이다. 하지만, 지금까지 통계적으로 분포의 형태를 구분할 수 있는 방법은 제한적이었다. 최근에는 GIS프로그램의 개발과 공간통계 분석방법의 적용으로 비교적 쉽게 공간분포에 대한 통계적 유의성을 분석할 수 있게 되었다(Wong and Lee, 2005). 두루미류는 주간에 활동하는 대형의 동물로서 원거리에서 관찰이 가능하기 때문에 공간분포를 연구하기에 매우 적합한 대상이다(Nagano *et al.*, 1992; Yoo *et al.*, 2007).

분포에 영향을 주는 요인 중 도로의 영향은 두루미류의

서식요인을 연구함에 있어서 중요한 평가사항으로 알려져 왔다(Pae, 2000; Austin and Richert, 2001; Lee *et al.*, 2001; Cao and Liu, 2008). 또한, 도로는 야생동물에게 차량과의 충돌에 의한 노상상해(roadkill), 사람과의 조우기회 증가, 소음 등의 방해, 작간접적 서식지의 감소 및 서식지의 파편화 등의 영향을 준다(Klein *et al.*, 1995; Evink, 1996; Forman and Alexander, 1998; Ruediger, 1998; Cain *et al.*, 2003; Yoo *et al.*, 2007). Lee *et al.*(2001)은 철원지역에 포장도로가 개설됨으로서, 인근지역의 서식율이 감소하였다고 보고하였으며, Pae(2000)는 도로가 인위적인 구조물 혹은 주변지형 보다 높기 때문에 두루미류가 선호하지 않는다고 하였다. 반면, 인위적 구조물이나 주변지형 및 식생의 높이 보다는 방해요인(사람, 차량 등)의 유입에 의해 회피한다는 연구결과도 존재한다(Klein *et al.*, 1995; Yoo *et al.*, 2007). 하지만, 포장도로 일지라도 통행량을 고려하지 않는다면, 도로에 대한 민감도가 저평가 되어, 도로에 의한 영향이 낮게 나타날 가능성이 있다. 인가 및 개발지역에 대한 영향 또한 서식 저해요인으로서 매우 중요하게 평가되어 왔다(Herr and Queen, 1993; Pae, 2000; Austin and Richert, 2001; Lee *et al.*, 2001; Su, 2003; Cao and Liu, 2008). 철원지역은 인가가 특정지역에 밀집하여 존재하고 통행이 제한된 민간인통제지역(CCZ)의 존재로 인하여 인가 및 개발지역에 의한 영향이 명확하게 나타난다(Yoo *et al.*, 2008).

국내의 서식지 모델에서는 적지선정을 위해 기존의 연구를 인용하여, 도로 및 인가지역과 가까운 지역이 서식지 평가에서 낮은 점수를 부여받고 선호하는 취식지역으로 알려진 지역은 높은 점수를 부여받는 형태의 서식지적 분석이 대부분이었다(Kim and Cho, 2006, Cao and Liu, 2008). 하지만, 대부분의 연구에서 영향력은 일정 구역의 등급을

상, 중, 하 등으로 정하여 중첩분석(overlaying analysis) 하기 위하여 선정된 것으로 두루미류의 정량적이고, 실질적인 서식영향을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 연구는 방해요인에 의한 영향과 핵심서식요인의 영향을 공간적으로 이해하기는 힘이 들었다. 또한, 전체 조사지역 중 두루미류의 서식이 불가능한 산림지역이나 개활수면, 인가지역을 서식밀도 및 서식확률을 도출하기 위한 모델에 포함 시킬 경우 결과가 왜곡되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 인위적인 지역구분 상에서의 서식모델 분석이 아닌 전체 공간분포 상에서의 밀도를 이용한 서식모델 개발이 요구된다.

Su(2003)는 토지피복의 유형 및 특정 식생의 비율을 이용하여 번식집단과 비번식집단 각각의 회귀모델을 연구한 바가 있다. 하지만, 본 연구는 점 혹은 선적인 분포를 가지는 도로, 인가 등의 환경변수이기 때문에 새로운 접근이 요구되었다. 특히 두루미류의 서식이 불가능한 교목, 마을, 호수 등의 지역을 제외하고 모델을 구하는 것이 필요하였다. Herr and Queen(1993)은 도로 및 인가로부터의 거리별로 캐나다두루미(*Grus canadensis*)의 등지분포 차이를 검증하는 연구를 시행하였다. 하지만, 거리구간으로 나누어 등지의 수를 비교하는 것은 해당지역의 면적을 반영하지 않기 때문에 선호성을 검증하기에는 부족함이 있었으며, 선호도를 알기위하여 밀도에 대한 반영이 필요하였다(Yoo et al., 2008).

본 연구는 두루미류의 생태적 특성(잠자리, 취식지, 세력권 등)에 의한 공간분포 양상, 공간적 자기상관관계 존재여부 및 환경요인에 대한 각종의 민감도를 거리별로 확인하여 환경요인의 영향력과 영향범위를 파악하는 것이다. 마지막으로, 각 환경요인에 의한 중 및 무리의 유형별로 취식밀도

모델을 도출하고자 하였다.

연구 및 분석방법

1. 연구 시기 및 지역

두루미류의 분포지점에 대한 조사는 핵심 월동기인 2007년 1월 2회(1월 1일, 15일), 2월 2회(2월 4일, 16일) 총 4회 실시하였다. 조사 범위는 Yoo et al.(2009)의 범위와 같았다(Figure 1). 일자별 조사지역은 중첩되지 않도록 하였으며, 조사가 완료될 시점에서 전체 두루미류 서식지가 조사되도록 하였다. 조사지역은 비무장지대(DMZ: Demilitarized Zone)에 인접한 민간인통제지역(CCZ: Civilain Control Zone)을 포함하고 있으며, 대부분 논경작지로서 Yoo(2004)의 조사에서 1회 이상 관찰되었던 지역의 500m 이내 지역이었다.

2. 연구방법

조사는 2인 1개조로 차량으로 이동하면서 두루미류의 취식무리를 대상으로 GPS와 거리측정기를 이용하여 지리적인 좌표를 수집하였다(Korea Water Resources Corporation: K.W.R.C., 2006; Yoo et al., 2007). 좌표수집은 두루미류의 분포에 영향을 주지 않도록 차량 내에서 실시하였으며, 차량 유리의 굴절에 의한 거리측정기의 오차를 줄이기 위하여 두루미류가 정면 혹은 좌우 측면 직각방향에 나타나도록 차량을 운행하여 위치한 후 거리를 측정하였다. 거리를 측정 후 휴대용 GPS의 커서를 조정하여 해당방향 및 거리가

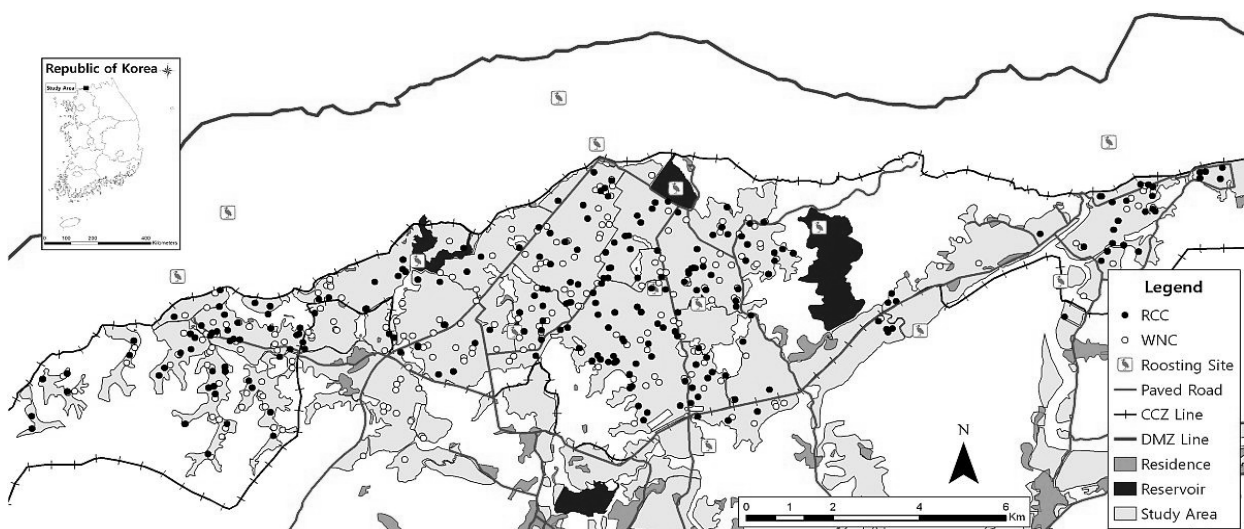


Figure 1. Map of the study area and distribution of the Red-crowned Crane(RCC) and White-naped Crane(WNC) and roosting site and factors(residence, CCZ and DMZ area, paved road, reservoir)

되도록 움직인 후 좌표를 저장하는 방식을 취하였다(K.W.R.C., 2006). 두루미류의 취식무리는 종, 개체수를 기록하였으며, 10m 이상 떨어진 거리의 무리는 다른 무리로 구분하였다(Yoo *et al.*, 2009).

잠자리를 이용하는 개체군 조사는 분포조사일과 같은 날 일출시간 30분 전부터 대부분의 개체군이 취식지로 이동했다고 판단되는 시간(5분간의 비행개체수의 합계가 0개체이며 지속시간이 30분일 경우)까지 이루어졌으며(Yoo, 2004), 잠자리와 취식지 사이 2군데 이상의 지점에서 정점조사를 실시하였다. 조사시 종 구분과 비행무리의 개체수를 기록하였다. 한 지역 당 1곳 혹은 2곳에서 조사하였으며, 2개 지점간의 중복 관찰을 피하기 위하여 타 조사지점의 방향으로 이동하는 두루미류는 무전기를 이용하여 종과 개체수를 확인하여 개체수 중복을 피하였다.

조사지역의 1:5,000 수치지도를 이용하여 인가와 도로를 추출하였다(Figure 1). 인가는 5개 건물이상인 인접한 것을 인가지역으로 구분하여 최외곽선을 이용하여 작성하였다. 도로는 포장된 농로와 비포장 소로 등을 제외하고 차량의 소통이 많은 도로를 추출하였다(Yoo, 2004). 수치지도에서의 인가와 도로의 추출은 ArcGIS(9.3)을 이용하였다.

3. 분석방법

1) 두루미류의 공간분포

최근린평균거리분석(average nearest neighbor analysis) 기법은 가장 인접한 같은 속성을 가진 대상까지의 거리를 측정해 평균을 구하여 무작위적인 분포와 비교한 후 분포의 형태가 정규분포인지 아닌지를 검정하는 분석이다. 분석대상이 특정지역에 집중되어 있는지 무작위적인 분포인지 혹은 분산하여 분포하는지를 확인할 수 있다(Wong and Lee, 2005). 분석에 사용하는 수식은 다음과 같으며 ArcGIS9.3의 Spatial Analysis 도구를 사용하였다.

$$Z_R = \frac{r_{obs} - r_{exp}}{SE_r}$$

$\therefore r_{obs} = \frac{\sum di}{n}$: 표본간 실측거리, $r_{exp} = \left(2\sqrt{\frac{n}{A}}\right)^{-1}$: 이상적 분포에 의한 기대거리,

$$SE_r = 0.26136 \sqrt{\frac{A}{n^2}}$$

A: 대상지의 면적)

$Z_R > 1.96$: 분산분포, $1.96 > Z_R > -1.96$: 정규분포,

$-1.96 > Z_R$: 밀집분포를 의미함

두루미류의 분포와 인근지역 개체수의 상호관계를 확인하기 위해 ArcGIS를 이용하여 취식무리간의 거리와 개체수

를 이용하여 공간적자기상관(spatial autocorrelation)을 구하였다. 사용한 지수는 Moran's I 지수이며 불규칙분포(random distribution)와의 차이를 통해 통계적 유의성을 검증하였다. 두루미류 전체, 두루미와 재두루미 종별로 구분하여 분석하였다. 분석에 사용한 Moran's I 지수의 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Wong and Lee, 2005).

$$I = \frac{n \sum \sum W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum \sum W_{ij} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

n : 전체분포의 합계수

W_{ij} : i분포와 j분포의 근접성(거리)

\bar{x} : 비교하고자 하는 속성(개체수)의 평균값

x_i : 분포 i의 비교하고자하는 속성(개체수)의 값

Moran's I 지수는 인접한 집단의 관찰하고자 하는 특성(개체수)이 유사 할수록 높은 값을 가지게 되어 공간적자기상관관계가 높게 나타나는 것으로 판단한다. 반면 인접한 집단의 특성이 다를수록 낮은 값을 가지게 되어 공간적자기상관관계가 낮게 나타나는 것으로 판단한다.

2) 환경요인과 두루미류의 서식밀도 분포모델

잠자리, 포장도로, 인가지역으로부터 거리를 산정하여 해당 구간에서의 서식밀도를 비교하였다. 군사지역은 일정수의 거주자가 있기 때문에, 군사지역은 마을지역과 함께 인가지역으로 정의하였다. 각 환경요인으로 부터 250m를 기준으로 취식무리수(feeding flock)와 개체수(individual)를 산출하였다. 250m를 기준으로 한 것은 가장 일반적인 방해요인인 차량과의 반응거리를 이용한 것이다(Yoo *et al.*, 2007). 요인과의 거리기준에 따른 구간은 두루미류가 서식하지 못하는 지역이 많기 때문에(건폐지, 산림, 저수지 등), 밀도를 구하기 위하여, 두루미류의 취식범위에 해당하는 구간만을 서식면적으로 산정하였다. 건폐지, 산림, 저수지는 주변부 효과가 없는 것으로 가정하였으며, 각 구간별 취식무리밀도를 구하여 상관관계를 구하였다(Su, 2003). 환경요인으로부터 영향을 받는 구역에 대한 회귀모델을 구하기 위하여, 전체 분포밀도의 경향을 상관관계로 분석 한 후, 유의미한 변곡점을 찾아내었다. 각 요인별 변곡점까지의 두루미류의 무리수 및 개체수에 대한 회귀분석을 실시하여 모델을 도출하였다. 상관분석 및 회귀분석은 SPSS12.0K를 사용하였다.

결 과

1. 두루미류의 공간적 분포

두루미의 서식이 가능한 것으로 추정하여 조사한 지역은

약 77km² 이었으며, 두루미와 재두루미 555개 무리를 관찰하여 분포위치를 수집하였다. 두 종이 중복되는 경우도 존재하며, 두루미는 238개 무리, 재두루미는 271개 무리가 수집되었다.

취식무리에 대한 최근린평균거리분석의 결과 기대치에 비한 관찰치의 비는 0.66로서 응집된 분포를 보였다(Z=-15.42, p<0.001, Table 1). 두루미와 재두루미 각각 분석하였을 경우 또한 응집된 분포를 보이는 것으로 나타났다(Red-crowned Crane: RCC, Observed/Expected distance: O/E D=0.92, Z=-2.3, p<0.05; White-naped Crane: WNC, O/E D=0.89, Z=-3.67, p<0.01, Table 1). 각 종의 분포지점을 가족군과 비가족군으로 구분하여 최근린평균거리분석을 한 결과 두루미의 가족군 및 비가족군과 재두루미의 비가족군이 불규칙 분포를 보였다(RCC family group: O/E D=0.97, Z=-0.92, Non-family group: O/E D=0.96, Z=-0.51, ns; WNC Non-family group: O/E D=0.98, Z=-0.30, ns). 하지만, 재두루미의 가족군은 밀집된 분포를 나타내었다(WNC family group: O/E D=0.85, Z=-4.67, p<0.01).

인근 무리와의 개체수 상관을 나타내는 공간적자기상관 분석의 결과는 전체 두루미류 무리의 Moran's I 값은 0.01로 나타났으며, 무작위적 상관관계를 보였다(Z=-0.07, n.s). 이는 두루미와 재두루미 각각의 경우에도 마찬가지였다(RCC : I=0.02, Z=-0.07, n.s; WNC : I=0.60, Z=-0.04, n.s, Table 1). 또한 두루미와 재두루미의 가족군 및 비가족군에서도 동일하게 무작위적 상관관계를 보였다(Table 1).

결과적으로 공간적 분포양상과 공간적 자기상관 분석에 의하여, 두루미류의 취식분포는 특정지역에 밀집한 분포를 보였으며, 인근지역에서 취식하는 두루미류 간의 취식개체수는 서로 상관관계를 갖지 않는 것으로 나타났다.

2. 환경요인과 두루미류의 분포의 관계

1) 환경요인과 분포밀도의 상관관계 및 변곡점

관찰되어진 두루미와 재두루미의 분포지점에서 가장 가까운 잠자리, 포장도로, 인가까지의 거리를 측정하여 거리

별 취식무리밀도를 비교하였다(Figure 2, 3). 두루미류 전체의 측면에서 본다면, 잠자리로부터의 거리가 멀수록 취식무

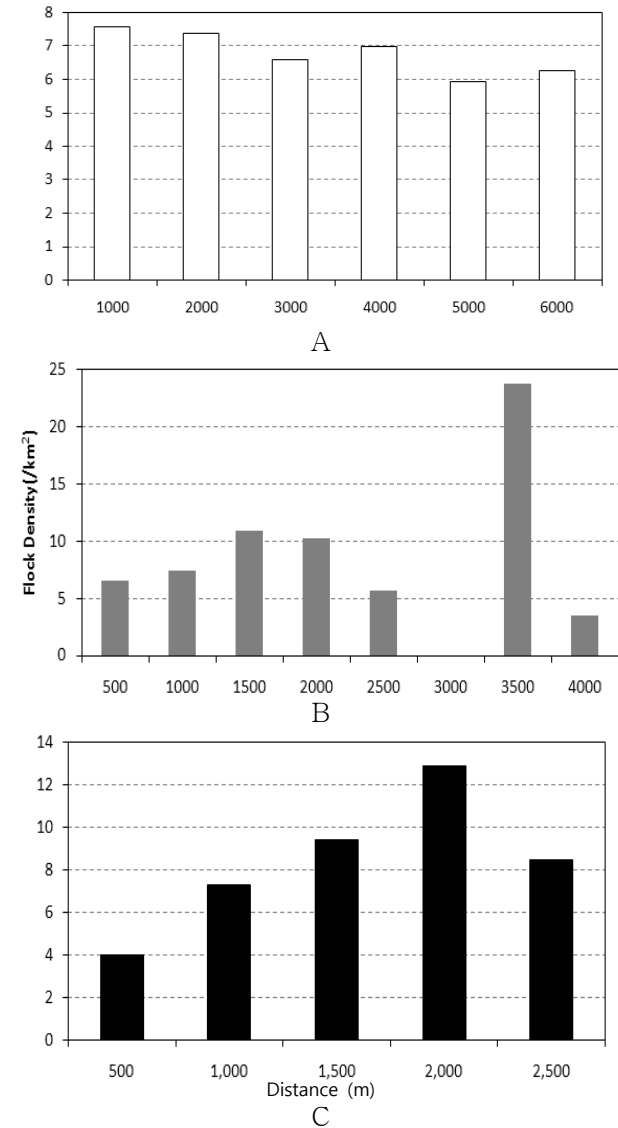


Figure 2. Flock Density distribution of the cranes by distance from roosting site(A), paved road(B) and residence(C)

Table 1. Differences of the Average Nearest Neighbor(ANN) and Spatial Autocorrelation(SAC) in all cranes, Red-crowned Cranes and White-naped Cranes in Cheorwon, Korea

Types of Analysis and Testing Value	All Cranes	Red-crowned Crane's Flock			White-naped Crane's Flock		
		Merged	Family	Non-family	Merged	Family	Non-family
ANN Observed / Expected	0.66	0.92	0.97	0.96	0.89	0.85	0.98
ANN Z score	-15.42**	-2.3*	-0.92 ^{ns}	-0.51 ^{ns}	-3.67**	-4.67**	-0.30 ^{ns}
SAC Moran's I	0.21	0.02	-0.1	-0.1	0.04	-0.25	-0.08
SAC Z score	-0.07 ^{ns}	0.11 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.2 ^{ns}	-1.0 ^{ns}	-0.74 ^{ns}

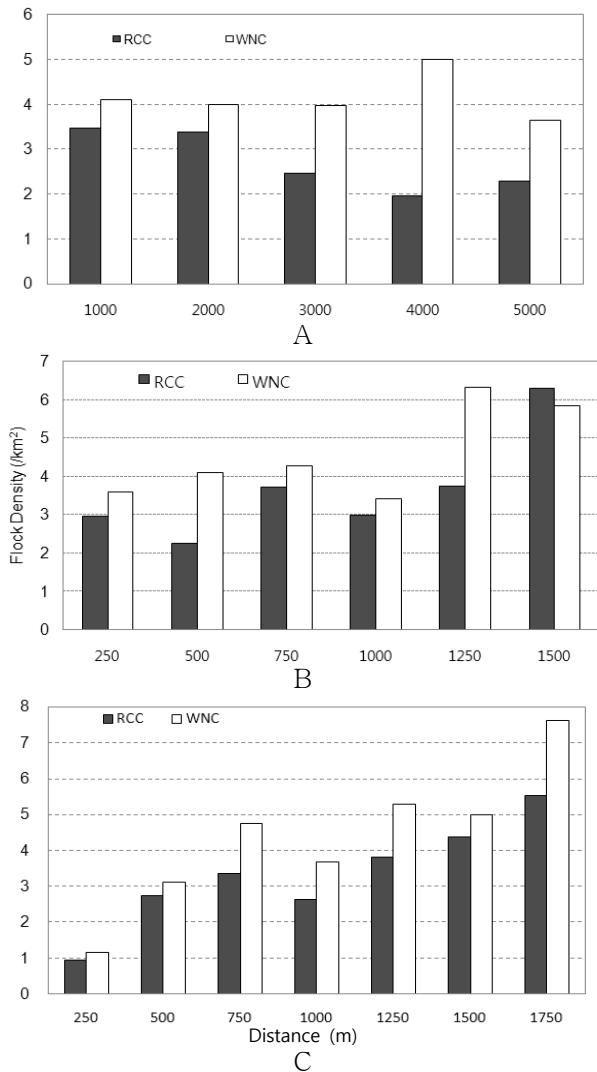


Figure 3. Flock Density distribution of the RCC and WNC by distance from roosting site(A), paved road(B) and residence(C)

리밀도는 감소하는 경향을 보였다(Pearson correlation, $r=-0.886$, $p=0.026$, $n=6$). 종 별로는 두루미의 취식무리밀도가 잠자리로부터 멀어질수록 감소하는 경향을 가졌다($r=-0.892$, $p=0.041$, $n=5$). 하지만, 재두루미의 취식무리밀도는 감소하는 경향을 찾을 수 없었다($r=-0.06$, $p=0.95$, $n=5$). 포장도로와 가까울수록 취식무리밀도가 낮은 경향을 보였으나, 2000m 이상의 지역에서는 불규칙한 밀도양상을 보여주었다(1500m 이하에서: $r=0.839$, $p=0.037$, $n=6$, Figure 2). 포장도로에 대한 거리별 밀도는, 각 종별로도 유사한 양상을 보였으나 통계적 유의성은 없었다(RCC: $r=0.776$, $p=0.070$, $n=6$, WNC: $r=0.757$, $p=0.081$, $n=6$, Figure 3). 인가로부터의 거리가 증가함에 따라 취식무리밀도는 명확하게 증가하는 경향을 보여주었으며(1750m 이하에서: $r=0.921$, $p=0.003$, $n=7$, Figure 2), 각 종별로도 유사한 경향을 나타내었다(RCC: $r=0.839$, $p=0.037$, $n=6$, WNC: $r=0.839$, $p=0.037$, $n=6$, Figure 3). 따라서, 두루미류의 취식에 영향을 주는 요인 중 가장 큰 요인은 인가지역이라 할 수 있었으며, 도로는 인가지역 보다 낮은 영향요인이라 할 수 있었다.

세밀한 영향을 알아보기 위해 도로와 인가와와의 거리 2km 이내에 분포하는 것을 250m 구간으로 추출하고 취식무리밀도와 취식개체수밀도의 거리에 따른 상관관계를 구하였다. 포장도로로부터의 거리별 밀도는 1,500m에서 변곡점을 보였으며, 취식무리밀도와 취식개체수밀도는 포장도로와 가까운 거리에서 낮은 취식밀도를 보였다(flock density: $r=0.839$, $p=0.037$, $n=6$, individual density: $r=0.782$, $p=0.066$, $n=6$, Figure 4-A, B). 인가지역으로부터의 취식무리밀도는 1,750m에서 변곡점을 보였으며, 가까운 거리에서 낮은 취식밀도를 보였다(flock density: $r=0.921$, $p=0.003$, $n=7$, individual density: $r=0.946$, $p=0.001$, $n=7$, Figure 5-A, B). 그 경향은 포장도로에 대한 거리별 상관관계에

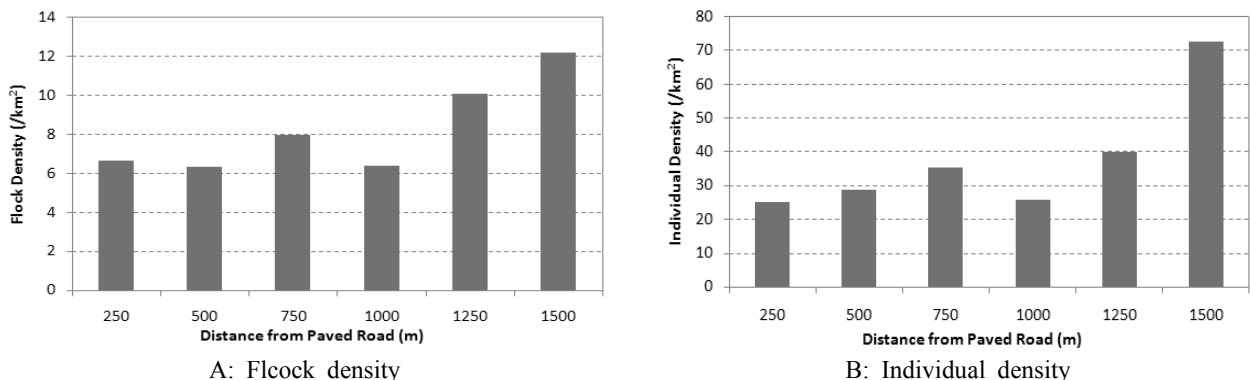


Figure 4. Feeding density distribution of the crane's flock (A) and individuals (B) densities by distance from paved road

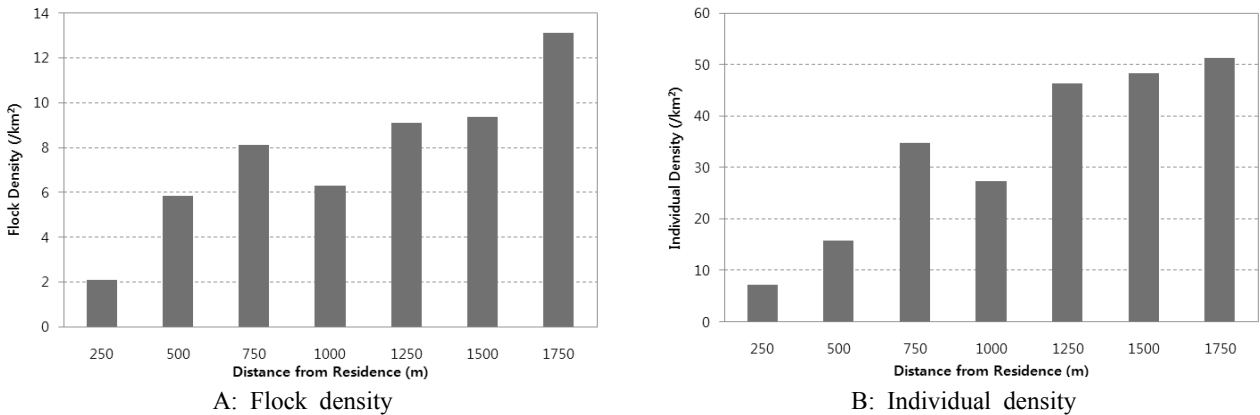


Figure 5. Feeding density distribution of the crane's flock (A) and individuals (B) densities by distance from residence

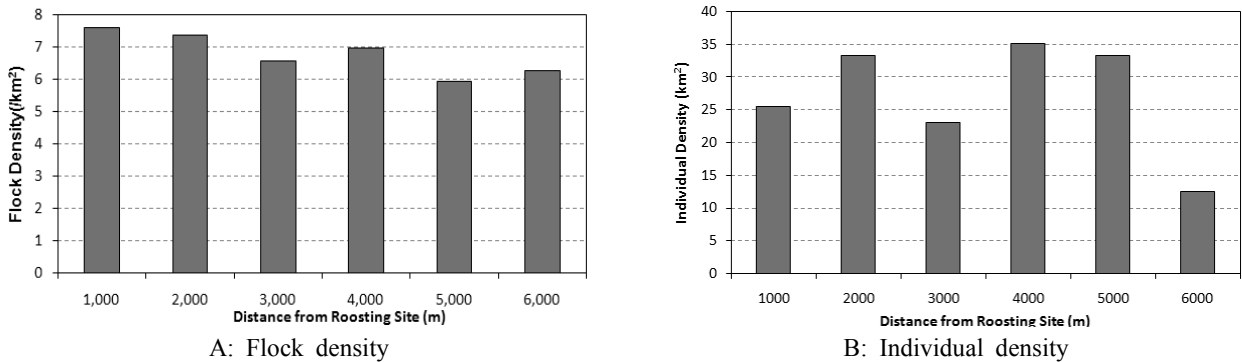


Figure 6. Feeding density distribution of the crane's flock (A) and individuals (B) densities by distance from roosting site

비하여 설명력이 높았다. 잠자리와의 거리별 밀도변화는 취식무리밀도에서만 잠자리로부터 멀어질수록 밀도가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다(flock density: $r=-0.866$, $p=0.026$, $n=7$, individual density: $r=-0.324$, $p=0.531$, $n=7$, Figure 6-A, B). 결과적으로 두루미와 재두루미는 도로와 인가지역에 대하여 공통적으로 부정적인 반응을 보였으며 (Figure 5), 잠자리로부터의 거리가 멀어질수록 두루미의 경우 밀도가 낮아지는 경향을 보였다(Figure 6).

2) 환경변수에 따른 두루미류의 취식밀도 모델

각 환경요인 별로 영향거리를 잠자리와의 거리 5km 이내, 도로로부터 1.5km 이내, 인가로부터 1.75km를 변곡점으로 선정하여 두루미류의 종별 취식무리밀도(/km²)와 취식개체수밀도(/km²)를 선형회귀 방정식을 구하였다(Table 2). 포장도로와 두루미, 재두루미 취식무리밀도, 잠자리와 재두루미의 취식무리 밀도, 취식개체수밀도를 제외한 나머지 관계는 회귀방정식 상에서 유의미하게 평가되었다(Table 2). 환경

요인 중 인가지역과의 거리는 두 종에서 취식무리밀도와 개체수밀도 모두 유의한 회귀관계를 보여주었다(Table 2). 도로로부터의 거리는 두루미와 재두루미 모두에서 개체수 밀도에만 유의한 회귀관계를 보여주었으며, 잠자리와의 거리는 두루미에서만 유의미한 회귀관계를 보여주는 변수였다(Table 2).

고찰

분포양상 분석에서(연구결과 1), 두루미의 가족군은 불규칙 분포를 보였던 반면 재두루미의 분포는 응집된 분포양상을 보인 것이 큰 차이점이었다(Table 1). 이것은 두루미의 가족군이 좀 더 강한 세력권을 가지기 때문에 응집된 분포를 보이지 않고 분산된 분포를 보였던 것으로 판단되었다. 두루미류의 공간적 분포에 대한 분석결과 취식무리는 특정 지역에 집중되는 양상이 나타났으나, 공간적 자기상관 즉, 가까운 취식무리 간의 개체수 유사성은 없는 것으로 나타났

Table 2. Linear regression equation and significance values between environmental factors and number of flock and individuals in each crane species

Factors (Impact Range)	Species	Density (/km ²)	Regression equation [#]	df	R ²	t	p
From Paved Road (~1.5km)	RCC	Flocks	$Y_i=1.62+2.34 X_i$	4	0.59	2.46	0.070 ^{n.s}
		Individuals	$Y_i=1.00+2.229 X_i$	4	0.78	3.71	0.021 [*]
	WNC	Flocks	$Y_i=2.87+1.97 X_i$	4	0.56	2.31	0.081 ^{n.s}
		Individuals	$Y_i=1.33+2.857 X_i$	4	0.72	3.17	0.034 [*]
From Residence (~1.75km)	RCC	Flocks	$Y_i=0.87+2.47 X_i$	5	0.93	5.53	0.003 ^{**}
		Individuals	$Y_i=2.71+8.74 X_i$	5	0.97	9.27	0.0001 ^{***}
	WNC	Flocks	$Y_i=0.97+3.40 X_i$	5	0.91	4.79	0.005 ^{**}
		Individuals	$Y_i=0.47+21.10 X_i$	5	0.92	5.19	0.003 ^{**}
From Roost (~5km)	RCC	Flocks	$Y_i=3.88-0.38 X_i$	3	0.80	-3.43	0.042 [*]
		Individuals	$Y_i=13.76-1.66 X_i$	3	0.92	-6.79	0.007 ^{**}
	WNC	Flocks	$Y_i=4.10-0.02 X_i$	3	0.004	0.11	0.918 ^{n.s}
		Individuals	$Y_i=11.33+3.23 X_i$	3	0.54	1.87	0.159 ^{n.s}

[#] Y_i : number of flocks or individuals (/km²), X_i : distance from each factors (km)

다(연구결과 1). 이것은 취식무리가 먹이요인이나 방해요인 등의 요인에 의하여 특정 지역에 밀집된 형태로 나타나지만, 서로 독립적으로 세력권을 갖거나 활동을 하기 때문에 (Ohsako, 1989; Alonso *et al.*, 2004; Stehn and Prieto, 2008) 인접지역과의 개체수 상관이 낮았던 것으로 판단된다. 공간적자기상관분석의 결과는 모든 경우에서 확인할 수가 없었는데, 가족군의 경우 개별적 서식영역을 갖기 때문으로 판단되며, 대부분의 취식무리가 2~4개체이고 소수의 무리가 많은 개체수를 가져 공간적 자기상관을 검증하기 힘든 편중된 무리 구성(Ohsako, 1989; Yoo *et al.*, 2009)을 보이기 때문으로 사료된다.

환경요인에 의한 영향은 원거리와 가까운 거리에서의 영향력 평가가 다른 결과를 보였다(연구결과 2-가, Figure 2와 3 비교). 이것은 환경요인이 일정거리 까지만 영향을 주기 때문으로 판단된다(Yoo *et al.*, 2007). 따라서 환경요인의 영향평가는 어느정도의 공간규모를 평가할 것인지(Su, 2003), 그리고, 영향거리가 어디까지인지에 대한 평가가 매우 중요할 것으로 사료된다(Yoo *et al.*, 2007). 두루미류의 분포에 영향을 주는 요인으로 알려진 도로는 1.5km까지 영향을 주는 것으로 나타났다(Figure 4-A, B). 하지만, Pae(1994; 2000)의 고찰처럼 도로와 가까운 지역을 이용하지 않는다고는 할 수 없었다. 이것은 민간인 통제지역 내의 차량 통행량이나 사람의 활동이 외곽지역에 비하여 크게 낮기 때문에 두루미류에 의하여 취식지로 이용되는 것을 의미한다(Yoo *et al.*, 2009). 향후 통행량에 따라 도로를 구분하여 평가를 할 경우, 도로에 의한 영향을 구체적으로 살

펴볼 수 있을 것으로 기대된다. 반면 인가지역의 경우 보다는 먼 지역까지 영향을 주었으며, 가까운 지역의 밀도는 상대적으로 크게 감소하였다(Figure 5-A, B). 이러한 결과는 인간활동이 존재하는 지역은 두루미류가 선호하지 않으며, 넓은 범위까지 영향을 준다는 것을 의미하였다. 또한 개발 및 인가지역을 이용하지 않는다는 기존의 연구를 지지하는 결과이다(Pae, 1994; Pae, 2000). 따라서, 앞으로 민간인통제지역이 해지되고, 통일이 되거나, 도시 및 공단 등의 개발이 될 경우 두루미류의 서식지가 파괴 될 수 있다는 것을 간접적으로 보여주는 것이다. 향후 인가지역의 영향 또한 도로와 같이 규모나 거주인구 등을 세분화하여 비교한다면, 영향을 주는 거리와 영향력이 보다 구체적으로 평가될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에 의하면, 두루미류의 취식에 영향을 주는 요인으로 알려진 포장도로, 인가, 잠자리의 세 가지 요인 중 가장 큰 영향을 주는 요인은 인가와와의 거리였으며, 다음으로 포장도로였다(연구결과 2). 잠자리와의 거리는 기준에 중요한 취식지 선호요인으로 제안되었지만(Pae, 1994; 2000; Austin and Richert, 2001; Lee *et al.*, 2001), 본 연구에서는 잠자리에서 먼 지역 까지 큰 밀도차이 없이 이용하였으며, 6km 떨어진 지역에서 급격히 낮아지는 서식밀도분포를 보였다. 이것은 두루미류의 잠자리가 동서로 펼쳐져 있는 상태에서 두루미류의 취식지가 민간인통제지역에 제한적으로 분포하여 남북 방향으로의 거리는 상대적으로 짧기 때문이었다(Pae, 1994; Yoo *et al.*, 2008). 만약 두루미류의 취식지역이 민간인통제지역으로 제한되지 않았다면, 잠자리에서 보다

원거리까지 이동이 가능하여 좀 더 확실한 거리별 상관관계가 나타났을 것으로 판단된다. 두루미와 재두루미를 비교할 때 두루미는 잠자리에서 멀어질수록 서식밀도가 감소하는 경향이 있었으나 재두루미는 감소경향이 없었다(Figure 6-A, B). 이것은 두루미의 경우 재두루미에 비하여 몸무게가 무겁기 때문에(Johnsgard, 1993), 비행에 소요되는 에너지를 최소화하기 위하여 잠자리 인근 지역의 취식지를 선호하는 것으로 판단된다(Spalding and Krapu, 1994). 종합적으로 판단할 때, 잠자리는 두루미류에 있어서 미시적인 서식지 선택요인 보다는 월동지역 선택과 관련된 거시적 요인으로 판단된다(Pae, 1994; Austin and Richert, 2001).

본 연구에서는 두루미류의 환경요인과의 거리별 밀도를 이용하여 서식지 모델을 만들어 보았다. 이전의 Herr and Queen(1993)의 연구에서, 거리별 서식빈도를 이용한 것은 서로 다른 면적에 따른 밀도의 왜곡이 발생할 수 있기 때문에, 본 연구의 결과가 보다 실질적인 환경요인과의 상관관계 및 회귀관계를 반영할 수 있을 것으로 평가하였다. 하지만, 본 연구에서 수행한 구간별 밀도를 이용한 상관관계 및 회귀모델은 각 구간에서의 변이를 반영하지 못하는 약점을 가질 수 있었다. 따라서 향후 분석방법을 달리하여 비교한 후 최적의 모델을 찾는 것 또한 중요한 연구방향일 것이다. 본 연구에서는 또한, 두루미류의 취식분포에 대한 환경요인의 영향 범위를 파악하고 상관관계를 도출하였다. 여타 생물 종에 대한 연구에 있어서도 환경변수에 대한 영향범위를 고려할 필요성이 있을 것이다. 모델의 도출에 관해서서 본 연구는 요인과 요인간의 상관성이 존재하여 요인을 추출하거나, 각각의 요인을 이용한 비선형 모델을 적용할 필요성이 있었다. 또한, 공간분포모델 분석 위한 통계프로그램(S-Plus, MAXENT 등)을 이용하여 분석하는 것이 요구되었다.

감사의 글

본 연구의 자료를 수집하는데 함께하여 주신 국립공원 멸종위기 종복원센터 이용욱 연구원님과 철원군 야생조수류보호소의 이지훈 감사님, 김수호 사무국장님께 감사드립니다. 또한 환경요인과의 관계에 대한 깊은 토의를 지난 10년간 함께 해 주셨던 이기섭 박사님께 감사드립니다. 그리고, 논문작성 막바지에 서식모델에 대한 많은 조언을 주신 국제두루미재단(International Crane Foundation)의 Su Lying 박사에게 감사드립니다. 마지막 탈고를 하면서, 국제두루미재단을 방문하였을 때 제목을 검토해 주신 Anne Lacy와 초록을 상세히 검토해 주신 Michael Wheeler에게 감사드립니다.

인용문헌

- Alonso, J.C., L.M. Bautista and J.A. Alonso(2004) Family-based territoriality vs flocking in wintering Common Cranes *Grus grus*. *Journal of Avian Biology* 35: 434-444.
- Austin, J.E. and A.L. Richert(2001) A Comprehensive review of observational and site evaluation data of migrant Whooping Cranes in the United States, 1943-1999. U.S., Geological Survey, Northern Prairie Wildlife Research Center, Jamestown, ND, USA, 157pp.
http://www.npwrc.usgs.gov/resource/2003/wcdata/wcdata.htm
- Begon, M., J.L. Harper and C.R. Townsend(1996) Ecology: individual, population and communities(3rd ed.). Blackwell Science, Oxford, UK, 1049pp.
- Cain, A.T., V.R. Tuovila, D.G. Hewitt and M.E. Tewes(2003) Effect of highway and migration projects on Bobcats in Southern Texas. *Biological Conservation* 114: 189-197.
- Cao, M. and G. Liu(2008) Habitat suitability change of Red-crowned Crane in Yellow River Delta Nature Reserve. *Journal of Forestry Research* 19(2): 141-147.
- Evink, G.L.(1996) Florida department of transportation initiatives related to wildlife mortality. In: Evink, G.L., P. Garrett, D. Zeiger, J. Berry (ed.), Proceedings of the transportation related wildlife seminar (FL-ER-58-96). Florida department of transportation, Tallahassee, Florida, USA.
- Forman, R.T.T. and L.E. Alexander(1998) Road and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207-231.
- Herr, A.M. and L.P. Queen(1993) Crane habitat evaluation using GIS and remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 59(10): 1531-1538.
- Johnsgard, P.A.(1993) *Cranes of the World*. Indiana Univ. Press, Bloomington, 258pp.
- Kim G.G and D.G. Cho(2006) Principles of restoration in natural environment and ecology. Academy Publishing Co. Seoul, Korea. (in Korean)
- Klein, M.L., S.R. Humphrey and H.F. Percival(1995) Effect of ecotourism on distribution of waterbirds in a wildlife refuge. *Conservation Biology* 9(6): 1454-1465.
- Korea Water Resource Cooperation(2005) Ecological network planning in Sihwa district. Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon, Korea, 264pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.S., S.J. Rhim and C.R. Park(2001) Habitat use of cranes in Cheolwon Basin, Korea. *Korean Journal of Ecology* 24(2): 77-80.
- Nagano, Y., Y. Ohsako, S. Nishida and F. Mizoguchi(1992) Reaction of Hooded and White-naped Cranes by human and cars. *Strix* 11: 179-187. (in Japanese with English abstract)

- Ohsako, Y.(1989) Flock organization, dispersion and territorial behaviour of wintering Hooded Cranes (*Grus monacha*) in Izumi and Akune, Kyushu. *Japanese Journal of Ornithology* 38(1): 15-29.
- Pae, S.H.(1994) Wintering ecology of Red-crowned Crane *Grus japonensis* and White-naped Crane *Grus vipio* in Cholwon basin, Korea. M. Sc. Thesis, Kyung Hee University, Seoul, Korea, 43pp.
- Pae, S.H.(2000) A study on habitat use of wintering cranes in DMZ, Korea: with carrying capacity and spatial distribution analysis using GIS. Ph. D. Thesis, Kyung Hee University, Seoul, Korea, 77pp. (in Korean with English abstract)
- Perrins, C.M. and T.R. Birkhead(1983) *Avian Ecology: Tertiary level biology*. Blakie & Son Ltd., Glasgow, London, UK, 221pp.
- Ruediger, B.(1998) The relationship between rare carnivore and highway. In: G.L. Evink, P. Garrett, D. Zeiger, J. Berry(ed.), *Proceedings of the transportation related wildlife seminar (FL-ER-69-98)*. Florida department of transportation, Tallahassee, Florida.
- Spalding, D.W. and G.L. Krapu(1994) Communal roosting and foraging behavior of staging Sandhill Cranes. *Wilson Bulletin* 106(1): 62-77.
- Stehn, T.V. and F. Prieto(2008) Changes in wintering Whooping Crane territories and range 1959-2006. *Proceedings of the North American Crane Workshop* 11: 40-56.
- Su, L.(2003) Habitat selection by Sandhill Cranes, *Grus canadensis tabida*, at multiple geographic scales in Wisconsin. Ph. D. Thesis of Univ. of Wisconsin-Madison, USA. 141pp.
- Timoney, K.(1999) The habitat of nesting Whooping Cranes. *Biological Conservation* 89: 189-197.
- Wong, D.W and J. Lee(2005) Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS. JOHN WILEY & SONS, INC. Hoboken, New Jersey, USA, 441pp.
- Yoo, S.H.(2004) Some factors affecting the distribution of *Grus japonensis* and *Grus vipio* behavioral aspects of family group. M. Sc. Thesis, Kyung Hee University, Seoul, Korea, 113pp. (in Korean with English abstract)
- Yoo, S.H., K.S. Lee, I.K. Kim and T.H. Kang and H.S. Lee(2009) Research on size, formation and tendency to evade the road of the feeding flocks of crane species: centering effect on the effect of road vs traffic condition. *Korean Journal of Environment and Ecology* 23(1): 41-49. (in Korean with English abstract)
- Yoo, S.H., K.S. Lee, J.C. Yoo(2007) Reaction to the vehicle and trade-off between vehicle disturbance and food resources of Cranes: focused in 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.C. Yoo(2008) Preference of the CCZ (civilian control zone) in Cherwon basin as a wintering site of cranes: wintering season of 2002~2003. *Korean Journal of Ornithology* 15(1): 39-49. (in Korean with English abstract)