

## 도심내 인공구조물에서 번식하는 참새의 등지위치 특성과 먹이급이행동 분석\*

정슬기<sup>1)</sup> · 이후승<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 한국환경정책·평가연구원 환경평가본부 연구원 · <sup>2)</sup> 한국환경정책·평가연구원 환경평가본부 부연구위원

## A study of nest-site characteristics and feeding behavior on Tree sparrows bred in urban artificial structures\*

Jeong, Seul-Gi<sup>1)</sup> and Lee, Who-Seung<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute, Sejong, Researcher,

<sup>2)</sup> Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute, Sejong, Research Fellow.

### ABSTRACT

This study conducted observations at 72 traffic lights and road signs in Sejong-si, Korea from March to June 2019 in order to analyze nest-site, nest-site characteristics and feeding behavior in Tree sparrow (*Passer montanus*) in urban. Feeding behavior during breeding season in 2019 was investigated at 10 Town representing traffic facilities installed on the road located in the center of the city and 10 Riverside Geumgang river's riverside road. We fitted both general linear model and regression model to our field data and estimated the spatial variation of initial date of the first feeding (i.e., being date of breeding) and the total number of caterpillar fed by parents per hour. Our results showed that the frequency of nest building on artificial structures, such as traffic lights, was about 26% higher and about 8 days earlier in the riverside. In particular, the first feeding was significantly faster when the nearest distance between nest to green field as foraging site was shorter whereas there was no significant effect of the number of nest within 50 meters on the first feeding. Number of caterpillars fed by parents was higher in the Riverside than in the Urban, and especially the number in the second brood was sharply decreased in the Urban. As we estimated average amount of caterpillars per hour to 446 traffic safety facilities in Sejong-si, it was estimated that Tree sparrows fed 18,742.8 caterpillars per hour during the breeding season. In this study, we showed that characteristics of nests built in

\* 이 연구는 2019년도 한국환경정책·평가연구원 연구과제(RE2019-20) 지원으로 연구되었습니다.

**First author** : Jeong, Seul-Gi, Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute, Researcher,  
Tel : +82-44-415-7818, E-mail : sgjeong@kei.re.kr

**Corresponding author** : Lee, Who-Seung, Environment Assessment Group, Korea Environment Institute, Research fellow,  
Tel : +82-415-7323, E-mail : wslee@kei.re.kr

**Received** : 9 July, 2020. **Revised** : 3 August, 2020. **Accepted** : 22 July, 2020.

artificial structures and feeding behavior in order to analyze effects of environmental condition in urban on life-history traits during the breeding season. Finally, we discussed the conservation of birds in urban and pest control effects.

*Key words: Feeding visiting, Caterpillar, Riverside, Traffic Safety Facilities, Urban, Sejong-si*

## I. 서 론

먹이의 공급, 둥지의 위치, 천적의 위협 등은 조류의 번식에 직간접적인 영향을 줄 수 있는 중요한 요인으로(Perrins and Birkhead, 1987), 조류는 주어진 환경에서 번식성공을 최대로 할 수 있는 둥지장소를 선택한다(Cody, 1985; Martin, 1998). 번식에 유리한 둥지장소일수록 번식 개체군의 밀도가 높고(Samplonius et al. 2017) 번식지에 도래하는 시기도 빠른 것으로 알려져 있다(Germain et al. 2015). 예를 들어, 산림과 도심에서 번식하는 대륙검은지빠귀(*Turdus merula*)의 번식 시작일은 산림이 도심지역에 비하여 빠르는데, 이는 번식에 유리한 산림지역에 먼저 도래했기 때문이다(Partecke et al. 2004). 이러한 환경적 변화에 민감한 번식 시기나 둥지 장소의 선택 등은 전 지구적으로는 기후변화로 인한 생태계 영향이나 지역적으로는 도시개발 등으로 인한 생물 서식지 영향 등의 지표로 활용되고 있다(Crick 2004). 특히 인공소상을 이용하여 환경변화에 따른 특정 개체군의 생활사를 이해하는 연구가 많이 수행되고 있지만(Reynolds et al. 2019; Sumasgutner et al. 2020), 아직 도시에 설치된 인공구조물을 이용하는 조류의 번식생태에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

인간의 활동은 물리적 및 화학적으로 자연 생태계를 변화시켜 왔는데, 특히 서식지 파편화 및 공간적 변이 등과 같은 도시환경으로의 변화는 조류의 생활사에 영향을 주었다(Isaksson 2018). 직접적으로는 조류의 개체군 분포와 번식 장소 등에 영향을 주고(Mills et al. 1989; Marzluff et al.

2016), 간접적으로는 먹이 이용과 에너지 요구량 등에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Meillère et al. 2015). 박새(*Parus major*), 참새(*Passeer montanus*), 동고비(*Sitta europaea*) 등과 같은 산림성 조류(forest-dwelling birds)는 나무 구멍이나 돌틈 등을 주된 둥지 장소로 이용하는데, 도시개발 이후에는 인간이 만들어 놓은 울타리, 벽, 전봇대, 우편함 등의 인공구조물을 이용하기도 한다(Lovette and Fitzpatrick, 2016). 이처럼 도시환경에 순응하는 조류의 특성을 이용하여 인공둥지를 설치하여 개발 영향을 저감하는 등 도시환경에서 조류를 보호하기 위해 노력하고 있다. 하지만 도시환경 내 조류의 중요성과 가치에 비해 개체군의 변화, 행동권분석과 같이 도시환경 특성을 고려한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

인간에게 친숙한 참새는 도시를 포함하여 한국 전역에 널리 분포하는 대표적인 텃새로 참새목 참새과에 속한다(Lee et al. 2005). 참새는 나무 구멍이나 다른 새가 버린 둥지, 지붕처마 밑, 건물 틈새, 콘크리트 전주 꼭대기 등 자연환경과 인공 건축물 모두를 둥지장소로 이용한다. 둥지는 마른 풀, 풀뿌리, 동물의 털, 비닐 등을 사용하여 밥그릇 모양으로 만들어지며, 산란 직전에 산좌에 깃털을 깔아 알을 보호한다. 산란기는 2월부터 9월까지이며, 연 3회까지 연속해서 번식한다. 한 배에 4-15 개의 알을 낳고, 약 2주간의 포란기와 2주간의 육추기를 가진다(García-Navas et al. 2008). 번식기 동안의 먹이는 주로 애벌레 등의 곤충류를 이용하며, 비번식기에는 풀씨, 곡식의 낱알 등을 먹는다. 단독번식이 일반적이나 환경에 따라 여러 쌍이 인접한 곳에 둥지를 만들어 번식하기도 한

다. 하지만 주어진 환경에 잘 적응하는 참새의 생활사 특성에 비해 국내에서 참새의 번식생태에 관한 연구는 번식현황(Pinowska et al. 1999)과 인공둥지에서의 이용에 대한 보고(No et al., 2015)에 불과하다. 특히 도시환경이 조류에 미치는 영향을 이해함에 있어 도심지역에서의 주된 우점종인 참새의 생태를 파악하는 것이 중요하나, 도심내 참새의 먹이이용, 둥지장소 등 기초적인 생태 연구는 아직 수행된 바 없다.

본 연구에서는 최근 농경지가 크게 감소하면서 도시화가 진행된 세종특별자치시에 설치된 신호등 및 도로표지판 등의 인공구조물에서 번식하는 참새의 둥지 위치, 둥지 주변의 환경적 특성 및 먹이 급이 행동을 분석하였다. 또한, 번식기 동안 새끼에게 공급되는 먹이량 분석 결과와 세종특별자치시 내 설치된 인공구조물의 현황자료를 이용하여 번식 시기의 공간적 변이 및 번식기 동안 이용될 수 있는 총 먹이량을 추정하였다. 이를 통해 도시화에 따른 조류의 영향, 반응, 적응 등을 참새를 활용하여 분석하고 도시환경에서 번식하는 참새와 조류의 보전방안과 그로 인한 해충 방제 효과 등에 대해 고찰하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지 및 연구대상 조류

본 연구대상지는 세종특별자치시 행정중심복합도시(36°35'33"N, 127°17'32"E)에 위치한 금남교에서 햇무리교 사이에 위치한 시청대로와 한누리대로이다(Figure 1). 세종시의 인구는 2020년 현재 350,766명이며, 대륙성 기후지역으로 평균 기온은 13°C(최고 31°C, 최저 -6°C)이고 연평균 강수량은 1,400mm이다(세종특별자치시, <https://sejong.go.kr>). 또한 세종시는 고도 100m 미만인 지역이 62.9%를 차지하여 낮은 표고를 보이고 있으며, 토지현황은 임야가 252.5km<sup>2</sup>(54.3%)로 가장 많고 답 73.8km<sup>2</sup>(15.9%), 전 40.0km<sup>2</sup>(8.6%), 하천 24.9km<sup>2</sup>(5.4%) 순으로 분포하고 있다.

조사지역인 시청대로는 금강 수변 역에 인접한 왕복 2차선 도로로 차량의 이동이 많지 않으나, 한누리대로는 주거지역 및 상업시설이 밀집한 도심 내부 도로에 위치한 왕복 6차선 도로로 버스와 차량의 이동이 빈번하다. 참고로 2019년 3월 30일부터 6월 2일까지 총 교통량은 시청대로의 경우 418,030대(평균 67대/시간)이었으나 한누리대로는 903,849대(평균 145대/시간)로 약 2.16배 높았다(세종특별자치시 교통정보시스템, <https://bis.sejong.go.kr>). 환경적 특성이 상이한 두 지역은 참새목 조류의 일반적인 취식비행 거리인 100m보다(e.g., Stauss et al. 2005) 약 4배 이상 이격된 평균 400m정도로 취식지역을 선택함에 있어 둥지주변의 영향을 받았을 것으로 판단하였다.

연구대상지에 서식하는 조류상에 관한 연구는 수행된 바 없으나, 참새(*Passer montanus*), 박새(*Parus major*), 쇠박새(*Parus palustris*), 딱새(*Phoenicurus auroreus*), 곤줄박이(*Parus varius*), 붉은머리오목눈이(*Paradoxornis webbiana*), 휘파람새(*Cettia diphone*) 등의 참새목 조류와 꿩(*Phasianus colchicus*), 중대백로(*Ardea alba modesta*), 큰고니(*Cygnus cygnus*), 노랑부리저어새(*Platalea leucorodia*), 삵꾸기(*Cuculus canorus*), 황조롱이(*Falco tinnunculus*), 독수리(*Aegypius monachus*), 매(*Falco peregrinus*) 등의 다양한 조류가 관찰된 바 있다(unpublished data).

연구대상 조류인 참새, 박새 등의 조류는 나무 구멍, 돌담의 틈, 건물의 틈을 주로 둥지로 이용하며, 인공으로 만든 새집에서도 번식한다(Lee et al. 2005). 또한, 이들 조류는 도심 내 인공시설물인 신호등, 도로표지판 등의 작은 구멍에서도 번식하는데(Lovette and Fitzpatrick, 2016), 아직 국내에서는 학술연구의 결과로 보고된 바는 없다. 본 연구대상지에서 번식 둥지로 이용 가능한 신호등과 도로표지판은 시청대로에 54개소(Figure 1, black circle), 한누리대로에 72개소(Figure 1, black triangle)가 설치되어 있다. 연구기간 동안

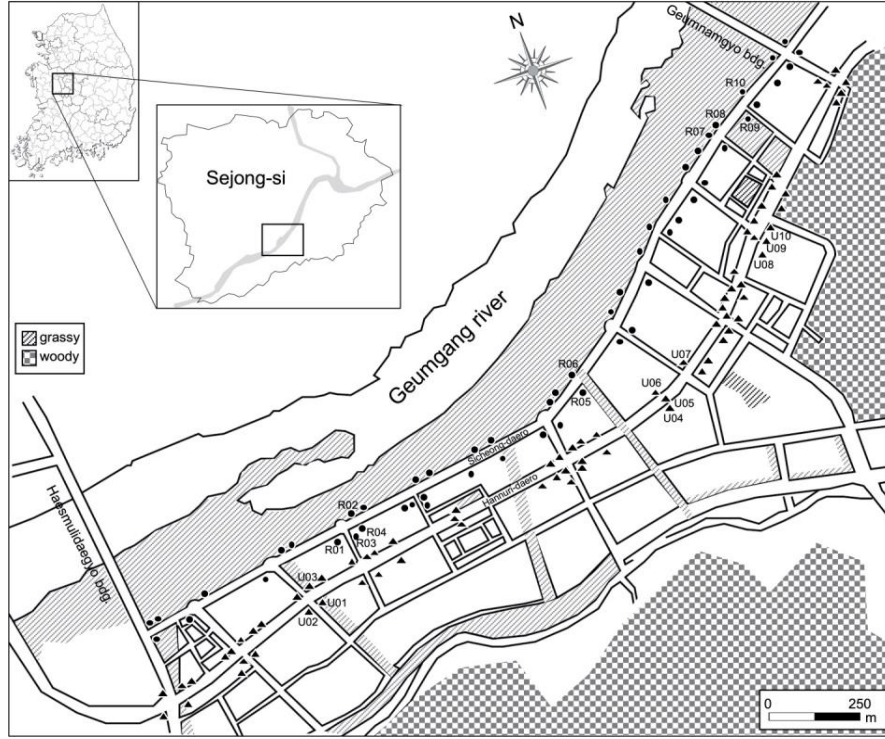


Figure 1. Study area (riverside on Sicheong-daero - circle; town on Hannuri-daero - triangle)

인공구조물에서 번식한 조류는 모두 참새였다.

## 2. 번식 등지 및 먹이 급이 조사

본 연구는 참새목 조류의 평균적인 번식기간인 2019년 3월 28일부터 6월 2일까지 매주 토요일과 일요일 오전 7시부터 오후 6시까지 수행하였다. 조사경로를 따라 이동하면서 쌍안경(Leica Ultravid 8×42)을 이용하여 인공시설물로 먹이 급이가 되는지 여부를 조사하였다. 조류의 번식 행동 및 먹이급이 등은 시간대 별로 달라질 수 있기 때문에(Perrins 1979) 조사의 순서와 조사 방향은 균등하게 순서를 정하여 실시하였다(Krebs 1999).

번식수행에 대한 정밀조사는 강변에 가까운 시청대로(i.e., riverside)와 도시에 위치한 한누리대로(i.e., town)에서 각각 10개의 시설물을 임의로 선정하였다(Figure 1). 먹이 급이 횟수, 즉 등지방문 횟수는 참새가 1시간 동안 등지로 먹

이를 물고 들어가는 횟수의 합으로 정의하였다. 먹이 급이에 있어 산란기와 포란기 동안 수컷이 암컷에게 제공하는지 아니면 육추기에 새끼에게 급이하는 것인지에 대한 여부는 등지 안을 직접 관찰하지 못하였기 때문에 본 연구에서는 구분하지 않았다. 또한 2일 연속 등지에 먹이 급이하는 참새가 관찰되지 않았을 경우는 육추기가 완료된 것으로 정의하였다. 다만 2차 번식이 가능성이 있기 때문에 번식이 종료된 등지에 대한 관찰을 연구종료 시까지 지속하였다.

먹이 급이 행동을 관찰할 때, 급이되는 애벌레(caterpillar) 또는 곤충류의 총 수도 함께 기록하였다. 다만, 쌍안경을 이용한 관찰이고 참새가 빠르게 등지로 들어가기 때문에 애벌레에 대한 동종은 할 수 없었다. 전반적으로 본 연구는 도시환경이 가지는 밀도가 높은 건물 등의 장벽과 소음 등으로 등지에 대한 직접관찰과 울음소리를 통한 관찰이 어렵고, 접근하기 힘든 지역이

(건물 내 녹지공간 등) 분포하는 등의 조사의 한계를 가지고 있다.

번식에 이용될 수 있는 모든 인공구조물의 둥지장소 특성(nest-site characteristics)은 인공구조물로부터 초지나 숲 등 녹지공간까지의 최소거리(m)와 인공구조물 반경 50m 이내에서 번식둥지로 이용 중인 인공구조물의 수로 구분하여 조사하였다. 참고로 Minot and Perrins(1986)는 박새류의 번식기 동안의 종 사이의 방해 경쟁(interspecific interference competition) 연구를 위해 50m 격자판을 이용하였는데, 본 연구에서도 동일한 50m 반경 내에서의 현황을 분석하였다. 분석은 Google 지도와 ArcGIS 10.4(ESRI, 2016)를 이용하여 실시하였다.

### 3. 세종특별자치시 인공구조물의 수와 전체 먹이급이량 추정

세종특별자치시 중 도시개발이 최근 진행된 행정중심복합도시(36°35'33"N, 127°17'32"E)에 설치된 도로교통시설물에서 참새와 조류가 번식했을 경우, 먹이로 이용되는 전체 애벌레 수를 추정하기 위해 기초적인 공간분석을 수행하였다. 먼저 세종특별자치시의 도로교통시설물 위치와 개수는 공공데이터포털에서 제공하는 세종시청 교통과의 신호등 현황 자료(Open Data Portal, 2020.6.4.)와 국토교통부 도로표지 안내시스템(Road Sign Management System, 2020.6.4.)에서 제공하는 세종시 도로표지 자료를 이용하였다. 자료들은 2020년 1월 기준으로 수집되었으나 신호등 현황 자료의 경우 세종시 전 지역 내 87개소만이 조사되었기 때문에, 카카오지도(kakaomap)의 로드뷰 시스템(2019년 8월 기준)을 검토하여 인공둥지로 활용할 수 없는 형태의 시설물을 제외하고 최근 설치된 시설물을 추가하여 시설물 목록을 보완하였다.

참새의 취식장소로 이용되는 먹이를 제공하는 녹지지역(산림과 수역)을 추출하기 위하여 세종시의 토지이용현황도(1:25,000)를 이용하였

고, ArcGIS 10.4(ESRI, 2014) Near 분석 기법을 사용하여 둥지로 이용되는 각 시설물에서 가장 인접한 녹지공간과의 거리(nearest distance between nest to foraging site)를 계산하였다. 참고로 조류의 번식생태 연구에서 동종간의 밀도나 취식생태 등을 분석하기 위해 최소거리 측정방법을 이용한다(see Clark and Evans 1954). 2019년도 번식기간 동안 조사된 시간당 급이되는 애벌레 양 및 먹이급이 시작일(즉, 번식 시작일)과 둥지로 이용되는 시설물에서 가장 가까운 녹지지역까지의 거리와의 관계는 각각 회귀모형(regression model)과 일반선형모형(general linear model)을 이용하여 계산하였다. 이를 이용하여 세종시에 설치된 도로교통시설물을 대상으로 번식기간 동안 급이되는 시간당 애벌레 양을 추정하였다. 먹이 급이 시작일, 즉 둥지 주변 환경에 따라 번식을 시작하는 시기를 세종시 전체로 추정하기 위해 먹이 급이 시작일 분포도는 세종시 전체에 임의의 점을 10,000개 생성하여 지점별 인접 녹지지역과의 최소 거리를 산출하고 일반선형모형을 적용하여 추정하였다. 보간값을 추정하기 위해서는 Kriging 기법을 사용하였다.

### 4. 통계분석

둥지로 이용하는 인공구조물의 주변 녹지공간과의 최소거리와 주변 번식 둥지 밀도가 인공구조물에 먹이 급이를 시작된 날에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 일반선형모형(General Linear Model, GLM)을 이용하여 분석하였다. 번식장소(강변지역 또는 도심지역)는 고정효과(fixed effect)로 하였고 녹지공간과의 최소거리와 주변 둥지 밀도는 공변량(covariate)으로 하여 3차 상호작용(three-way interactions)이 반영된 초기모형을 선정하였다. 둥지 방문 당 급이되는 애벌레 수가 강변지역과 도심지역 사이에 차이가 있는지 여부도 번식장소(강변지역 또는 도심지역)를 고정효과로 한 일반선형모형을 이

용하여 분석하였다. 첫 먹이 급이가 시작된 날의 애벌레 수에 있어 1차 번식과 2차 번식 간의 차이는 번식장소(강변지역 또는 도심지역)와 번식시기(1차 또는 2차)를 고정효과로 한 일반선형모델(General Linear model, GLM)을 이용하여 분석하였다. 모든 일반선형모델은 후진소거법(backward elimination)을 이용하여 최종모델(final model)을 선택하였다. 일반선형모델 분석에서 먹이 급이가 시작된 날(1 = 2019년 3월 30일)과 둥지 반경 50m의 둥지의 개수는 z-score로 치환하였고, 가장 가까운 녹지공간까지의 거리는 log 치환 후 이용하였다. 모든 데이터는 평균±표준편차로 나타내었으며, 통계분석 및 데이터 처리는 SPSS 26 (SPSS, Chicago, Illinois, USA)을 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 도심 인공구조물의 번식 둥지 이용 현황

강변에 설치된 인공구조물(신호등 및 교통표지판)로 애벌레를 물고 날아가는 참새(*Passer montanus*)가 2019년 3월 30일에 처음 관찰된 후, 4월 15일에 강변에 설치된 54개 인공구조물 모두를 둥지로 이용하는 것이 관찰되었다. 도심 쪽은 8일 뒤인 4월 6일에 처음 관찰이 되었고 4월 27일에 전체 72개소의 인공구조물 중 53개소(73.6%)를 둥지로 이용하였다. 같은 참새목과 조류인 박새(*Parus major*)는 새끼의 주된 먹이에 해당하는 애벌레 서식에 유리한 활엽수림에서 침엽수림보다 더 빨리 번식을 시작하고 번식 성공률도 높다(Naef-Daenzer et al. 2000). Rosenzweig(1981)의 서식지 선택 이론(habitat selection theory)에 의하면 서식 및 번식에 유리한 지역(i.e., good habitat)이 먼저 채워지고 상대적으로 덜 유리한 지역(i.e., poor habitat)에 늦게 채워진다. 본 연구에서도 취식지역에 가깝고 차량 이동량도 적은 강변지역의 인공구조물은 모두 참새의 둥지로 이용되었고 번식 시기도 이르게 나타났다. 인공구조물을 번식지

로 이용한 참새에게 있어 강변 지역은 번식에 유리한 서식지이지만 도심지역은 상대적으로 번식 확률이 낮기 때문으로 보인다.

참새과 조류는 1년에 1-3번의 번식을 시도하는 것으로 알려져 있다(Lovette and Fitzpatrick, 2016). 본 연구에서는 강변과 도심지역에서 2번의 번식이 관찰되었다. 강변 지역은 4월 20일부터 먹이 급이가 중단된 둥지에서 5월 12일에 2차 번식의 먹이 급이가 시작되는 것이 확인되었다. 도심지역에서는 4월 21일에 먹이 급이가 중단된 둥지에서 6월 1일부터 2차 번식의 먹이 급이가 시작되는 것이 확인되었다(Figure 2). Perrins(1965)는 박새의 경우 번식 둥지 주변의 환경적 스트레스가 증가할 경우 한배 산란 수를 줄이거나 2차 번식시기가 늦춰지는 것을 보고한 바 있다. 본 연구에서도 도심지역이 강변 지역에 비해 2차 번식이 21일 정도 늦어진 것은 높은 차량 이동 빈도 등 번식에 부정적인 영향을 줄 수 있는 환경적 요인이 작용한 것으로 해석할 수 있다.

Lambrechts et al.(2008)은 박새의 경우 한 번식시기에 동일한 개체가 같은 둥지에서 2차 번식을 시도하여 같은 둥지에서 2회 번식하는 것이 보고된 바 있다. 본 연구에서는 한 배 산란 수 등 번식생태에 대한 직접적인 현황과 동일 개체인지는 확인할 수 없었으나, 참새목과 조류의 생활사적 특성을 고려할 때 동일한 개체가 이용한 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 먹이 급이 기간과 관련하여 포란하는 암컷에 대한 수컷의 먹이공급과 새끼에 대한 먹이 급이의 차이를 구분하지 못하는 한계성을 가지고 있다. 하지만 산란기와 포란기에는 주로 수컷이 먹이 급이를 주도하지만 육추기에는 암컷과 수컷이 함께 먹이 급이를 하는 생태적 특성을 고려할 때 동일개체에 의한 먹이 급이 인지를 통해 간접적인 번식시기를 판단할 수 있으나 본 연구에서는 연구목적에 부합하는 분석을 위해 이를 구분하지 않았다. 따라서 향후 번식 성공률 등 직접적인 번식생태에 관한 연구가 필요하다.

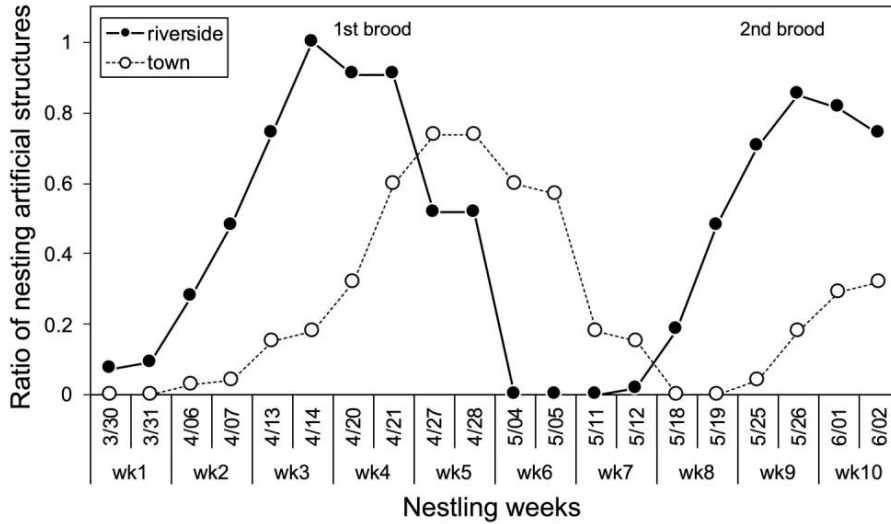


Figure 2. Ratio of nesting artificial structures during the nestling period in 2019 (n in riverside = 54; n in town = 53)

2. 둥지에서 녹지 또는 산림역과의 거리와 첫 먹이급이와의 관계

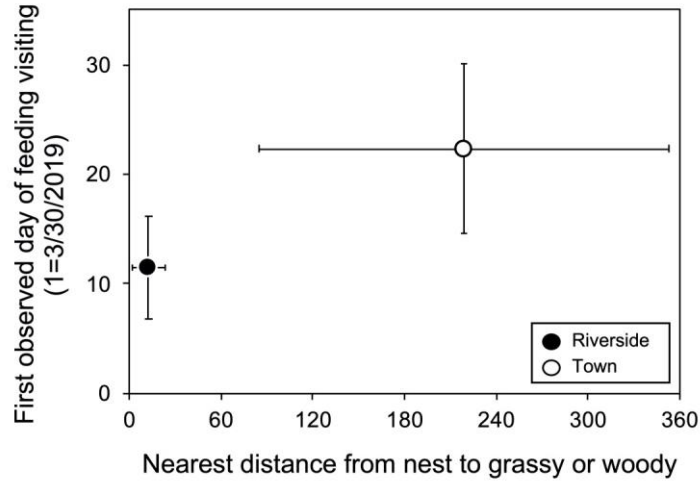
참새목 조류는 활엽수, 초지 등에서 새끼의 먹이급이에 필요한 애벌레를 사냥하며, 특히 애벌레가 최대 부화하는 시기에 맞추어 새끼의 부화시기를 조정하는 것으로 보고된 바 있다(Van Noordwijk et al. 1995). 강변지역에서 둥지로 이용되는 인공구조물로부터 가장 가까운 초지 및 숲까지의 평균 최소거리는 12.6±10.7m(mean±s.d.)로 도심지역의 218.8±134.4m보다 짧았다(Figure 3). 또한, 평균 최소거리가 짧을수록 첫 먹이 급이 시작일이 빨랐는데(Table 1), 강변 지역은 평균 11.5±4.7일(1=2019년 3월 30일)이었고, 도심지역은 22.0±5.5일이었다(Figure 3). 반면 둥지 반경 50m 이내에 위치하는 다른 번식 둥지의 밀도는 강변 지역(1.7±0.9개)보다 도심지역(2.5±0.9개)에서 높았지만, 밀도에 따른 첫 먹이 급이 시작일은 유의한 차이가 없었다(Table 1). 이는 녹지공간(초지 및 숲)에 가까울수록 취식비용이 감소하여 번식이 유리하므로 둥지장소가 빨리 채워지고 번식도 빠르게 시작하기 때문으로 사료된다.

또한, 강변에 가까운 녹지공간이 도심지역 내

녹지공간과 비교하여 일조량과 습도 등 식생의 성장과 곤충류의 번식에 유리하기 때문에 애벌레의 최대 부화시기에도 영향을 미친 것으로 보인다. Stauss et al. (2005)는 푸른박새(*Parus caeruleus*)에 있어 둥지와 취식지역간의 거리가 20-110m 인 것으로 보고하였는데, 둥지와 취식지간의 거리가 멀수록 먹이급이에 대한 비용이 증가하기 때문인 것으로 고찰하였다. 본 연구에서도 두 지역간의 환경적 특성이 상이하였으나 두 지역간 평균 400m 이격되어 있기 때문에 취식장소 선택에 있어 영향을 받을 것으로 사료된다. 다만 조류의 취식장소와의 이격거리에 따른 둥지장소 선택과 먹이급이는 기후여건, 번식경과(산란기, 포란기, 육추기 등) 등에 따라 달라질 수 있기 때문에(Perrins and Birkhead1987), 두 녹지공간 간의 애벌레의 부화시기 및 부화성공률 등에 관해서는 추가적인 연구가 필요하다.

3. 번식기 동안의 먹이급이량

번식 초기 1시간 동안 둥지로 급이된 애벌레의 총수는 강변지역에서 평균 45.4±25.0마리, 도심지역에서 평균 24.3±6.2마리로 강변지역 참



**Figure 3.** Relationship between nearest distance from nest to grassy or woody and first observed day of feeding visiting. Note that error bars represents standard deviation

**Table 1.** Results of general linear model analysis examining z-scored initial observed day of feeding visiting in relation to site, nearest distance from nest to grassy or woody and mean number of nests within radius 50m. Note that non-significant variables were sequentially dropped from analyses apart from main effects occurring in significant interactions

Final model	F	d.f.	P
Intercept	20.65	1	<0.001
Site	1.49	1	0.226
Mean number of nests within radius 50m	1.15	1	0.286
Nearest distance from nest to grassy or woody	14.18	1	<0.001
Site × Nearest distance from nest to grassy or woody	11.60	1	0.001

새가 약 2배 정도 더 많은 애벌레를 급이하였다. 번식 중반(i.e., peak nestling)이 될수록 급이되는 애벌레의 수는 빠르게 증가하였는데(강변 지역 평균 63.8±13.1마리, 도심지역 평균 46.5±13.1마리; Figure 4), 이는 새끼들이 성장함에 따라 필요로 하는 먹이량도 함께 증가하기 때문이다(see Eguchi, 1980; Grieco, 2003). 번식 후반이 되면서 급이되는 애벌레 수는 감소하였다(강변 지역 평균 52.2±12.6마리, 도심지역 평균 27.5±12.3마리). 참새목 조류와 같은 만숙성 조류(altricial bird)는 부화 후 족근(tarsus), 날개(wing), 꼬리(tail)의 순으로 빠르게 성장하지만 이소시기가 가까워지면서 비행에 적합하도록

부모가 먹이급이를 제한하는 것으로 알려져 있다(Perrins, 1979). 따라서 번식 후반에 참새가 급이한 애벌레 수가 감소한 것은 새끼들의 이소(fledgling)를 위하여 부모의 먹이급이가 감소했기 때문으로 해석할 수 있다.

1차 번식시기에 둥지 방문 당 급이되는 애벌레 수(number of caterpillar per visit)는 강변 지역 (2.8±0.3마리)이 도심지역(2.4±1.4마리)보다 많았다(GLM,  $F_{1,118}=4.03, P=0.047$ ). 또한 둥지 방문 빈도도 강변지역(107±21.9회/시간)이 도심지역 (40.7±9.9회/시간)보다 높았다(Figure 5a). 번식시기 동안 둥지 주변의 높은 환경적 스트레스(예, 소음, 포식자 밀도, 온도 등)는 번식 성공률을 감소



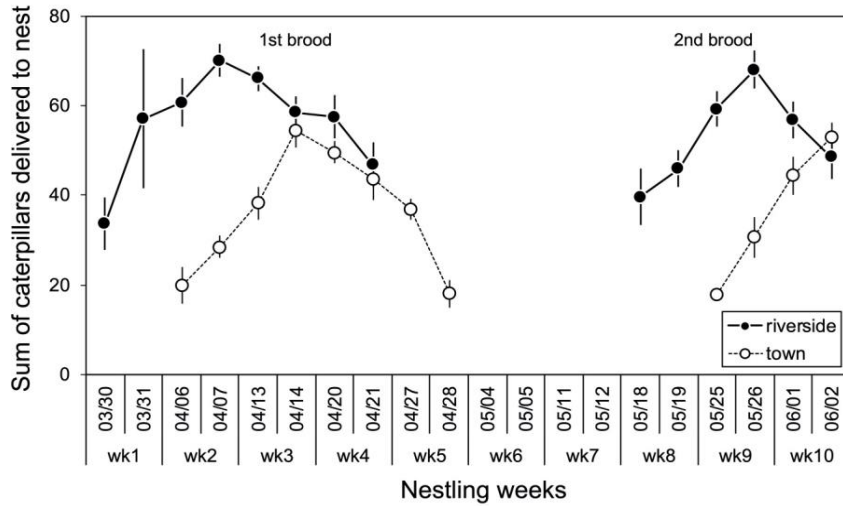


Figure 4. Mean of total number of caterpillars delivered to nests per hour during nestling week: vertical line represents standard deviation.

시키거나 번식 기간을 늘려 부모의 번식비용을 증가시킨다. 또한, 증가된 번식비용은 취식 빈도를 낮추는 등 번식의 질(breeding quality)을 감소시킬 수 있다(Kaliński et al. 2019). 따라서 도심지역에서의 낮은 먹이 급이는 취식지역(i.e., 초지 및 숲)까지의 이동비용과 둥지 주변의 차량 이동 빈도 등 취식행동을 방해하는 환경적 스트레스가 높았기 때문이다.

또한, 1차와 2차 번식시기를 비교하였을 때 첫 먹이급이가 시작된 날의 둥지 방문 당 평균 애벌레 수에 나타난 차이는 강변지역과 도심지역에서 달랐다(Site × Brood,  $F_{1,36}=33.82, P<0.001$ ; Figure 5b). 즉, 강변지역에서는 1차와 2차 번식시기에 첫 먹이 급이가 시작된 날의 둥지 방문 당 평균 애벌레 수가 비슷했다(1st brood =  $2.65 \pm 0.20$  vs. 2nd brood =  $2.88 \pm 0.28$ ). 하지만 도심지역은 2차 번식 때 급이되는 애벌레 수가 약 60% 정도 감소했다(1st brood =  $2.49 \pm 0.27$  vs. 2nd brood =  $1.75 \pm 0.28$ ). 한 해에 다차번식을 하는 종이 2차 및 3차 번식을 하는 경우 종종 한배 산란 수를 감소시켜 번식에 대한 투자를 감소시키는 경향이 있는데 (Verhulst 2002), 이는 새끼의 번식 성공률과 번식

후 부모의 생존율을 높이기 위함이다(Bryant, 1979; Dobson, 1990). 따라서 강변지역에 비해 도심지역에서의 높은 환경적 스트레스와 취식지역과의 이격거리 등으로 인하여 2차 번식에 대한 투자(예, 한배 산란 수 등)를 감소시켰고 이로 인하여 급이 되는 애벌레 수가 감소했던 것으로 사료된다.

#### 4. 잠재 먹이량 및 첫 먹이 급이 시작일 추정

인공구조물을 참새과 조류가 번식둥지로 이용하고 있으며 취식장소로 이용 가능한 녹지공간까지의 거리에 따라 새끼에게 급이되는 애벌레 양과 첫 먹이 급이 시작일이 달라질 수 있음이 확인된바, 세종시 전역에 설치된 인공구조물의 수와 녹지공간까지의 거리를 통해 도시전체에서의 현황을 추정하였다. 번식기간 동안 시간당 급이되는 평균 애벌레는 강변지역은  $59.0 \pm 8.6$ 마리, 도심지역은  $40.0 \pm 3.8$ 마리로 강변지역이 약 1.5배 많이 급이하였다. 둥지로부터 취식이 가능한 녹지지역까지의 가장 가까운 거리는 시간당 평균 애벌레 양에 영향을 주며(GLM,  $F_{1,18}=8.22, P=0.010$ ), 시간당 평균 애벌레 양에 대한 회귀모형은 다음과 같다.

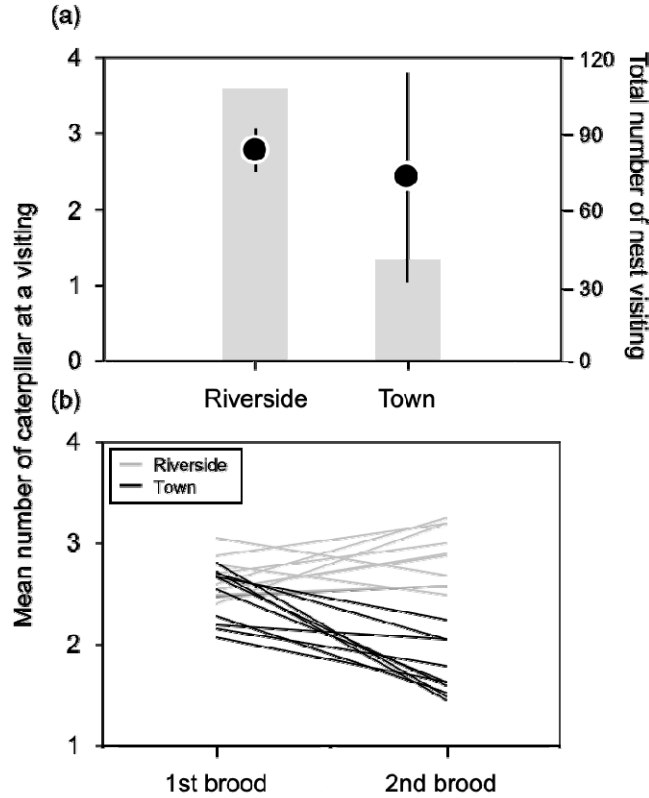


Figure 5. Mean number ( $\pm$  standard deviation) of caterpillar fed by parents at once visiting (a-left) between riverside and town, and (b) between 1st brood and 2nd brood. Total number of nest visiting per hour during the breeding season (grey bar, a-right).

$$(\text{시간당 평균 애벌레 양}) = -0.057 \times (\text{등지에서 가장 가까운 녹지지역까지의 거리}) + 54.383$$

(1)

$$(\text{첫 먹이급이 시작일}) = 0.798 \times (\text{등지에서 가장 가까운 녹지지역까지의 거리}) - 1.210$$

(2)

세종시 전체에서 참새의 번식 장소로 이용 가능한 신호등, 교통표지판 등은 총 446개이며, 회귀모형 공식 (1)을 적용한 결과, 인공구조물에서 번식할 경우 참새과 조류가 시간당 급이하는 애벌레의 양은 시간당 18,742.8마리(시간당 평균 42.0 $\pm$ 8.0마리) 일 것으로 추정되었다.

등지로부터 취식이 가능한 녹지지역까지의 가장 가까운 거리에 따른 첫 먹이급이 시작일에 대한 일반선형모형은 다음과 같다.

추정된 결과 산림 지역에서 먹이 급이가 가장 빠르게 시작되는 것으로 추정되었으며, 단절된 산림지역 인근에서도 먹이 급이 시작일이 빠르게 나타났다(Figure 6). 이는 파편화된 산림도 참새의 취식지역으로서의 기능을 가지고 있기 때문인 것으로 사료된다. 반면 산림이나 수역과 거리가 먼 도심 내부, 식생 및 인공구조물등의 이용가능한 등지장소가 부재하는 나대지 지역에서는 먹이 급이 시작일이 느려지는 것으로 예측되었다

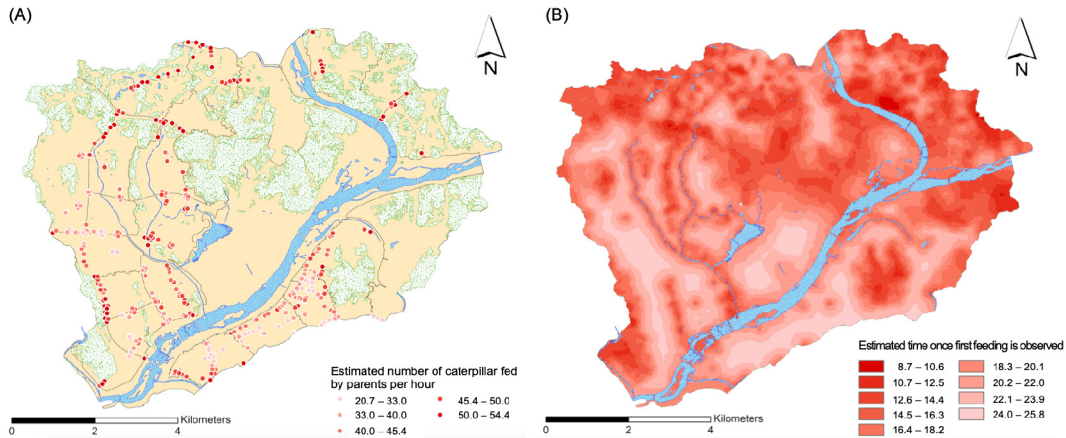


Figure 6. (A) Estimated number of caterpillar fed by parents per hour and (B) estimated time once the first feeding is observed. All estimations were calculated by Eqn. (1) and (2)

(Figure 6). Tremblay et al.(2005)는 과란박새 (*Parus caeruleus*)의 번식생태 연구를 통해 좋은 서식환경일 수록 둥지와 취식장소가 가까우나, 덜 선호되는 환경(poor habitat)에서는 둥지와 취식장소간의 거리가 멀어지는데 이는 취식을 위한 장시간의 비행이 결국 번식비용의 증가로 이어져 번식성공이나 생존률을 감소시켰기 때문인 것으로 보고했다. 본 연구에서도 세종시 전역을 대상으로 분석하였을 때, 둥지와 취식지역까지의 거리가 가까울수록 사냥하는 애벌레 수도 증가하고 첫 먹이급이 시작일, 즉 번식시작이 빠르게 추정되는 것을 확인하였다. 본 결과는 인공적으로 조성된 서식환경의 위치와 주변 녹지공간과의 거리 등과 같은 환경적 특성이 도시에 서식하는 조류의 번식결과에 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 또한 도시환경에서 번식하는 참새과 조류가 번식기 동안 새끼에게 급이하는 애벌레 양이 많은 것으로 추정된 결과는 도시환경에서의 해충방역 등 보건환경학적 정책활용에 유용할 것으로 판단되나, 첫 먹이급이 추정에 있어 참새의 번식시기(짝짓기, 산란기, 포란기, 육추기 등)가 정확하게 확인하지 못한 조사의 한계성이 있기 때문에 추후 추가적인 취식행동 조사와 정밀 공간분석 등이 필요하다.

#### IV. 결 론

본 연구는 도시환경에 적응하며 서식하는 조류의 번식행동 생태에 관한 연구로서 의의가 있다. 그간 국내에서 진행되었던 도시에 서식하는 조류생태 연구는 개체군 변화, 행동권분석 등에 한정되어 있으며, 종에 있어서도 박새, 황조롱이 등으로 미흡한 상황이다(Kang et al. 2012; Ki and Cho 2014). 따라서 인공구조물에서 번식하는 도시 우점종인 참새의 번식과 관련된 먹이급이, 둥지장소, 둥지주변 환경 등 기초적인 생태연구에 대한 국내 첫 보고로서 중요성을 가지고 있다.

본 연구는 도시 내 인공구조물에서 번식하는 조류의 둥지장소와 먹이 급이 행동에 대한 기초 연구를 수행함으로써 도시 내 조류의 생활사에 영향을 주는 환경을 분석하였다. 특히 인공구조물을 주된 번식장소로 이용하고 있음이 확인된 결과는 조류보호를 위한 인공소상 설치에 있어 도심지역에서의 차별화 전략이 필요함을 시사하고 있다. 또한, 도시를 서식기반으로 살아가는 참새목 조류는 도시생태계 구조에서 포식자이자 피식자로서의 기능성을 동시에 가지고 있기 때문에 생태적 지위 측면에서 중요성을 가진다. 더욱이 이러한 생태적 특성으로 인하여 본 연구

에서 확인한 바와 같이 번식기 동안 급이되는 애벌레 수가 매우 큰 것으로 확인된바, 최근 도심 내 증가하는 해충 문제에 대한 생태적 방제 효과를 동시에 확보할 수 있다는 측면에서 시사하는 바가 크다고 사료된다. 또한 도시환경에서 교통안전시설물 등의 인공구조물을 이용한 도심조류에 적합한 인공소상의 개발의 필요성과 도시공원 및 인공구조물 주변의 녹지공간 조성 등으로 가용 먹이량을 높이는 방안 등 복원생태학적 연구의 필요성도 함께 시사한다. 하지만 본 연구는 번식행동을 중심으로 수행한 연구라는 한계점을 가지고 있으며 인공구조물을 이용하는 조류의 번식수행 결과 및 생존율 등에 관한 추가적인 연구가 수행될 필요가 있다.

### 감사의 글

논문에 대해 많은 시간을 들여 심사와 의견을 주신 편집위원과 익명의 심사위원들께 진심으로 감사드립니다. 본 연구는 2019년도 한국환경정책·평가연구원 연구과제(RE2019-20) 지원으로 연구되었습니다.

### References

- Bryant, D.M.(1979) Reproductive costs in the House Martin (*Delichon urbica*). *Journal of Animal Ecology* 12: 655-675.
- Clark, P.J. and F.C. Evans(1954) Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35: 445-453.
- Cody, M.L.(1985) *Habitat selection in birds*. Academic Press, Inc., New York, 558p.
- Crick, H.Q.P.(2004) The impact of climate change on birds. *IBIS* 146: 48-56.
- Dobson, A.(1990) Survival rates and their relationship to life-history traits in some common British birds. *Current Perspectives in Ornithology* 12: 115-146.
- Eguchi, K.(1980) The feeding ecology of the nestling Great tit, *Parus major minor*, in the temperate ever-green broadleaved forest II. with reference to breeding ecology. *Researches on Population Ecology* 22: 284-300.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI)(2016) *ArcGIS Release 10.4.*, Redlands, CA.
- García-Navas, V., L. Arroyo and J.J. Sanz(2008) Nestbox use and reproductive parameters of Tree Sparrows *Passer montanus*: are they affected by the presence of old nests? *Acta Ornithologica* 43: 1-11.
- Germain, R.R., R. Schuster, K.E. Delmore, and P. Arcese(2015) Habitat preference facilitates successful early breeding in an open-cup nesting songbird. *Functional Ecology* 29: 1522-1532.
- Grieco, F.(2003) Greater food availability reduces tarsus asymmetry in nestling Blue tits. *The Condor* 105: 599-603.
- Isaksson, C.(2018) Impact of urbanization on birds. In: D.T. Tietze(ed.), *Bird species – how they arise, modify and vanish*, Springer, Cham, Switzerland, pp. 235-257.
- Kaliński, A., M. Bańbura, M. Gladalski, M. Markowski, J. Skwarska, J. Wawrzyniak, Pi.Zieliński and J. Bańbura(2019) Physiological condition of nestling great tits(*Parus major*) declines with the date of brood initiation: a long term study of first clutches. *Scientific Reports* 9: 9843.
- Kang, S.G., Hur, W.H. and Lee, I.S. (2012) Fledging Period, Types of Structure Supporting Nests and Growth Rate for

- Fledglings of Common Kestrel(*Falco tinnunculus*) in Urban Area. The Korean Journal of Ornithology 19(3): 173-183.
- Ki, K.S. and Cho, W.(2014) Effects of Light Pollution and Environmental Factors on Dawn Song Initiation Time of Great Tit, *Parus major*. Korean Society of Environment and Ecology 28(4): 411-418.
- Krebs, C.J.(1999) Ecological Methodology, 2nd ed. Pearson, London, 624p.
- Lambrechts, M.M., A. Rieux, M.J. Galan, M. Cartan-Son, P. Perret and J. Blondel(2008) Double-brooded Great tits (*Parus major*) in Mediterranean oak habitats: do first broods always perform better than second broods? Russian Journal of Ecology 39: 516.
- Lee, W.S., T.H. Koo and J.Y. Park(2005) A field guide to the birds of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, 330p.
- Lovette, I.J. and J.W. Fitzpatrick(2016) Handbook of bird biology (3rd ed.). Wiley-Blackwell, New York, 730p.
- Martin, T.E.(1998) Are microhabitat preferences of coexisting species under selection and adaptive? Ecology 79: 656-670.
- Marzluff, J.M., J.H. DeLap, M.D. Oleyar, K.A. Whittaker and B. Gardner(2016) Breeding dispersal by birds in a dynamic urban ecosystem. PLoS One 11: e0167829.
- Meillère, A., F. Brischoux, C. Parenteau and F. Angelier(2015) Influence of urbanization on body size, condition and physiology in an urban exploiter: a multi-component approach. PLoS One 10: e0135685.
- Mills, G.S., J.B. Dunning, Jr. and J.M. Bates(1989) Effects of urbanization on breeding bird community structure in Southwestern desert habitats. The Condor 91: 416-428.
- Minot, E.O. and C.M. Perrins(1986) Interspecific interference competition - nest sites for blue and great tits. Journal of Animal Ecology 55: 331-350.
- Naef-Daenzer, L., B. Naef-Daenzer and R.G. Nager(2000) Prey selection and foraging performance of breeding Great tits *Parus major* in relation to food availability. Journal of Avian Biology 31: 206-214.
- No, S.H., Y.J. Lee, J.Y. Nam, Y.E. Shim, J.S. Koh, B.J. Jeong, H.I. Choi, S.R. Cho and Y.H. You(2015) A study on the breeding ecology and the effects of bird on entrance size in artificial wood boxes. Proceeding of Korean Society of Environmental Ecology Conference 25: 90.
- Open Data Portal(2020.6.4.) Retrieved from <http://www.data.go.kr/>
- Partecke, J., T. Van't Hof, and E. Gwinneer(2004) Differences in the timing of reproduction between urban and forest European blackbirds (*Turdus merula*): result of phenotypic flexibility or genetic differences? Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences. 271: 1955-2001.
- Perrins, C.(1979) British tits. Collins, London, 304p.
- Perrins, C.M. and T.R. Birkhead(1987) Avian ecology. Blackie, Glasgow, UK, 232p.
- Perrins, C.M.(1965) Population fluctuations and clutch-size in the Great tit, *Parus major* L. Journal of Animal Ecology 34: 601-647.
- Pinowska, B., J. Pinowski and K.H. Hahm(1999) Selected aspects of breeding biology in the Tree Sparrow *Passer Montanus saturatus* (Stejneger, 1886) in South Korea. Acta Zoologica Cracoviensia 42: 435-446.
- Reynolds, S.J., J.D. Ibáñez-Álamo, P.

- Sumasgutner and M.C. Mainwaring(2019) Urbanisation and nest building in birds: a review of threats and opportunities. *Journal of Ornithology* 160: 841-860.
- Road Sign Management System(2020.6.4.) Retrieved from <http://www.roadsign.go.kr/>
- Rosenzweig, M.L.(1981) A theory of habitat selection. *Ecology* 62: 327-335.
- Samplonius, J.M., I.M. Kromhout Van Der Meer and C. Both(2017) Nest site preference depends on the relative density of conspecifics and heterospecifics in wild birds. *Frontiers in Zoology* 14: 56.
- Stauss, M.J., J.F. Burkhardt and J. Tomiuk(2005) Foraging flight distance as a measure of parental effort in Blue tits *Parus caeruleus* differ with environmental conditions. *Journal of Avian Biology* 36: 47-56.
- Sumasgutner, P., A. Jenkins, A. Amar and R. Altwegg(2020) Nest boxes buffer the effects of climate on breeding performance in an African urban raptor. *PLoS One* 15: e0234503.
- Van Noordwijk, A.J., R.H. McCleery, and C.M. Perrins(1995) Selection for the timing of Great tit breeding in relation to caterpillar growth and temperature. *Journal of Animal Ecology* 64: 451-458.
- Verhulst, S.(2002) Multiple breeding in the Great tit, II. The costs of rearing a second clutch. *Functional Ecology* 12: 132-140.