

## 고도와 기온변화에 따른 박새류의 번식생태<sup>1a</sup>

김동민<sup>2</sup> · 오홍식<sup>2\*</sup>

### Breeding Ecology according to Altitude and Temperature Variation in Titmouse<sup>1a</sup>

Dong-Min Kim<sup>2</sup>, Hong-Shik Oh<sup>2\*</sup>

#### 요 약

이 연구는 2009년 3월에서 2012년 7월까지 한라산에 설치한 인공둥지에서 번식하는 박새류(Titmouse)의 고도변화에 따른 번식생태학적 특징을 밝히기 위하여 이루어졌다. 박새류의 최초산란일은 고도가 높아짐에 따라 늦어지는 양상을 보였고, 고도상승에 따른 기온감소가 최초산란일에 영향을 미치는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 결과를 종합해 보면, 번식기(4~6월)의 평균기온과 산란일 간에는 유의한 상관을 보이지는 않았다( $p > 0.05$ ). 인공둥지 이용률은 지역과 연도별 차이는 없었으나 박새(*Parus major*)와 곤줄박이(*Parus varius*) 두 종간에는 차이가 있는 것으로 나타났다. 한배산란수는 종간에 차이가 있었으나( $p < 0.05$ ) 고도와 연도별 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). 부화성공률, 이소성공률, 번식성공률은 각각 2011년 67.3%, 99.5%, 67.0%이었고, 2012년에는 71.3%, 96.8%, 69.0%로 이소성공률은 높았고, 부화성공률과 번식성공률은 비슷하게 나타났다. 고도 차이에 따른 기온의 변화가 번식시기에 영향을 미치는 것은 확인되었으나 다른 번식생태학적 특성과의 상관관계는 확인할 수 없었다. 따라서 고도에 따른 기온변화가 박새류의 번식에 미치는 영향을 보다 명확하게 밝히기 위해서는 미기후요인과 먹이원 등의 조사를 통한 장기적인 연구가 필요할 것이라 판단된다.

주요어: 인공소상, 산란, 박새, 곤줄박이, 한라산

#### ABSTRACT

This research was carried out from March 2009 to July 2012 to explicate the height change based breeding-ecological characteristics of Titmice that were breeding in the artificial nests installed in the Halla Mountain. The first egg-laying day was delayed as the height of the area under investigation increased, and it turned out that the decrease in temperature due to the elevated height had influence on that delay ( $p < 0.05$ ). Generalizing the annual results of the analyses, we see that there was no significant correlation occurring between the average temperatures and egg-laying days in the breeding season (April~June) ( $p > 0.05$ ). The rate of artificial nest use was not different among areas and among year, but between the species, *Parus major* and *Parus varius*. There were differences in clutch sizes among species ( $p > 0.05$ ), but no differences in heights and years ( $p < 0.05$ ). The hatching-, fledging-, and breeding-success rates were 67.3%, 99.5%, and 67.0% respectively in 2011, and 71.3%, 96.8%, 69.0% respectively in 2012, from which we can tell that the fledging-success rate was high but the hatching- and breeding-success rates were similar. Though we confirm

1 접수 2013년 10월 17일, 수정 (1차: 2013년 11월 22일, 2차: 2013년 12월 3일), 게재확정 2013년 12월 4일

Received 17 October 2013; Revised (1st: 22 November 2013, 2nd: 3 December 2013); Accepted 4 December 2013

2 제주대학교 과학교육과 Dept. of Science Education, College of Education, Jeju National Univ., Jeju 690-756, Korea (mertu@jejunu.ac.kr)

a 이 논문은 2013년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원 사업에 의하여 연구되었으며, 김동민의 제주대학교 교육대학원(2013년 8월) 졸업논문내용의 일부를 정리한 것임.

\* 교신저자 Corresponding author: sciedu@jejunu.ac.kr

that temperature changes due to height differences had influence on breeding periods, but we cannot identify a significant correlation with other breeding-ecological characteristics. Thus, in order to more precisely explicate the influence of temperature changes due to heights on Titmice's breeding, long-term research is needed in terms of the investigation of microclimatic factors and food resource.

**KEY WORDS: ARTIFICIAL NEST, EGG-LAYING, GREAT TIT, VARIED TIT, HALLA MOUNTAIN**

## 서론

지구상 생태계 환경은 끊임없이 변화하고 있고, 생물의 진화는 서식 환경 조건에 의한 영향을 받고 있다. 환경의 변화가 생물종들에게 미치는 영향은 매우 복잡하고 다양할 것이며, 실제 그로 인하여 기후변화 이전과는 다른 생태적 습성의 변화가 많이 발견되고 있다(국립환경과학원 NIER, 2009). 지난 100년 간(1906~2005) 지구평균 기온은 0.74℃ 상승하였으며(Solomon *et al.*, 2007), 이러한 지속적인 기후 변화로 인하여 세계 곳곳에서 동물들의 행동변화가 나타나고 있다. 지난 30년 간(1981~2010년) 한반도의 연평균 기온은 1.2℃ 상승(0.41℃/10년)하였으며, 모든 계절에서 상승하는 경향을 보였다. 또한 한반도 미래 기후변화를 전망해 보면 과거 30년간의 관측 자료에서 나타나는 온난화 경향이 2100년까지 꾸준히 지속될 것으로 예상하고 있다(KMA, 2012). 1920년대 이후 여름은 16일 증가한 반면 겨울은 19일 감소한 것으로 나타났으며, 그 결과는 직접적으로 야생 동물들의 여러 행동패턴 중 특히 번식과 관련된 생활사 전략에 변화들을 보여주는 계기가 되고 있다. 환경의 변화가 생물종들에게 미치는 영향은 매우 복잡하고 다양할 것이며, 실제로도 기후변화 이전과는 다른 생태적 습성의 변화가 많이 발견되고 있다(NIER, 2009). 이러한 변화의 원인을 정확히 알기 위해서는 꾸준한 모니터링으로 일정한 경향성을 파악해야 하지만, 장기조사 자료의 부족으로 기후변화가 생물종에 미치는 실증적인 영향 파악에 어려움이 있다(국립생물자원관 NIBR, 2009).

제주도 내 철새도래지에 도래하는 겨울철새를 장기간 모니터링 한 결과에서도 최근 11년 간 겨울철 기온이 높아지면서 제주도에서 월동하는 겨울철새의 종수와 개체수가 감소하는 경향이 있다 하였다(Oh *et al.*, 2010). 기후변화에 따른 초기의 이상 징후는 조류의 산란, 철새이동과 같은 주요한 계절적 행동들로 확인될 수 있는 시기적 변화이다. 이러한 시기적 변화는 북아메리카, 호주, 유럽 등지에서 기록되었으며, 미국과 캐나다의 근접한 지역에서 1959~1991년까지의 전체 번식지역에서 나무제비(*Tachycineta bicolor*, Tree swallows)의 산란일과 5월의 평균기온 간에 뚜렷한 상관

관계가 있으며, 32년 간 9일이 앞당겨졌다(Dunn, 1999). 흰점찌르레기(*Sturnus vulgaris*, European Starlings)가 서식하는 인공동지의 온도를 변화시켜 광주기와 먹이조건이 동일한 조건에서 번식시기의 차이를 확인하였고, 결과적으로 번식기의 온도 증가는 산란과 육추에 더 많은 에너지를 사용하여 번식개시가 빨라진다고 하였다(Meijer *et al.*, 1999). 야생조류는 환경변화 지표종으로 매우 적합하며(Schulze *et al.*, 2004), 기온변화와 상관관계가 있어 기후변화의 지표로 활용이 가능하다(Kim *et al.*, 2010). 생물지표 선정에는 기후변화 영향에 대한 민감성, 멸종위기에 대한 취약성뿐 아니라 생물지표로서 용이성, 대표성, 정확성, 비용 등이 함께 다루어져야 한다. 특히 생물지표는 모니터링이 목적이기 때문에 모니터링 적정성이 가장 중요하다(Lee, 2010).

박새류(Tit, *Parus spp.*)는 산림에서 흔히 관찰할 수 있다. 이 박새류는 동물지리구내 구북구지역의 온대 낙엽활엽수림에 분포한다. 구북구 동쪽의 우리나라에는 박새(Great tit, *Parus major*), 곤줄박이(Varied tit, *Parus varius*), 쇠박새(Marsh tit, *Parus palustris*), 진박새(Coal tit, *Parus ater*) 등 4종이 서식한다(Lee *et al.*, 2000).

박새는 유럽 국가들을 중심으로 분류학적, 생태학적으로 가장 많이 연구된 종 가운데 하나이다. 정원이나 인가 근처의 숲에서도 비교적 풍부하게 서식하며 인공으로 만들어준 동지를 잘 이용하기 때문에 다른 종들에 비해 상대적으로 채집과 관찰이 용이하고, 생활 주기가 짧고 다수의 알을 산란하므로 다양한 생태학적 가설을 연구하기에 적합하기 때문에 이 종에 대한 다양한 연구가 수행될 수 있었다(Gosler, 1993; Harrap and Quinn, 1996; Hur, 2008). 또한 박새는 2010년 국립생물자원관에서 발표한 ‘국가 기후변화 생물지표 100종(National Climate-sensitive Biological Indicator Species)’에 포함되는 조류(鳥類)이기도 하다. 이와 더불어 환경부에서 수행하는 10년 이상의 동일한 측정방식을 유지하는 장기모니터링 사업 중에서는 1999년부터 시행되고 있는 겨울철 조류 동시 센서스가 있다(NIER, 2009). 또한 국립공원관리공단에서는 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 연구하기 위해 지리산, 변산반도, 소백산, 덕유산에서 곤줄박이의 번식시기를 연구한 바 있고, 최근 지리산국립공원에서 2009년부터 박새류의 기온과 최초산란일의 관계를

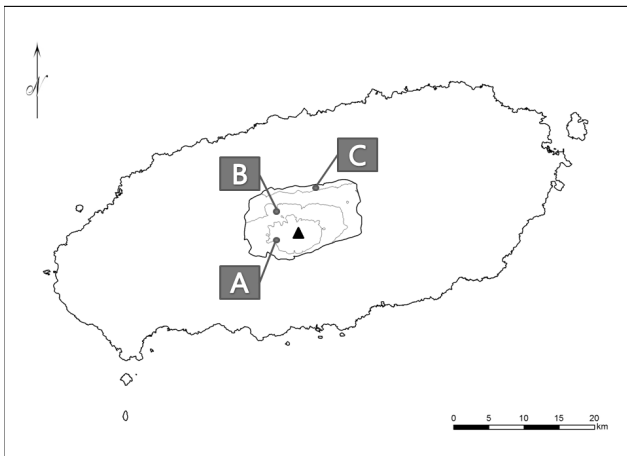
모니터링하고 있다(KNPS, 2011).

본 연구는 기후변화에 민감하게 반응하는 박새류의 고도와 기온변화에 따른 번식생태학적 특징을 밝혀 야생조류의 생태적 적응 양상을 밝히는 데 필요한 자료를 제공하기 위하여 이루어졌다.

## 연구방법

### 1. 조사지역 및 기간

본 연구에서 박새류의 고도별 번식생태를 조사하기 위하여 선정된 지역은 관음사 지역(해발 600m, C), 어리목 지역(900m, B), 영실 지역(1,300m, A) 세 곳으로, 한라산국립공원 내에 위치하며 박새류의 번식이 기존 연구(Kang *et al.*, 2011)에서 확인된 장소이다(Figure 1). 조사는 2009년부터 2012년까지 4년 간 박새류의 번식기가 포함된 3월부터 7월까지 2~4일 간격으로 이루어졌다.



A: Yeongsil site (1,300m), B: Eorimok site (900m)  
C: Kwaneumsa site (600m)

Figure 1. The study sites in Mt. Halla

### 2. 조사내용 및 방법

박새(*P. major*)와 곤줄박(*P. varius*)이 2종을 대상으로 수행하였으며, 인공둥지에서 번식이 관찰되었으나 개체수, 서식지경쟁 등 본 연구에 영향을 미치는 정도가 미비한 다른 종들은 제외하였다. 조사지역별 고도의 차이는 유사한 연구가 진행되고 있는 지리산에서는 대략 500m 고도 차이를 두어 선정하였으나 본 연구에서는 300m의 고도 차이를 두어 조사지역을 선정하였다. 인공둥지를 앞-뒤, 좌-우 각 30m 간격의 격자 형태로 48(6×8)개씩 한라산국립공원 내

부 세 지역(영실 지역, A; 어리목 지역, B; 관음사 지역, C)에 총 144개를 설치하였다. 인공둥지는 조사지역에 서식하는 수목을 이용하여 지면으로부터 약 2.5m 높이에 부착하였다. 인공둥지 내 둥지형성, 산란일, 한배산란수, 부화여부, 이소여부 등을 관찰하였다. 번식관련 성공률은 번식성공률(100×이소한 새끼수/한배산란수), 부화성공률(100×부화한 새끼수/한배산란수), 이소성공률(100×이소한 새끼수/한배산란수)로 기록하였다. 알의 사망과 부화실패요인은 Kwon *et al.*(2006)의 방법을 참고하여 다음과 같은 기준으로 결정하였다: 1) 사라짐(missing); 알이 인공소상에서 관찰되지 않은 경우, 2) 포란실패(incubation failure); 둥지 내에서 장시간 포란하지 않거나 썩은 상태의 알을 발견한 경우, 3) 포식(predation); 알에 작은 구멍이 있는 경우. 또한 새끼의 사망요인은 다음과 같은 기준으로 결정하였다: 1) 사라짐(missing): 새끼가 이소 가능한 발육 이전에 인공둥지 내에서 발견되지 않은 경우, 2) 쪼임(pecking); 새끼 사체에 쪼인 흔적이 확인되는 경우, 3) 아사(starvation); 새끼의 몸무게가 지속적으로 감소하면서 사망한 경우이다. 최초산란일은 각 고도의 여러 인공둥지 중에서 가장 처음 산란이 시작된 둥지 한 곳을 기준으로 하였다. 평균산란일은 번식이 이루어진 둥지의 1차 번식 중에서 첫 산란일을 기준으로 하여 경과한 날짜로 환산하여 산출하였다.

기온측정은 온습도 기록계(HOBO U23-001, Onset Computer Corporation, Porasset, MA., USA)를 각 조사지역별로 1개씩 총 3개를 설치하였다. 수집된 온도데이터는 일평균기온과 최저-최고기온으로 정리하여 분석하였다. 조사된 박새류의 방문 및 번식관련 자료는 일원분산분석(one-way ANOVA)으로 조사지역별 유의성 여부를 검정하였다. 연도별 기온분포처럼 정규분포화 되지 않는 자료는 비모수검정인 Kruskal-Wallis 검정으로 조사지역별 유의차를 분석하였다. 각 조사지역 박새류 종간 산란에 대한 유의차 여부는 Mann-Whitney 검정을 실시하였다. 모든 통계분석은 SPSS 19.0 프로그램을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 기온

박새류의 주요한 번식기인 4월에서 6월까지 연도별 평균기온의 범위는 2009년 11.9~14.8℃이었고(Figure 2), 고도별 평균기온은 관음사(C, 600m) 14.8±4.5℃, 어리목(B, 900m) 13.4±5.1℃, 영실(A, 1,300m) 11.9±4.7℃로 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 2010년도의 평균기온 범위는 11.3~14.5℃였으며, 고도별 평균기온은 관음사 14.5±4.2℃, 어리목 12.2±5.2℃, 영실 11.0±5.1℃였다( $p < 0.05$ ). 2011년도는

11.5~14.4℃였고, 고도별 평균기온은 관음사 14.4±4.7℃, 어리목 13.1±4.9℃, 영실 11.5±4.8℃로 차이가 있었다 ( $p<0.05$ ). 마지막으로 2012년도 평균기온 범위는 12.6~15.2℃였다. 각 고도별 평균기온은 관음사 15.3±3.6℃, 어리목 14.2±4.0℃, 영실 12.6±4.0℃였으며, 2009~20011년과 마찬가지로 고도가 높아질수록 평균기온이 낮아지는 경향을 보였다. ( $p<0.05$ ).

고도별 4년 간 평균기온의 분포는 관음사(C, 600m) 14.4~15.3℃( $p<0.05$ ), 어리목(B, 900m) 12.2~14.2℃( $p>0.05$ ), 영실(A, 1,300m) 11.0~12.6℃( $p>0.05$ )였다(Figure 2). 관음사(C)에서는 연도별 기온이 증가하는 유의한 차이가 있었으나( $p<0.05$ ) 어리목(B)과 영실(C)에서는 연도별 기온의 증감에 대한 경향성을 보이는 유의한 차이가 없었다( $p>0.05$ ). 그리고 각 연도에 해당하는 전체 조사지역 세 곳의 평균기온의 변화에 대해서는 연도별 기온이 증가하는 유의한 차이가 나타났다( $p<0.05$ ). 조사지역별 4년간의 기록을 분석한 결과, 고도가 높아질수록 평균기온은 낮아졌다. 결론적으로 2009년에 비하여 2012년에는 모든 조사지역에서 평균기온의 증가를 확인하였으나, 연도별 증감에 대한 뚜렷한 경향성을 파악할 수는 없었다. 따라서 기후변화에 따른 한라산지역의 기온변화의 경향성을 밝히기 위해서는 장기적인 데이터 수집이 필요하다고 판단된다.

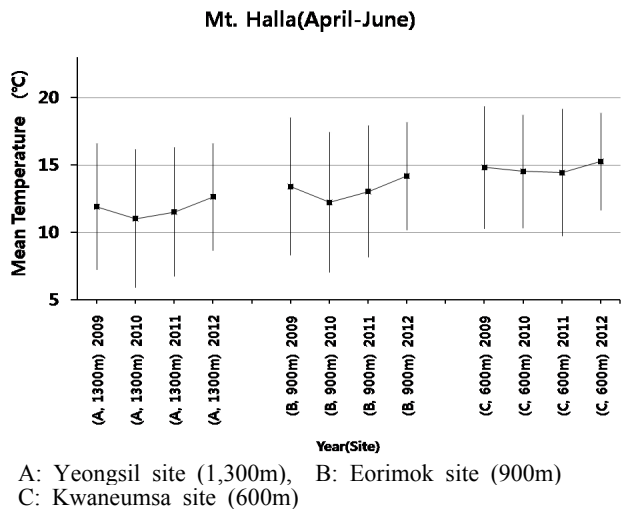


Figure 2. Variation of temperatures of each site in Mt. Halla during April-June in 2009-2012 (Mean temperature by site: one-way ANOVA,  $F=36.958$   $P<0.05$  Mean temperature by year: one-way ANOVA,  $F=4.484$   $P<0.05$ )

## 2. 최초산란일

2009년부터 2011년 사이에 관찰된 박새류의 최초산란일

은 관음사(C, 600m), 어리목(B, 900m), 영실(A, 1,300m) 세 지역에서 고도가 높을수록 산란시기가 늦어지는 것으로 나타났다. 2009년의 평균산란일 분포에는 차이가 있지만 ( $p<0.05$ ), 2010년( $p>0.05$ ), 2011년( $p>0.05$ )에는 평균 산란일 분포에는 차이가 없었다. 또한 2009~2011년 곤줄박이와 박새 두 종간의 산란일은 관음사, 어리목, 영실, 모든 조사지역에서 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다( $p>0.05$ )(Kang *et al.*, 2011).

2012년 곤줄박이 최초산란일은 관음사에서 4월 8일, 어리목 4월 18일, 영실 4월 26일로 고도가 높을수록 산란 시기는 늦어졌으며, 평균산란일 분포에서도 차이가 있었다 ( $p<0.05$ ). 또한 박새의 최초산란일은 관음사에서 4월 8일, 어리목에서 4월 18일, 영실에서 4월 27일로 고도가 높을수록 산란시기는 늦어졌지만, 평균산란일 분포에는 차이가 없었다( $p>0.05$ ). 그리고 박새류의 최초산란일과 고도별 기온의 차이는 기온이 높아지면 산란일이 앞당겨지는 유의한 역상관계가 있음을 확인하였다( $p<0.05$ )(Figure 3).

평균산란일 분포를 연도별로 비교해보면, 곤줄박이는 관음사( $p<0.05$ )와 어리목( $p<0.05$ )에서 해마다 늦어지는 것으로 나타났고, 영실( $p>0.05$ )에서는 불규칙하게 나타났다. 박새는 관음사( $p<0.05$ ), 어리목( $p<0.05$ ), 영실( $p<0.05$ )에서 해마다 늦어지는 것으로 나타났다(Figure 4).

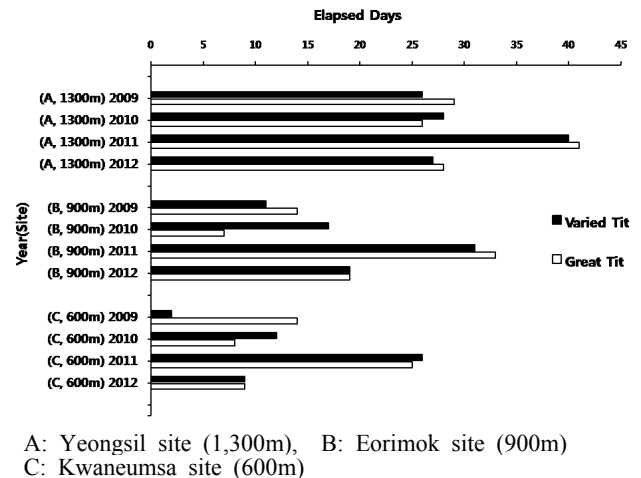
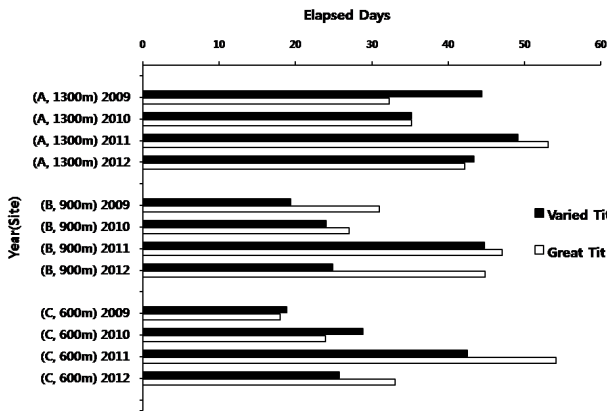


Figure 3. Comparison of the first egg-laying day in 2009-2012 (The fixed date is March 30, each year)

해발고도는 생물의 생활사 변화에 중요한 영향을 미친다는 것이 오래전부터 고려되어 왔다(Badyaev, 1997). 본 연구결과에서는 고도가 증가할수록 한라산에 설치한 인공둥지를 이용하는 박새류의 최초산란일은 늦어졌다. 2009년부



A: Yeongsil site (1,300m), B: Eorimok site (900m)  
C: Kwaneumsa site (600m)

Figure 4. Comparison of the average egg-laying day in 2009-2012  
(The fixed date is March 30, each year)

터 2011년까지는 최초산란일과 평균산란일이 해마다 느려지다가(Kang *et al.*, 2011), 2012년에는 전년도에 비하여 빨라지는 양상을 보였다.

지리산 지역에서 5년간(2006~2010년) 연구한 박새류의 산란일 분포는 고도에 따른 차이가 있으나 연도별로는 차이가 없다고 보고하였다(NIER, 2009; 2010). 본 연구에서도 박새류의 산란일 분포와 같은 번식생태의 차이는 고도가 높아질수록 산란시기가 늦어지는 것으로 나타났으나, 곤줄박이는 관음사(C)와 어리목(B)에서 최초산란일이 해마다 늦어지는 것으로 나타났고, 영실(A)에서는 불규칙하게 나타났다(Table 1).

박새의 최초산란일은 관음사(C), 어리목(B), 영실(A)에서 해마다 늦어지는 것으로 나타났다. 따라서 고도에 따른 기온변화는 번식생태와 상관관계가 있으며, 기후변화에 의

Table 1. Comparison of first egg-laying date of each site in Mt. Halla, 2009-2012

Species	Year	Kwaneumsa (C, 600m)	Eorimok (B, 900m)	Yeongsil (A, 1,300m)
Varied Tit ( <i>P. varius</i> )	2009*	04/01	04/10	04/25
	2010*	04/11	04/16	04/27
	2011*	04/25	04/30	05/09
	2012	04/08	04/18	04/26
Great Tit ( <i>P. major</i> )	2009*	04/13	04/13	04/28
	2010*	04/07	04/06	04/25
	2011*	04/24	05/02	05/10
	2012	04/08	04/18	04/27

\*Kang *et al.*(2011)

\*\*A: Yeongsil site (1,300m), B: Eorimok site (900m)  
C: Kwaneumsa site (600m)

해 온난화가 진행된다면 산란일이 앞당겨질 것이라 예측할 수 있다. 그러나 본 연구에서 나타난 연도별 기온변화에 따른 산란일 변화의 결과를 성급히 받아들일 것이 아니라, 추후 지속적이고 장기적인 모니터링 자료를 확보하여야 보다 신뢰성 있는 경향을 파악해야 할 것이다.

기후변화와 해발고도의 차이는 기온변화로 이어져 조류의 산란 경향에 직접적인 영향을 미치기도 한다(Forchhammer *et al.*, 1998). 봄철의 온도증가는 박새를 포함한 3종의 참새목(Order Passeriforms)의 조류에서 최초산란일을 앞당기는 상관관계를 보여주었다(Dolenec, 2005). 기상관측 이래 81년간 제주지역의 기온변화의 특성에서 연평균기온은 증가하였으며, 특히 봄철에 가장 뚜렷하게 기온증가 경향이 나타났다(Kim *et al.*, 2006). 번식기간 동안의 기온변화는 박새류의 번식생태에 영향을 미칠 것이며, 그중에서도 산란일에 영향을 미치는 여러 요인 중에서 산란 전 두 달간의 평균기온을 바탕으로 해석하였다. 소실데이터가 다수 존재하는 2009년과 2010년 기온자료를 제외하고 확인한 2011년 2, 3월의 한라산의 평균기온은  $-2.0 \pm 4.5^\circ\text{C}$ , 2012년 2, 3월의 한라산의 평균기온은  $-1.6 \pm 5.6^\circ\text{C}$ 이었다. 전년과 비교하여 한라산의 2012년 2, 3월의 평균기온은 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다( $p > 0.05$ ). 결론적으로 연구를 통하여 산란 전 기온변화에 따른 산란일의 변화에 대한 구체적인 상관관계를 확인하지 못하였다. 이를 보완하기 위해 통제된 사육조건 박새류 연구를 통해 증감하는 기온과 산란일의 변화에 대한 실험을 수행하고 이를 토대로 상관관계를 측정할 수 있다면 야생조건 박새류에 대한 기온변화에 따른 산란일 예측이 가능한 모델을 세울 수 있을 것이라 판단한다.

각 연도별 박새류의 최초산란일과 평균산란일을 비교해 보면, 2009년부터 2011년까지는 세 지역 모두에서 최초산란일이 늦춰지는 양상을 보였고, 2012년 최초산란일은 전년도와 비교하여 세 지역에서 모두 2011년 보다 빨라졌으나 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(Figure 3).

한편, 쇠박새 *P. palustris*의 번식생태에 대한 연구에서는 기온 이외의 영향으로도 집단 내 번식시기가 동기화되는 현상을 보고 하였으며(Wesolowski, 1998), 고도에 따른 식물의 개엽시기는 잎의 화학적, 물리적 변화에 따라 변하고, 이러한 변화는 조류의 먹이가 되는 곤충의 분포 패턴에 다시 영향을 준다고 알려져 있다(Feeny, 1970; Suzuki, 1998; Park, 2011). 식물, 곤충과 조류의 상호관계로 유발된 식물 개엽시기 지연은 조류의 번식시기에 영향을 주는 것으로 보고되었다(Jarvinen, 1993). 조류는 번식을 위해 먹이원인 곤충의 변화에 따라 빠르게 적응해야한다(van Noordwijk *et al.*, 1995; Murakami, 1998). 실제로 곤줄박이와 박새는 보통 유조의 먹이로 나비목의 유충을 급이하기 때문에

(Royama, 1970; Perrins, 1991) 번식성공에 영향을 받을 것이 예상된다. Dunn(1999)의 연구에서도 북아메리카의 나무제비가 장기간에 걸쳐 산란일이 앞당겨지며, 이들의 먹이가 되는 날아다니는 곤충류의 번성은 상승하는 봄철 온도에 영향을 받기 때문이라고 보고한 바 있다. 한라산지역에서 각 지역의 번식기간 동안의 평균기온과 산란일의 변화가 뚜렷한 상관관계와 경향성을 보이지 않은 것은 Visser *et al.*(1998)이 보고한 것처럼 박새류의 먹이들이 번성하는 시기에 대한 동시성의 차이에서 기인한 것으로 생각된다.

갑작스런 기후변화의 영향은 최종적인 생태적 결과를 통해서 확인하기 어렵지만, 개체의 전략적 선택에 따른 반응과 그에 따른 변경된 전략을 통해 파악이 가능하다(Lee, 2012). 따라서 산란일 이전의 기온변화가 최초산란일에 미치는 영향에 대해서는 여러 해에 걸쳐 수집된 자료를 바탕으로 누적된 수치를 비교해야 할 것이며, 초기 산란개체들을 전체 산란개체들과 구별하여 비교하는 방법을 고려해 볼 수 있을 것이다. 최초산란일 이전 시기에 기온변화와 먹이원의 변화와 같이 박새류의 생리적 변화에 직접적인 영향을 미치는 요인들과 강수량, 강우일수, 주변식생, 전염병 등의 간접적인 영향을 미치는 요인들에 대한 다각적이고 종합적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

### 3. 인공둥지 이용률

2009년부터 2012년까지 4년간 조사된 지역별 인공둥지 이용률을 살펴보면(Table 2), 조사지역별 인공둥지 이용률은 곤줄박이( $p>0.05$ ), 박새( $p>0.05$ ) 모두 유의한 차이는 없는 것으로 나타났으며, 연도별 인공둥지이용률도 곤줄박이( $p>0.05$ ), 박새( $p>0.05$ ) 모두 차이를 보이지 않았다. 동정이 불가한 몇몇 자료를 제외하고 종에 따른 이용률을 분석한 결과, 곤줄박이와 박새 간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다( $p>0.05$ ).

2012년 번식종별 이용 결과는 조사지역 세 곳에서 곤줄박이 *P. varius*가 28개, 박새 *P. major*가 28개, 흰눈썹황금새 *Ficedula zanthopygia*가 7개, 미동정의 조류가 24개의 인공둥지를 이용하였다. 2009년에는 동박새 *Zosterops japonicus*

가 1개의 인공둥지를 이용했던 것으로 확인되었다.

2009년에는 84개 인공둥지에서 박새류의 번식 시도가 있었는데 이중 어리목에서는 35개의 인공둥지를 이용하여 가장 많은 것으로 나타났고, 관음사에서 26개, 영실에서 23개의 인공둥지에서 번식이 관찰되었다. 2010년에는 87개의 인공둥지에서 번식이 이루어졌으며, 어리목이 36개의 인공둥지로 가장 많았고, 다음으로 관음사에서 29개, 영실에서 22개의 인공둥지에서 번식하였다(NIER, 2010). 2011년에는 86개의 인공둥지를 이용하여 번식하였는데, 어리목의 경우 33개의 인공둥지로 가장 많았고, 다음으로 영실 30개, 관음사 23개의 인공둥지를 이용하였다. 2012년에는 87개의 인공둥지에서 번식이 이루어졌는데, 지난 3년간의 결과와는 다르게 관음사가 34개로 가장 많았으며, 어리목 31개, 영실 22개의 인공둥지를 이용한 것으로 나타났다(Kang *et al.*, 2011).

박새류 이외의 조류의 서식을 고려하여 인공둥지이용에 대한 경쟁요소를 배제한 이상의 결과에서, 고도별, 연도별, 산란하는 종에 따른 인공둥지이용률은 유의한 차이는 없는 것으로 나타났으며, 2011년의 인공둥지이용률을 제외하면 가장 높은 고도에서 인공둥지이용률이 낮게 나타났으나 유의한 상관관계를 보이지는 않았다. 이러한 결과는 고도를 제외한 주변 환경 조건이 비슷한 지역을 조사지역으로 선정하였으나 완벽하게 변인통제를 하는 것이 쉽지 않았고, 개체군 밀도와 서식지 질에 대해 참고할만한 자료가 모자라 무어라 단정할 수는 없었다.

### 4. 한배산란수

2009년과 2010년 조사에서 낮은 고도(2009년 관음사)와 중간 고도(2010년 어리목)에서 가장 많았으나 연도별 차이(곤줄박이  $p>0.05$ ; 박새  $p>0.05$ )는 나타나지 않았다(NIER, 2010). 2011년 조사에서도 낮은 고도(관음사)에서 가장 많았으나, 곤줄박이와 박새 모두 조사지역별 유의한 차이는 나타나지 않았고( $p>0.05$ ), 종별 한배산란수는 곤줄박이 평균  $6.23\pm 1.4$ 개, 박새 평균  $8.2\pm 2.5$ 개로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ )(Table 3).

Table 2. Numbers of used artificial nests and rates of utilization

Year	Varied Tit ( <i>P. varius</i> )**				Great Tit ( <i>P. major</i> )**			
	A, 1,300m	B, 900m	C, 600m		A, 1,300m	B, 900m	C, 600m	
2009*	18.8% ( 9/48)	22.9% (11/48)	20.8% (10/48)		14.6% ( 7/48)	33.3% (16/48)	29.2% (14/48)	
2010*	12.5% ( 6/48)	14.6% ( 7/48)	27.1% (13/48)		10.4% ( 5/48)	25.0% (12/48)	20.8% (10/48)	
2011*	25.0% (12/48)	39.6% (19/48)	18.8% ( 9/48)		29.2% (14/48)	25.0% (12/48)	25.0% (12/48)	
2012	16.7% ( 8/48)	18.8% ( 9/48)	22.9% (11/48)		8.3% ( 4/48)	22.9% (11/48)	27.1% (13/48)	

\*Kang *et al.*(2011), \*\*A: Yeongsil site (1,300m), B: Eorimok site (900m), C: Kwaneumsa site (600m)

Table 3. Comparison of clutch size of Varied Tit and Great Tit in 2009-2012

Year	Varied Tit ( <i>P. varius</i> )**			Great Tit ( <i>P. major</i> )**		
	A, 1,300m	B, 900m	C, 600m	A, 1,300m	B, 900m	C, 600m
2009*	5.7±1.0	5.8±1.4	6.0±0.7	7.7±1.4	9.2±2.0	10.5±1.4
2010*	4.5±1.0	6.0±1.5	4.6±1.3	7.8±2.2	8.9±1.5	8.4±1.2
2011*	6.5±1.2	6.0±1.6	6.3±1.1	8.3±1.6	7.4±1.7	8.9±1.1
2012	5.6±1.4	6.5±1.0	6.2±1.0	10±1.4	9.3±2.1	8.7±2.0

\*Kang *et al.*(2011), \*\* A: Yeongsil site (1,300m), B: Eorimok site (900m), C: Kwaneumsa site (600m)

2012년 곤줄박이의 조사지역별 한배산란수는 차이를 보이지 않았으며( $p>0.05$ ), 박새의 조사지역별 한배산란수 역시 차이가 없었다( $p>0.05$ ). 전체 조사지역에 있어서는 종에 따라 차이가 있었고, 곤줄박이에 비해 박새의 한배산란수가 더 많다는 것을 확인하였다( $p<0.05$ ). 또한 2009년부터 2012년까지 4년 간 자료를 종합하여 분석한 결과(Figure 5), 연도별 차이와 종에 따른 조사지역별 차이는 없는 것으로 나타났다( $p>0.05$ ).

한배산란수와 고도와 관계에 대해서는 여러 가지의 연구결과들이 보고되었다. Weathers *et al.*(2002)은 고도가 높아짐에 따라 더 많은 새끼를 낳아 몸의 열기를 공유하게 함으로써 체온 유지에 대한 이점을 통해 한배산란수가 증가한다고 보고하였다. 반면, Zang(1988)은 고도가 높아짐에 따라 서식지의 질이 낮아져 보다 적은 개체를 산란하므로 한배산란수가 감소한다고 보고하였으며, Lu(2005)는 낮은 고도와 높은 고도에서 차이가 없다고 보고하였다. 그리고 한배산란수는 개체군의 밀도와 서식지의 질에 영향을 받는다는 보고들도 있다(Gosler, 1995a; Both, 1998). 반면, 본 연구결과에서는 고도별 등지이용률의 차이가 나타나지 않았으므로 서식지의 조건과 관련이 있는 것으로 판단된다. 이런 서식지의 질은 어미의 생존과 새끼의 양육을 위한 먹이원과 직접적인 연관이 있기 때문에 서식지의 질이 낮으면 한배산란수가 작아지고(Christians, 2002), 반대로 새끼들의 체중이 무거울수록 생존확률은 높아진다(Gosler,

1995b).

영국 Wytham 산림에서의 박새(*P. major*)의 한배산란수는 8~9개가 가장 높은 빈도 분포를 보이는 것으로 보고한 바 있다. 박새 등지의 새끼수를 변화시키는 경우 최적의 새끼수는 8~12마리로 확인되었으며, 이는 박새가 한 등지에서 키울 수 있는 최대 새끼수임을 보고하였다(Perrins, 1965).

생명체의 에너지 가용성이 갖는 제한과 성공적인 번식의 관계는 유전적인 형질과 환경의 조건에 따라 조류의 산란수에도 영향을 미치게 된다(Cody, 1996). 그러므로 기온변화에 따른 직접적인 영향보다는 서식지의 질과 먹이공급의 정도가 박새류의 유전적 특성을 반영하며 개체의 산란수가 다양하게 나타날 것으로 판단된다. 따라서 박새류의 한배산란수의 변화양상은 유전과 적응에 따른 진화적 관점을 바탕으로 식생과 먹이원의 변화관계를 유추할 수 있는 다각적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 5. 박새류의 부화성공률, 이소성공률 및 번식성공률

한라산 조사지역에서 산란한 박새류의 번식실패 요인은 알이 사라지거나 포식(predation) 및 포란실패(incubation failure) 등이었다. 또한 새끼의 번식실패 요인으로 사라짐(missing)과 쪼임(pecking)이 조사를 통해 확인되었다. 이는 Kwon *et al.*(2006)이 보고한 번식실패 요인 중 사라짐, 포란

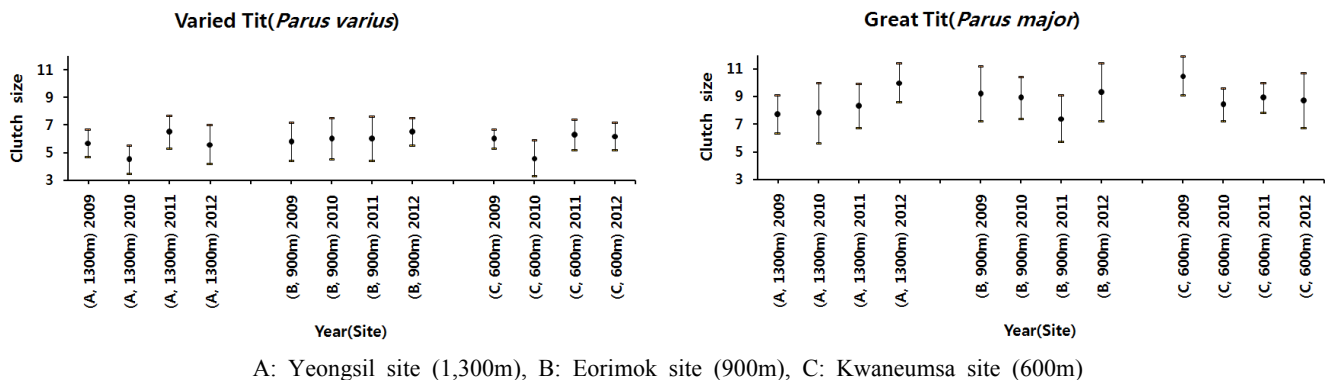


Figure 5. Comparison of clutch size of Varied Tit and Great Tit in 2009-2012

실패, 포식, 조임은 있었으나 아사(starvation)는 관찰되지 않았다. 2011년 박새류의 부화성공률(67.3%)과 번식성공률(67.0%)은 높은 이소성공률(99.5%)에 의해 유사한 수치를 보였다(Table 4).

또한 2012년도에 나타난 박새류의 부화성공률(71.3%)은 번식성공률(69.0%)과 근접한 수치를 나타냈으며, 이는 높은 이소성공률(96.8%)을 반영한 결과라 할 수 있다(Table 5).

동일 서식환경에서 자연둥지(natural nest)와 인공둥지(artificial nest)간의 생존률은 자연 둥지에서 높게 나타난 사례도 있으나(King *et al.*, 1999; Zanette, 2002), 연구결과에서 부화성공률이 높게 나타난 것은 인공둥지를 이용할 경우 이소시기 이전에 발생할 수 있는 새끼의 둥지이탈과 추락 및 외부포식자의 위협을 방지하거나 감소시키는 역할을 하여 부화성공률이 높게 나타난 것이라 판단된다.

곤줄박이는 조사지역에 따라 부화성공률( $p < 0.05$ ), 이소성공률( $p < 0.05$ ) 및 번식성공률( $p < 0.05$ ) 모두 유의한 차이를 보였다. 반면, 박새는 조사지역에 따라 부화성공률( $p > 0.05$ ), 이소성공률( $p > 0.05$ ) 및 번식성공률( $p > 0.05$ ) 모두 유의한 차이가 없었다. 따라서 곤줄박이의 번식에 대하여 서식지역의 고도와 상관관계가 있음을 보여주고 있으나 박새의 번식에 대해서는 서식하는 지역의 고도와는 상관관계 없다는 것을 보여준다고 할 수 있다. 다시 말해, 곤줄박이의 번식관련 성공률이 고도가 높아짐에 따라 낮아진다는 것을 의미하며, 박새의 번식관련 성공률은 고도에 따른 규칙성을 보이지 않았다. 고도에 따른 번식관련 성공률에 대해서는 모든 박

새류에서 일정한 경향성을 확인할 수 없어 보다 지속적인 연구를 통한 결과 해석이 필요할 것이다.

2012년 영실(1,300m)지역의 곤줄박이의 이소성공률은 100%였지만 부화성공률은 24.4%로 매우 낮게 나타났다. 영실지역에서 조사된 8개의 곤줄박이 둥지 중에서 5개 둥지는 번식성공률 0%, 2개 둥지는 50%미만, 1개 둥지만이 100%로 확인되었다. 이는 동일 지역에 서식하는 박새와 달리 곤줄박이 성체들이 먹이, 온도, 강우 등의 영향에 따른 일시적인 부적응으로 부화성공에 기여할 수 있는 활동을 제대로 하지 못하였거나, 부실한 알을 낳았을 가능성을 배제할 수 없다. 게다가 천적이나 경쟁자의 공격에 의해 곤줄박이 성체가 폐사하였을 가능성도 고려해 보아야 할 것으로 판단한다.

이상의 연구결과를 종합해보면 고도가 높아짐에 따라 평균기온이 낮아지는 경향을 확인하였다. 박새류는 고도에 따른 기온변화에 직·간접적인 영향을 받아 최초산란일에 변화를 나타내며, 서식지의 평균기온이 증가할수록 산란일이 앞당겨 진다는 것이 밝혀졌다. 유사한 환경조건의 각기 다른 고도에서 서식하는 박새류를 통해 기온 차이에 따른 산란일의 변화가 유의한 상관관계를 보인다는 결과는 기온이 번식생태에 영향을 미친다는 확고하고 의미있는 자료가 된다. 또한 박새류의 번식생태와 기후변화에 관한 연구를 수행하는 데에도 도움이 될 것이라 여겨진다. 추후 계절생물학적으로 접근하여 기온뿐만 아니라 식생과 먹이원에 의한 박새류의 번식생태적 특성변화와 관련된 상관관계를 고려

Table 4. Related to breeding success rates of Titmouse in Mt. Halla, 2011

Analysis	Kwaneumsa (C*, 600m)		Eorimok (B*, 900m)		Yeongsil (A*, 1,300m)		Total
	Varied Tit	Great Tit	Varied Tit	Great Tit	Varied Tit	Great Tit	
Hatching success (%)	57.9 (33/57)	62.9 (66/105)	55.3 (63/114)	64.0 (57/89)	83.3 (65/78)	79.5 (93/117)	67.3 (377/560)
Fledging success (%)	93.9 (31/33)	100 (66/66)	100 (63/63)	100 (57/57)	100 (65/65)	100 (93/93)	99.5 (375/377)
Breeding success (%)	54.4 (31/57)	62.9 (66/105)	55.3 (63/114)	64.0 (57/89)	83.3 (65/78)	79.5 (93/117)	67.0 (375/560)

\* A: Yeongsil site (1,300m), B: Eorimok site (900m), C: Kwaneumsa site (600m)

Table 5. Related to breeding success rates of Titmouse in Mt. Halla, 2012

Analysis	Kwaneumsa (C*, 600m)		Eorimok (B*, 900m)		Yeongsil (A*, 1,300m)		Total
	Varied Tit	Great Tit	Varied Tit	Great Tit	Varied Tit	Great Tit	
Hatching success (%)	84.1 (58/69)	85.1 (97/114)	66.2 (45/66)	71.4 (75/105)	24.4 (11/45)	67.5 (27/40)	71.3 (313/439)
Fledging success (%)	100 (58/58)	100 (97/97)	84.4 (38/45)	97.3 (73/75)	100 (11/11)	96.3 (26/27)	96.8 (303/313)
Breeding success (%)	84.1 (58/69)	85.1 (97/114)	55.9 (38/66)	69.5 (73/105)	24.4 (11/45)	65.0 (26/40)	69.0 (303/439)

\* A: Yeongsil site (1,300m), B: Eorimok site (900m), C: Kwaneumsa site (600m)



한 연구가 수행된다면 박새류를 이용한 기후변화에 따른 야생생물 적응시스템을 개발하는데 귀중한 자료로 활용할 수 있을 것이라 판단한다.

## LITERATURE CITED

- Badyaev, A.V.(1997) Avian life history variation along altitudinal gradients: an example with cardueline finches. *Oecologia* 111: 365-374.
- Both, C.(1998) Density dependence of clutch size: Habitat heterogeneity or individual adjustment?. *Journal of Animal Ecology* 67: 659-666.
- Christians, J.K.(2002) Avian egg size: variation within species and inflexibility within individuals. *Biological Reviews* 77: 1-26.
- Cody, L.M.(1996) A general theory of clutch size. *Evolution* 20(2): 174-184.
- Dolenc, Z.(2005) Spring temperatures and laying dates of first eggs of three passerines in Croatia. *Ardeola* 52(2): 355-358.
- Dunn, P.O. and D.W. Winkler(1999) Climate change has affected the breeding date of tree swallows throughout North America. *Proc. R. Soc. London Ser. B*, 266: 2487-2490.
- Feeny, P.(1970) Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. *Ecology* 51: 565-581.
- Forchhammer, M.C., E. Post and N.C. Stenseth(1998) Breeding phenology and climate temperature and egg-laying trends. *Nature* 391: 29-30.
- Gosler, A.G.(1993) *The Great Tit*. Hamlyn Ltd, London. 128pp.
- Gosler, A.G.(1995a) Differences in reproductive success and parental qualities between habitats in the Great Tit *Parus major*. *The International Journal of Avian Science* 137(3): 371-378.
- Gosler, A.G.(1995b) Predation risk and the cost of being fat. *Nature* 377: 621-623.
- Harrap, S. and D. Quinn(1996) *Tits, Nuthatches and Treecreepers*. Christopher Helm, London, 464pp.
- Hur, W.H., J.G. Park, H.J. Kim, J.H. Kim, S.H. Han, H.J. Han and Hong Seomun(2008) Taxonomic revision of Great tits (*Parus major minor*) in Korea. *National Institute of Biological Resources*. pp. 1. (in Korean with English abstract)
- Jarvinen, A.(1993) Spatial and temporal variation in reproductive traits of adjacent northern Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* populations. *Ornis Scandinavis* 24: 33-40.
- Kang, T.J., J.Y. Lee, Y.H. Kim, S.H. Han, T.G. Kim, B.G., Yang and H.S. Oh(2011) Breeding ecology of Titmouse with altitude in Mt. Halla. *Korean Journal Ornithology* 18(4): 297-305. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S., B.H. Han and J.I. Kwak(2010) Relationship between the distribution of wildbirds and temperature for six years: a case study of worldcup park in Seoul, Korea. *Journal of the Korea institute of ecological architecture and environment* 24(3): 227-234. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.S., S.M. Jang, H.J. Baek, H.Y. Choi and Y.T. Kwon(2006) Climatological variability of temperature and precipitation in Jeju. *Journal of the Korean Earth Science Society* 27(2): 188-197. (in Korean with English abstract)
- King, I.D., M.R. DeGraaf, R.C. Griffin and T.J. Maier(1999) Do predation rates on artificial nests accurately reflect predation rates on natural bird nests?. *Journal of Field Ornithology* 70(2): 257-262.
- KMA(2012) *The Korean Peninsula Climate Forecast Report*. KMA, 10pp. (in Korean)
- KNPS(2011) *Monitoring Establishment of Climate Change Effects in Ecosystem*. pp. 268-272. (in Korean)
- Kwon, Y.S., H.S. Lee and J.C. Yoo(2006) Clutch size and breeding success of Black-tailed Gulls (*Larus crassirostris*) at Hongdo island, southeast coast of South Korea. *Ocean and Polar Research* 28(2): 201-207. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S.(2012) Climate change and individual life history. *Ocean and Polar Research* 34(3): 275-286. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.W.(2010) *The assessment study on sensitivity of species according to climate change*. Korea Environment Institute, Policy Report, pp. 5-31. (in Korean)
- Lee, W.S., T.H. Koo and J.Y. Park(2000) *A Field Guide to The Bird of Korea*. LG Evergreen Foundation, pp. 250-253. (in Korean)
- Lu, X.(2005) Reproductive ecology of blackbirds (*Turdus merula maximus*) in a high-altitude location, Tibet. *Journal of Ornithology* 146: 72-78.
- Meijer, T., U. Nienaber, U. Langer and F. Trillmich(1999) Temperature and timing of egg-laying of european starlings. *The Condor* 101(1): 124-132.
- Murakami, M.(1998) Foraging habitat shift in the narcissus flycatcher, *Ficedula narcissina*, due to the response of herbivorous insects to the strengthening defenses of canopy trees. *Ecological Research* 13: 73-82.
- NIBR(2009) *The Effect of Climate Change on Biogeographical Subregions in Korea*. NIBR, 167pp. (in Korean with English summary)
- NIER(2009) *Study on Data Structure of Ecosystem Model for Climate Change*. NIER, 103pp. (in Korean with English abstract)
- NIER(2010) *Global Warming and Ecosystem Impact ( I )*. NIER, pp. 21-24. (in Korean with English abstract)
- Oh, H.S., B.S. Kim, M.H. Jang, S.G. Park, T.W. Kim, Y.H. Kim and

- S.H. Han(2010) The analysis of winter bird advent pattern according to climate change. Presented at the 2010 Fall Conference The Ornithological Society of Korea, Jeju, Korea, December 2-4, 1p. (in Korean)
- Park, C.Y.(2011) Interaction Networks among Tits, Insects and Plants during the Breeding Season. Ph.D. dissertation, Seoul National University, pp. 121-127. (in Korean with English abstract)
- Perrins, C.M.(1965) Population fluctuations and clutch size in the great tit. (*Parus major*. L). J. Anim. Ecol. 34: 601-647.
- Perrins, C.M.(1991) Tits and their caterpillar food supply. Ibis 133 suppl. 1: 49-54.
- Royama, T.(1970) Factors governing the hunting behaviour and selection of food by the great tit (*Parus major* L.). J. Anim. Ecol. 39(3): 619-668.
- Schulze, C.H., M. Waltert, P.J.A. Kessler, R. Pitopang, D. Veddeler, M. Mühlenberg, S.R. Gradstein, C. Leuschner, I. Steffan-Dewenter and T. Tscharntke(2004) Biodiversity indicator groups of tropical land-use system: comparing plants, birds, and insects. Ecological Applications 14(5): 1321-1333.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt(2007) Technical Summary. In: Climate Change(2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996pp.
- Suzuki, S.(1998) Leaf phenology, seasonal changes in leaf quality and herbivory pattern of *Sanguisorba tenuifolia* at different altitudes. Oecologia 117: 169-176.
- 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.
- Visser, M.E., A.J. van Noordwijk, J.M. Tinbergen and C.M. Lessells(1998) Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). Proc. Biol. Sci. 265(1408): 1867-1870.
- Weathers, W.W., C.L. Davidson, C.R. Olson, M.L. Morton, N. Nur and T.R. Famula(2002) Altitudinal variation in parental energy expenditure by white-crowned sparrow. Journal of Experimental biology 205: 2915-2924.
- Wesolowski, T.(1998) Timing and synchronization of breeding in a marsh tit *Parus palustris* population from a primaeval forest. ARDEA, 86(1): 89-100.
- Zanette, L.(2002) What do artificial nests tells us about nest predation?. Biological Conservation 103(3): 323-329.
- Zang, H.(1988) Der einfluß der höhenlage auf die biologie des Kleibers (*Sitta europaea*) im Harz. Journal of Ornithology 129: 161-174.