

Research Article

Open Access

## 봄철 논습지에 도래하는 도요물떼새류의 취식 행동에 따른 서식지 이용 특성 연구

남형규<sup>1</sup>, 최승혜<sup>2</sup>, 유정철<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 생물학과 · 한국조류연구소, <sup>2</sup>한국교원대학교 황새생태연구원

### Influence of Foraging Behaviors of Shorebirds on Habitat use in Rice Fields During Spring Migration

Hyung-Kyu Nam<sup>1</sup>, Seung-Hye Choi<sup>2</sup> and Jeong-Chil Yoo<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>The Korea Institute of Ornithology and Department of Biology, Kyung Hee University, Seoul 02447, Korea, <sup>2</sup>Eco-institute for Oriental Stork, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea)

Received: 10 July 2015 / Revised: 10 September 2015/ Accepted: 20 September 2015

Copyright © 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture

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, provided the original work is properly cited.

#### Abstract

**BACKGROUND:** The coexisting shorebirds often use various foraging strategies, including feeding methods and habitat use, which are the likely mechanisms to explain the variation of morphological and behavior traits. We studied the foraging behaviors of four shorebirds to define how species separate according to habitat structures in rice fields of western-central Korea during their northward migration.

**METHODS AND RESULTS:** The studied species were Long-toed Stints (*Calidris subminuta*), Wood Sandpipers (*Tringa glareola*), Common Greenshanks (*Tringa nebularia*), and Black-tailed Godwits (*Limosa limosa*), which were commonly observed in rice fields and represented by a wide range of morphological traits. Habitats were categorized into three types (“plowed with water”, “shallow water level after harrowing”, and “deep water level after harrowing”) according to the irrigation intensity and soil manipulation of the farming practices. Long-toed Stints mainly foraged in

the “plowed with water”, where they used both visual and tactile searching methods. Wood Sandpipers and Common Greenshanks were frequently observed in “shallow water level after harrowing” They spent a considerable amount of time using a visual searching method. Black-tailed Godwits were selectively attracted to “deep water level after harrowing” and used tactile cues as their predominant feeding technique.

**CONCLUSION:** This study demonstrates that the water levels related in soil manipulation and irrigation intensity influence the accessibility to foraging sites and the detectability of prey for shorebirds species.

**Key words:** Farming practices, Shorebirds, Rice fields, Water level

#### 서론

도요물떼새류의 행동 연구를 통해 도요물떼새류의 서식지 이용과 그들에게 요구되는 생활사(life history)에 대한 평가가 가능하다(Leon and Smith 1999). Goss-Custard and Durell (1990)은 행동 연구를 통해 다양한 환경변화나 제한된 자원과의 관련성을 확인 할 수 있다고 제안했다. 뿐만 아니라 여러 서식지 형태에서 행동의 파악은 조류의 서식지 선택(habitat

\*Corresponding author: Jeong-Chil Yoo  
Phone: +82-2-961-0245; Fax: +82-2-961-0244;  
E-mail: jcyoo@khu.ac.kr

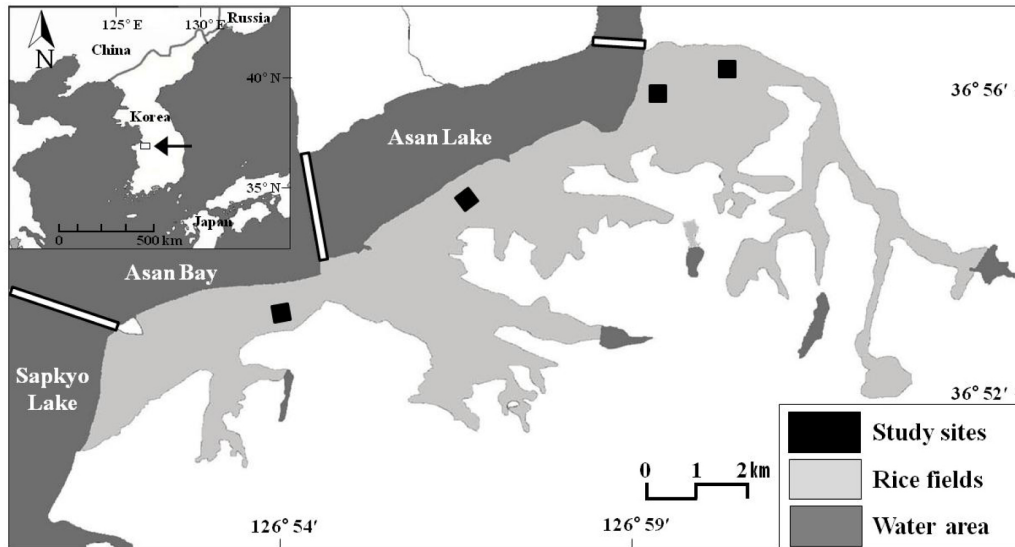


Fig. 1. Map of the location of study sites in rice fields of western-central Korea (four closed rectangles).

selection)에 대한 이해를 높여주고(Titman, 1981), 이동 철새가 서식하는 지역들 중에서 어느 지역이 중요한지에 대한 평가의 방법으로 이용된다(Davis and Smith, 1998a).

통과시기에 도요물떼새류의 행동에 대한 연구는 주로 갯벌과 같은 해안 지역에서 많이 이루어졌고(Holmes, 1966; Baker and Baker, 1973; Colwell, 1993), 내륙습지에서의 연구는 드물다(Davis and Smith, 1998a). 일반적으로 도요물떼새류는 시기에 따라 생리적인 요구조건이 매우 다르며(O'Reilly and Wingfield, 1995), 이러한 요구 조건은 여러 행동 특성으로 나타난다(Davis and Smith, 1998a, 1998b). 또한, 많은 도요물떼새류가 해안이나 내륙지역을 모두 서식지로 이용한다고 알려져 있지만 두 지역간에 서식지 이용과 종 구성에 차이가 나타난다(Recher, 1966; Myer, 1983; Davis and Smith, 1998b). 이는 통과시기에 이용하는 다양한 서식지는 도요물떼새류에 따라 요구조건이 다를 수 있음을 의미하고 이러한 차이는 취식 행동 특성으로 나타난다.

많은 도요물떼새 종들은 번식지에서 월동지까지 매년 12,000 km에서 25,000 km를 이동한다(Myers *et al.*, 1987). 도요물떼새류의 이동에는 이동 전에 축적한 에너지량보다 훨씬 많은 에너지가 필요하다(McNeil and Cadieux, 1972). Skagen and Knopf (1993)는 성공적인 이주(migration)를 위해 번식지와 월동지 사이에 이들을 연결하는 중간기착지(stopover sites)가 밀접하게 연결되어야 한다고 제안했다. 한국 중서부지역의 논습지는 도요물떼새와 같은 이동철새가 이용하는 중요한 중간기착지 중 하나이다(Nam *et al.*, 2012, 2015). 서해안 일대는 넓은 퇴적층이 형성되어 오래 전부터 농경지가 발달하였고, 이러한 농경지는 다양한 조류에게 먹이와 휴식처를 제공해 왔다(Yoo and Lee, 1998). 논습지는 일시적으로 담수환경(flooded fields)을 조성하여 조류를 포함한 다양한 습지생물 중요한 서식지를 제공한다(Fasola and Ruiz, 1996; Elphick, 2000). 뿐만 아니라 동아시아-대양주

철새이동경로(EAAF; East-Asian Australasian Flyway)상에 위치하여 멸종위기종을 포함한 다양한 조류의 서식처로 그 중요성이 강조되고 있다(Kim *et al.*, 1994).

본 연구는 한국 중서부지역 논습지를 중간기착지로 이용하는 도요물떼새류의 취식행동 특성이 영농방법에 따라 조성된 여러 서식지들을 선택적으로 이용하는지 확인하기 위해 수행되었다. 논습지는 영농방법에 따라 다양한 형태를 형성하기 때문에 논습지에서 취식하는 도요물떼새류의 행동 특성의 파악은 도요물떼새류가 서식지를 선택적으로 이용하는지 유무를 확인하기 위해 중요하다.

## 재료 및 방법

### 조사지역

본 연구는 아산호, 아산만 남단 논습지에서 수행되었다(Fig. 1; 36°54'N, 126°59'E). 연구 지역은 4월 후반부터 5월 중반까지 북상하는 도요물떼새류에게 내륙 중간기착지의 기능을 가진 곳이다(Nam *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2014). 이 기간 동안 논습지는 모내기 전 얇은 수심이 형성되는 시기로 갯벌과 유사한 형태를 보인다(Nam *et al.*, 2012). 연구지역 논습지는 농로나 논둑으로 구별되는 필지로 구성되어 있으며, 그 크기는 평균 100 m × 50 m이다. 각 필지는 지역농업인 개인에 의해 관리되고 있으며 지역농업인의 스케줄에 따라 토양경운과 논 물관리 시기가 달라 조사 지역의 필지는 여러 담수논의 형태를 보인다. 도요물떼새류가 많이 관찰된 4개의 구역(1개의 조사구역은 약 88개의 필지를 포함한 0.4 km<sup>2</sup>의 면적) 조사지역으로 설정하였다.

### 취식행동과 서식지 이용

도요물떼새류의 취식행동관찰은 2011년과 2012년 4월 후반부터 5월 중반까지 오전 6시(6:00 a.m.)부터 정오

(12:00 p.m.) 시간 동안 수행되었다. 도요물떼새류의 취식 행동 관찰 대상 종은 흑꼬리도요(*Limosa limosa*), 청다리도요(*Tringa nebularia*), 알락도요(*Tringa glareola*), 종달도요(*Calidris subminuta*)였으며, 이들은 조사지역 내에서 쉽게 관찰되는 종이였다. 더불어, 이들 4종은 종달도요, 알락도요, 청다리도요, 흑꼬리도요 순으로 부리 길이, 몸 크기, 다리 길이가 점점 증가하는 형태적 차이를 가진다. 행동은 망원렌즈(RAYNOX HD-2200PRO)를 부착한 디지털 캠코더(SAMSUNG HMX-S16)를 이용하여 흑꼬리도요 57개체, 청다리도요 52개체, 알락도요 53개체, 종달도요 32개체를 기록하였다. 동일 개체를 중복하여 행동기록을 할 경우 개체 특이성이 크게 작용하게 된다. 조사 대상 개체들은 개체식별이 되지 않기 때문에 다른 개체로 판단이 명확히 되지 않을 경우 행동기록을 피해 거짓반복성(pseudoreplication)을 제거하였다. 기록된 종들은 느린 재생(0.4배속)을 통해 취식 행동을 분석하였다. 취식행동범주는 (1) pecking 수, (2) probing 수, (3) 총 걸음 수, (4) 사냥 사이 이동수(pecking이나 probing 후 다음 pecking이나 probing 전에 확인된 총 걸음 수), (5) 방향전환 수(총 방향전환한 횟수), (6) 획득한 먹이 수(직접 먹이를 삼킨 횟수), (7) 취식효율(획득한 먹이 수/pecking 또는 probing 수)로 정의하였다. Pecking은 수면이나 토양 내부로 전체 부리의 길이의 1/3 이하가 들어가는 사냥하는 방법으로 보통 시각을 이용하여 취식하는 조류에서 많이 이용되는 방법이고, probing은 1/3 이상의 부리를 수면이나 토양 내부로 깊숙이 찔러 사냥하는 방법으로 부리의 촉각을 주로 사용하는 조류에서 많이 나타난다(Baker and Baker, 1973). Probing 1회에 대한 정의는 부리가 수면이나 토양에 들어갔다 나오거나 나오는 경우로 하였다(Elphick, 2000). 획득한 먹이 수는 느린 재생을 통해 확인된 pecking이나 probing 후 머리와 고개를 살짝 젖혀 삼키는 행동이나 부리를 크게 벌려 물의 표면장력을 이용하여 먹이를 삼키는 행동으로 정의하였으며, 방향전환 횟수는 45도 이상으로 방향을 전환하는 경우로 정의하였다. 1개체당 기록된 시간은 평균 92초(범위: 59초-190초)였다.

관찰된 4종의 논습지 내에 형성된 서식지 이용 특성을 확인하기 위해 서식지 별 종과 개체수를 확인하였다. 조류의 분포 조사는 4월 후반부터 5월 중반까지 3주에 걸쳐 주 1회씩 총 3회 이루어졌고 4개의 조사구역에서 수행되었다(Fig. 1). 각 조사구역은 농로를 따라 걸으면서 출현하는 종, 개체수, 서식지 형태를 모두 기록하였다. 서식지 형태는 지역농업인에 따라 다르게 관리되는 필지를 기준으로 확인하였다. 필지는 (1) 갈아엎은 후 물을 댄 필지, (2) 씨레질 후 약 5 cm 이하의 수위를 유지하는 필지, (3) 씨레질 후 약 5 cm 이상의 수위를 유지하는 필지로 나누었다. 실제 취식으로 이용한 수위를 파악하기 위해 조류의 취식이 끝난 이후 직접 취식했던 위치로 접근하여 발자국이 찍힌 곳에서 수위를 측정하였다.

## 통계분석

관찰된 종의 개체수준에서의 행동특성은 Bray-Curtis 유

사도 지수를 이용해 유사도를 분석하였고, 분석결과는 비계량적 다차원 척도법(Nonmetric Multidimensional Scaling; NMDS)을 사용하여 도식화하였다. 비계량적 다차원 척도법은 취식행동 데이터 매트릭스의 거리와 공간상에 반영하는 거리를 반복적으로 계산하여 최소화(Stress값으로 표현)한다. Stress값의 범위는 0부터 1까지이며, 값이 작을수록 공간상의 위치와 데이터 매트릭스의 거리가 완전히 일치하는 것을 의미한다. 일반적으로 stress값이 0.3보다 클 경우 공간상의 위치가 데이터의 특성에 따른 관계성을 나타내는 것이 아니라 임의적인 위치를 의미한다(Clarke and Warwick, 2001).

도요물떼새류의 서식지이용 차이를 확인하기 위해 Pianka's index를 이용하여 비교하고자 하는 대상 종끼리의 생태적 니치 중복역(ecological niche overlap)을 계산하였다(Pianka, 1973). Pianka's index의 수식은  $O_{jk} = \frac{\sum P_{ij} P_{ik}}{\sqrt{P_{ij}^2 P_{ik}^2}}$ 로  $P_i$ 는 종  $j$ 와  $k$ 가 이용한 각 필지 형태의 비율로 나타낼 수 있다. 수식의 값이 0일 경우는 두 종간 이용하는 필지 형태가 완전히 다른 경우를, 1은 두 종간 완전히 일치하는 경우를 의미한다. Pianka's index 관찰값과 1,000번의 시뮬레이션을 통한 시뮬레이션값(평균  $\pm$  분산), 95% 신뢰구간(Confidence Interval)으로 나타내었다.

종 별 취식행동과 취식 수위의 차이는 Kruskal-Wallis 검증을 통해 차이를 확인하였으며, 차이가 확인된 경우 사후검정으로 Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn joint ranking 검증을 통해 확인하였다(Hollander et al., 2013). 모든 통계분석은 R 프로그램을 사용하였고 비계량적 다차원 척도법은 vegan package, Pianka's index는 spaa package를 이용하였다(R Development Core Team, 2012).

## 결 과

### 취식행동 특성

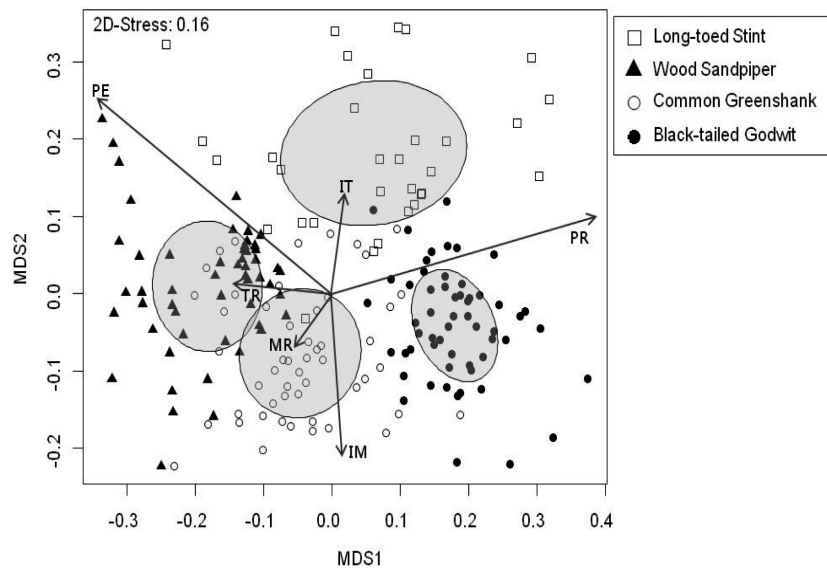
종달도요, 알락도요, 청다리도요는 빠르게 이동하면서 취식 하는 반면, 흑꼬리도요는 상대적으로 취식 속도가 느렸다( $\chi^2=24.01$ ,  $df=3$ ,  $P < 0.001$ ). 종달도요의 경우 좌우를 많이 살피면서 먹이를 찾았고, pecking이나 probing 두 가지 방법을 모두 사용하여 먹이를 획득하였다. 알락도요와 청다리도요는 종달도요와 같이 좌우를 많이 살피면서 먹이를 찾았지만 주로 pecking을 이용한 반면에 흑꼬리도요는 천천히 이동하면서 probing 방법을 이용하여 취식하였다( $\chi^2=60.06$ ,  $df=3$ ,  $P < 0.001$ ). 종달도요는 다른 도요들보다 pecking 이나 probing 방법을 이용하여 취식한 후, 다음 pecking이나 probing 행동을 하기 위해 이동하는 거리가 길었다( $\chi^2=18.54$ ,  $df=3$ ,  $P < 0.001$ ). 시간당 획득한 먹이의 수 자체는 종달도요와 청다리도요가 높았다(Table 1;  $\chi^2=34.98$ ,  $df=3$ ,  $P < 0.001$ ).

비계량적 다차원 척도법을 통해 2차원 공간에 개체수준에서 관계성을 도식화 해본 결과 종달도요는 다른 종들에 비해 x축과 y축에 보여지는 2차원 공간에 넓게 분포하는 것을 통해 개체의 다양한 취식 행동 특성을 확인 할 수 있다. 알락도

**Table 1. Main feeding behavior parameters of the study species observed in rice fields of the western central region of the Korean Peninsula. Values represent the means  $\pm$  standard deviation, with lowercase letters indicating significant differences among shorebird species based on Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn joint ranking test ( $P < 0.05$ )**

	Long-toed Stint	Wood Sandpiper	Common Greenshank	Black-tailed Godwit	Kruskal-Wallis test ( $H$ )
Moving rate (number of step/s)	1.52 $\pm$ 0.63 <sup>a</sup>	1.86 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	1.79 $\pm$ 0.91 <sup>a</sup>	1.12 $\pm$ 0.46 <sup>b</sup>	24.01*
Pecking rate (number of pecking/s)	0.41 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	0.27 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	0.45 $\pm$ 0.59 <sup>a</sup>	0.01 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	60.06*
Probing rate (number of probing/s)	0.48 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>	0.01 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.09 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>	0.35 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	61.69*
Inter-moving rate (number of step between pecking or probing/s)	0.09 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.16 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	0.17 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	0.18 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	18.54*
Turning rate (number of turning/s)	0.19 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	0.17 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	0.18 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.07 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	40.26*
Intake rate (number of intake/s)	0.45 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	0.20 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	0.38 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	0.16 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	34.98*

\* Comparison of species significant at  $P < 0.001$ .



**Fig. 2. Nonmetric multidimensional scaling (NMDS) plot of 194 sampling points (individual data of four shorebird species) according to total feeding behaviors. The final 2D-stress value was 0.16. Grey ellipses indicate standard deviations of point scores for each shorebird species. Arrows indicate direction of increasing feeding traits of each behavior. Length is proportional to the strength of correlation. Open rectangles, closed triangles, open circles, and closed circles denote Long-toed Stints, Wood Sandpipers, Common Greenshanks, and Black-tailed Godwits, respectively. PE, PR, MR, IM, and TR denote pecking rate, probing rate, moving rate, inter-moving rate, and turning rate, respectively.**

요와 흑꼬리도요는 상대적으로 제한된 행동 특성이 나타났고 두 종의 개체수준에서의 행동 특성은 전혀 겹치지 않았다. 그에 반해 청다리도요는 행동특성이 나머지 3종과 일정부분 겹쳤다(Fig. 2; 2D-Stress: 0.16).

**서식지 이용과 취식효율**

관찰된 4종의 도요물떼새류는 봄철 논습지에 조성된 3가

지 형태의 서식지 이용 패턴이 서로 다른 것으로 나타났다. 종달도요는 “갈아엮은 후 물을 댄 필지”를 주로 이용하였고 일부 개체는 “써레질 후 5 cm 이하의 수위를 유지하는 필지”를 이용하였다(Fig. 3). 이들이 취식지로 이용하는 논습지의 수위는 다른 종에 비해 가장 낮았다(Fig. 4). 알락도요는 주로 “써레질 후 약 5 cm 이하의 수위를 유지하는 필지”를 이용하였다. 청다리도요는 “써레질 후 약 5 cm 이하의 수위를 유

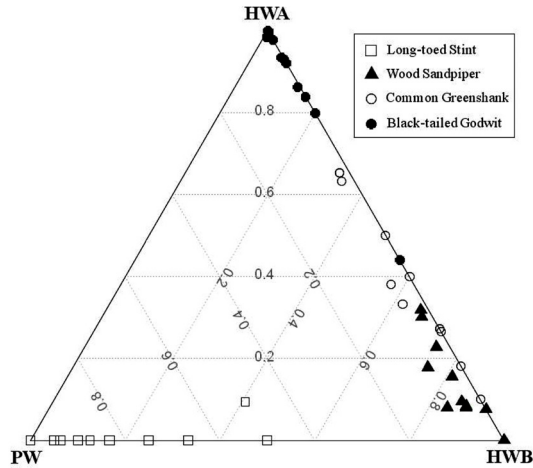


Fig. 3. Ternary diagram of the microhabitat use (from 0 to 1) of the shorebird species of each rice block type in rice fields of western-central Korea. Each point within each species represents different study sites within the study area. PW, HWB and HWA refer to plowed with water, harrowed with water depth below 5 cm and harrowed with water depth above 5 cm, respectively. Open quadrangles, closed triangles, open circles, and closed circles denote Long-toed Stints, Wood Sandpipers, Common Greenshanks, and Black-tailed Godwits, respectively. Sample size of each species is 12 (3 surveys × 4 study areas).

지하는 필지"를 주로 이용하였지만 일부는 5 cm 이상의 수위의 필지를 이용하기도 하였다. 흑꼬리도요는 대부분이 5 cm 이상의 수위의 필지를 이용하였고 다른 종들과 비교했을 때 가장 수위가 높은 논습지를 이용하였다(Fig. 3 and 4).

중달도요와 흑꼬리도요가 서식지 이용 패턴이 가장 달랐고(Table 2; Pianka's index: 0.07), 알락도요와 청다리도요 두 종이 서식지 이용 패턴이 가장 유사하였다(Table 2; Pianka's index: 0.75).

논습지에서 취식하는 4종의 도요물떼새류의 취식효율은 알락도요가 0.76 ± 0.15 (평균 ± 표준편차)으로 가장 높았고, 청다리도요가 0.68 ± 0.17로 두번째로 효율이 높았다. 중달도요와 흑꼬리도요는 각각 0.52 ± 0.13, 0.47 ± 0.12로 효율이

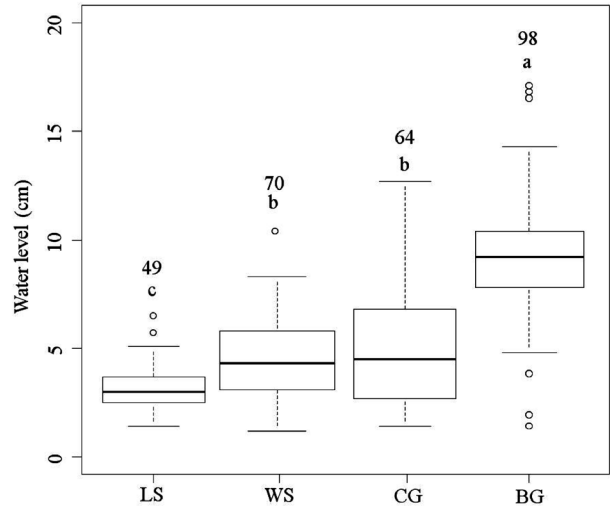


Fig. 4. Box plots representing the range of water levels used by each species in the rice fields. Boxes represent the interquartile range of water levels at which each species was recorded, and lines within each box denote the median value; whiskers encompass the majority of points; outliers are identified by circles. Sample sizes for each species are given above the box plots. Different letters represent significantly different among the species according to the Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn joint ranking test. LS, WS, CG, and BG denote Long-toed Stints, Wood Sandpipers, Common Greenshanks, and Black-tailed Godwits, respectively.

낮았다( $\chi^2=44.24$ ,  $df=3$ ,  $P < 0.001$ ).

### 고찰

본 연구를 통해 봄철 중간기착지인 논습지를 이용하는 도요물떼새류 4종은 취식 방법과 이용하는 서식지 형태가 다를 수 있다. 장거리이동을 하는 도요물떼새류에게 중간기착지는 환경 변이성이 크고 먹이 자원의 분포를 예측하기 힘들다(Skagen and Knopf, 1993; Davis and Smith, 1998b). 그에 따라 도요물떼새류는 중간기착지에서의 다양한 취식전략을 사용하는 것으로 알려져 있다(Davis and Smith,

Table 2. Pianka's index for the niche overlap between shorebird species calculated from habitat use in the rice fields of the western central region of the Korean Peninsula. The results of the bootstrap simulation (1,000 repetitions) to generate the observed value, simulated value (mean ± standard deviation), and simulated 95% confidence limits for niche overlap of habitat use

	Observed value	Simulated value	95% confidence
Long-toed Stint - Wood Sandpiper	0.47	0.50 ± 0.16	0.21 - 0.78
Long-toed Stint - Common Greenshank	0.38	0.40 ± 0.13	0.15 - 0.64
Long-toed Stint - Black-tailed Godwit	0.07	0.08 ± 0.06	0.01 - 0.22
Wood Sandpiper - Common Greenshank	0.75	0.81 ± 0.10	0.66 - 0.98
Wood Sandpiper - Black-tailed Godwit	0.36	0.40 ± 0.17	0.12 - 0.78
Common Greenshank - Black-tailed Godwit	0.50	0.51 ± 0.13	0.23 - 0.74

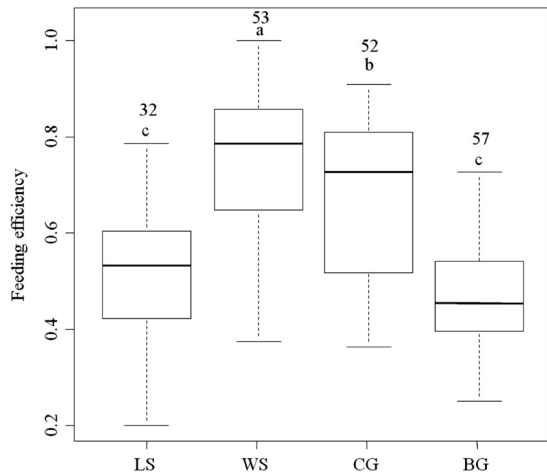


Fig. 5. Box plots representing the range of feeding efficiency for each species in the rice fields. Boxes represent the interquartile range of feeding efficiency for each species, and line within each box denote the median value; whiskers encompass the majority of points. Sample sizes for each species are given above the box plots. Different letters represent significantly different among the species according to the Nemenyi-Damico-Wolfe-Dunn joint ranking test. LS, WS, CG, and BG denote Long-toed Stints, Wood Sandpipers, Common Greenshanks, and Black-tailed Godwits, respectively.

2001; Cole *et al.*, 2002; Dias *et al.*, 2009). 그러나 논습지는 매년 일정한 스케줄에 따라 관리되며, 특히 도요물떼새류가 도래하는 논습지는 물의 유입과 더불어 일정수위를 유지하기 때문에 다른 중간기착지보다 안정적으로 먹이를 획득할 수 있는 공간을 제공한다. 다만 지역농업인의 관리 방법에 의해 논습지의 형태는 차이가 생기고 이러한 차이로 인하여 도요물떼새류 종의 서식지 이용 특성이 다르게 나타난다.

서식지 이용의 차이는 도요물떼새류의 외형적 특성과 관련 있는 취식 행동에 따라 결정되는 것을 확인 할 수 있었다. 일반적으로 종달도요는 짧은 다리길이로 인해 얇은 수심보다 얇은 수심에서의 취식이 용이하다(Collazo *et al.*, 2002). 크기가 작은 도요물떼새류는 형태적 제약으로 인해 얇은 수심에서 취식한다(Weber and Haig, 1996; Isola *et al.*, 2000). 본 연구에서 관찰된 종달도요가 주로 이용하는 서식지인 “갈아엮은 후 물을 댄 필지”는 극히 일부 위치만이 수위가 낮게 형성되기 때문에 다른 도요물떼새류에 비해 종달도요가 이용할 수 있는 취식 공간은 제한될 수밖에 없다. 따라서 종달도요는 좁은 공간에서 먹이 획득을 많이 하기 위해 pecking이나 probing을 모두 높게 사용하는 것으로 생각된다(Table 1). 흑꼬리도요는 관찰된 종들 중에 부리와 다리 길이가 가장 길기 때문에 수심이 얇은 지역부터 깊은 지역까지 넓은 범위의 수심을 이용 할 수 있다. 그러나 흑꼬리도요는 봄철 형성되는 서식지 형태 중에 상대적으로 수심이 깊은 “씨레질 후 약 5 cm 이상의 수위를 유지하는 필지”를 주로 이용하는 것을 확인할 수 있었다. 흑꼬리도요는 긴 부리의 촉각을 이용해 먹이를 사냥하는 방법인 probing을 많이 쓰기 때문에, 촉각을

이용해 먹이 획득이 용이한 부드러운 상태의 흙에서 취식하는 것이 유리하다. 일반적으로 봄철 물을 대기 전의 논습지의 상태는 갈아엮은 형태를 이루기 때문에 흙이 건조한 상태의 딱딱한 결정의 형태를 띤다. 따라서 필지에 물의 공급이 많을수록 필지 내 흙의 상태가 부드러워 진다. 이러한 상태의 흙에서는 도요물떼새류가 취식을 위해 부리가 지면 아래로 들어갈 때 생기는 저항성이 낮아져 먹이 획득이 용이하다(Milsom *et al.*, 2000). 따라서 흑꼬리도요는 “씨레질 후 약 5 cm 이상의 수위를 유지하는 필지”를 더 선호하는 것으로 생각된다. 알락도요와 청다리도요는 논습지에서 시각을 이용한 취식방법인 pecking을 주로 많이 이용하였다(Table 1). 씨레질 후 약 5 cm 이상의 수위를 유지하는 필지는 높은 수위로 인하여 시각적인 방법을 통한 먹이의 분포를 확인하기 어렵고, 갈아엮은 후 물을 댄 필지는 갈아 엮은 흙이 알락도요나 청다리도요의 시야를 방해하는 요인으로 작용 할 수 있기 때문에 “씨레질 후 약 5 cm 이하의 수위를 유지하는 필지”에서 취식하는 것이 유리한 것으로 생각된다.

봄철 논습지의 벼 생육을 위해 준비하는 토양경운 및 논물관리와 같은 일련의 영농과정은 도요물떼새류의 취식효율에 영향을 미친다. 관찰된 도요물떼새류 중 취식효율이 높게 나타난 알락도요(0.76 ± 0.15)와 청다리도요(0.68 ± 0.17)는 논습지에서 시각에 의존한 취식 방법을 주로 이용한다(Table 1). 이들의 먹이 획득율을 높이기 위해서는 먹이자원으로 이용되는 저서생물이 토양 표층에 분포하는 것이 유리하다. 봄철 무논(flooded field)조성에 이용되는 농업 용수는 주로 농업용 저수지에서 공급된다. 따라서 저수지에 서식하는 저서생물들이 수로를 통해 필지로의 유입이 이루어지며 이들은 자연스럽게 토양 표층에 분포하게 된다. 뿐만 아니라 갈아 엮은 땅의 평탄화를 위한 씨레질은 물리적 교란으로 인하여 겨울철 땅속에 월동하는 저서생물들을 토양 표면으로 이동시킨다(Dinsmore, 1973; Mora, 1992). 그에 따라 토양 표면에 분포하는 저서생물들이 많아질 것으로 판단된다. 실제로 토양 표층에 토아리물달팽이류와 같은 저서생물의 분포를 쉽게 관찰 할 수 있었다. 봄철 조성된 무논에서 취식하는 종달도요의 경우 제한된 면적을 이용하기 때문에 이용할 수 있는 먹이량이 적고 흑꼬리도요는 부리의 촉각을 이용한 취식 방법(probing)을 쓰기 때문에 pecking의 방법을 사용하는 종보다 먹이 획득량이 적은 것으로 생각된다.

벼 재배주기에 따라 논습지는 수생태계와 육상생태계가 반복적으로 나타나며, 수생태계가 형성되는 벼 재배기(growing-season)에는 생물다양성 유지에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다(Bambaradeniya *et al.*, 2004; Ibáñez *et al.*, 2010). 논습지의 무논조성은 수조류에게 자연습지 서식지와 유사한 상태를 형성하기 때문에 수조류 보전에 중요한 요인으로 작용한다(Elphick, 2010). 관찰된 4종이 이용하는 수위는 대부분이 10 cm 미만으로 여러 연구에서도 도요물떼새류가 10 cm 미만을 선호한다는 결과와 일치한다(Verkuil *et al.*, 1993; Davis and Smith, 1998b). 실제 조사지역 논습지의 수위는 평균 10 cm 미만으로 다양한 도요물떼새류가 이용 가능한 잠재적인 조건을 충분히 가지고 있다. 10 cm 내에

서 형성되는 다양한 수위는 궁극적으로 필지 표층의 관리와 관개강도(irrigation intensity)에 의해 결정된다. 표층의 관리되는 논갈이나 평탄화 작업이 이루어지는 시기에 따라 달라지며, 관개강도는 관개 시간과 유량에 의해 결정된다. 봄철 지역 농업인의 관리 방법의 차이로 인해 필지 별로 다양한 수위의 서식지가 조성된다(Nam et al., 2012; Choi et al., 2014). 이러한 필지 별 다양한 수위는 결국 지형적 다양성을 나타내며, 이러한 지형적 다양성은 서로 다른 종이 동시에 이용할 수 있는 취식공간을 제공한다(Gatto et al., 2008).

논습지에서 관찰된 4종은 서로 다른 취식전략을 이용하였으며, 이러한 취식전략은 결국 서식지 이용의 차이를 유발하였다. 취식전략은 주로 외형적 특성과 관련 있는 먹이 자원의 확인 방법(pre-y detection mechanisms)에 의해 결정되고(Jing et al., 2007) 이러한 차이로 인해 취식효율이 다르게 나타났다. 도요물떼새류에게 중간기착지로 이용되는 논습지는 관리 방식에 따라 다양한 도요물떼새류 종들에게 영향을 미칠 것으로 생각된다. 논습지는 자연습지와 비교하여 인간에 의해 쉽게 조절이 가능한 대표적인 인공습지 중 하나이다. 도요물떼새류는 이동시기에 특정 지역에 집중되는 경향을 나타내기 때문에 서식지 손실과 같은 결과는 그들에게 심각한 위협 요인이 된다(Myers et al., 1987). 따라서 향후 도요물떼새류의 보호를 위해서는 이동시기 도요물떼새류의 도래 패턴과 봄철 영농방법의 관계를 명확히 밝혀 영농방법의 세밀한 조절 및 관리가 필요하다.

## 요 약

본 연구는 봄철 한국 중서부지역 논습지를 중간기착지로 이용하는 도요물떼새류의 취식행동을 확인하여 이들의 서식지 이용 특성을 파악하기 위해 수행되었다. 대상 종은 종달도요, 알락도요, 청다리도요, 흑꼬리도요였으며, 이들은 논습지에서 쉽게 관찰될 뿐 아니라 형태적 차이가 크게 나타난다. 서식지는 봄철 논습지에서 쉽게 확인되는 대표적인 형태인 “갈아엮은 후 물을 댄 필지”, “씨레질 후 5 cm 이하의 수위를 유지하는 필지”, “씨레질 후 5 cm 이상의 수위를 유지하는 필지”로 나누었다. 종달도요는 “갈아엮은 후 물을 댄 필지”를 이용하였고 이때 주로 시각과 촉각 모두 이용하는 취식 방법을 선택하였다. 알락도요와 청다리도요는 “씨레질 후 5 cm 이하의 수위를 유지하는 필지”에서 많이 관찰되었고 시각을 이용한 취식방법을 주로 선택하였다. 흑꼬리도요는 “씨레질 후 5 cm 이상의 수위를 유지하는 필지”를 이용하였고 촉각을 이용한 취식방법을 선택하였다. 본 연구결과를 통해 토양관리와 관개강도에 영향을 받는 수위가 취식지의 접근성과 먹이 발견성에 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다.

## Acknowledgement

Many residents in the study area also kindly allowed us to observe birds on their rice field. We thank Yu-Seoung Choi for valuable discussions

during this research, Won-Ju Jeong and Hwa-Young Jeong for assistance during field surveys.

## References

- Baker, M. C., & Baker, A. E. (1973). Niche relationships among six species of shorebirds on their wintering and breeding ranges. *Ecological Monographs*, 43(2), 193-212.
- Bambaradeniya, C. B., Edirisinghe, J. P., De Silva, D. N., Gunatilleke, C. S., Ranawana, K. B., & Wijekoon, S. (2004). Biodiversity associated with an irrigated rice agroecosystem in Sri Lanka. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1715-1753.
- Choi, S. H., Nam, H. K., & Yoo, J. C. (2014). Characteristics of population dynamics and habitat use of shorebirds in rice fields during spring migration. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 33(4), 334-343.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265-278.
- Cole, M. L., Leslie, D. M., & Fisher, W. L. (2002). Habitat use by shorebirds at a stopover site in the southern Great Plains. *The Southwestern Naturalist*, 47(3), 372-378.
- Collazo, J. A., O'Harra, D. A., & Kelly, C. A. (2002). Accessible habitat for shorebirds: factors influencing its availability and conservation implications. *Waterbirds*, 25(Sp. 2), 13-24.
- Colwell, M. A. (1993). Shorebird community patterns in a seasonally dynamic estuary. *The Condor*, 5(1), 104-114.
- Davis, C. A., & Smith, L. M. (1998a). Behavior of migrants shorebirds in playas of the Southern High Plains, Texas. *The Condor*, 100(2), 266-276.
- Davis, C. A., & Smith, L. M. (1998b). Ecology and management of migrant shorebirds in the Playa Lakes Region of Texas. *Wildlife Monographs*, 140, 3-45.
- Davis, C. A., & Smith, L. M. (2001). Foraging strategies and niche dynamics of coexisting shorebirds at stopover sites in the southern Great Plains. *The Auk*, 118(2), 484-495.
- Dias, M. P., Granadeiro, J. P., & Palmeirim, J. M. (2009). Searching behaviour of foraging waders: does feeding success influence their walking?. *Animal Behaviour*, 77(5), 1203-1209.
- Dinsmore, J. J. (1973). Foraging success of cattle egrets, *Bubulcus ibis*. *American Midland Naturalist*, 89(1), 242-246.



- Elphick, C. S. (2000). Functional equivalency between rice fields and seminatural wetland habitats. *Conservation Biology*, 14(1), 181-191.
- Elphick, C. S. (2010). Why study birds in rice fields?. *Waterbirds*, 33(Sp. 1), 1-7.
- Fasola, M., & Ruiz, X. (1996). The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the Mediterranean region. *Colonial Waterbirds*, 19(Sp. 1), 122-128.
- Gatto, A., Quintana, F., & Yorio, P. (2008). Feeding behavior and habitat use in a waterbird assemblage at a marine wetland in coastal Patagonia, Argentina. *Waterbirds*, 31(3), 463-471.
- Goss-Custard, J. D., & Durell, S. (1990). Bird behavior and environmental planning: approaches in the study of wader populations. *Ibis*, 132(2), 273-289.
- Hollander, M., Wolfe, D. A., & Chicken, E. (2013). *Nonparametric statistical methods*, pp. 67-78, 3th ed. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Holmes, R. T. (1966). Feeding ecology of the Red-backed Sandpiper (*Calidris alpina*) in arctic Alaska. *Ecology*, 47(1), 32-45.
- Ibanez, C., Curco, A., Riera, X., Ripoll, I., & Sanchez, C. (2010). Influence on birds of rice field management practices during the growing season: a review and an experiment. *Waterbirds*, 33(Sp. 1), 167-180.
- Isola, C. R., Colwell, M. A., Taft, O. W., & Safran, R. J. (2000). Interspecific differences in habitat use of shorebirds and waterfowl foraging in managed wetlands of California's San Joaquin Valley. *Waterbirds*, 23(2), 196-203.
- Jing, K., Ma, Z. J., Li, B., Li, J. H., & Chen, J. K. (2007). Foraging strategy involved habitat use of shorebirds at the intertidal area of Chongming Dongtan, China. *Ecol. Res.*, 22(4), 559-570.
- Kim, H. B., Yoo, J. C., & Won, P. O. (1994). Seasonal fluctuations, biometrics, fat and non-fat masses of Dunlins *Calidris alpina sakhalina* migrating to Sammok Island on the west coast of Korea. *Korean Journal of Ornithology*, 1(1), 15-24.
- Leon, M. T., & Smith, L. M. (1999). Behavior of migrating sandpipers at North Dakota prairie potholes. *The Condor*, 101(3), 645-654.
- McNeil, R., & Cadieux, F. (1972). Fat content and flight range capabilities of some adult fall migrant North American shorebirds in relation to migration routes on the Atlantic coast. *Naturaliste Canadien*, 99(6), 589-605.
- Milsom, T. P., Langton, S. D., Parkin, W. K., Peel, S., Bishop, J. D., Hart, J. D., & Moore, N. P. (2000). Habitat models of bird species' distribution: an aid to the management of coastal grazing marshes. *Journal of Applied Ecology*, 37(5), 706-727.
- Mora, M. A. (1992). Habitat use by foraging Cattle Egrets in the Mexicali Valley, Baja California. *The Wilson Bulletin*, 104(1), 142-148.
- Myers, J. P. (1983). Conservation of migrating shorebirds: Staging areas, geographical bottlenecks and regional movements. *American Birds*, 37(1), 23-25.
- Myers, J. P., Morrison, R. G., Antas, P. Z., Harrington, B. A., Lovejoy, T. E., Sallaberry, M., Senner, S. E., & Tarak, A. (1987). Conservation strategy for migratory species. *American Scientist*, 75, 18-26.
- Nam, H. K., Choi, S. H., Choi, Y. S., & Yoo, J. C. (2012). Patterns of waterbirds abundance and habitat use in rice fields. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 31(4), 359-367.
- Nam, H. K., Choi, Y. S., Choi, S. H., & Yoo, J. C. (2015). Distribution of waterbirds in rice fields and their use of foraging habitats. *Waterbirds*, 38(2), 173-183.
- O'Reilly, K. M., & Wingfield, J. C. (1995). Spring and autumn migration in arctic shorebirds: same distance, different strategies. *American Zoologist*, 35(3), 222-233.
- Pianka, E. R. (1973). The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 53-74.
- Recher, H. E. (1966). Some aspects of the ecology of migrant shorebirds. *Ecology*, 47(3), 393-407.
- Skagen, S. K., & Knopf, F. L. (1993). Toward conservation of midcontinental shorebird migrations. *Conservation Biology*, 7(3), 533-541.
- Titman, R. D. (1981). A time-activity budget for breeding Mallards (*Anas platyrhynchos*) in Manitoba. *Canadian Field-Naturalist*, 95(3), 266-271.
- Verkuil, Y., Koolhaas, A., & Van Der Winden, J. (1993). Wind effects on prey availability: how northward migrating waders use brackish and hypersaline lagoons in the Sivash, Ukraine. *Netherlands Journal of Sea Research*, 31(4), 359-374.
- Weber, L. M., & Haig, S. M. (1996). Shorebird use of South Carolina managed and natural coastal wetlands. *The Journal of Wildlife Management*, 60(1), 73-82.
- Yoo, J. C., & Lee, K. S. (1998). Current status of birds on the west coast of Korea and a recommendation for conservation. *Oceanic Research*, 20(2), 131-143.