

먹이 밀도와 수심에 따른 황새 (*Ciconia boyciana*)의 섭식 행동에 대한 사례연구

성하철* · 김정희 · 정석환¹ · 김수경 · 조지연
정미라 · 최유성 · 박시룡

한국교원대학교 생물교육과, ¹환경부 국립생태원건립추진기획단

A Case Study on Foraging Behavior of Oriental White Storks (*Ciconia boyciana*) in the Variation of Prey Density and Water Depth

Hacheol Sung*, Junghee Kim, Seokwan Cheong¹, Sukyung Kim, Jeeyeon Jo,
Mira Cheong, Yu-Seong Choi and Shi-Ryong Park

Department of Biology Education, Korean National University of Education,
Cheongwon, Chungbuk 363-791, Korea

¹National Ecological Institute, Ministry of Environment, Gyunggi 427-801, Korea

Abstract – The Oriental white stork (*Ciconia boyciana*) is an endangered species in Korea as well as in the world. In order to provide information on foraging habitats for releasing storks to the wild, we studied the foraging behavior of the species according to different food densities and water levels. We released two individuals, male and female, after enclosing a study site with a fence and cutting out a part of two or three primary feathers. Research was conducted from 20 June to 16 August 2008 at Whawon-ri, Mewon-myung, Chungcheongbuk-do, South Korea. We investigated habitat patch usage, foraging efficiency, and foraging methods of the feeding individuals in the different food densities and water levels. The storks invested more for foraging time and trials, and they captured more food in a habitat of high food density than others. The female invested more time and captured food most in a habitat of lowest water depth while the male in a habitat of middle water depth. However, foraging efficiency did not differ significantly among habitats of food density and water depth, and only differed between male and female by ways of foraging method. From this study we suggest that the storks select foraging habitats and foraging methods under different conditions of food density and water depth.

Key words : *Ciconia boyciana*, foraging behavior, food density, water depth

서 론

황새 (*Ciconia boyciana*)는 큰 새에 속하며 생태계 최

상위 지위를 차지하는 종으로 황새의 서식을 통하여 서식지 환경의 건강성을 평가할 수 있는 생물 지표종(bio-indicator)이다. 한때 황새는 한국과 일본에서 번식하였으나 현재 이 지역에서 멸종되었고, 세계적으로 계속해서 황새 개체군은 줄어들고 있으며 현재까지 대략 2,500마리가 있는 것으로 추정하고 있다(Birdlife International

*Corresponding author: Hacheol Sung, Tel. 043-230-3712, Fax. 043-233-6263, E-mail. shcol2002@hotmail.com

2001). 이렇게 줄고 있는 주요한 원인으로 인간에 의한 서식지 파괴, 지나친 포획, 번식지 교란, 오염, 그리고 먹이부족 등이 있다(Sonobe and Izawa 1987; Chan 1991; Collar *et al.* 2001). 결과적으로 이 종은 한국에서 멸종위기야생동물I급으로, 세계자연보전연맹(IUCN: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources)에서 멸종위기종으로 등록된 국제적인 보호와 보존 관리가 필요한 종이며 현재 한국과 일본에서는 멸종된 황새를 자연에 복원시키고자 노력하고 있다(Cheong 2005).

황새 보호 및 관리와 자연으로 복원시키기 위해서는 1) 유전적 다양성을 고려한 충분한 황새 개체수 확보가 우선되어야 하며, 이를 바탕으로 2) 야생 방사와 야외 개체군을 위한 서식지 보호와 관리 및 조성이 필요하고 3) 이 종에 대한 기본적인 번식행동과 생태에 대한 정보가 있어야 하며 4) 야생 방사 시 자생력의 회복에 영향을 미치는 제한적 요인을 제거해야 한다. 현재 한국황새복원연구센터에서는 과거 10년 전부터 사육 상태에서 개체수 확보에 주력해 오고 있으면서 조만간 100마리 이상의 개체군을 확보하여 방사할 계획이다. 비록 과거 10여 년 전부터 황새에 대한 연구가 여러 분야에서 간헐적으로 이루어져 왔으나, 대부분 번식행동과 관련된 개체의 섭식행동(섭취하는 먹이 종류와 양, 그리고 어린 개체에 제공하는 먹이 제공 행동)에 관한 연구로 사육장에서 그리고 자연상태에서, 그리고 겨울철 비번식기 동안 이동 경로와 관련해서 섭취하는 먹이 종류와 양에 대하여 조금씩 이루어져 왔다(Coulter *et al.* 1991; Winter 1991; Collar *et al.* 2001; Shimazaki *et al.* 2004; Cheong *et al.* 2006; Cheong *et al.* 2007; Sung *et al.* 2008). 그러나 야생 방사 시 필요한 다양한 서식지 특성과 이에 따른 적응능력에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 멸종위기 종인 황새의 성공적인 야생 복원을 위하여 먼저 서식환경과 섭식행동을 이해하고 추후 야생 방사를 위한 적합한 서식지 조성에 필요한 기초 자료로 쓰기 위하여 진행하였다. 따라서 반자연상태에서 방사된 황새의 다양한 서식지 이용 정도, 먹이 밀도와 수심에 따른 섭식 효율성을 알아보는 데 있다.

재료 및 방법

연구는 충북 청원군 미원면 화원리(36° 41'47"N, 127° 39'26"E) 주변에 인공 황새 방사장에서 실시하였다. 인공 방사장은 약 4,200m² 면적으로 울타리를 2m 높이로 치고, 황새의 한쪽 날개의 첫째날개깃 일부를 잘라 울타리 밖으로 넘지 못하도록 하였다. 황새 방사장 주변의 교

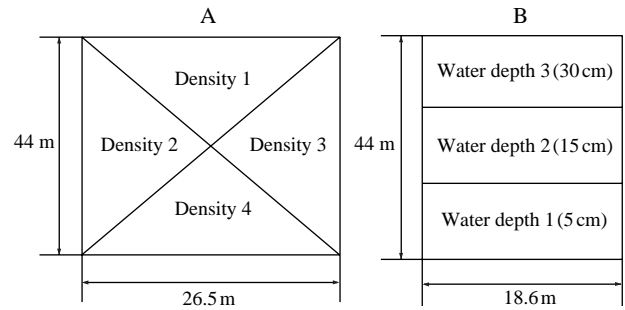


Fig. 1. Schematic diagrams of four types of food density (A: Density 1-no supply, Density 2-2.5 kg supply of mudfish, Density 3-3 kg, Density 4-7.5 kg) and three types of water depth (B).

Table 1. Summary of information on the study animals

Gender	Birth year	Bill length (cm)	Tarsus length (cm)	Wing length (cm)	Weight (g)
Male	2002	27.5	31	68	4.8
Female	2006	23	30	62	4.1

통량은 거의 없으며 내부는 전에 논으로 사용되어 오던 곳으로 산지형 습지를 형성하고 있었으며 서로 다른 서식지 유형(예, 논, 초지, 습지 등)을 만들어 2007년부터 실험에 이용하였다(Sung *et al.* 2008 참조). 그 중 2곳을 선정하여 Fig. 1과 같이 먹이 밀도 및 서식지 수심을 다르게 조성하여 실험에 이용하였다. 방사를 위한 황새 개체는 한국황새복원연구센터 내 공동사육장에 사육 중인 개체 중 먹이 포획능력과 활동도가 우수하고, 개체 간 관계가 우호적인 암수 각 1마리를 선정하였다. 수컷은 2002년생으로 방사 전 몸무게와 부리, 그리고 부척골(tarsus) 길이가 2006년생 암컷보다 더 컸다(Table 1).

밀도가 다른 서식지 유형을 만들기 위하여 논으로 활용되었던 지역을 동일하게 4부분으로 나누었다. 수심은 4부분 모두 부척골(tarsus) 길이의 반 이상 잠기는 대략 20cm 정도를 유지하였으며 4부분으로 나눈 논 독 사이에 작은 고랑을 만들어 물이 지속적으로 흐를 수 있도록 하였다. 먹이자원은 증식장 내 사육 시 '500g 마리⁻¹ 일⁻¹'을 기준으로 결정하였고(Cheong 2005), 일주일에 한 번씩 미꾸라지 15kg(대략 2,100마리)을 1:2:3의 비율로 Fig. 1A와 같이 제공해 주었다. 수심이 다른 서식지 유형을 만들기 위하여 습지로 활용되었던 지역을 황새의 다리가 수중에 잠기는 정도를 기준으로 동일하게 3부분으로 나누었다(Fig. 1B): 1) 수심이 부척골 길이 이상(약 30cm), 2) 부척골 길이의 반이 잠기는 대략 15cm, 그리고 3) 부척골 길이의 1/6이 잠기는 대략 5cm를 유지하였다. 특히 30cm 이상 되는 서식지의 경우 깊은 곳까지

형으로 깊어지므로 논 둑 주변이 처음부터 30cm 이상이 되지 않는 않았다. 먹이는 일주일에 한 번씩 미꾸라지 5kg (대략 600마리)을 3지역에 동일하게 제공해 주었으며 섭식 행동 관찰은 먹이 제공 후 최소 1시간 후부터 이루어졌다.

두 실험을 시작하기 전 서식지 조성 시 땅을 10cm 이상 갈아 엎어 식생 및 먹이 조건을 동일하게 만들었으나 논 둑 사이에 작은 고랑을 만들어 물이 일정량을 유지하면서 지속적으로 흐를 수 있게 하였으므로 서식지 간 먹이 이동을 완전히 통제할 수는 없었다. 첫 번째 실험은 2008년 6월 20일부터 7월 17일까지 5주에 걸쳐 총 24일간 총 64.4시간 관찰하였고, 두 번째 실험은 동년 7월 22일부터 8월 16일까지 총 13일간 총 10.6시간 황새 행동을 관찰하였다. 관찰은 오전 6시부터 오후 6시까지 가능한 시간 동안 암수 황새를 대상으로 각각 최소한 1시간 이상 관찰하였으며 황새의 섭식지 위치, 섭식 행동 유형, 섭식 내용을 기록하였다. 방사장 내에 설치된 2개의 고정식, 그리고 1개의 이동식 CCTV (Closed-circuit television; RS 485, 성진 C & C)를 통하여 직접적으로 관찰하였고, 동시에 동영상으로 전 과정을 녹화하여 추후 자세한 분석에 사용하였다. 섭식은 미꾸라지, 올챙이, 개구리, 육상 및 수서 곤충으로 나누어 기록하였다. 섭식 행동 유형은 González (1997)의 정의에 근거하여 크게 시각섭식 (Visual foraging)과 촉각섭식 (Tactile foraging)의 2가지로 구분하였다. 눈으로 먹이를 쫓으며 물 위에 부리가 위치한 상태에서 먹이를 향해 부리를 물 속에 집어 넣어 잡거나 육상 곤충의 경우 대부분 시각섭식하였다. 반면에 부리의 촉각을 이용하여 먹이를 탐색하는 촉각섭식은 목을 상하로 움직이는 섭식 (Tactile foraging 1: TF1)과 좌우로 움직이며 섭식 (Tactile foraging 2: TF2)하는 2가지로 세분하였다. 또한 2가지 촉각섭식은 다시 일회성 촉각섭식 (pecking)과 다회성 촉각섭식 (group pecking)으로 보다 자세하게 구분하였다. 일회성인지 혹은 다회성 촉각섭식인지는 관찰 대상 황새의 머리 위치를 파악하여 구별할 수 있다. 다회성 촉각섭식의 경우 머리를 숙인 상태 (부리와 물 수면이 거의 90도를 유지한 상태)에서 연속적으로 먹이를 탐색하는 행위인 반면 일회성 촉각섭식의 경우 단순히 한 번 탐색 후 머리의 위치가 원래 위치 (부리와 물 수면이 거의 45도를 유지한 상태)로 돌려지는 행위로 나누었다.

데이터 분석은 개체 · 서식지 유형 · 섭식행동 유형 별 섭식 시간 (sec), 일회성 및 다회성 섭식 시도/초 (pecking and group pecking rate), 섭식량/초 (섭식효율성, foraging efficiency), 걸음수/분을 측정하였다. 이때 이들 데이터의

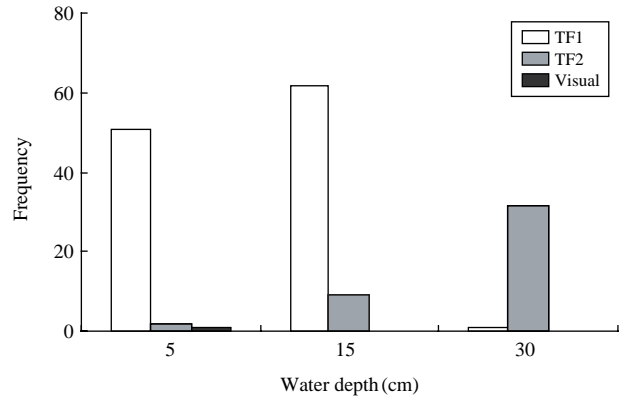


Fig. 2. Frequency of three types of foraging method used by the Oriental White Storks, where tactile foraging (TF) includes TF1 (bowing the neck) and TF2 (Turning away the neck). They used foraging methods not randomly over the three types of water depth habitat ($X^2=106.81$, $df=4$, $p<0.001$).

정규성 (One-sample Kolmogorov-Smirnov test, $p>0.05$)이 충족되지 않았을 때 데이터를 자연로그나 역수, 그리고 제곱근을 취하여 변형시킨 후 정규성을 확보한 후 일원 분산분석 (One-way ANOVA) 혹은 이원분산분석 (Two-way ANOVA)과 사후분석으로 Tukey test를 이용하여 암수와 서식지 유형 별 차이를 알아보았다. 본문의 모든 값은 평균±표준편차로 표기하였다.

결 과

황새 암수는 연구기간 동안 밀도 실험의 경우 전체 먹이수의 86.7%, 수심 실험의 경우 89.8% 가량 미꾸라지를 섭취하였으며, 대부분 촉각섭식에 의해 이루어졌다. 특히 밀도 실험에서는 목을 상하로 움직이며 먹이를 섭식하였고, 수심 실험에서는 수심에 따라 주로 사용하는 섭식방법이 달랐다. 수심이 깊을수록 목을 좌우로 움직이는 방법으로 섭식하였고 얇은 물과 중간 깊이의 물에서는 주로 목을 상하로 움직이며 섭식하였다 (Fig. 2). 이때 목을 상하로 흔드는 방법으로 전체 먹이의 61.8%, 좌우로 움직이는 방법으로 25%를 섭식하였고 시각에 의한 섭식 빈도는 적었다 (Table 2). 따라서 이후 분석은 미꾸라지 촉각섭식과 관련하여서만 분석하였다.

밀도가 다른 4지역의 서식지 유형 중에서 섭식 행동은 암수 모두 4번 지역 (전체 섭식행동 시간의 48%)에서 주로 이루어졌으며, 일회성 및 다회성 섭식 시도 빈도와 섭식량도 가장 많이 이루어졌다 (Table 3). 다음으로 3번 지역 (22.8%)에서 많이 이루어졌고 1번 지역 (11.1%)

Table 2. Frequency of prey types captured by male and female over the time periods of observation according to different foraging methods in two experiments. Parentheses show %

Variable	Male			Female		
	Mudfish	Tedpole	Insect	Mudfish	Tedpole	Insect
Density experiment						
Visual foraging	17 (3.2)	3 (0.6)	0	5 (0.9)	1 (0.2)	0
Tactile foraging						
TF1	236 (44)	23 (4.3)	4 (0.7)	207 (38.6)	33 (6.2)	7 (1.3)
TF2	0	0	0	0	0	0
Subtotal	253 (47.2)	26 (4.9)	4 (0.7)	212 (39.5)	34 (6.4)	7 (1.3)
Water depth experiment						
Visual foraging	17 (8.5)	3 (1.5)	0	5 (2.5)	1 (0.5)	0
Tactile foraging						
TF1	71 (35.7)	4 (2.0)	0	43 (21.6)	2 (1.0)	3 (1.5)
TF2	28 (14)	4 (2.0)	1 (0.5)	15 (7.5)	2 (1.0)	0
Subtotal	116 (58.2)	11 (5.5)	1 (0.5)	63 (31.6)	5 (2.5)	3 (1.5)

Table 3. Comparisons of foraging-related variables between male and female in four types of prey density over the time periods of observation. Parentheses show %. Density 1-control; no mudfish supply; Density 2-supply of mudfish 2.5 kg, Density 3-supply of mudfish 5 kg, Density 4-supply of mudfish 7.5 kg

Variable	Male				Female			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Foraging time (min)	126.7 (6.5)	133.0 (6.8)	167.7 (8.5)	504.2 (25.7)	188.5 (9.6)	123.3 (6.3)	281.2 (14.3)	438.1 (22.3)
No. pecking	959 (4.6)	792 (3.8)	1574 (7.6)	4873 (23.5)	2174 (10.5)	1377 (6.6)	4051 (19.5)	4960 (23.9)
No. group pecking	4245 (8.0)	3915 (7.3)	5811 (10.9)	16489 (30.9)	3998 (7.5)	3419 (6.4)	7078 (13.3)	8408 (15.8)
No. Prey	51 (9.5)	39 (7.3)	64 (11.9)	129 (24.1)	51 (9.5)	39 (7.3)	58 (10.8)	105 (19.6)

Table 4. Comparisons of foraging-related variables between male and female in three types of water depth over the time periods of observation. Parentheses show %

Variable	Male			Female		
	5 cm	15 cm	30 cm	5 cm	15 cm	30 cm
Foraging time (min)	90 (16.8)	131 (24.5)	58.9 (11.0)	87.7 (16.4)	80.5 (15.1)	86.1 (16.1)
No. pecking	910 (13.8)	671 (10.2)	984 (14.9)	1890 (28.6)	1352 (20.5)	803 (12.1)
No. group pecking	3318 (18.8)	4614 (26.2)	2165 (12.3)	2333 (13.2)	2920 (16.6)	2281 (12.9)
No. Prey	35 (17.7)	62 (31.3)	30 (15.2)	32 (16.2)	22 (11.1)	17 (8.6)

과 2번 지역(13.1%)에서는 대체로 비슷한 경향을 보여 주었다. 반면에 수심이 다른 3지역의 서식지 유형에서 측정치는 수컷의 경우 일회성 섭식시도를 제외하고 2번 지역에서 높게 나타났으며, 암컷의 경우 다회성 섭식시도를 제외하고 1번 지역에서 높게 나왔고 수컷과 같이 3번 지역에서 낮게 나타났다(Table 4).

밀도 실험에서 암컷은 수컷보다 미꾸라지를 섭식하기 위하여 더 많은 시간을 투자하였고, 분당 걸음수도 많았고, 목을 상하로 움직이는 일회성 섭식시도 빈도가 높았으나 다회성 섭식시도 빈도와 섭식효율성은 수컷이 암컷보다 높았다(Fig. 3, Table 5). 이들 측정치는 밀도 차이를 가진 지역 간 유의미한 차이는 나타나지 않았다.

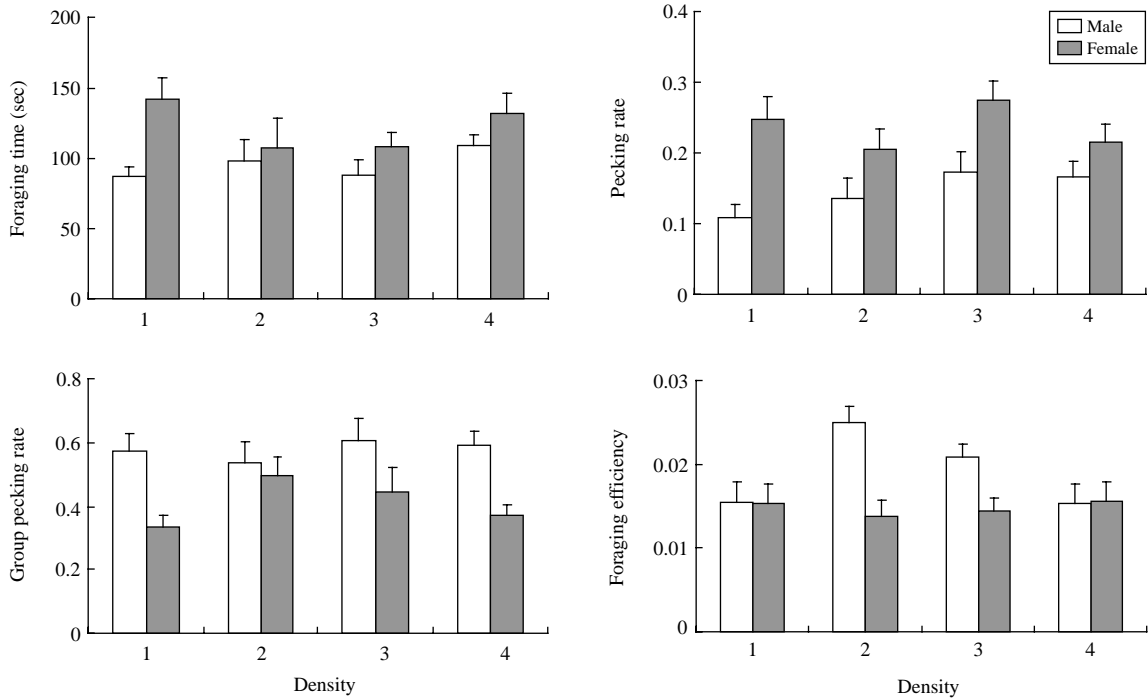


Fig. 3. Comparisons of foraging related measurements between male and female among the four different food densities: Density 1-control; no mudfish supply; Density 2-supply of mudfish 2.5 kg, Density 3-supply of mudfish 5 kg, Density 4-supply of mudfish 7.5 kg.

Table 5. Results of two-way ANOVAs for effects of gender and food density on five measurements of foraging behavior. Data are shown graphically in Fig. 3

Variables	Gender			Density			Gender × Density			Error	
	df	MS	F	df	MS	F	df	MS	F	df	MS
Foraging time rate (sec)	1	72.366	6.458*	3	19.865	1.773	3	9.070	0.808	251	19.865
Step rate	1	46.558	14.146***	3	1.622	0.493	3	1.532	0.465	251	3.291
Pecking rate	1	0.754	22.563***	3	0.051	1.520	3	0.018	0.553	251	0.033
Group pecking rate	1	0.952	19.489***	3	0.017	.353	3	0.071	1.460	251	0.04
Foraging efficiency	1	0.001	5.277*	3	0.001	.974	3	0.001	1.983	96	0.001

*P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001

수심 실험에서 목을 상하로 움직여 축각섭식하는 암컷은 수컷보다 미꾸라지를 섭식하는 데 더 많은 시간을 투자하였고, 분당 걸음수도 많았으며 특히 분당 걸음수는 수심이 제일 얇은 5cm 지역에서 중간 깊이의 15cm 지역보다 의미있게 더 높았다(Table 5, Fig. 4A). 또한 분당 일회성 축각 섭식시도 빈도는 암컷이 수컷보다 더 높았고 수심에 따라 의미있는 차이를 보였다. 중간 깊이 15cm 지역에서의 빈도는 가장 낮았으며 가장 깊은 30cm 이상 지역에서는 수컷 만이 목을 상하로 움직여 축각 섭식을 하였고, 사후 분석 결과 중간 깊이 지역에서의 빈도는 가장 얇은 지역과 가장 깊은 지역 간 의미있는 차이를 보였다(Fig. 4B). 그러나 섭식효율성은 수컷이 암컷보다 높았다(Fig. 4C). 목을 좌우로 움직여 축각섭식 시

암수 간 유의미한 차이는 전 측정치에서 나타나지 않았으나 분당 일회성 축각 섭식시도 빈도의 경우 수심에 따라 의미있는 차이를 보여주었다. 수심 30cm 이상에서 가장 높은 빈도를 보여주었으며 사후 분석 결과 수심 30cm 이상에서의 빈도는 수심 5cm와 15cm에서의 빈도 간 차이를 보여주었다(Fig. 4D).

고 찰

본 연구는 자연적 환경에 방사된 황새가 먹이 밀도에 따라 섭식 지역을 선택할 수 있음을 보여주고 섭식효율성은 개체에 따라 혹은 섭식 방법에 따라 다르게 나타

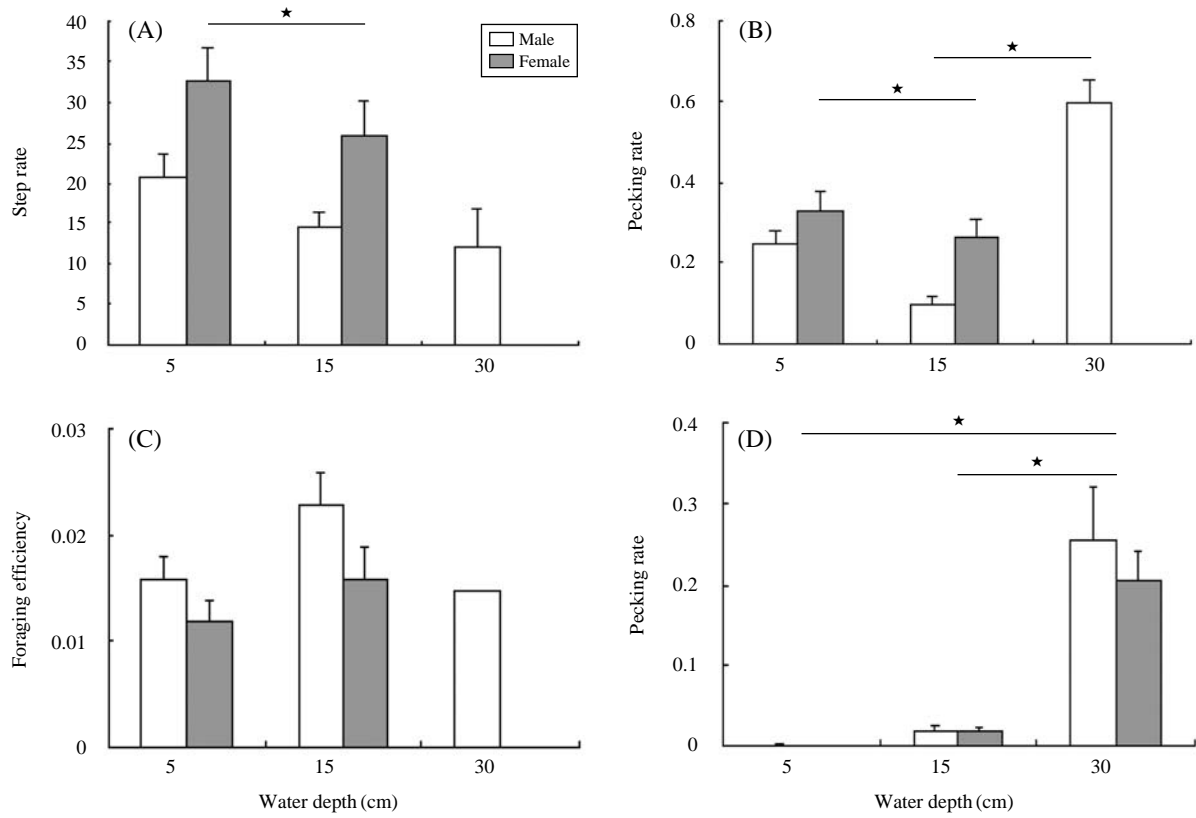


Fig. 4. Comparisons of foraging related measurements between male and female among the three water depths: A, B, C-Tactile foraging 1 (TF1); D-Tactile foraging 2 (TF2). Asterisks indicate where water depths are significantly different according to Turkey’s post hoc tests.

Table 6. Results of two-way ANOVAs for effects of gender and water depth on five measurements of foraging behavior according to foraging methods. Data are shown graphically in Fig. 4

Variables	Gender			Water depth			Gender × Water depth			Error	
	df	MS	F	df	MS	F	df	MS	F	df	MS
Tactile foraging 1 (TF1)											
Foraging time rate (sec)	1	1.595	9.380**	2	0.239	1.404	1	0.176	1.036	210	0.170
Step rate	1	2.474	9.477**	2	0.814	3.119*	1	0.198	0.759	210	0.261
Pecking rate	1	0.072	9.832**	2	0.109	14.847***	1	0.010	1.431	210	0.007
Group pecking rate	1	0.021	1.167	2	0.033	1.867	1	0.027	1.522	210	0.018
Foraging efficiency	1	0.010	3.918*	2	0.003	1.043	1	0.001	0.267	109	0.002
Tactile foraging 2 (TF2)											
Foraging time rate (sec)	1	0.591	2.909	2	0.200	0.987	1	0.157	0.775	104	0.203
Step rate	1	0.874	3.237	2	0.270	0.998	1	0.417	1.544	104	0.270
Pecking rate	1	0.001	0.022	2	0.040	6.013**	1	0.001	0.133	104	0.007
Group pecking rate	1	0.003	0.330	2	0.004	0.418	1	0.012	1.347	104	0.009
Foraging efficiency	1	0.004	1.464	2	0.001	0.298	1	0.006	2.295	38	0.003

*P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001


날 수 있음을 보여준다.

황새는 동일한 서식지 조건과 먹이 조건(미꾸라지)하에서 거의 대부분 촉각을 이용하여 먹이 밀도가 높은 지역에서 섭식하는 데 더 많은 시간을 투자하였고 많이 걸으면서 섭식 시도와 섭식량을 증가시켰다. 이는 먹이

밀도와 발견율이 높아 먹이를 마주칠 확률이 섭식행동시 최적으로 나타났기 때문일 것이다(Krebs *et al.* 1981). 특히 촉각을 이용하여 섭식하는 대형 섭금류(황새와 따오기류)는 시각적으로 섭식하는 다른 조류종보다 먹이 밀도가 높을수록 섭식 성공이 높다는 이전의 연구결과

와도 일치한다(Kushlan *et al.* 1985, Frederick and Spalding 1994). 그러나 먹이 밀도가 높다고 먹이 이용율이 같다고 말할 수 없을 것이다(Boutin 1990). 왜냐하면 분당 섭식효율성은 서식지 간 차이가 나타나지 않았기 때문이다. 이것의 가능한 원인으로 1) 포식자에 반응하는 피식자의 행동에 변형이 있을 수 있고, 2) 서식 환경의 복잡성 차이, 혹은 3) 수심에 따른 접근성의 제한이 있을 수 있다(Charnov *et al.* 1976; Gamauf *et al.* 1998). 본 연구에서는 서식지 복잡성과 수심 조건을 일정하게 유지하였으므로 피식자의 행동으로 인한 섭식효율성의 먹이 밀도 서식지 간 차이가 나타나지 않았을 수 있다. 단지 암수 간 차이는 있었다. 암수 모두 머리를 상하로 움직이는 측각섭식을 하였으며 수컷의 섭식효율성이 암컷보다 높았다. 같은 장소에서 2007년 실시한 섭식행동 연구 결과를 보면 2008년 결과와 같이 암컷이 수컷보다 섭식에 보다 많은 시간을 소비하였으나 섭식효율성은 암수 간 차이가 없었다(Sung *et al.* 2008). 이때 암수 간 섭식효율성의 차이 원인에는 여러 가지 요인이 있을 수 있을 것이다. 1) 나이와 경험 차이에서 오는 섭식 성공 능력의 차이, 즉 2007년 방사한 암수는 1년 차이인 반면 2008년 방사한 암수는 4년 차이가 난다. 그리고 2) 섭식 방법의 차이가 있다. 암컷은 일회성 섭식시도가 많았던 반면 수컷은 다회성 섭식시도가 많았다. 따라서 다회성 섭식시도가 일회성 섭식시도보다 먹이를 잡는 데 효율적일 수 있다.

또한 본 연구는 수심이 다른 서식지에 따라 선호하는 먹이 섭식 장소와 섭식 행동 유형이 달라질 수 있음을 보여준다. 수컷은 중간 수심에서 그리고 암컷은 비록 큰 차이는 아니지만 얇은 수심에서 상대적으로 오래 머물며 섭식량을 증가시켰다. 가장 깊은 수심에서 암수 모두 가장 적은 섭식량을 보여주었다. 이는 수심에 따라 섭금류의 다리 길이나 부리가 먹이 접근을 제한하기 때문일 수 있으며 깊은 물일수록 걷는 데 저항으로 인해 에너지 손실이 있을 수 있기 때문이다(Powell 1987, Ntiemoabaidu *et al.* 1998). González (1997)는 황새와 같이 측각섭식행동을 하는 대형 섭금류인 Wood Storks (*Mycteria americana*)에 대한 야외 연구를 통하여 이 종이 성공적으로 섭식하기 위하여 높은 먹이 밀도가 있는 얇은 물이 필요하다고 제안했다. 또한 많은 연구는 수심의 변화가 다른 섭금류의 먹이 서식지 이용에 상당한 영향을 준다고 보고하고 있다(Powell 1987; Lorenz 2000; Gawlik 2002). 본 실험에서 실제 암수의 걸음수를 서식지 간 비교해 보면 의미있는 차이를 보여주었으며 ($F_{2, 321}=3.429$, $p=0.034$), 얇은 수심에서 걸음수가 가장 많았고 사후분석 결과 얇은 수심에서의 걸음수는 중간과 깊은 수심에

서의 걸음수와 의미있는 차이를 보여주었다. 따라서 가장 얇은 수심에서 활발하게 움직였음을 알 수 있으며 깊은 수심에서 더 적은 섭식량은 수심과 관계가 있음을 알 수 있다. 그러나 실제 암컷의 서식지 이용시간을 보면 서식지 간 큰 차이를 보여주지 않았다. 또한 먹이 밀도 실험에서처럼 수심이 다른 서식지 간 섭식효율성의 차이도 없었다. 이 결과는 수심이 증가할수록 섭식자의 먹이에 대한 접근성이 제한되어 상대적으로 더 적게 이용될 것이라는 예상과 다르다. 이는 본 실험에서 조성된 가장 깊은 수심의 서식지가 논둑으로부터  형태로 서서히 깊어지므로 서식지 주변을 걸어나가면서 섭식하는 모습이 상당한 시간 동안 관찰되었고, 이렇게 주변을 돌아다니는 데 큰 어려움이 없었을 것이다.

수심에 따른 섭식효율성에 대한 차이는 없었지만 머리를 좌우로 움직이는 측각섭식방법을 이용한 수컷의 섭식효율성은 암컷보다 높았다. 암컷은 수컷보다 얇은 물과 중간 깊이의 수심에서 많은 시간 소비하고, 많이 걸으면서 일회성 섭식시도를 증가시켰으나 깊은 물에서는 머리를 상하로 움직이는 섭식시도를 하지 않았다. 암수 간 섭식효율성의 차이는 위에서 기술한 바와 같이 여러 가지 요인이 있을 수 있으나 그 중에서도 수컷이 이용한 다회성 섭식시도 방법이 더 효율적이라면 깊은 물에서 암컷의 낮은 섭식효율성도 한 요인이 될 수 있다. 이에 비하여 머리를 좌우로 움직이는 섭식방법은 암수 모두 주로 깊은 물에서 이용하였으며 섭식효율성에서 암수 차이가 나타나지 않았다. 이는 물이 깊어질수록 먹이 활동 공간의 확대로 인하여 포식자 회피 가능성이 높으며 더불어 물의 투명도 또한 바닥에서 주로 생활하는 미꾸라지의 포식율에 영향을 주었을 것이다(Gawlik 2002).

암수 간 섭식행동의 가장 큰 차이가 깊은 수심에서 나타났다. 암컷이 주로 좌우로 움직이는 섭식행동을 보여준 반면 수컷은 암컷에 비하여 깊은 물에서 머리를 좌우 및 상하로 움직이는 섭식행동을 하였다. 그러나 그 빈도를 보면 깊은 물에서 좌우로 움직이는 섭식행동이 주로 나타났다. 섭금류는 먹이효율성을 증가시키기 위하여 다양한 서식지 환경 조건에 따라 다양한 섭식행동을 보여준다. Kushlan (1978)는 이들 섭금류가 34가 된다고 기록하고 있으며 최근에 Kelly *et al.* (2003)는 먹이를 떨어뜨리는 행동을 포함하여 35를 제안하였다. 이것은 중간뿐만 아니라 종 내 개체의 다양한 섭식행동이 먹이 및 서식지 선택, 그리고 효율성과 관련되어 있음을 보여준다. 따라서 이에 대한 보다 세밀한 연구는 황새의 야생 방사 시 먹이 서식지 조성과 관련하여 귀중한 정보를 제공할 것이다.

적 요

멸종위기종 황새의 야생 방사를 위한 먹이 서식지 조성 시 필요한 정보를 제공하고 야생 황새의 먹이 서식지 보호와 보존을 위한 기초 자료를 제공하고자 연구를 시작하였다. 이를 위하여 충북 청원군 미원면 화원리에 있는 산지형 습지 일부에 울타리를 치고 황새 암수의 한 쪽 날개의 첫째날개깃 일부를 잘라 방사하여, 6월 20일부터 8월 16일까지 서식지 먹이 밀도와 수심 변화에 따른 서식지 이용률 및 섭식행동 특성을 파악하였다. 황새는 밀도가 높은 서식지에서 오랫동안 머물며 섭식시도와 섭식량을 증가시켰으며 수심에 따라 암컷은 수심이 얇은 서식지에서 그리고 수컷은 중간 깊이의 서식지에서 섭식시간과 섭식량을 증가시켰다. 그러나 섭식효율은 밀도와 수심과 관련없이 의미있는 차이가 없었다. 단지 암수 간의 섭식효율성이 밀도에 따라 그리고 수심이 다른 서식지에서 섭식행동에 따라 다르게 나타났다. 따라서 본 연구를 통하여 반자연적 환경에 방사된 황새가 먹이 밀도에 따라 섭식 지역을 선택할 수 있음을 보여주었고 섭식효율은 개체에 따라 혹은 섭식 방법에 따라 다르게 나타날 수 있음을 보여주었다.

사 사

이 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업 프로젝트 21”에 의해 지원 받았습니다.

참 고 문 헌

- Birdlife International. 2001. Threatened birds of the world. Barcelona and Cambridge: Lynx Edicions and Birdlife International.
- Boutin S. 1990. Food supplementation experiments with terrestrial vertebrates: patterns, problems, and the future. Canadian Journal of Zoology 68:3-220.
- Chan S. 1991. The history and current status of the oriental white stork. Hong Kong Bird Report, 1990. pp.128-148.
- Charnov EL, GH Orians and K Hyatt. 1976. Ecological implications of resource depression. Am. Nat. 110:247-259.
- Cheong S. 2005. Development of propagation-husbandry techniques and behavioral ecology of the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana*) in captivity: for the future reintroduction and conservation in Korea (PhD dissertation). Korea National University of Education, Chungbuk.
- Cheong S, HC Sung and Park SR. 2007. A new method for sexing Oriental White Storks. J. Field Ornithol. 78:329-333.
- Cheong S, SR Park and HC Sung. 2006. A case study of the breeding biology of the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana*) in captivity. J. Ecol. and Field Biol. 29:69-74.
- Collar NJ, AV Andreev, S Chan, SMJ Crosby, S Subramanya and JA Tobias. 2001. Threatened birds of Asia: the BirdLife International red data book. BirdLife International, Cambridge, UK.
- Coulter MC, W Qishan and CS Luthin. 1991. Biology and Conservation of the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana*). Savannah River Ecology Laboratory, South Carolina.
- Frederick PC and MG Spalding. 1994. Factors affecting reproductive success of wading birds (Ciconiiformes) in the Everglades ecosystem. pp.659-691. In Everglades: the Ecosystem and Its Restoration (Davis S and JC Ogden eds.). St. Lucie Press, Delray Beach, Florida.
- Gamauf A, M Preleuthner and H Winkler. 1998. Philippine birds of prey: interrelations among habitat, morphology and behavior. Auk 115:713-726.
- Gawlik DE. 2002. The effects of prey availability on the numerical response of wading birds. Ecol. Monogr. 72:329-346.
- González JA. 1997. Seasonal variation in the foraging ecology of the Wood Stork in the southern llanos of Venezuela.
- Kelly JF, DE Gawlik and DK Kieckbusch. 2003. An updated account of wading bird foraging behavior. Wilson Bulletin 115:105-107.
- Krebs JR, JA Houston and EL Chamov. 1981. Some recent development in optimal foraging. pp.3-17. In Foraging Behavior: Ecological, Ethological, and Psychological Approaches (Kamil AC and TD Sargent eds.). New York, Garland STPM Press.
- Kushlan JA. 1978. Feeding ecology of wading birds. pp.249-248. In Wading Birds (Sprunt A, IVJC Ogden and S Winkler eds.). Research report no. 7 of the National Audubon Society. National Audubon Society.
- Kushlan JG, G Morales and P Frohring. 1985. Foraging niche relations of wading birds in tropical wet savannas. Ornithol. Monogr. 36:663-682.
- Lorenz JJ. 2000. Impacts of water management on Roseate Spoonbills and their piscine prey in the coastal wetlands of Florida Bay. Ph.D. Dissertation, University of Miami, Coral Gables FL.
- Ntiamoa-Baidu Y, T Piersma, P Wiersma, M Poot, P Battley and C Gordon. 1998. Water depth selection, daily feeding routines and diets of waterbirds in coastal lagoons in Ghana. Ibis 140:89-103.
- Powell GVN. 1987. Habitat use by wading birds in a subtropical estuary: implications of hydrography. Auk 104:740-749.

- Shimazaki H, T Masayuki and H Higuchi. 2004. Migration routes and important stopover sites of endangered oriental white storks (*Ciconia boyciana*) as revealed by satellite tracking. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue 58:162-178.
- Sonobe K and N Izawa. 1987. Endangered bird species in the Korean peninsula. Tokyo: Wild bird society of Japan, Museum of Korea Nature.
- Sung H, S Cheong, J Kim, S Kim and SR Park. 2008. A case study of foraging time budget and habitat selection of oriental white storks (*Ciconia boyciana*) in natural state. Korean J. Environ. Biol. 26:121-127.
- Winter SW. 1991. Diet of the oriental white stork (*Ciconia boyciana*) in the middle Amur region, USSR. pp.31-45. In Biology and Conservation of the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana*) (Coulter MC, W Qishan and CS Luthin eds). Savannah River Ecology Laboratory, South Carolina.

Manuscript Received: February 4, 2009
Revision Accepted: March 24, 2009
Responsible Editor: Du Pyo Lee