

도시에서 서식하는 원앙과 오색딱다구리의 서식 적합성 지수(HSI) 모델 개발*

박준영¹⁾ · 송영근²⁾

¹⁾ 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 학생 · ²⁾ 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 교수

Development of Habitat Suitability Index (HSI) Model for Mandarin duck (*Aix galericulata*) and Great spotted woodpeckers (*Dendrocopos major*)*

Park, June-Young¹⁾ and Song, Young-Keun²⁾

¹⁾ Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Student,

²⁾ Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Professor.

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop the Habitat Suitability Index (HSI) for habitat environments of *Aix galericulata* (*A. galericulata*) and *Dendrocopos major* (*D. major*), which tend to inhabit urban environments. *A. galericulata* and *D. major* are the keystone species representing the ecosystem of wetlands and forests. Based on the analysis of their urban habitat environments, this study selects artificially adjustable levels of the environmental index in order to produce the HSI model, which can be used when either restoring or creating the urban habitats for these species. To develop the HSI, we conducted field surveys at Jungnangcheon Stream, Changgyeonggung, Jangneung, Bangbae Neighborhood Park, Gildong Ecological Park, and Seodalsan Mountain. These surveys were conducted between April and August 2020, and this period includes the breeding season of both *A. galericulata* and *D. major*. Based on our findings from the surveys, we conclude that there are six SI factors for *A. galericulata*. These include (1) the presence of alluvial islands, (2) waterfront vegetation cover rate, (3) type of aquatic plants for food, (4) size of forest patch, (5) type of trees

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(No. 2019002760001). 또한 원앙과 오색딱다구리의 모니터링 데이터는 네이처링의 시민과학자분들에 의해 기록된 소중한 자료를 활용했습니다.

First author : Park, June-Young, Dept. of Landscape Architecture,
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Student,
Tel : +82-2-880-8860, E-mail : druidy@snu.ac.kr

Corresponding author : Song, Young-Keun, Dept. of Landscape Architecture,
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Professor,
Tel : +82-2-880-8860, E-mail : songyoung@snu.ac.kr

Received : 10 November, 2020. **Revised** : 26 February, 2021. **Accepted** : 23 February, 2021.

in nearby forests, and (6) connectivity of waterfront and forest. We also conclude that there are five SI factors for *D. major*, which include (1) size of forest patch, (2) rate of broadleaf trees in forest patches, (3) type of nesting trees, (4) diameter at breast height (DBH) of nesting trees, and (5) density of dead trees. The result of this research can provide future studies with useful guidance when both (1) comparing the habitat suitability of the target species in different environments and (2) restoring or creating habitats for these species

Key Words : *Aix galericulata*, *Dendrocopos major*, *Ecological Restoration*, *HEP(Habitat Evaluation Procedure)*, *Replacement Habitats*,

I. 서 론

원앙(*Aix galericulata*)은 오리과의 조류로 한국, 대만, 일본 등 일부 극동 아시아에서 서식하며 (Kim et al. 2001) 대한민국 전역 하천에서 볼 수 있는 텃새이자 겨울철새로(Gore and won, 1971) 천연기념물 제327호로 지정되어 있다. 원앙은 수생식물의 뿌리 및 나무 열매와 곤충류, 개구리, 작은 민물고기 등을 먹이로 삼으며 하천, 호소 등에 서식하며 채식지로 활용되는 육상 식생대에서 주로 생활한다(kim et al., 2001). 곤충, 물고기, 수생식물 등 다양한 습지의 생물자원을 먹이로 하고 은신과 휴식에 필요한 식생 구조 등을 필요로 하여 습지 생태계를 반영하기 때문에(Mistry et al, 2008) 하천의 생물다양성을 나타내는 깃대종으로 자주 거론된다(Kushlan, 1993).

오색딱다구리(*Dendrocopos major*)는 딱다구리과에 속하며 주로 산림에서 생활하며 주요 먹이로 곤충과 거미, 식물의 열매를 먹는다(Won & kim, 2012). 또한 일차구멍둥지종(primary cavity nesters)로서 번식기 이전에 전국의 낙엽 활엽수림, 참목림의 여러 나무에 구멍을 파서 둥지를 만드는 것으로 알려져 있으나 간혹 침엽수나 건물 외벽에도 구멍을 내기도 한다. 여러 나무에 만든 나무 둥지 중 한곳에 산란하며 고사목을 섭식 장소 및 둥지로 활용하는 모습을 볼 수 있다(Pasinelli, 2007; Smith, 2007). 딱다구리의 둥지는 호반새, 파랑새, 원앙 및 하늘다

람쥐 등 다른 동물의 서식처가 될 수 있으므로 산림 생물종의 다양성 및 개체 수와 밀접한 관계가 있기 때문에(Martin et al., 2004; Virkkala et al., 2006; Pasinelli 2007) 산림 생물종의 보존을 돕는 핵심종(keystone species)이며(Kotaka and Matuoka 2002; Park et al., 2011; Gil Tena et al., 2012) 산림 생물 다양성을 나타내는 지표종의 역할도 가능하다(Mazgajski & Rejt, 2006; Virkkala et al., 2006).

본 연구에서는 도시의 녹지와 습지에서 서식하는 야생 조류인 원앙과 오색딱다구리의 서식 환경을 분석하고 객관적으로 평가 가능한 서식 적합성 지수(Habitat Suitability Index; 이하 HSI)를 만들고자 한다. 위의 두 종을 목표종으로 선정하는 이유는 원앙과 오색딱다구리는 위에 나타난 바와 같이 각각 습지와 산림의 생태의 지표종이며 오색딱다구리의 나무 둥지는 자연적인 원앙의 산란지로 사용된다는(No et al., 2016) 접점이 있는 두 종을 선정하였다.

본 연구에서 다루는 HSI는 미국 어류 및 야생동물 관리국에서 개발된 서식지의 가치를 정량적으로 나타낼 수 있는 지표로 (U.S. Fish and Wildlife Service, 1980) 생물종의 서식지에 대하여 질, 시간, 공간적인 관점의 평가 기준을 적용하여 종합적으로 생태계를 평가하는 방법인 서식지 평가 절차(Habitat Evaluation Procedure: HEP) 중에서 질적인 부분의 평가 방법으로 사용되며, 여러 대상지 간의 비교가 될 정도의 수

Table 1. Study sites

Target species	Study site	Location
<i>Aix galericulata</i>	Jungnang stream (Sangdo-Changdong Bridge)	Sanggye-dong, Nowon-gu, Seoul
	Chudangji , Changgyeong palace	Waryong-dong, Jongno-gu, Seoul
	Yeonji , Jangneung	Pungmu-dong, Gimpo-si, Gyeonggi-do
	* Gyeongju National Park	Hyeongok-myeon, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do
	* Geumgang river (Buyeo~Hwangsang Bridge)	Buyeo-gun, Chungcheongnam-do
	* Andong lake , Nakdonggang river	Waryong-myeon, Andong-si, Gyeongsangbuk-do
<i>Dendrocopos major</i>	Bangbae neighborhood park	Bangbae-dong, Seocho-gu, Seoul
	Gildong ecological park	Gil-dong, Gangdong-gu, Seoul
	Mt. Seodal	Dongjak-dong, Dongjak-gu, Seoul
	* Paldang Lake , Hangang river	Namjong-myeon, Gwangju-si, Gyeonggi-do
	* Bukhansan National Park	Jeongneung-dong, Seongbuk-gu, Seoul
	* Sokrisan National Park	Hwabuk-myeon, Sangju-si, Gyeongsangbuk-do

* Literature habitat for comparison : no detailed scope of survey data.

치화를 통해 서식지의 평가에 활용이 가능하다.(Tanaka, 2006) 또한 HSI는 목표종의 서식지 환경요소와 그 변수에 따라 서식환경의 최소한의 요구 조건을 제시할 수 있으며(Shim et al., 2014) 서식지의 환경을 지도화하여 보전가치가 높은 서식지를 도출할 수도 있다. HSI는 서식지의 질을 대변하는 환경요소들을 정량화하여 대상지의 서식 환경을 객관적으로 평가하고 서식 가능한 지역을 예측 가능케 하는(Gibson et al., 2004) 장점을 활용하여 서식지 모형의 개발이 가능하다.(kim et al., 2013).

본 연구에서 개발할 HSI의 평가 요소인 적합성 지수(Suitability index : 이하 SI)는 문헌조사를 통한 자료 수집과 현장 조사를 실시하여 실제 현장에서 추출되고 선정된 SI를 적용하고 각 대상지의 평가를 실시하는 순서로 진행하였다. 특히 SI는 최대한 인위적으로 조절이 가능한 수준의 요소로 선정하여, 실제 서식지를 조성 또는 복원 시에 활용 가능하도록 하는 것을 목표로 한다.

II. 연구방법

1. 목표종 서식지 현황 및 생태 문헌조사

목표종의 생활사 및 월동지, 산란 및 번식지,

채식지 등 서식 환경 조사를 위해 국내외 논문 22편과 보고서 8편 등의 관련 문헌을 참고하였다. 또한 각각의 목표종과 비슷한 환경에서 서식하는 조류종의 선행연구 또한 참고하여 목표종의 SI 요소를 고찰하였다.

목표종의 서식현황은 문헌 조사를 통해 예상 서식지를 파악하고 조류 동시 센서스(환경부, 2018; 2019), 국립공원 자연자원조사 (국립공원연구원, 2014;2017;2019)등 문헌상에서 개체의 발견 기록이 남아 있는 서식지를 확인하여 참고하였다. 특히 도시에서 출현하는 개체의 확인을 위해 시민 참여형 웹 기반 모니터링 플랫폼인 네이처링을 적극 활용했다. 목표종인 원앙과 오색딱다구리 두 목표종 출현에 대한 2020년 3월부터 8월 사이의 최근 관찰기록 데이터들을 본 연구를 목적으로 공식적으로 요청해 받은 자료를 통해 최근의 관찰 지점들을 확인할 수 있었다. 여러 서식지 중에서 서울과 경기도 인근 도심지 주변에 나타난 데이터들을 선별하였으며 특히 원앙의 서식 환경 조사 대상지 선정에 주로 참고하였다. 또한 비교적 자연 유지되는 서식지와, 인공적으로 조성 또는 관리되는 유형 등 조금씩 다른 유형의 비교해 보았으며, 또한 면적의 차이가 단계적으로 나타내는 서식지를

선정하여 비교하고자 하였다.

문헌자료를 종합한 결과 원앙의 서식환경의 요소로 습지, 번식지, 채식지, 먹이자원을 중점으로 조사 계획을 세웠으며 네이처링의 관찰 기록에 따라 빈번히 관찰된 지점을 답사하여 실제로 개체가 목격된 지점을 대상지로 선정하였다. 그 결과 도봉산 및 수락산에 인접한 계류가 모여 한강으로 이어지는 자연하천인 중랑천 그리고 과거에 조성된 인공 연못인 창경궁의 춘당지와 경기도 김포시의 장릉의 연지를 현장 조사 대상지로 선정하였다. 또한 경주국립공원과 금강 및 낙동강의 위성사진, 임상도 등 문헌 자료를 HSI 모델에 대입 적용하여 비교 확인하기 위한 비교 대상지로 선정하였다.

또한 오색딱다구리 서식지는 조사된 장소들 중에서 국립공원 등 대형 산림, 녹지를 제외하였으며, 도시 내 파편화된 녹지 패치 중에서 선정하고자 하였다. 조사 대상 서식지는 자연 서식지인 현충원 주변의 서달산, 우면산에서 남부순환도로로 단절되어 파편화 녹지인 방배근린공원과 인위적으로 오색딱다구리의 서식환경이 조성되고 유지 관리되는 길동생태공원을 현장 조사 대상지로 선정하였으며, 북한산과 속리산 국립공원과 팔당호의 문헌자료를 기반으로 HSI 모델에 적용하여 비교 확인하고자 하였다(Table 1).

2. 목표종 서식지 현장 조사

문헌조사에서 나타난 서식 환경의 유형 및 서식지 현황을 토대로 선정된 도시의 서식지를 조사하였으며 조사 기간은 두 대상종의 산란기가 포함된 2020년 4월부터 8월 사이에 조사를 진행했으며 주요 동선을 따라 각 대상지마다 3~5회 조사 진행하였다(Table 2). 개체 목격 지점을 중심으로 먹이자원, 은신처, 위협요소 등을 조사하고 기록하였다. 연못과 같이 서식 환경이 비교적 좁은 대상지는 연못의 주변을 따라 이동하며 전체적인 환경과 반경 20m의 환경을 조사하였으며, 산림의 경우 기존 등산로를 기준으로 이동하

였고 하천의 경우 하천변 따라 이동하며 선조사법에 따라 25m 내에 출현하는 개체를 육안과 쌍안경(12×50)으로 탐색하였으며 원앙의 경우 개체 관찰 지점 주변 25m내의 식생 현황 등의 환경을 조사하였으며 딱다구리의 경우 등지와 습식 혼이 발견된 나무를 중심으로 10m X 10m의 방형구 내의 수목 밀도, 수종을 조사하였다.

3. 목표종 HSI 항목 개발 및 기준 선정

대상종의 SI 요소를 선정하기 위해 사전 문헌 조사를 통해 목표종 별 대표적인 서식 환경, 먹이자원, 월동지, 등지에 관해 조사하였으며 오색 딱다구리와 비교적 가까운 큰오색딱다구리, 쇠 딱다구리의 등지 및 생활사 연구(Lee, 2000; yang et al, 2009; Lee, 2013; Heo, 2014)와 원앙의 생태 및 다른 오리과 조류의 서식 환경, 생활사 등의 연구(kim et al., 2001, Choi et al., 2012)를 고찰하였으며 전문가의 자문을 구하였다. 문헌상 나타난 서식 조건으로 번식지, 채식지, 먹이자원으로 크게 나눌 수 있었으며 서식지 현장 조사 결과를 토대로 공통적으로 나타난 환경 요소인 SI의 후보를 선정하고 각 SI 후보의 객관성 및 타당성을 검토하였으며 추가적으로 필요한 문헌 조사와 개체의 추가적인 확인 및 서식 환경을 조사하기 위해 현장조사를 수차례 추가로 실시하여 SI 항목을 최종적으로 선정하였다.







III. 연구결과 및 고찰

1. 목표종 서식지 현장 조사 결과

1) 원앙

원앙 서식지 현장 조사 결과 공통적으로 하천과 연못 주변에 정수식물이 우거진 곳에서 개체 목격이 빈번했으며 인공섬이나 모래 위에서 휴식하는 모습을 볼 수 있다. 수변과 인접한 산림의 주요 임상은 굴참나무, 상수리나무, 기타활엽수로 참나무류와 아까시나무 등이 섞인 활엽수 우점 혼효림의 형태로 나타났다. 대상지 중 중

Table 2. Summary of habitats field survey, survey path, survey date, target species observation point

Target species	Study site		
<p><i>Aix galericulata</i></p>			
	<p>Site : Jungnang stream (4.8 km) date : 20-June, 19-July, 16-Aug</p>	<p>Site : Chudangji (0.5 km) date : 9,23-May, 26-July, 15-Aug</p>	<p>Site : Yeonji (0.8 km) date : 14,16-May, 20-July, 23-Aug</p>
<p><i>Dendrocopos major</i></p>			
	<p>Site : Bangbae park (1.4km) date : 9-April, 23-May, 18-June, 17-July, 22-Aug</p>	<p>Site : Gildong park (1.2 km) date : 8,9-April, 18-July</p>	<p>Site : Mt. Seodal (1.8 km) date : 23-May, 18-June, 17-July, 22-Aug</p>

■ : Observation point of target species

랑천의 주요 식생은 수변의 관목과 초본이 많이 분포하며 특히 수생식물로는 갈대 등의 정수식물이 많이 분포하고 있다. 중랑천의 상류 쪽의 산림과 맞닿아 있는 지역은 차량과 보행자가 이용하는 이면 도로에 의해 단절되어 있다. 춘당지의 경우 인공으로 만들어진 연못이기에 가장자리가 암석으로 마무리되어 식생이 거의 없다고 볼 수 있다. 수생식물로는 마름과 같은 부엽식물을 볼 수 있었고 연석이 설치된 보행로와 주변의 산림이 단절되어 있다. 장릉은 연지 주변에 다양한 교목, 관목, 초본이 존재하는 것으로 나타나며, 수생식물 또한 개구리밥, 연꽃, 갈대, 검정말 등 다양한 수생식물이 나타나며 연못과 저수지 주변에 연석이 없는 보행로가 존재한다(Table. 5)

2) 오색딱다구리

오색딱다구리 서식지 조사 결과 공통적으로 개체 목격된 지점과 둥지 구멍, 섭식 흔이 발견된 지점에서 설치한 방형구 내의 수목의 구성 비율은 활엽수가 약 70% 이상 차지하는 것으로 나타났다. 대상지 중 서달산의 경우 잣나무가 혼합되어 있어서 활엽수 구성비가 75~80%로 나타나며 방배근린공원과 길동생태공원은 두 곳 모두 100%로 나타났다. 서달산, 방배근린공원의 둥지가 발견된 나무의 수종은 신갈나무, 갈참나무가 대부분이며 길동생태공원의 경우 갈참나무 외에도 아까시나무, 물푸레나무에서 둥지가 발견된 바 있으며 전체 수목 중 참나무의 비율이 70% 정도를 차지한다. 둥지 발견 수목의 흉고직경은 22cm~28cm 사이로 측정되었

Table 3. Setting standard of variable of suitability index for *Aix galericulata*

Factor	Variable	value	Standard				
Space	SI 1 Waterfront vegetation cover rate	0.25	0 ~ 50%				
		0.50	50 ~ 90%				
		1.00	90% ~ 100%				
	SI 2 Presence of alluvial island	0.50	No alluvial island				
		0.75	Presence of alluvial island with no vegetation or small sand hill				
1.00		Presence of alluvial island with vegetation					
Breeding	SI 3 Size of nearby forest patch	0.00	0 ~ 10ha				
		0.50	10 ~ 20 ha				
		1.00	More than 20 ha				
Feed	SI 4 Type of trees In nearby forest	0.00	Coniferous forest				
		0.50	Mixed forest of soft and hardwood or broadleaf forest				
		1.00	Oak dominate forest				
	SI 5 Type of aquatic plants	0.00	No aquatic plants				
		0.50	Submerged plant and Floating plant				
Threatening factor	SI 6 * Connectivity of waterfront and forest	0.00	more than 4 points at check list	Checklist (Assessment of disconnection between forests and waterfront briefly)		points	
				Type of road that causes separation between forest and waterfront	Connect waterfront and forest directly or curbless path		0
		Be seperated by 1 lane road with curb	1				
		Be seperated by 2 or 3 lanes road	2				
		0.50	2 points	Be seperated by more than 4lanes road	3		
					Separation distance between forest and waterfront	Less than 20m	0
						20m ~ 50m	1
		More than 50m	2				
		0.75	1 point	Less that 0 point	Seprating mitigation facility between forest and waterfront	presence of induction fences between forests and waterfront.	-1
						presence of Eco-corridor between forests and waterfront.	-2
1.00	Less that 0 point	Seprating mitigation facility between forest and waterfront	presence of induction fences between forests and waterfront.	-1			
			presence of Eco-corridor between forests and waterfront.	-2			

* SI value is determined by summed points in this checklist.

으며, 서식지의 고사목의 분포는 서달산과 방배
근린공원은 100㎡ 영역 내에 8-10곳 분포하며
길동생태공원의 경우 7-9곳 정도 분포한다
(Table. 6).

2. 목표종 SI 선정 및 HSI 모델 개발

1) 원안

대상종 서식지의 현장 조사 결과를 기반으로
대상지의 환경 요소 중 대상종의 서식에 필요하
거나 위협이 되는 요소를 찾고 그 기준을 선정

Table. 4 Setting standard of variable of suitability index for *Dendrocopos major*

Factor	Variable	value	Standard
Space	SI 1 Size of forest patch	0.00	10ha
		0.50	15ha
		1.00	90ha
	SI 2 Rate of broadleaf tree	0.50	0-50%
		0.75	50-75%
		1.00	75-100%
Breeding	SI DBH of nesting trees	0.00	Less than 13cm
		0.50	13 ~ 16 cm
		1.00	Over than 16cm
	SI 4 Type of nesting trees	0.25	Coniferous forest
		0.75	Mixed forest of soft and hardwood or broadleaf forest
		1.00	Oak dominate forest
Feed	SI 5 density of dead trees	0.00	0 trees / 100m ²
		0.50	5 trees / 100m ²
		1.00	10 trees / 100m ²

하기 위해 전문가의 자문과 문헌조사를 추가적으로 병행하였으며 그 결과 SI와 그 기준을 선정할 수 있었다 (Table 3). 원앙의 출현지에 대한 전문가 의견으로 우거진 수변 식생 피복 정도, 모래 둔덕 및 하중도, 산림과 수변과의 연결성에 대한 의견을 받았으며, 그에 대한 선행연구 결과 및 실질적인 현장조사 결과를 반영하여 SI수치를 설정하였다.

원앙의 SI는 6가지로 분류되었으며 첫 번째로 먹이 섭식 공간인 하안 주변의 초지 식생대에 대하여 지표를 다음과 같이 설정하였다. 실제 개체가 관찰된 지점의 60% 정도를 차지하고 있는 유형인, 하안 주변의 식생 피복률이 90~100%로 나타나는 지점을 1.0로 지정하였으며, 실제 개체 관찰 지점의 30%를 차지하는 유형인 피복률 50% 지점을 0.75로 하였다. 또한 0%의 나대지의 경우 가장 낮은 0점으로 설정하여 결과적으로 그래프가 이어지도록 설정하였다. 하안의 식생 피복률이 높을수록 먹이 식물, 곤충 등 섭식지의 먹이자원이 증가하여 보다 적합한 섭식지 환경이 될 것으로 예상된다.

하중도는 인간이나 천적의 위협을 피하기 위한 휴식지의 역할을 하며 하중도의 존재 유무를

변수로 두었다. 이는 전문가의 의견과 실제 개체가 발견된 지점의 특성을 단순하게 나타내었으며, 그 결과 하중도가 없는 경우 0, 나지의 하중도 또는 모래 둔덕의 존재를 0.5로 그리고 섭식지로서 활용이 가능한 식생이 존재하는 하중도를 1.0으로 설정하였다.

산란지로 이용 가능한 인접한 산림의 크기는 10ha 미만인 경우 0.0, 20ha 이상인 경우 1.0으로 지정하였다. 이 기준은 활엽수림은 오색딱다구리가 주로 활동하여 자연적인 둥지를 제공할 수 있는 딱다구리의 서식지 크기 SI를 인용하였다(Lee., 2013; Heo., 2014).

먹이 자원에 관련하여 주변 산림의 주요 임상이 도토리 및 나무 열매가 많이 나는 참나무림이 우점하고 있을 시 가장 높은 1.0을 부여하였으며 침활 혼효림 또는 기타 활엽수림인 경우 0.75, 침엽수 우점림인 경우 0.25로 지정하였다. 이 기준은 도토리과 같은 나무 열매가 원앙과 오색딱다구리의 먹이자원(kim et al., 2001)으로 활용된다는 점과 실제 현장조사 결과를 점수 설정에 반영하였다.

또한 수생식물의 식생이 없는 습지의 경우 0.0으로 지정하였다. 수생식물을 먹이원으로 삼

Table. 5 Result of *Aix galericulata* habitats survey applied to suitability index

Factor	Variable	Study site		
		Jungnang stream	Chudangji	yoenji
Space	SI 1 Waterfront vegetation cover rate	Various plants on waterfront	Edge made of rock, almost no plants	Various plants on waterfront
Breeding	SI 2 Presence of alluvial island	Alluvial island with grass	Artificial islands planted with shrubs and trees.	Artificial islands planted with shrubs and trees.
Feed	SI 3 Size of nearby forest patch	3,000ha ~	7,000ha ~	300ha ~
	SI 4 Type of trees In nearby forest	Dominante by oak, broadleaf tree	Dominante by broadleaf tree	Dominante by broadleaf tree
Threatening factor	SI 5 Type of aquatic plants	Emerged plant (kind of reed)	Floating leaf plant (water chestnut)	Emerged plant, Submerged plant, Floating plant, Floating leaf plant
	SI 6 Connectivity of waterfront and forest	Seperated by side road	Seperated by footpath with curb	Seperated by footpath with no curb

는다는 점(kim et al., 2001)을 고려하여 수생식물에 대한 SI를 선정하였으며 그 기준은 다음과 같다. 물수세미, 개구리밥 등 침수식물과 부유식물이 분포하는 습지는 0.5로 지정하였다. 갈대, 줄, 연꽃 등 대형 정수식물 및 부엽식물이 존재하는 습지는 먹이로서 활용과 더불어 은신처의 기능이 가능한 경우도 있다고 판단되어 1.0으로 선정하였다.

마지막 SI는 위협요소에 관한 것으로 새끼 원앙은 습지 주변 산림이나 초지의 산림지에서 부화한 직후 어미를 따라 수변으로 이동한다. 때문에 산림과 하천 사이의 단절 정도가 원앙의 번식 이후에 큰 위협요소로 작용한다는 점을 전문가의 의견을 반영하였다. 따라서 단절을 유발하는 도로의 유형과 이격 거리, 단절된 상태를 완화, 보완해 주는 시설이 있는 경우를 전체적으로 고려하기 위해 간단한 체크 리스트를 작성했으며 이를 통해 단절의 정도를 파악되도록 하고자 했다(Table 3).

이후 SI 기준에 맞추어 각 현장 조사 대상지의 현황을 정리하였으며(Table 5) 이를 종합한

결과로 각 대상지의 환경 수준에 해당되는 지점을 표시한 그래프 모델로 나타낼 수 있었다(Figure 2).

2) 오색딱다구리

대상종 서식지의 현장 조사 결과를 기반으로 대상지의 환경 요소 중 대상종의 서식에 필요하거나 위협이 되는 요소를 찾고 그 기준을 선정하기 위해 문헌조사를 추가적으로 병행하였으며 그 결과 SI와 그 기준을 선정할 수 있었다.(Table 4)

오색딱다구리의 SI는 5가지로 오색딱다구리의 번식에 요구되는 산림 패치의 최소 면적은 10ha이며 다른 딱다구리종인 쇠딱다구리의 경우 20ha가 필요하며 40m 이내의 다른 녹지와 연결되는 것이 가장 중요한 것으로 나타났다(lee, 2013). 이에 따라 10ha 미만의 산림 패치는 0으로 지정하였고 20ha 이상의 산림 패치를 1.0으로 나타내었다.

딱정벌레와 같은 곤충류 이외에 먹이자원으로 활용이 가능한 도토리 및 나무 열매가 많이 나

Table. 6 Result of *Dendrocopos* major habitats survey applied to suitability index

Factor	Variable	Study site		
		Mt. Seodal	Bangbae neighborhood park	Gildong ecological park
Space	SI 1 Size of forest patch	260ha ~	700ha~	300ha~
	SI 2 Rate of broadleaf tree	75-80%	100%	100%
Breeding	SI 3 Type of nesting trees	Quercus mongolica, Quercus aliena	Quercus mongolica	Robinia pseudoacacia, Quercus aliena, Fraxinus rhynchophylla
	SI 4 DBH of nesting trees	22, 24cm	27, 27, 28cm	24, 25, 26, 28cm
Feed	SI 5 density of dead trees	8-10 points / 100m ²	8-10 / 100m ²	7-9 / 100m ²

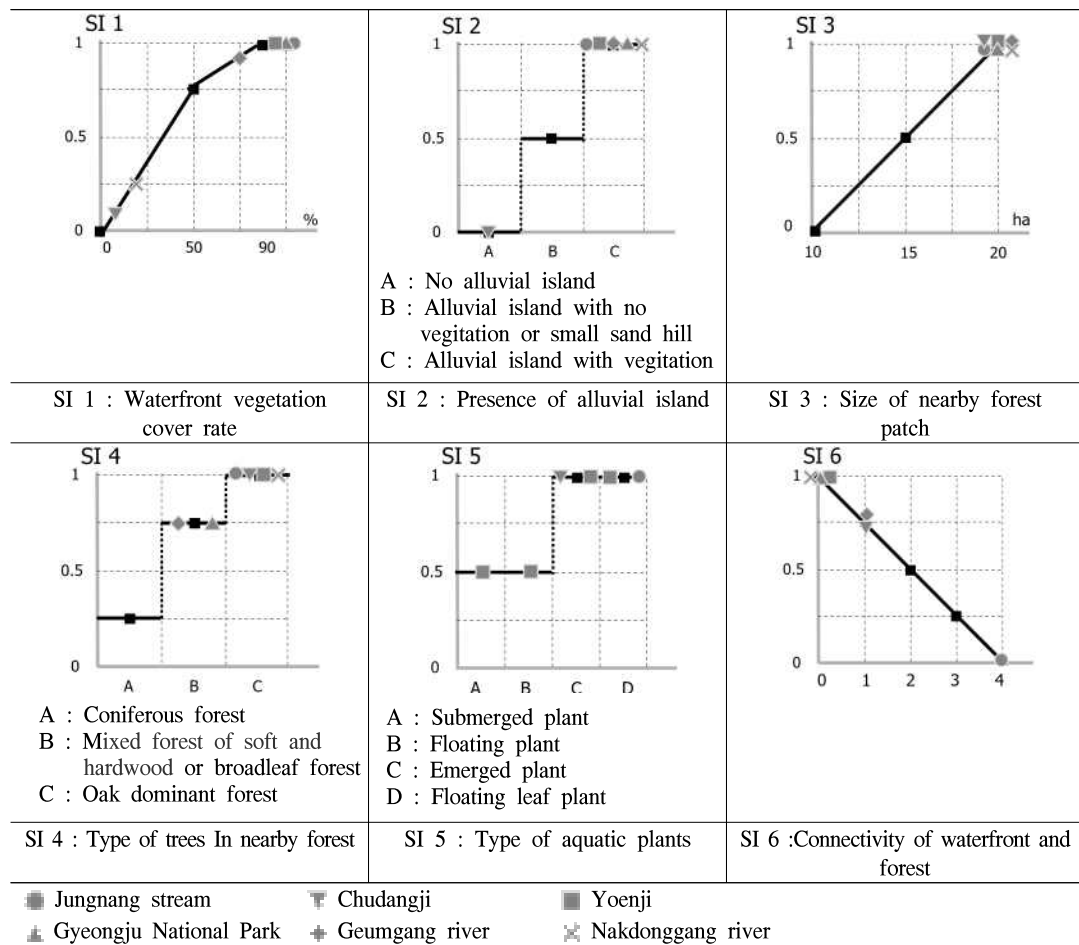


Figure 2. Suitability Index graph model of *Aix galericulata*

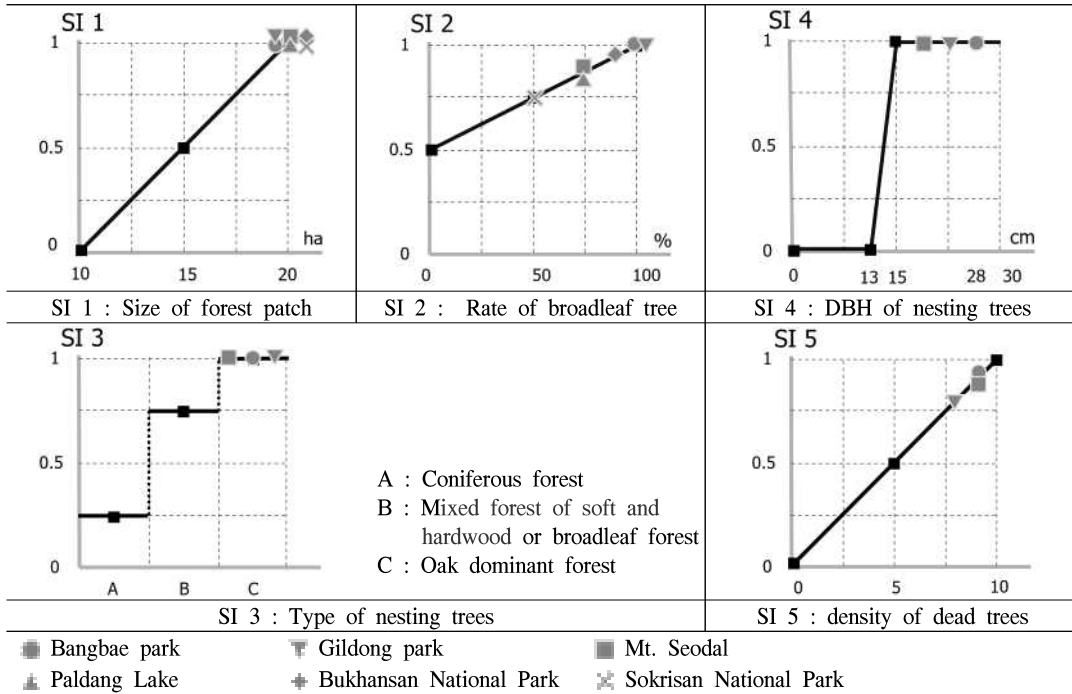


Figure 3. Suitability Index graph model of Dendrocopos major

는 임상인 활엽수가 100%비율을 차지하는 경우를 가장 높은 1.0로 지정하였으며 활엽수 비율이 0%의 경우 0.5로 설정하여 연속적인 직선의 그래프로 나타나게 하였다. 등지 수목의 수종은 같은 침엽수림의 경우 0.25로 설정하였으며, 아까시 또는 물푸레나무 같은 활엽수는 0.5로 지정하였다. 그리고 갈참, 신갈나무 등 참나무의 경우 1.0으로 지정하였다. 이 기준은 우리나라의 딱따구리의 등지는 활엽수가 대부분으로 나타나지만 침엽수에도 등지를 트는 경우도 빈번한 결과를 나타내는 딱따구리의 등지 수목의 특성에 관한 연구를 참고하였으며(Heo, 2014), 실제 현장조사 결과 활동 흔적이 나타난 수종에 대한 결과를 반영하였다.

또한 생목을 기준으로 등지 수목의 흉고직경은 13 cm 미만의 수목은 등지를 만들기 부적합하여 0.0으로 설정하였으며 추가적인 문헌 조사에 따르면 오색딱따구리가 등지를 짓는 수목의 흉고직경은 다양하게 나타나지만 요구되는 흉고직

경의 최소값은 14cm로 파악 되었으며(Smith, 1995; Kosiński & Winiecki 2004; Pasinelli, 2007; Matsuoka, 2008; Gil Tena et al., 2012) 폴란드의 Bialowieza 국립공원에선 흉고직경이 2m 이상 되는 Pedunculate Oaks(*Quercus robur*)에도 등지를 만들어 서식하는 것으로 나타났다(Hebda et al, 2017). 따라서 흉고직경 14~16cm의 중심값으로 0.5를 지정하였으며, 조금더 안정적인 등지 제작이 가능할거라 판단되는 16cm 이상의 수목의 경우를 1.0으로 지정하였다.

먹이자원인 나무 열매가 많이 열리며, 대한민국 산림 임상의 대부분을 차지하는 참나무우점림에 경우 1.0으로 가장 높은 점수를 부여하였으며, 현장조사 결과 참나무보다 약간 낮은 빈도로 섭식흔과 같은 활동의 흔적이 나타나는 혼효림의 경우를 0.75로 설정하였으며 가장 낮은 섭식흔이 나타난 침엽수 우점의 임상을 0.25로 설정하였다. 이는 문헌조사와 현장조사 결과 나타난 흔적의 빈도를 반영한 결과로, 침엽수림인

Table 7. Using the HSI to compare the results of the habitat environment assessment of *Aix galericulata* between study sites

Species	Study site		SI 1	SI 2	SI 3	SI 4	SI 5	SI 6	HSI
<i>Aix galericulata</i>	Field survey	Jungnang stream	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.83
		Chudangji	0.15	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.82
		Yeonji	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Literature survey	Gyeongju National Park	1.00	1.00	1.00	0.75	-	1.00	0.95
		Geumgang river	0.91	1.00	1.00	0.75	-	0.75	0.88
		Andong lake	0.25	0.00	1.00	1.00	-	1.00	0.65

Table 8. Using the HSI to compare the results of the habitat environment assessment of *Dendrocopos major* between study sites

Species	Study site		SI 1	SI 2	SI 3	SI 4	SI 5	HSI
<i>Dendrocopos major</i>	Field survey	Bangbae neighborhood park	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.98
		Gildong ecological park	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.96
		Mt. Seodal	1.00	0.88	1.00	1.00	0.90	0.96
	Literature survey	Paldang Lake	1.00	0.88	-	-	-	0.94
		Bukhansan National Park	1.00	0.94	-	-	-	0.97
		Sokrisan National Park	1.00	0.75	-	-	-	0.88

경우에도 딱다구리 생존이 불가능한 것은 아닌 것으로 나타나기에 0.0점으로 설정하지 않고 0.25점으로 설정하였다.

또한 주요 먹이자원인 딱정벌레 등 곤충이 많이 서식하는 고사목의 경우 100m²의 면적에 간벌목 더미 혹은 고사목이 10곳에 존재할 때 가장 높은 1.0로 설정하였고 0곳이 분포한 경우 0.0으로 지정하였으며 0부터 10사이의 고사목 분포 정도에 따라 SI 값도 0.0에서 1.0사이로 지정하였다. 이는 고사목의 존재가 딱다구리의 먹이활동에 큰 영향을 주는 것은 전문가의 자문 및 관련 연구를 통해 확인되었지만, 자세한 분포 밀도 등에 대한 정보는 미흡하여 현장조사 결과 반영하여 작성하였다. 100m²의 영역 내에 고사목 및 간벌목 더미가 7~10곳 정도 분포하고 있는 현장조사 결과를 반영하여 단순한 직선형태로 나타내었다. 이후 SI 기준에 맞추어 각 현장 조사 대상지의 현황을 정리하였으며(Table 6) 이를 종합한 결과로 각 대상지의 환경 수준에 해당되는 지점을 표시한 그래프 모델로 나타낼 수 있었다(Figure 3).

도출된 각 대상지의 SI 값을 종합한 HSI 값을 산출하기 위해 산술 평균으로 HSI를 계산하여 나타내었으며 각 서식지별로 원앙(Table 7)과 오색딱다구리(Table 8)의 대상지의 서식 적합성을 HSI 값을 통해 비교할 수 있었다, 원앙의 서식지 현장 조사 결과 김포의 장릉, 연지가 1.00으로 가장 높게 나타났으며, 문헌상의 서식지의 환경 상태를 평가한 결과 경주 국립공원의 HSI가 가장 높게 나타났다. 오색딱다구리의 경우 방배근린공원이 0.98로 가장 높게 나타났으며, 문헌 자료 및 원격으로 정보를 얻을 수 있는 SI 1, 2를 적용한 결과 북한산 국립공원이 0.97로 HSI가 가장 높게 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 도시의 주변과 내부의 하천 또는 연못 등 습지에 서식하는 원앙. 그리고 산림에서 서식하는 오색딱다구리를 대상으로 생태 및 서식환경에 관하여 문헌조사와 현장조사를 통해 목표종들의 SI를 추출하였으며 이를 종합하

여 HSI 모델을 개발하고자 하였다.

원앙은 습지를 중심으로 먼저 먹이 활동을 하는 공간인 채식지의 적합성을 파악하기 위해 수변 식생의 피복률, 휴식처의 기능을 하는 하중도의 유무, 먹이자원인 수생식물 유형을 서식환경 변수로 선정하였고, 산란지로 이용 가능한 인접한 산림의 크기와 산림과 하천 사이의 단절 정도를 위협요소로 반영하여 서식환경의 변수로 선정하였다.

오색딱다구리는 거의 모든 생활사가 산림에서 이루어지는 만큼 산림 서식환경에 초점을 맞춰 선정하였다. 채식, 번식, 휴식 등 전반적인 활동 영역인 산림의 크기, 번식과 채식에 적합한 활엽수의 구성비, 둥지 수목의 유형과 그 수목의 흉고직경 그리고 먹이자원이 풍부한 산림 내의 고사목의 분포 정도를 변수로 지정하였다. 추가적으로 문헌상의 서식지의 정보와 원격탐사 자료만을 활용하여 HSI로 평가하고 현장 조사지의 결과와 비교하고자 하였지만 일부 SI의 지표는 현장에서만 직접 파악이 가능하여 문헌 자료만으로 모든 SI를 완벽히 적용하기에는 어렵다는 한계가 있었다.

또한 SI를 수치화 및 모델화 하는 과정에서 문헌연구, 특히 전문가의 자문내용 및 현장조사 결과 목표종의 서식과 크게 관련이 있는 것으로 예상되는 환경요소를 SI로 추출하고, 그 요소를 수치화 및 모델화 시키는 과정에서 선행연구 등 참고문헌을 인용하였다. 하지만 세밀하게 나타내기에는 선행연구가 부족하거나 아예 관련된 연구가 없는 부분도 있었으며 그러한 경우 현장 조사의 결과와 모니터링의 결과를 통해 거시적으로 보이는 부분만을 반영하여 나타내었다. 그 결과 HSI 모델이 단조롭게 나타난다는 한계가 있었다.

따라서 향후 대상종의 서식 환경에 대한 연구와 서식 환경의 조사 결과의 데이터들을 통해 SI의 가중치를 선정하거나 새로운 변수를 개발하고 HSI 모델의 발전을 위한 연구들이 필요하

다 오색딱다구리의 경우 둥지에 관한 연구나 먹이활동 등 기초적인 습성과 서식환경에 관한 연구가 많이 있었지만 원앙의 서식 환경에 관한 기초적인 연구 자료는 오색딱다구리에 비해 비교적 적었다. 따라서 오리와 조류와 같이 유사한 환경에서 생활하는 조류의 서식 환경에 관한 자료를 참고하였으며 문헌자료보다는 실제 원앙의 서식지의 현장조사 결과를 분석하여 하여 모델로서 나타내 볼 수 있었다.

HSI 모델은 목표종의 서식에 완전히 적합한 상태의 환경의 모델을 구축하는 것을 목표로 하는 것이 이상적인 목표이다, 하지만 서로 다른 대상지의 면적이나 성장단계 등의 환경과 역동적인 생태계를 반영하기에는 완전무결한 모델은 있을 수 없으며, 여러 대상지의 서식 환경을 비교 가능하도록, 현실의 다양성을 평균적이고 객관적으로 나타내는 모델을 구축하고자 하였다. 통계적으로 유의한 HSI 모델 구성을 위해서는, 적합도 1에 가까운 자연서식지에 대한 조사 자료뿐만 아니라, 0~1 사이의 다양한 교란과 훼손에 노출된 서식지의 자료가 필요하다. 이러한 훼손 서식지를 어떻게 찾아내고, 평가된 SI 및 HSI 값을 모델에 어떻게 반영할 것인가는 보다 객관적인 HSI 모델 정립을 위해 해결해야 할 과제라 할 수 있다. 이러한 근본적인 한계점은 본 연구에서도 해결되었다고 볼 수는 없지만, 조사 지점 수를 늘렸을 때에도 수렴하리라 판단되는 모델을, 전문가 토론을 통해 제시하고자 하였다. 더 나아가 HSI 모델 복원 서식지를 실제로 Test-bed로 구현하고 그에 대한 검증을 위해 지속적인 모니터링 등의 연구까지 진행된다면 보다 객관적이고 합리적인 HSI 모델이 될 수 있는 것이며, 향후 서식지 조성 및 복원 분야에서 HSI 모델을 활용될 것이라고 생각된다. 도시 생태계뿐만 아니라 여러 환경에서의 생물다양성 및 생태계 기능 증진을 위해 다양한 생물종의 서식지를 연구하고, 조성과 복원을 통해 서식지를 제공하는 것을 목표로 하는 서식 적합성 평

가에 관한 연구들이 더욱 필요하다고 판단된다.

References

- Baldassarre G. A. and E. G. Bolen. 1994. Waterfowl Ecology and Management. John Wiley, New York. 609pp.
- Choi, Y.S. · Hur, W.H. · Kim, S.H. · Kang, S.G. · Kim, J.H. · Kim, H.J. · Son, J.S. · Park, J.Y. · Yi, J.Y. · Kim, C.H. · Kang, J.H. and Han, S.H. 2012. Population Trends of Wintering Ducks in Korea. The Korean Journal of Ornithology 19(3), 2012.9, 185-200(16 pages)
- Gibson, L.A. · Wilson, B.A. · Cahil, D.M. and Hil, J. 204. Modeling habitat suitability of the swamp antechinus (*Antechinus minimus maritimus*) in the coastal heathlands of southern Victoria, Australia. Biological Conservation. 17(2) : 143-150
- Gil-Tena, A · Brotons, L · Fortin, M.J · Burel and F·Saura, S. 2012. Assessing the role of landscape connectivity in recent woodpecker range expansion in Mediterranean Europe: Forest management implications, European Journal of Forest Research 132(1). DOI:10.1007/s10342-012-0666-x
- Gore, M. E. J. and Won, P. O. 1971. The birds of Korea. Royal Asiatic Society. Taewon publishing company. (in Korea)
- Hebda, G. et al. 2017. Nest sites of a strong excavator, the Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major*, in a primeval forest. Ardea 105 : 61-71
- Heo, J.W. 2014 Comparative Studies on Nest Characteristics of Woodpecker *Dendrocopos kizuki*, *D.leucotos*, *D.major*, *Picuscanus* in South Korea. MA dissertation, Kong ju National University. (in Korea with English summary)
- Hong, S.H. · Han, B.H. · Choi, S.H. · Sung, C.Y. and Lee, K.J. 2013 Planning an ecological network using the predicted movement paths of urban birds. Landscape ecological eng. 9 ; 165-174(in Korean with English summary)
- Kim, B.S. · Oh, H.S. · Chung, C.D. 2001. A study on wintering Ecology of Mandarin Duck *Aix galericulata* on Daryou islet. The Korean Journal of Ornithology 8(2), 2001.12, 93-105 (13 pages)
- Kim, H.J. · Lee, J.Y. · Park, J.Y. · Hur, W.H. · Nam, H.K. · Hwang, J.W, · Lee, J.Y. 2019. 2018-2019 Winter Waterbird Census of Korea. National Institute of Biological Resources. (in Korea)
- Kim, H.J. · Lee, J.Y. · Park, J.Y. · Hur, W.H. · Nam, H.K. · Hwang, J.W, and Lee, J.Y. 2020. 2019-2020 Winter Waterbird Census of Korea. National Institute of Biological Resources. (in Korea)
- Kim, S.R. · Lee, J.H. · Song, J.Y. · Chang, M. H. · Sung, H.C. and Cho, D.G. 2013. A Study on the Habitat Restoration Model for *Chinemys reevesii*. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 16(2) ; 115-125(in Korean with English summary)
- Kosinski, Z. & Winiecki, A. 2004. Nest-site selection and niche partitioning among the Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major* and Middle Spotted Woodpecker *Dendrocopos medius* in riverine forest of Central Europe. Ornis Fennica 81 : 145-156
- Kotaka, N. and Matuoka, S. 2002. Secondary users of Great Spotted Woodpecker (*Dendrocopos major*) nest cavities in urban and suburban forests in Sapporo City,

- northern Japan. Ornithol. Sci. 1 : 117-122
- Kushlan J. A. 1993. Colonial waterbirds as bioindicators of environmental change. Colonial Waterbirds 16: 223-251.
- Lee, D.K. · Kim, E.Y. · Choi, J.Y. and Oh, K.S. 2010. The effects of development on forest-patch characteristics and bird diversity in Suji, South Korea, Landscape Ecological Eng, 6 : 171-179
- Lee, J.H., 2000. A study on the use of habitats by the Black woodpecker *Dryocopus martius*. MA dissertation, Seoul National University. (in Korea with English summary)
- Lee, K.M. 2013. The effect of urban green space characteristics and landscape structure on *Dendrocopos major* and *Dendrocopos kizuki* distribution.. MA dissertation, Seoul National University. (in Korea with English summary)
- Martin, K., Aitken, K. E. H. and Wiebe, K. L. 2004. Nest sites and nest webs for cavity-nesting communities in interior British Columbia, Canada : nest characteristics and niche partitioning. The Condor, 106 : 5-19.
- Matsuoka, S. 2008. Wood hardness in nest trees of the Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major*. Ornithol Sci 7 : 59-66
- Mazgajski, T. D. and Rdjt, L. 2006 The effect of forest patch size on the breeding biology of the Great Spotted Woodpecker *Dendrocopos major*, Ann, Zool, Fennici. 23; 211-220
- Mistry J., A. Beraldi and M. Simpson. 2008. Birds as indicators of wetland status and change in the North Rupununi, Guyana. Biodiversity and Conservation 17 : 2383-2409.
- No, S.H · Jung, J.S. and You, Y.H. 2017. Ecological Control of Invasive Alien Species, American Bulfrog (*Rana catesbeiana*) Using Native Predatory Species, Korean Journal of Environment and Ecology, 31(1), 54-61
- Park, C.R. · Kim, E.M. · Kang, C.W. 2011. The Characteristics of bird Community at Hannam Area of Jeju Experimental Forests. Korean Society of Environment and Ecology. 25 ; 828-835 (in Korean with English summary)
- Pasinelli, G. 2007. Nest site selection in Middle and Great Spotted Woodpeckers *Dendrocopos medius* & *D. Major*: implications for forest management and conservation, Biodivers Conserv, 16 : 1283- 1298
- Perry M. C. and A. S. Deller. 1996. Review of factors affecting the distribution and abundance of waterfowl in shallow-water habitats of Chesapeake Bay. Estuaries 19: 272-278.
- Shim, Y.J. · Cho, D.G. · Park, S. · Le, D.J. · Seo, Y.H. · Kim, S.H. · Kim, D.H. · Ko, S.B. · Cha, J.Y. and Sung, H.C., 2014. Development of Habitat Suitability Index for Habitat Restoration of Narrow-mouth Frog (*Kaloula borealis*). Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology. 17(2) : 109-123. (in Korean with English summary)
- Smith, K. W. 1997. Nest site selection of the great spotted woodpecker *Dendrocopos major* in two oak woods in southern England and its implications for woodland management Biological conservation, 1997, Vol.80 (3), p.283-28
- Smith, K. W. 2007. The utilization of dead wood resources by woodpeckers in Britain. Ibis. 149; 183-192
- Tanaka, A., 2006. Theory and Practices for Habitat Evaluation Procedure in Japan (in Japanese).

- Asakura. Tokyo. 266pages.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1980. Habitat as a basis for environmental assessment. Ecological Services Manual, 101.
- Virkkala, R. 2006. Why study woodpeckers? The significance of woodpeckers in forest ecosystems., *Annales Zoologic iFennici*, 43 : 82-85.
- Yang,S,N · Kim, Y.H. and Oh, H.S. Food Resources of Jeju White-backed Woodpecker *Dendrocopos leucotosquelpartensis* in Breeding Season *The Korean Journal of Ornithology* 16(1), 29-35(7 pages)
- 국립공원연구원. 2014. 한려해상국립공원 자연자원조사-육상분야. 국립공원공단 보고서
- 국립공원연구원. 2017. 경주국립공원 공원자원조사. 국립공원공단 보고서
- 국립공원연구원. 2019. 북한산국립공원 공원자원조사. 국립공원공단 보고서
- 국립공원연구원. 2019. 속리산국립공원 공원자원조사. 국립공원공단 보고서
- 중랑천 환경센터 홈페이지 (<http://jr1000ecocenter.nowon.kr>)
- 네이처링 홈페이지 (<https://www.naturing.net>)