

연구논문

델파이기법을 이용한 법적보호종 서식환경평가의 환경영향평가 적용방안 개발

- 파주시, 시흥시, 안산시, 화성시에서의 황조롱이를 대상으로 -

이석원* · 노백호** · 유정철***

해주엔지니어링(주) 부설 생태연구소*, 계명대학교 환경계획학과**, 경희대학교 생물학과***
(2013년 5월 13일 접수, 2013년 6월 7일 승인)

Application of the Habitat Evaluation Procedure(HEP) for Legally Protected Wildbirds using Delphi Technique to Environmental Impact Assessment

- In case of the Common Kestrel(*Falco tinnunculus*) in four areas
(Paju, Siheung, Ansan, Hwaseong) -

Seok-won Lee* · Paikho Rho** · Jeong-chil Yoo***

Institute of Wildlife Ecology, Hae-ju Engineering*, Department of Environmental Planning, Keimyung University**
Department of Biology, Kyung Hee University***
(Manuscript received 13 May 2013; accepted 7 June 2013)

Abstract

This study was carried out to propose the new procedure to apply Habitat Evaluation Procedure(HEP) of target species using delphi technique, which is suitable to develop endangered species with few researches and ecological knowledges. To identify habitat quality of specific species in development project site, we can develop habitat model and create habitat suitability maps. In this study, we select the Common Kestrel(*Falco tinnunculus*) as target species in four areas(Paju, Siheung, Ansan, Hwaseong) which is located near the Seoul metropolitan area. The Delphi technique was selected to get the reliable information on the species and habitats requirements. Through the delphi approach, seven habitat components were determined as suitable variables for the Common Kestrel: density(n/km^2) of small mammals, area(km^2) of baregrounds, pasturelands and riparian, and open area(%), spatial distribution and area of croplands, landscape diversity, breeding sites(tall trees, cliffs, high-rise buildings), and the length of shelf. Habitat variables used in this model were classified into two categories: % of suitable land-cover type(open areas, croplands, pasturelands, wetlands, and baregrounds) and the quality of feeding

sites(within 250m from edges of woodlands). Habitat quality of the Common Kestrel was assessed against occurred sites derived from the nationwide survey. Predicted habitat suitability map were closely related to the observed sites of the endangered avian species in the study areas. With the habitat suitability map of the Common Kestrel, we assess the environmental impacts with habitat loss after development project in environmental impact assessment.

Keywords : Habitat Evaluation Procedure(HEP), Environmental Impact Assessment(EIA), Habitat Suitability Index(HSI), GIS, Delphi technique, legally protected wildbird

I. 서론

환경문제가 사회문제로 대두되면서 사후관리보다는 사전예방 차원에서 개발계획 추진단계에서 환경을 고려한 정책수단의 도입 수요가 발생하였다. 이에 1969년 미국에서는 국가환경정책법(NEPA)을 통해 환경영향평가를 제도화하였으며, 이후 유럽을 비롯한 세계 각국으로 발전되어 왔다. 우리나라는 1977년 환경보전법에 법적근거를 마련한 이래 수차례 법령 개정을 거쳐 환경영향평가를 실시하고 있으나 자연환경과 관련된 동식물상 및 생태계 평가기준은 미흡한 실정이다(권영한 등, 2006; 신경희 등; 2010). 1980년대에는 현지조사보다는 청문조사나 문헌조사로 대체되는 경우가 많았으며, 조사자의 전문성 부족으로 동식물상 현황이나 영향 예측, 저감방안이 효과적으로 작성되지 못하였다. 2000년부터 현지조사의 중요성을 인식하고, 관련 법령의 개정 및 환경영향평가 방법론과 제도개선 연구(김지영 등, 2002; 정홍락 등, 2003; 이현우 등, 2005; 권영한 등, 2006; 노백호 등 2010)를 통해 현황파악 분야가 발전하였다. 그러나 출현종 중심의 현황조사를 통한 종 목록 제시와 환경영향과의 연계부족으로 개발사업에 따른 자연환경 부문의 영향예측과 저감방안에 대해 객관적인 협의의견을 제시하는데 한계가 있는 실정이다.

출현종 중심의 환경영향평가 문제는 해당종의 서식지를 출현지점 위주로 접근하게 되었다. 이로 인해 해당종의 핵심서식지를 누락시킬 수 있으며, 과학적인 서식환경 자료 부족으로 서식지로 적합하지 않은 지역에 대해 과도한 규제를 실시할 수 있다. 특

히 이동성이 높은 야생동물에 대한 과학적인 영향 예측을 실시하지 못하고, 이에 따라 효과적인 저감 방안을 제시하지 못하는 경우가 빈번하게 발생하고 있다(강태한 등, 2010). 이에 따라 환경영향평가에서 시행되는 동식물상의 현황에 대한 평가방법이 실질적으로 개발사업의 서식지 영향예측과 효율적 저감방안을 도출할 수 있도록 하기 위해서는 출현지점 위주의 현황조사방법이 아닌 출현종의 서식환경을 파악하기 위한 현황조사 및 서식지 평가를 실시하는 것이 필요하다(노백호 등, 2011; 김지연 등, 2012). 법적보호종은 환경영향평가에서 중요 항목으로 조사되고 있으나, 법적보호종의 출현에도 불구하고 개발사업에 의한 해당 법적보호종의 영향예측과 저감방안은 과학적으로 분석하지 못하고 있다. 법적보호종의 경우, 조류전문가에 의한 연구결과와 조사경험을 바탕으로 출현종의 서식환경을 평가할 수 있으며, 이를 통해 개발대상지역에서의 해당종 서식지의 최소면적에 대해 정확한 이해가 가능하며, 사업으로 인한 구체적인 영향예측과 이를 저감할 수 있는 구체적인 방안을 제시할 수 있다. 특히 많은 산업단지과 택지개발사업에 있어 황조롱이(*Falco tinnunculus*)를 비롯한 법적보호종의 출현 기록이 제시되고 있으나, 과학적인 서식모형 부족으로 실질적인 서식지 감소 및 서식질의 저하에 대한 평가가 이루어지지 못하고 있다.

야생동물 출현지점 위주의 현황조사를 기반으로 하는 기존의 환경영향평가에서 현지조사 이전에 법적 규제가 발생될 법적보호종의 서식가능지역을 델파이기법을 통한 모형화하고자 한다. 법적보호종의 서식모형을 토대로 서식환경 조사를 실시하고 서식

환경을 분석하여 해당 법적보호종의 핵심서식지 및 완충서식지를 구분하여 사업에 따른 정량화된 서식지 변화를 예측하고 실효성있는 저감방안을 마련할 수 있다. 우리나라는 법적보호종의 서식환경 조사를 실시하지 않고 있어 환경영향평가에서 개발사업에 의한 서식지 훼손정도를 파악하는데 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 법적보호종에 대한 전문가 의견수렴을 통해 단일 생물종의 서식환경 분석 및 서식모형을 개발하고, 환경영향평가에 있어 서식모형의 적용방안을 제시하였다.

델파이기법에 의한 서식모형의 개발과 더불어 서식모형 검증에 위해 4개 대상지역의 서식적합성지도를 제작하였다. 파주시, 시흥시, 안산시, 화성시 4개의 시·군·구 대상지역에서 황조롱이를 대상으로, 델파이기법에 의해 서식변수와 서식적합성지수 함수를 도출하였다. 본 연구에서 개발된 서식모형 및 서식적합성지도는 현지조사 자료와 비교·검증하며, 황조롱이의 서식적합성지도에서 대상지역 내 핵심서식지를 구분하였다. 환경평가에 있어 델파이기법의 적

용에 따른 의미와 한계를 살펴보고, 향후 법적보호종의 서식모형 개발에 있어 델파이기법의 적용방법을 제시하였다.

출현종을 중심으로 개발사업에 따른 영향예측과 객관적인 저감방안의 제시를 위한 방법론을 제시한다. 환경문제가 발생한 이후 해당 생물종의 전문가 의견을 수렴하여 합의를 도출하기 보다 문제발생 이전에 주요 생물종에 대한 서식모형의 도출 필요성이 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 델파이기법을 통해 주요 법적보호종의 서식모형을 개발하고, 해당 생물종의 핵심서식지와 현지조사에서 중점적으로 조사해야 할 서식환경을 제시하고자 한다.

II. 연구지역 및 방법

1. 연구지역 및 대상종

최근 개발사업이 집중되고 있는 수도권지역에 위치한 파주시, 화성시, 안산시, 시흥시를 연구대상지역으로 선정하였다(Fig. 1). 대상지역은 환경영향평

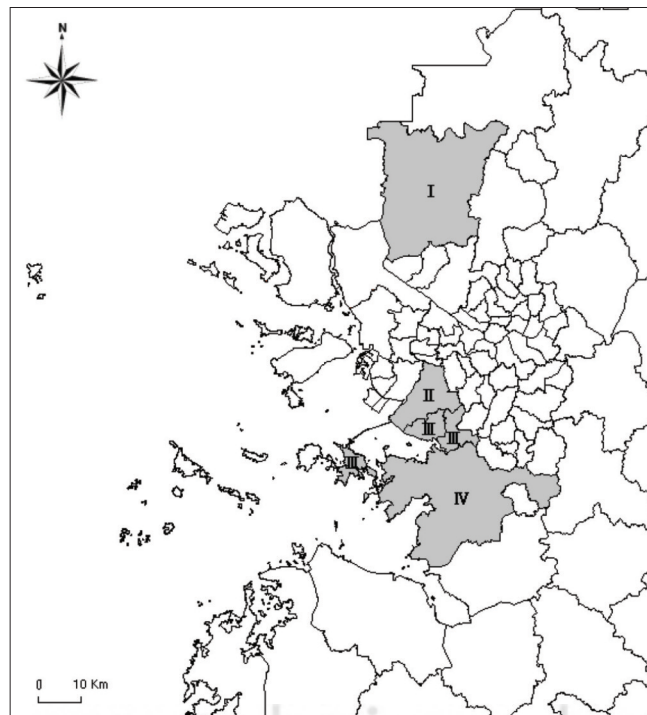


Fig. 1. Location of study sites (I: Paju, II: Siheung, III: Ansan, and IV: Hwaseong)

가사업 17개 분야 중에서 법적보호종의 출현으로 환경영향평가 협의 후 추가조사나 사업지연이 빈번하게 발생하며, 거주지, 산림, 육수, 해안/해양, 개활/농경지 등 다양한 토지피복유형이 포함되어 있어 해당종의 지역에 따른 서식적합도의 공간적 변화를 도면화할 수 있다.

연구대상종은 국내 환경영향평가대상사업 17개 분야별 총 191건 야생동물 현황조사를 검토한 결과, 문헌상과 현황조사에서 가장 출현빈도가 높은 천연기념물 제323호 황조롱이를 대상으로 하였다(문헌상 30건, 현지조사 38건). 황조롱이는 맹금류로 광범위한 행동반경을 보이고 있으며, 개활지를 포함하여 농경지, 도시지역, 산림지역에 넓게 분포하고 있다(Yalden 1980, Riegert *et al.* 2007). 그러나 기존의 환경영향평가에서 개발사업으로 인해 영향을 받는 황조롱이를 비롯한 법적보호종의 서식지 감소 및 서식질 저하 등 과학적인 영향예측에 대한 논의는 부족한 실정이다(이동근 등, 2010; 김지연 등, 2012)

경기 서북부에 위치한 파주시는 672.40 km² 면적의 지역으로, 동쪽으로 감악산, 파평산 및 앵무봉 등 산림이 위치하고 서부지역으로 낮은 구릉지대와 평야지대가 분포하고 있다. 개발수요가 급증하는 파주는 한강하구를 중심으로 채두루미, 독수리 등 많은 멸종위기조류가 도래하고 있다. 안산시는 파주에 비해 행정구역 면적이 적으며, 대부분 낮은 구릉지로 둘러싸여 있다. 서쪽으로 경기만 갯벌을 비롯한 해안선이 위치하고 있으나, 간척과 매립사업, 해안도로 건설로 자연서식지 훼손이 증가하고 있다. 시흥시는 약 135.01 km²의 행정구역 가운데 약 93.6km²이 개발제한구역으로 지정되어 있다. 마지막으로 화성시는 문화자원보존지구, 개발제한구역, 수자원보호구

역 등을 포함한 총 689.2 km²이며, 대부분 지역이 경기만과 접하고 있다(국토해양부, 2010).

2. 연구방법

1) 국내 및 대상지역에서의 황조롱이(*Falco tinnunculus*)의 출현현황 분석

국내 전역과 대상지역에서의 황조롱이 출현현황을 파악하기 위해서 ArcGIS Desktop Program (ver. 9.3.1)과 Arc/View GIS Program(ver. 3.3)를 이용하여 환경부와 국립환경과학원에서 실시한 제2차 전국자연환경조사(1997~2005년)의 조류 DB자료에서 황조롱이의 출현지점에 대한 정보를 추출하였다.

2) 황조롱이의 서식적합성지수 모형 개발

황조롱이의 서식적합성지수 모형 개발에 필요한 서식변수 선정과 서식변수별 적합성지수를 얻기 위해 과정중심(process-oriented)의 대표적인 접근 방식인 델파이기법을 활용하였다. 델파이기법은 실증적인 현장자료가 부족한 희귀종이나 멸종위기종과 같은 법적보호종의 서식적합성지도를 제작하기 적합하다(MacMillan and Marshall, 2005). 이에 본 연구에서는 현지조사 자료가 충분치 않은 황조롱이 서식모형을 Crance(1987)가 제시한 델파이기법에 따라 개발하고자 한다.

본 연구에서 델파이기법은 ① 전문가 풀 구성, ② 전문가에게 참여여부 확인, ③ 1단계 1차 조사 실시, ④ 조사결과를 이용한 설문내용 재구성, ⑤ 1단계 2차 조사 실시(1차 설문결과 피드백 및 2차 조사내용 발송), ⑥ 위 3~5과정을 반복, ⑦ 대부분 전문가의 동의를 얻는 결과 획득 ⑧ 조사결과 문서화로 구성하였다(Table 1).

Table 1. Procedures and contents of Delphi technique.

| Step | Survey period | Participants | Contents |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|
| Preliminary survey | 15 days(23, May.-7, Mar. 2010) | Researcher | Selection of panels /Preparation for questionnaire |
| Questionnaire and Intensive Interview | 1st-round survey | 27 days(8, Jun.-5, Jul. 2010) | 20 panelists |
| | 1st-round analysis | 11 days(12, Jul.-23. Jul. 2010) | Researcher |
| | 2nd-round(feedback) | 9 days(4, Aug.-13. Aug. 2010) | 16 panelists |
| Estimation and Conclusion | 13 days(14, Aug.-27, Aug. 2010) | Researcher | Statistical analysis and Estimation |

① 황조롱이의 서식요구사항(제한요인) 분석

황조롱이의 서식모델 개발에 필요한 제한요인(적용지역, 공간규모, 계절)과 생활요구사항 및 주요 서식변수를 추출하기 위해서 전문가 20명을 대상으로 총 2회에 걸쳐 델파이 조사기법(설문조사와 인터뷰)을 실시하였다. 1차에서는 종의 서식환경평가를 위하여 개발하고자 하는 서식모형의 서식정보는 제한요인, 생활사 요구사항, 서식변수 등으로 구분하였다. 제한요인은 모델적용지역, 공간규모, 계절적 범위로 구성되며, 생활사 요구사항은 공간, 자원, 번식, 커버, 분포로 정의하여 전문가에게 자유형식으로 서식변수를 조사하였으며, 2차에서는 1차에서 전문가로부터 제시된 항목과 기존 황조롱이 관련논문을 근거로 서식변수를 구체화하여 전문가들과 1대1 인터뷰방식으로 조사하였다. 인터뷰 시간은 1인 30분을 넘기지 않는 범위에서 실시하였다. 전문가가 평가한 순위결정방식에 대한 일치성의 여부 판단은 켄달의 일치계수(W)를 이용하여 분석하였다. W=0 일 때는 순위가 전혀 일치하지 않고 1에 가까울수록 일치의 정도는 좋아져서 W=1 일 때는 순위가 완전히 일치한다고 볼 수 있다.

② 황조롱이의 서식변수별 적합성지수 적용

델파이기법을 통해 정리된 황조롱이의 서식변수 중에서 국내에 구축된 지리정보인 수치표고모델(DEM), 지형도, 토양도, 현존식생도, 임상도 등에서 서식변수로 이용가능한 항목을 도출하였다. 황조롱이 서식모형 개발에 있어 서식변수는 지리정보로 확보할 수 있는 변수와 현지조사를 통해 확보해야 할 변수로 구분하였다. 예를 들어, 서식모형 개발에 있어 필요한 변수임에도 불구하고 지리정보가 구축되지 않은 경우에는 환경영향평가 현지조사시 서식환경조사를 추가한다. 본 연구에서는 황조롱이의 서식변수 중 가용한 지리정보를 갖고 서식모형을 개발하였으며, 현지조사에서는 가용한 자료에 의해 확보된 서식적합성지수의 분포도를 검증하는데 중점을 두었다.

황조롱이의 서식변수에 대한 기존의 지리정보자료의 구축된 후, 서식변수별 지리정보를 활용하여

적합성지수를 산출하였다. 서식변수별 적합성지수의 산정은 황조롱이 관련 논문과 델파이기법을 통한 전문가의 인터뷰를 수렴하여 결정하였다. 적합성 지수는 생물종의 생활조건에 따라 서식환경을 지수화한 것으로, 0은 부적합한 지역을 의미하고, 0.5는 서식분포가 가능한 공간이며, 1은 최적의 서식지를 나타낸다. 본 연구에서는 각 서식변수별로 전문가 델파이기법과 문헌자료를 토대로 산정하였다.

③ 종 서식적합성지도 제작

황조롱이의 각 서식변수별 산출된 적합성 지수에 각각의 가중치를 부여하여 최종 서식적합성 지수를 구하였다. 황조롱이의 서식변수별 가중치는 동등하게 부여하였다. 그리고 최종 서식적합성지수를 이용하여 대상지역 내에서의 황조롱이 서식지 적합성 여부를 판단하는 황조롱이의 서식적합성지도를 제작하였다. 서식지도는 야생조류 및 서식지 관리, 자연환경보전계획 수립, 개발사업 입지선정, 생태·자연도 작성 등에 효과적으로 활용할 수 있다(유병호 등, 1999, 박시룡, 2010). 항공사진이나 위성영상 자료확보 및 컴퓨터 기술발달에 따라 경관생태학적 접근방법은 서식지 평가·관리에 널리 활용되고 있다(Bissonette and Storch, 2003). 경관생태학적 접근방법에 의해 30m 격자크기와 황조롱이 행동권을 고려하여 서식모형의 개발 및 분석 범위를 설정하였다.

④ 서식모형 검증 및 적용

전문가 델파이기법을 통해 획득한 황조롱이 서식모형을 검증하기 위해 제2차 전국자연환경조사 문헌조사와 비교하였으며, 사례지역을 대상으로 현지조사를 실시하였다. 황조롱이 서식모형에 의해 작성된 서식적합성 분포도의 핵심서식지에 대해서 기존 문헌조사에서의 출현지점과 비교하였다(Henglet al. 2009). 아울러 핵심서식지로 도출된 지역과 서식부적합지로 제시된 지역에 대한 현지조사를 실시하여 황조롱이 서식모형의 신뢰성을 검증하였다.

IV. 결과

1. 황조롱이 출현현황(1997-2005)

국내 황조롱이의 출현지점은 675개 지점이며, 국가 기본도(1/25,000) 기준의 824도엽 중에서 356개 도엽(43.2%)에서 출현하였다. 3회 이상 분포자료가 중첩되는 도엽은 77개이었다. 황조롱이의 전국적 분포현황과 더불어 개발사업이 집중되어 있는 수도권 지역의 출현분포를 중점적으로 살펴보았다. 파주시, 시흥시, 안산시, 화성시의 대상지역내에서는 총 16개 지점에서 관찰되었는데, 파주에서 2개 지점, 안산에서 6개 지점, 화성에서 8개 지점의 출현기록이 있다.

2. 델파이기법을 통한 서식변수 도출 및 적합성지수 적용

1) 황조롱이 서식변수 추출

델파이 1차 조사결과에 따르면, 황조롱이 서식모형은 전국을 대상으로 하며, 적절한 공간규모는 몇 백 m에서 7~8 km이상, 시간적으로는 4계절 모두 적용할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 서식요구사항으로 자원(먹이), 번식, 분포(경쟁)가 중요한 항목으로 나타났다. 자원(먹이)과 관련된 서식변수는 소형포유류(생쥐, 등줄쥐 등) 밀도, 농경지와 하천 및 초지 등 채식장소의 유무, 나대지의 개방정도이며, 번식과 관련된 변수는 나무둥지, 절벽, 고층아파트의 유무, 번식 구조물(선박길이 등)로 파악되었다. 델파이

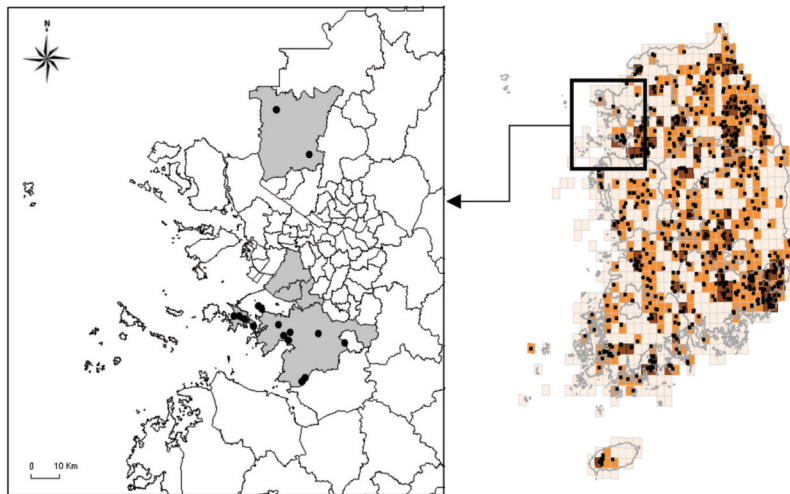


Fig. 2. Observed points of the Common Kestrel during the nationwide natural environment survey at the national level and at the inset of study sites. Points are the occurrence data of the species.

Table 2. Habitat requirements and habitat variables to develop the Common Kestrel Habitat Suitability Index Model at the first step in Delphi technique procedure.

| Model applicability condition | | Habitat requirements | Habitat variables |
|--|------------------------------|----------------------|--|
| Geographic area | Season | | |
| Range of the Common Kestrel | Breeding season (March-July) | Food component | small mammal(rodent) abundance |
| | | | % bareground, pasture and riparian area |
| | | | openness index(%) of geographic terrain |
| | | | spatial distribution and composition of cropland |
| Home range of the Common Kestrel (0.5km-8km) | | Reproduction | tall trees, cliffs and high-rise buildings |
| | | | reproductive sites at the high-rise building |
| | | Competition | density of other raptor species |

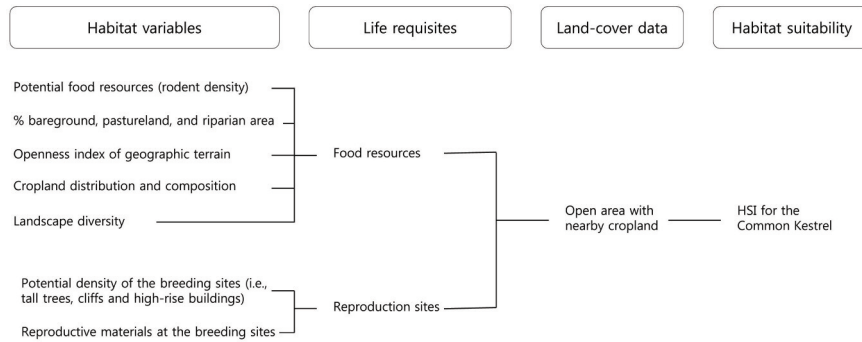


Fig. 3. Relationships of habitat variables, life requisites, land-cover data, and HSI in the Common Kestrel habitat model.

Table 3. Habitat suitability index of the Common Kestrel for each land-cover type

| Land-cover type | Reclassified land-cover data with fine resolution | Habitat suitability index |
|-------------------|---|---------------------------|
| agricultural area | rice paddy | 1.0 |
| | cropland, orchards | 0.5 |
| pastureland | natural pasturelands | 1.0 |
| | other pasturelands (i.e. golf course) | 0.5 |
| wetland | inland wetland | 1.0 |
| | coastal wetland | |
| bareground | bareground | 0.5 |

이 1차조사에서 얻은 황조롱이 서식변수는 기존의 황조롱이 연구에서 제기된 번식동지, 먹이자원과 일치한다(Village, 1990; Orta, 1994; Riegert *et al.*, 2007). 아울러 델파이조사에 참여한 대부분의 조류 전문가들은 분포(경쟁)와 관련된 서식변수로 타 맹금류의 밀도를 중요하게 생각하는 것으로 나타났다(Table 2).

델파이 2차 설문에서는 9명의 전문가로부터 황조롱이 서식변수에 대한 상대적 가중치를 부여하였다. 조사결과, 소형포유류의 밀도가 황조롱이 서식지를 결정짓는데 주요 요인이었으며, 그 다음으로 나지, 초지, 하천유역의 면적, 번식구조물 유무, 개활정도, 유희 농경지의 면적 순으로 나타났다. 델파이 기법의 조사참여자에 대한 서식변수 중요도 순위의 일치성을 확인하고, 답변의 신뢰도를 높이기 위해 켄달의 일치계수를 계산한 결과, 6명의 서식변수간 중요도 의견에서 일치성을 갖는 것으로 나타났다(Kendall's W test, $W = 0.578$, $p < 0.05$). 2차례에 걸친 델파이조사 결과, 황조롱이 서식모형의 개발을 위해 필요한 요구사항으로 자원(먹이)과 번

식이 주요 항목으로 밝혀졌다. 자원(먹이)에 영향을 주는 서식변수로는 소형 포유류(설치류)의 밀도, 나지/초지/하천 유역의 면적, 개활 정도(%), 유희 농경지의 면적, 경관다양성이었으며, 번식에 영향을 주는 서식변수로는 나무/절벽/고층 구조물(번식환경), 고층 구조물의 선반 길이가 제시되었다(Fig. 3).

2) 서식지 함수관계 도출

① 서식지 유형 및 규모

델파이조사에 의해 황조롱이 서식지 유형 및 규모를 분석한 결과, Table 3과 같은 서식적합성지수를 얻을 수 있다. 맹금류 전문가를 대상으로 한 의견수렴을 통해 토지피복유형별 서식적합성함수를 도출하였다. 즉 농경지, 초지, 습지에 대한 황조롱이 서식적합성지수를 1.0으로 부여하였으며, 그 외 개활지는 0.5로 할당하였는데, 이는 주요 먹이원인 설치류 서식밀도가 농경지, 초지 등에서 높기 때문이다(Aschwanden *et al.*, 2005; Żmihorski and Rejt, 2007). 기존 문헌에서도 대부분 황조롱이는 농경지, 하천변, 간척지, 구릉지, 산림 등에서 관찰

Table 4. Habitat suitability index of the Common Kestrel with openness at the landscape level related to the edge density between woody and open area such as pastureland, croplands

| Habitat variables | Data available for HSI model development | suitability index |
|--|---|-------------------|
| open area within 200m distance from woody | open area (i.e., rice paddy, cropland, pastureland, wetlands) | 1.0 |
| remote open area far apart from woody area | | 0.2 |
| forest land | evergreen and deciduous forest | 0.2 |
| orchard | orchard | 0.2 |

된다(원병오, 1984). 황조롱이 분포는 번식동지 근처의 서식지 유형과 먹이밀도의 변화에 따라 달라지나 대개 나지의 이용률이 높은 것으로 조사되어 델파이조사에서 제시한 개활지 및 농경지, 초지 등의 선호하는 토지피복과 일치하는 것을 알 수 있다(Aschwanden *et al.*, 2005).

② 취식환경의 질

2차 델파이조사에서 일치도가 높게 나타난 6명의 전문가 의견을 취합하였다. 대부분의 전문가는 개활지에 먹이자원이 풍부할지라도 임연부와 멀리 떨어져 있어 자연적인 교란이나 포식자, 경쟁자로부터 안전하게 생활할 수 있는 은신처나 피난처가 없는 경우 취식환경이 불량한 것으로 평가한다. 즉 산림 임연부에 인접한 200m 이내의 개방지를 황조롱이 주요 취식지로 간주하여 임연부에서 200m 이내 위치한 개방지(농경지, 평야, 호수, 하천 등)는 서식적합성지수 1.0을 부여하였으며, 임연부에 인접하지 않는 개방지는 0.2를 할당하였다. 번식환경을 중심으로 한 서식지 유형과 달리 황조롱이 먹이 자원의 질을 평가하는데 있어 임연부의 역할을 높게 부여하였으며, 이로 인해 임연부와 인접하지 않은 개방지의 서식적합성지수를 낮게 평가하였다. 황조롱이 취식지는 주로 농경지와 휴경지, 습지 등이며, 시가화 지역에서도 취식하나 임연부와 멀리 떨어진 지역에서의 이용률은 낮게 나타났다(Korpimäki, 1986; Valkama *et al.*, 1995).

3. 서식적합성지도(Habitat suitability map) 작성

황조롱이의 서식적합성지수를 이용하여 제작한 서식적합성지도는 Fig. 4와 같다. 황조롱이의 지리적 범위는 파주시, 안산시, 시흥시, 화성시 4개 시

권역이며, 서식모형의 적용은 조류 번식기에 해당하는 4월부터 8월까지이다. 황조롱이의 서식적합성지도 작성을 위한 최소 서식면적은 Village(1990)가 제시한 황조롱이 행동권 거리 2km를 이용하였다. 즉 최소서식면적 이하의 서식지 패치는 황조롱이 서식적합성지도에서 제외하여 핵심서식지를 도출하였다.

4. 서식적합성지도 검증 및 활용

1) 서식적합성지도 검증

황조롱이 서식적합성지도와 제2차전국자연환경조사 및 겨울철조류동시센서스 전국단위 분포자료를 비교한 결과, 연구대상지역인 파주시와 화성시 일원(안산시 및 시흥시 포함)의 총 16개 지점에서 황조롱이 관찰지점과 일치하는 것으로 나타났다. 파주에서 관찰된 2개 지점 가운데 1곳은 서식적합성지수가 0.8 이상으로 높게 나타났으며, 안산에서는 6개 관찰지점 가운데 3개 지점이 0.8이상, 2개 지점이 0.7-0.8로 서식모형에 의한 예측정확도가 높은 것을 알 수 있었다(Table 5). 연구대상지역의 16개 관찰지점 가운데 0.8 이상의 핵심서식지역에 6개(37.5%), 0.7-0.8 사이에 5개(31.2%)로 11개 지점(68.7%)이 서식모형에 의해 서식가능지역에 위치하고 있다.

한편 16개 황조롱이 출현지점 가운데 4개 지점(18.8%)은 서식적합성지수가 0.5 이하인 지역에 위치하고 있는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 개발한 황조롱이 서식모형에 있어 현지조사를 통해 확보할 수 있는 서식변수를 포함하지 않았기 때문으로 생각된다. 델파이기법에 의해 도출한 7개 변수 가운데 현재 환경영향평가에서 가용한 자료를

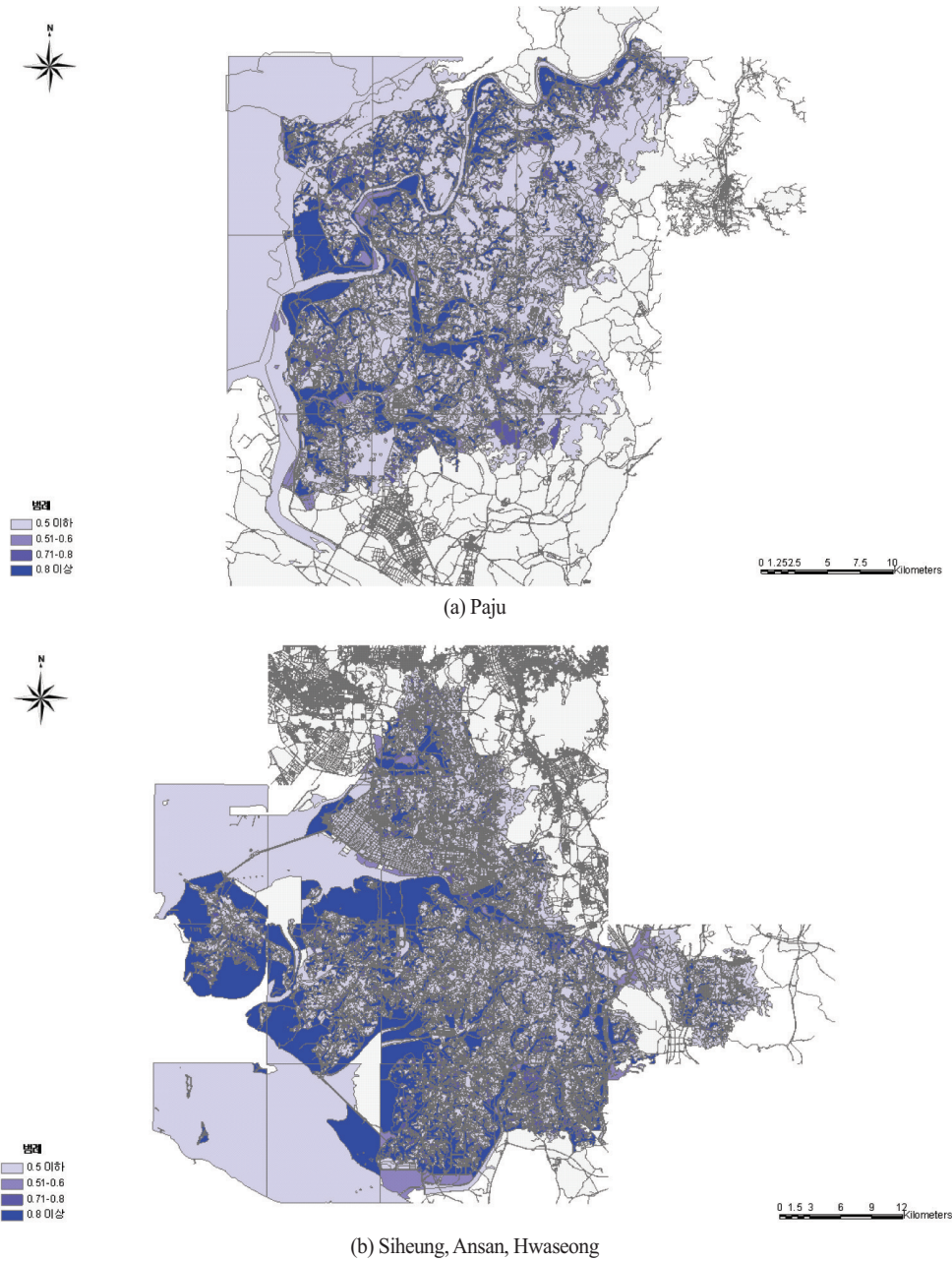


Fig. 4. Habitat suitability maps of the Common Kestrel at (a) Paju and (b) Siheung, Ansan, Hwaseong sites

Table 5. Model evaluation of habitat suitability map against occurred data

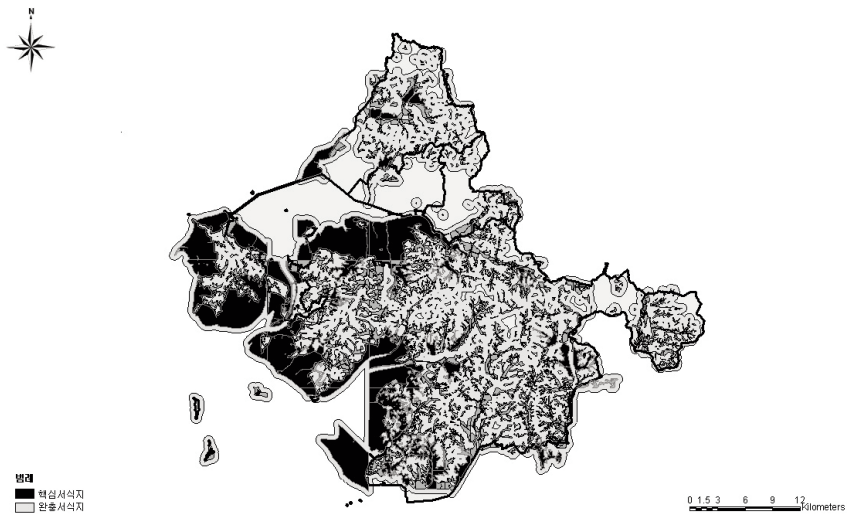
| Habitat suitability classes | Occurrence data of the Common Kestrel | | | Percent of each suitability class against occurrence |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------|---------------|--|
| | Paju site | Ansan site | Hwaseong site | |
| > 0.8 | 1 | 3 | 2 | 6 (37.5%) |
| 0.71 - 0.8 | | 2 | 3 | 5 (31.2%) |
| 0.51 - 0.6 | | | 1 | 1 (12.5%) |
| ≤ 0.5 | 1 | 1 | 2 | 4 (18.8%) |

이용하여 서식모형을 개발하였으며, 델파이기법에 의해 제시한 현지조사 단계에서의 서식변수를 조사하여 서식모형 개발에 반영하는 것이 필요하다.

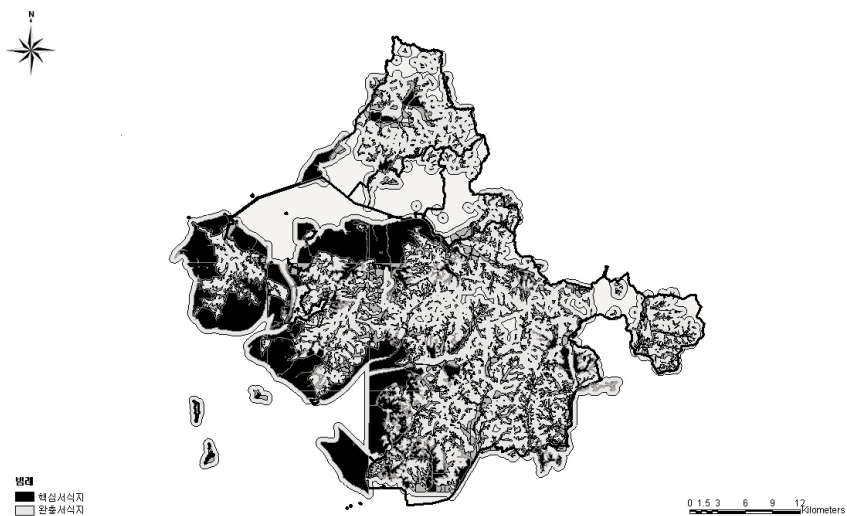
본 연구는 환경영향평가에서 법적보호종으로 빈번하게 출현하는 황조롱이 서식지 보호를 위해 개발사업에 의한 환경영향을 정량적으로 파악하기 위한 방법론을 제시하는데 의의가 있다. 이를 위해 황조롱이 전문가를 대상으로 델파이기법을 실시하여

황조롱이의 서식변수를 도출하며, 변수간 가중치와 서식변수와 적합성지수간의 함수관계를 파악하였다. 델파이기법에 의해 도출된 황조롱이 서식모형에서 현재 가용한 자료를 이용하여 파주, 화성 등 수도권지역을 대상으로 서식적합성지도를 작성하였다.

현지조사를 바탕으로 도출할 수 있는 서식변수를 사례대상지역의 서식적합성지수를 작성하는 과정



(a) Paju



(b) Siheung, Ansan, Hwaseong

Fig. 5. Critical habitat and buffered areas for the Common Kestrel in (a) Paju and (b) Siheung, Ansan, Hwaseong sites

에 포함하지 못하면서 일부 황조롱이 출현지점에서 서식적합성지수가 낮은 것으로 나타났다. 황조롱이와 같이 전국적으로 출현하는 생물종의 서식모형을 개발하고자 할 때에는 전국 차원에서 확보할 수 있는 자료를 검토하는 것이 우선되어야 한다. 이에 본 연구에서는 환경영향평가에 있어 가용한 지리정보를 기반으로 서식모형을 개발하였으나, 향후 지역 특성이나 개발사업의 유형을 반영하여 현지조사 단계의 서식변수를 포함하여 서식모형의 정확도를 높일 수 있다.

2) 서식적합성지도의 활용 및 적용

황조롱이 핵심서식지와 완충서식지는 파주시와 화성시 일원(안산시와 시흥시 포함)에서 서식적합성지수 0.8 이상인 지역을 핵심서식지로 구분하고, 핵심서식지 중심으로부터 0.5km를 완충구역으로 도면화하였다(Fig. 5). 모형개발 대상종의 서식범위와 서식적합성지수를 고려하면 연구대상지역에서의 황조롱이 서식지로서 보전가치가 높은 지역을 제작할 수 있다. 서식적합성지수 0.8 이상인 지역을 도출하고, 기존조사에 의해 출현지점으로 밝혀진 지역으로 많은 개체수를 부양할 수 있는 일정규모 이상 즉 황조롱이 활동권을 포괄하는 핵심서식지에 대해서는 서식지 조사 및 서식환경평가를 실시하여야 한다. 즉 핵심지역이나 완충지역을 대상으로 개발사업이 실시될 경우, 현지조사 단계에서 델파이기법에서 의해 얻은 서식변수를 조사항목으로 포함하며, 이를 통해 황조롱이에 대한 서식모형 개발 및 서식지 훼손정도를 예측할 수 있다.

V. 결론 및 제언

기존 환경영향평가에서 시행하는 동식물상 평가는 동식물상 출현목록을 제시하는데 치중하여 개발사업으로 인한 영향범위와 정도를 정량적으로 예측하는데 한계가 있다. 다수의 개발사업에서 법적보호종인 황조롱이를 비롯한 맹금류(붉은배새매, 참매, 물수리 등) 출현지점과 이동방향에 대해서 제시하고 있으나, 정확한 서식범위와 개발사업의 영향

을 예측하는데 어려움을 겪고 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 환경영향평가에서 시행하는 종 출현지점 중심의 동물상 문헌조사 및 현지조사를 기반으로 하는 사업영향예측 및 저감방안에 있어 개발사업으로 인한 서식지 감소 및 서식질 저하를 정량적으로 예측하기 위한 방법론을 제시하였다. 환경영향평가에 있어 황조롱이 서식환경평가방법론을 도입하여 문헌조사, 델파이기법에 의해 황조롱이 서식모형을 개발하고, 현지조사를 통해 서식모형의 검증 및 수정을 통해 서식적합성지도를 작성하였다.

델파이조사에 따라 황조롱이 서식환경평가는 자원(먹이)와 번식의 2가지 요구조건으로 구분하였다. 서식요구사항을 충족하기 위한 변수로는 소형포유류(설치류) 밀도, 나지와 초지 및 하천 주변부 면적, 개활정도, 유희 농경지의 분포 및 면적, 경관 다양성, 번식가능한 구조물, 선반길이 등 7개 항목을 도출하였다. 본 연구에서는 기존 지리정보자료에서 가용한 경관수준에서 2개 서식변수를 이용하였으며, 나머지 서식변수는 현지조사를 통해 확보하여 서식모형을 보완할 수 있다.

본 연구의 한계로는 서식변수로 포함하지 못했으나 황조롱이 서식밀도를 결정하는데 중요한 번식가능한 구조물과 잠재적 먹이자원의 공간분포도를 경관차원에서 확보하지 못한 점이다. 황조롱이 번식은 절벽지역이나, 도시의 고층아파트 선반과 같이 다양하다(원병오, 1984; Village, 1990; Valkama *et al.*, 1995). 도시에서 번식하는 황조롱이의 번식장소는 6m 이상 높이의 10~20cm 정도 나무구멍이나 선반구조물이 중요한 것으로 나타났다(日本野鳥會, 1994). 먹이원은 지리적 분포와 서식지 유형에 따라 다른 것으로 밝혀졌다. 북유럽에서는 설치류, 소형 조류, 도마뱀, 곤충을 먹이자원으로 이용하고 있다(Korpimäki, 1985; Riegert *et al.*, 2009). 남유럽에서는 북유럽보다 다양한 먹이원을 이용하는데, 곤충류, 도마뱀 및 소형 조류가 주요 먹이원이다(Gil-Delgado *et al.*, 1995; Costantini *et al.*, 2005). 한편 남아프리카에서는 거미류와 같은 절족동물이 황조롱이의 주요 먹이원으로 밝혀졌다. 우리나라는 전국에 분포하고 있는 설치류가 주요 먹

이원이며, 이에 따라 설치류 밀도를 서식변수로 포함하여 환경영향평가 현지조사를 실시하여야 한다(원병오, 1984; 원일재 등, 2005).

본 연구에서는 황조롱이를 대상으로 서식변수 중 일부만을 이용하여 서식모델을 개발했기에 서식적합성 지수 0.7 이상인 지역에서 실제 개체 68.7% 출현을 보였으나, 향후 현지조사에 기반한 서식변수 항목을 추가한다면 서식적합성지도의 정확도는 지속적으로 높아질 것이다. 현지조사 이전 법적보호종의 서식적합성지도는 전략환경영향평가와 환경영향평가서 초안 및 본안 과정에서 사업대상지의 입지선정이나 사업경계 재조정에 활용할 수 있다(박종화 등, 2003; 노백호 등, 2004). 개발사업에 있어 불가피하게 핵심서식지를 훼손할 경우에는 인접지역에 대한 서식환경 분석을 통해 대체서식지 조성대상지역을 선정하고, 사업 이후 사후환경영향평가에서도 저감방안으로 해당종의 서식환경평가를 이용할 수 있다. 특히 개발사업 전후의 서식모형에 의한 서식지 총량을 비교하여 개발사업으로 인한 서식지 훼손 정도를 정량적으로 예측할 수 있다.

개발사업에서 빈번하게 제기되는 주요한 법적보호종의 서식모형 정확도를 높이기 위해서는 해당종의 서식변수 추출과 변수별 적합성지수의 적용합수를 도출하는 것이 중요하다. 현지조사가 충분치 않으며 개체수가 많지 않은 수도권 4개 시권역을 대상으로 한 황조롱이 서식적합성지도 제작에 있어 델파이기법은 신뢰할 수 있는 서식적합성지도를 제시하는 것으로 나타났다. 델파이기법은 희귀종이나 멸종위기종의 서식변수 및 적합성지수의 산정에 적합한 방법으로 법적보호종의 서식모형 개발과정에서 해당분류군의 전문가 의견과 문헌자료를 토대로 델파이기법을 이용할 수 있다. 향후 환경영향평가 대행자나 전문조사원이 서식모형을 적용할 수 있도록 국가 차원의 환경평가 전문기관에 의한 주요종 서식모형을 개발하여 제공하면 환경영향평가에서 멸종위기종 출현여부로 야기되는 환경영향평가의 논란을 줄일 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2010년 한국환경정책·평가연구원 기본과제(과제번호 KEI 2010-13)에 의해 이루어졌습니다. 연구수행에 도움을 주신 한국환경정책·평가연구원의 최준규, 윤정호 박사, 델파이조사에 응해주신 20명의 조류 전문가, 그리고 심사위원회 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- 강태한, 김성현, 진선덕, 조해진, 백운기, 2011, 조류에 의한 새만금 평가 연구, 한국조류학회지, 18(3), 181-189.
- 국토해양부, 2010, 도시계획현황.
- 권영한, 노태호, 이현우, 정홍락, 2006, 환경평가에 있어 생물다양성 항목의 도입방안, 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- 김지연, 서창완, 권혁수, 류지은, 김명진, 2012, 전국자연환경조사 자료를 이용한 종분포모형 연구, 환경영향평가, 21(4), 593-607.
- 김지영, 강영현, 권영한, 김시현, 노태호, 맹준호, 박영민, 송영일, 유현석, 이수재, 이영수, 이영준, 이현우, 전인수, 정홍락, 조광우, 조승현, 주현수, 최상기, 최재용, 최준규, 주용준, 박영재, 박준철, 서성철, 이정현, 채민정, 2002, 환경영향의 합리적 예측 평가를 위한 기법 연구, 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- 노백호, 박해경, 2004, 경관생태학에 의한 야생동·식물 서식공간 설정방안 연구, 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- 노백호, 윤정호, 최준규, 이석원, 서현지, 2010, 범정부호 야생조류의 서식환경평가방안, 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- 박시룡, 2010, 멸종위기급 황새(*Ciconia boyciana*)의 야생복귀를 위한 기초 연구 및 서식지 조성 기술 개발, 한국환경산업기술원.
- 박종화, 이도원, 이우신, 2003, GIS를 이용한 야생

- 동물 서식지 모형 개발: 설악산 국립공원을 대상으로, 한국과학재단 특정기초연구.
- 송영일, 서성철, 김시현, 최준규, 한상욱. 2002. 사전환경성검토제도의 개선방안. 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- 신경희, 김지영, 노태호, 맹준호, 문난경, 선희성, 이희선, 조공장, 주용준, 최희선, 하주현, 임효숙, 2010, 택지 및 산업단지 개발사업의 환경평가 단계별 성과분석, 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- 원병오, 1984, 한국의 새 - 천연기념물, 범양사 출판부.
- 원일재, 조삼래, 백충렬, 2005, 황조롱이(*Falco tinnunculus*)의 번식생태에 관한 연구, 한국조류학회지, 12(2), 61-68.
- 유병호, 조정웅, 김진한, 이대림, 1999, 우리나라 야생동물의 보호·관리 실태, 임업연구원.
- 이동근, 김은영, 이은재, 송원경, 2010, 개발사업에 따른 조류종영향평가모형 개발 및 적용, 환경영향평가, 19(3), 347-356.
- 이현우, 정홍락, 노태호, 권영한, 김철환, 현진오, 장진수, 2005, 보호대상 식물종에 대한 환경영향평가기법 개선방안 연구, 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- 정홍락, 이현우, 노태호, 권영한, 유현석, 박소현, 2003, 경관생태학적 환경영향평가기법에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원 보고서.
- Aschwanden, J., S. Birrer and L. Jenni, 2005, Are ecological compensation areas attractive hunting sites for Common Kestrels(*Falco tinnunculus*) and Long-eared Owl(*Asio otus*). Journal of Ornithology, 146, 279-286.
- Bissonette, J. A. and I. Storch, 2003, Landscape ecology and resource management: linking theory with practice. Island Press, Covelo, CA, USA.
- Costantini, D., S. Casagrande, G. Di Lieto, A. Fanfani and G. Dell'Omo, 2005, Consistent differences in feeding habits between neighbouring breeding kestrels. Behaviour, 142, 1409-1421.
- Crance, J. H., 1987, Guidelines for using the Delphi technique to develop habitat suitability index curves. U.S. Fish and Wildlife Service. Biological Report 82(10.134).
- Gil-Delgado, J. Verdejo and E. Barba, 1995, Nestling diet and fledgling production of Eurasian Kestrels(*Falco tinnunculus*) in eastern Spain. Journal of Raptor Research, 29(4), 240-244.
- Hengl, T., H. Sierdsema, A. Radovic, and A. Dilo, 2009, Spatial prediction of species distributions from occurrence - only records: combining point pattern analysis, ENFZ and regression-kriging. Ecological Modelling, 220(24), 3499-3511.
- Korpimaki, E., 1985, Diet of the Kestrel *Falco tinnunculus* in the breeding season. Ornis Fennica, 62, 130-137.
- Korpimaki, E., 1986, Diet variation, hunting habitat and reproductive output of the Kestrel *Falco tinnunculus* in the light of the optimal diet theory. Ornis Fennica, 63, 84-90.
- MacMillan, D. C. and K. Marshall, 2005, The Delphi process - an expert-based approach to ecological modelling in data-poor environments. Animal Conservation, 9, 11-19.
- Orta, J., 1994, Common Kestrel. p. 259. In del Hoyo, J., A. Elliot. and J. Sargatal.(eds.). 1994. Handbook of the Birds of the World. Vol. 2. New World Vultures to Guineafowl. Lynx Edicions, Barcelona.

- Riegert, J. F. Drahomira, M. Vaclav and F. Roman, 2007, How urban kestrels *Falco tinnunculus* divide their hunting grounds: partitioning or cohabitation. *Acta Ornithologica*, 42(1), 69-76.
- Riegert, J., M. Lovy and D. Fainova, 2009, Diet composition of Common Kestrel *Falco tinnunculus* and Long-eared Owls *Asio otus* coexisting in an urban environment. *Ornis Fennica*, 86, 123-130.
- Valkama, J., E. Korpimäki and P. Tolonen, 1995, Habitat utilization, diet and reproductive success in the Kestrel in a temporally and spatially heterogeneous environment. *Ornis Fennica*, 72, 49-61.
- Village, A., 1990, *The Kestrel*. T & AD Poyser, London. UK.
- Wheater, C. P., 2002, *Urban Habitats*. Routledge, New York, USA.
- Yalden, D. W., 1980, Notes on the diet of urban kestrels. *Bird Study*, 27(4), 235-238.
- Zmihorski, M. and L. Rejt, 2007, Weather-dependent variation in the cold-season diet of urban kestrels *Falco tinnunculus*. *Acta Ornithologica*, 42(1), 107-113.
- 日本野鳥會, 1994, 第4回自然環境保全基礎調査 動植物分布調査報告書(鳥類の集団繁殖地及び集団ねぐら) - チョウゲンボウの集団繁殖地の現状と動向. 環境廳自然保護局.

최종원고채택 13. 06. 11