

멧돼지(*Sus scrofa*) 서식지 및 이동 특성을 고려한 연결성 모델링 연구*

이현정¹⁾ · 김휘문¹⁾ · 김경태¹⁾ · 정승규²⁾ · 김유진³⁾ · 이경진⁴⁾ · 김호걸⁵⁾ · 박찬⁶⁾ · 송원경⁷⁾

¹⁾ 단국대학교 환경원예·조경학과 대학원 학생 · ²⁾ 국립생물자원관 동물자원과 환경연구사 ·

³⁾ 국립생물자원관 동물자원과 전문위원 · ⁴⁾ 국립생물자원관 동물자원과 과장 ·

⁵⁾ 청주대학교 휴먼환경디자인학부 조경도시계획전공 교수 ·

⁶⁾ 서울시립대학교 조경학과 교수 · ⁷⁾ 단국대학교 환경원예 · 조경학부 교수

A Study on the Connectivity Modeling Considering the Habitat and Movement Characteristics of Wild Boars (*Sus scrofa*)*

Lee, Hyun-Jung¹⁾ · Kim, Whee-Moon¹⁾ · Kim, Kyeong-Tae¹⁾ · Jeong, Seung-Gyu²⁾ ·
Kim, Yu-Jin³⁾ · Lee, Kyung Jin⁴⁾ · Kim, Ho Gul⁵⁾ · Park, Chan⁶⁾ and Song, Won-Kyong⁷⁾

¹⁾ Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student,

²⁾ Animal Resources Division, National Institute of Biological Resources, Researcher,

³⁾ Animal Resources Division, National Institute of Biological Resources, Research Assistant,

⁴⁾ Animal Resources Division, National Institute of Biological Resources, Director,

⁵⁾ Dept. of Human Environment Design, Major in Landscape Urban Planning, Cheongju University, Professor,

⁶⁾ Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Professor,

⁷⁾ School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor.

ABSTRACT

Wild boars(*Sus scrofa*) are expanding their range of behavior as their habitats change. Appearing in urban centers and private houses, it caused various social problems, including damage to crops. In order to prevent damage and effectively manage wild boars, there is a need for ecological research considering the characteristics and movement characteristics of wild boars. The purpose of this study

* 본 논문은 국립생물자원관의 2022년도 일반사업(NIBR202218101)의 지원으로 수행되었습니다.

First author : Lee, Hyun-Jung, Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea,
Tel : +82-41-550-6273, E-mail : ecologyyahoo@gmail.com

Corresponding author : Song, Won-Kyong, School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea,
Tel : +82-41-550-3636, E-mail : wksong@dankook.ac.kr

Received : 23 May, 2022. **Revised** : 30 August, 2022. **Accepted** : 26 August, 2022.

is to analyze home range and identify land cover types in key areas through tracking wild boars, and to predict the movement connectivity of wild boars in consideration of previous studies and their preferred land use characteristics. In this study, from January to June 2021, four wild boars were captured and tracked in Jinju city, Gyeongsangnam-do, and the preferred land cover type of wild boars was identified based on the MCP 100%, KDE 95%, and KDE 50% results. As a result of the analysis of the home range for each individual, it was found that 100% of MCP was about 0.68km², 2.77km², 2.42km², and 0.16km², and the three individuals overlapped the home range, refraining from habitat movement and staying in the preferred area. The core areas were analyzed as about 0.55km², 2.05km², 0.82km², and 0.14km² with KDE 95%, and about 0.011km², 0.033km², 0.004km², and 0.003km² with KDE 50%. When the preferred land cover type of wild boar was confirmed based on the results of analysis of the total home range area and core area that combined all individuals, forests were 55.49% (MCP 100%), 54.00% (KDE 95%), 77.69% (KDE 50%), respectively, with the highest ratio, and the urbanization area, grassland, and agricultural area were relatively high. A connectivity scenario was constructed in which the ratio of the land cover type preferred by the analyzed wild boar was reflected as a weight for the resistance value of the connectivity analysis, and this was compared with the connectivity evaluation results analyzed based on previous studies and wild boar characteristics. When the current density values for the wild boar movement data were compared, the average value of the existing scenario was 2.76, the minimum 1.12, and the maximum 4.36, and the weighted scenario had an average value of 2.84, the minimum 0.96, and the maximum 4.65. It was confirmed that, on average, the probability of movement predictability was about 2.90% better even though the weighted scenario had movement restrictions due to large resistance values. It is expected that the identification of the movement route through the movement connectivity analysis of wild boars can be suggested as an alternative to prevent damage by predicting the point of appearance. In the future, when analyzing the connectivity of species including wild boar, it is judged that it will be effective to use movement data on actual species.

Key Words : *Jinju City, Preferred Land Characteristics, Land Cover Type, Home Range, Circuit Theory, Spatial Analysis*

I. 서 론

멧돼지(*Sus scrofa* L.)는 아시아, 유럽, 남북아메리카 등 전 세계적으로 넓게 분포하고 있으며(National Institute of Biological Resources, 2012), 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 대형 포유류 중 하나이다(Choi *et al.*, 2006; Lee and Lee, 2014). 사회경제적 변화, 기후변화, 이주 과정,

작물 변화, 포식자 부족 등 여러 변수로 인해 멧돼지의 개체 수가 증가하게 되었다(Acevedo *et al.*, 2006). 멧돼지는 사람과 천적의 접근을 피해 은신할 수 있는 곳을 선호하며 잡식성 동물로써 먹이자원을 확보하고자 다양한 서식지를 활용한다(Massei and Genov, 2004; Łabudzki *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2014). 높은 산, 농업 지역, 습지 등 다양한 생태계에서 발견되고 있으며

(Giménez-Anaya *et al.*, 2008), 광범위한 지역에서 초식 동물 및 대형 포식자로 기능하고 있다 (Risch *et al.*, 2021).

국내 생태계 내 상위 포식자인 호랑이, 늑대 등이 멸종하면서 멧돼지의 개체수가 급격하게 증가하였고 서식 환경이 변화함에 따라 멧돼지의 행동 범위가 넓어지고 있다(Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2018). 멧돼지의 행동반경이 커지면서 인간의 행동 영역까지 침범하게 되었고 인간과 멧돼지의 갈등이 발생하게 되었다(Cai *et al.*, 2008; Massei *et al.*, 2015). 멧돼지가 인가 주변 및 도심 출현, 생태계 변화 등 여러 피해를 주게 되면서 환경부에서 멧돼지를 유해야생동물 및 수렵종으로 지정하였다(Kim *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2020). 멧돼지는 부족한 먹이를 보충하기 위해 농경지에 침범하고 농작물을 훼손하여 농가에 막대한 피해를 미쳤다(Wilson, 2004). 국내 가축에 질병을 전염시킬 확률이 높으며(Killian *et al.*, 2006; Gortázar *et al.*, 2007), 특히 아프리카돼지열병(ASF: African Swine Fever)을 확산시켜 생태계 건강성에 부정적인 영향과 함께 농가에 경제적 손실을 주었다(Ko *et al.*, 2021). 또한, 균류, 무척추 동물, 식물 지하부의 광범위한 뿌리를 먹고자 토양 식물의 영역을 훼손하고 새를 포식하는 등 다른 유기체에 영향을 주게 되면서 생태계를 위협하고 있다(Amici *et al.*, 2012; Barrios-Garcia and Ballari, 2012). 멧돼지로 인해 발생하는 서식지 파괴, 포식 및 자원 경쟁은 희귀종, 위협종, 멸종위기종 등 다양한 종에 영향을 미칠 수 있어 대안이 필요하다(Lewis *et al.*, 2019).

멧돼지의 개체수 조절을 위해 울타리, 포획 트랩, 개체군 통제, 수렵 등 물리적인 압력으로 멧돼지를 통제하였으나 오히려 서식밀도가 증가하는 상황이 발생하였다(Song *et al.*, 2018; National Institute of Biological Resources, 2019). 또한, ASF 확산 피해를 줄이고자 사냥을 통해 멧돼지 개체수 규제 및 감소를 실시하였으

나(Keuling *et al.*, 2016), 아직까지 효과가 미비하며 이를 보완할 수 있는 피해방지 대책 마련 및 추가적인 연구를 위한 노력이 요구된다. 환경 보호론자, 농업인 및 대중 사이에서 멧돼지에 대한 우려와 관심이 증폭되면서 멧돼지의 생태계 위협 방지 및 관리를 위한 연구의 필요성이 강조되었다(Risch *et al.*, 2021). 효과적으로 멧돼지를 관리하기 위해서는 개체 구조, 번식, 공간 이용 등에 대한 정보를 구축해야 하며(Keuling *et al.*, 2008), 멧돼지 관리에 도움이 될 수 있도록 멧돼지의 생태적인 특징을 반영한 연구가 지속되어야 한다. 실제로 멧돼지의 행동권 및 서식지 이용 특성을 분석한 연구는 멧돼지가 서식하는 지역을 파악하여 피해 예방 대안 마련에 기여하였다(Kim *et al.*, 1998; Lee, 2014; Kim *et al.*, 2017).

국의 멧돼지 연구는 주로 멧돼지 개체수 및 밀도(Melis *et al.*, 2006; Lewis *et al.*, 2019), 농작물 피해(Schley *et al.*, 2008; Amici *et al.*, 2012; Michez *et al.*, 2016), 사냥으로 인해 발생한 멧돼지 변화(Sáaez-Royuela and Telleria, 1986; Scillitani *et al.*, 2010; Keuling *et al.*, 2013; Keuling *et al.*, 2016), GPS 추적을 활용한 사냥의 영향을 받은 멧돼지 이동패턴(Thurfjell *et al.*, 2009; Thurfjell *et al.*, 2013), 멧돼지가 생태계에 미친 영향(Barrios-Garcia *et al.*, 2012) 등의 연구가 수행되었다. 우리나라에서는 멧돼지를 대상으로 행동권 연구(Kim, 1994; Choi *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2017), 식이 연구(Lee and Lee, 2014), 농경지 피해 연구(Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2018), 서식지 적합성 예측모형 개발(Kim *et al.*, 1998; Seo and Park, 2000; Park and Lee, 2003), 유전자 분석 통한 서식 생태 연구(Han *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2020), 멧돼지 전염성 질병 조사(Ju *et al.*, 2020) 등의 연구가 시행되었다. 멧돼지에 대한 다양한 연구가 진행되었음에도 아직까지 멧돼지의 생태적 특징, 서식 또는 이동 특성에 관련된 연구는 미흡한 수준이

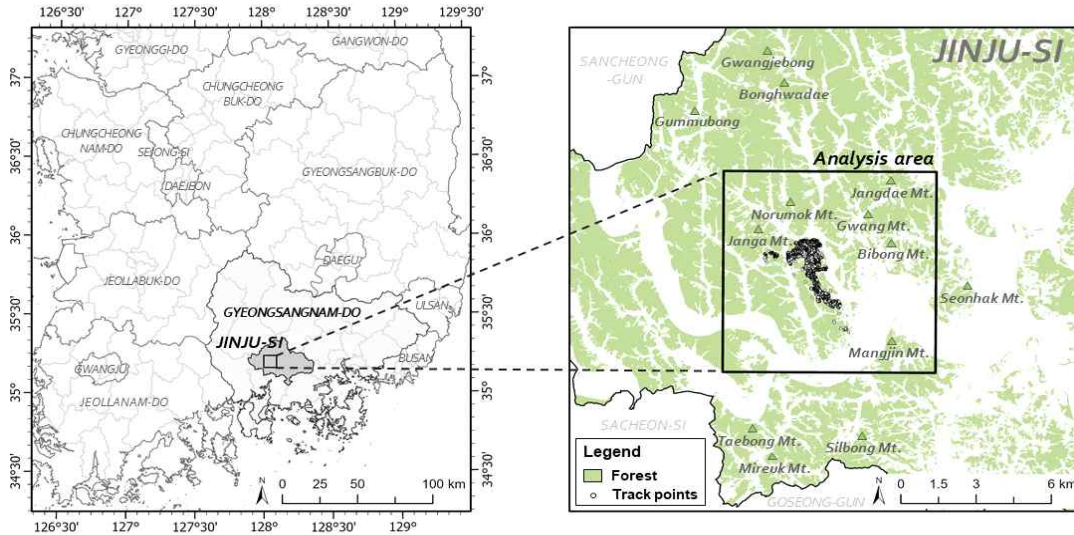


Figure 1. Study area and Analysis area

며, 현재 국내 멧돼지 특징을 고려한 이동 예측 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 멧돼지 출현 데이터를 통해 서식 및 이동 특성을 확인하고, 결과를 토대로 연결성 평가에 반영하여 멧돼지 이동패턴을 예측 및 분석해보고자 한다. 실제 출현지점과 멧돼지의 이동 연결성 결과를 비교하여 예측 효과를 파악하고, 국내 생태계의 멧돼지 관리 정책 및 대안 마련에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지 및 분석 범위

본 연구는 경상남도 서남부에 위치한 진주시(동경 127°53'~128°22', 북위 35°03'~35°26')를 대상으로 진행하였다(Figure 1). 진주시는 면적 712.94km²인 지역으로 중앙부에는 남강이 위치하며 비봉산, 망진산, 선학산 등의 산들로 시가지가 둘러싸여 있고 중앙부와 남부지역은 평지 및 구릉지가 분포하고 있다. 진주시 내 수많은 산림은 산악지형을 선호하는 멧돼지가 살기 좋은 조건을 제공하며(Kim *et al.*, 2014), 진주시 전역에 분포하고 있는 멧돼지는 2015년 기준

100ha당 5.8마리 정도의 서식밀도를 가지며(National Institute of Biological Resources, 2015), 2019년에는 1,412마리로 추정되었다(National Institute of Biological Resources, 2019). 진주시는 멧돼지 등 야생동물로 인한 피해를 방지하기 위해 예방시설 설치비를 지원하고, 멧돼지로 인해 발생하는 ASF를 차단하고자 노력하고 있다(Jinju, 2022). 본 연구는 멧돼지가 서식하고 있을 것으로 추정되는 진주시 일부 지역에서 멧돼지를 포획 및 추적하여 행동권을 파악하고, 연결성 분석은 추적 이동 데이터가 포함된 진주시 일대의 약 8.5×8.5km²의 정사각형 형태를 대상으로 진행하였다.

2. 행동권 분석

진주시에서 멧돼지 4개체(56273번, 45237번, 55638번, 45088번)를 포획한 후 방사하여 위치를 추적한 데이터를 활용하여 멧돼지의 행동권을 추정하였다(Table 1). 포획을 위해 멧돼지가 주로 이용할 것으로 추정된 지역에 철제형 생포트랩을 설치하였으며, 당근, 고구마 등 근처에서 구할 수 있는 과일과 야채를 미끼로 사용하였다. 포획 후 CDMA 기반의 목걸이형 발신기

Table 1. Information for 4 Wild boars (*Sus scrofa*)

No.	Sex	Age	Weight (kg)	Capturing period	Tracking period	Tracking day	No. of locations
56273	Female	Subadult	56	2021.05.28	2021.05.29 ~ 06.11	14	2,294
45237	Male	Subadult	52	2021.05.28	2021.05.28 ~ 06.10	14	3,021
55638	Male	Subadult	54	2021.05.27	2021.05.28 ~ 06.16	20	1,557
45088	Male	Subadult	35	2021.01.16	2021.01.17 ~ 01.22	6	113

GPER(Spacosa Inc., Korea)를 부착하였고 데이터 수신 간격은 1분으로 설정하였으나, 환경에 따라 변수가 생기는 경우 기록이 누락되었다. 수집된 GPS 추적 좌표는 ArcGIS Pro version 2.7.0(Esri, Inc., Redlands, CA)을 활용하여 분석하고, 행동권 연구는 암컷 아성체 1개체와 수컷 아성체 3개체를 대상으로 하였다. 행동권 분석을 위해 최소불록다각형법(MCP: Minimum convex polygon) 100%와 핵심밀도추정법(KDE: Kernel density estimator) 95%, 50%를 이용하였다. 4개체의 중첩되는 행동반경 및 핵심 서식지를 확인하고, 전체 멧돼지의 추적 지점을 종합한 행동권 분석 결과를 바탕으로 멧돼지 선호

토지피복 유형을 추정하였다.

3. 연결성 평가

멧돼지의 이동 연결성을 평가하기 위해 Circuitscape 4.0 software(McRae and Shah, 2009)를 활용하였다. 모든 자료는 ArcGIS Pro를 통해 가공하였으며, 셀 크기(cell size)는 30m × 30m로 설정하였다. Circuitscape 입력자료로 필요한 목표지점 위치맵(Focal node location map)을 구축하고자 버퍼 내 산림지역의 가장자리에 동일한 거리의 간격을 두고 랜덤 포인트(Random point) 50개를 설정하였다(Koen *et al.*, 2014; Marrotte *et al.*, 2017). 모든 목표 지점들

Table 2. Resistance value by land cover type

Cover type	Resistance value	Justification
Urban	100	Wild boars are sensitive and react alertly to people and noise sources(Allwin <i>et al.</i> , 2016).
Agriculture	27	Wild boars are vigilant and prefer areas with less human activity(Rho, 2015). Wild boars come down to agricultural land adjacent to the edge of the forest to make up for the lack of food in the forest(Kim <i>et al.</i> , 2014).
Forest	1	Wild boars prefer places with plenty of food, such as farmland and grasslands(Park and Lee, 2003; Rho, 2015).
Grass	14	Wild boars require areas with very large forest areas and limited negative effects such as development and poaching(Choi <i>et al.</i> , 2006).
Wetland	27	Wild boars prefer places with plenty of food, such as farmland and grasslands(Park and Lee, 2003; Rho, 2015).
Bare land	40	Wild boars prefer damp land(Kim <i>et al.</i> , 2014).
Water body	27	Wild boars can use open areas, but they don't use them very often because they require a patch of trees or bushes(Caruso <i>et al.</i> , 2018).
Slope	≤10	Wild boars prefer water and often choose their habitat along the water's edge(Thurfjell <i>et al.</i> , 2009).
	≤20	Wild boars prefer areas with gentle slopes(Park and Lee, 2003; Kim <i>et al.</i> , 2014; Rho, 2015).
	≤30	

간의 연결성을 평가하기 위해 pairwise 모드를 적용하였다. 저항맵(Resistance map)의 경우, 최신 자료를 활용하고자 환경부에서 제공하는 세분류 토지피복 자료(2020)를 사용하고 저항값(Resistance value) 적용을 위해 대분류 평가항목으로 통합하였다. 전문가 의견 및 선행연구를 참고하여 멧돼지 선호지역 특징을 파악한 후, 토지피복 유형 및 DEM(30m) 기반의 경사도 각각에 대해 저항값을 부여하였다(Table 2). 저항값은 동물 이동에 대한 모델링 연구 및 국내 관련 선행연구에서 사용한 저항값을 참고하되 (Desrochers *et al.*, 2011; Pelletier *et al.*, 2014; Yoon *et al.*, 2019), 대상지 및 멧돼지 특성에 맞게 일부 수정하여 시나리오를 구성하였다. 연결성 분석은 지도의 경계가 경관 저항 추정치에 오류를 주기에 대상지 폭의 20%만큼의 버퍼(buffer)를 부여하였고 편향된 결과를 방지하고자 분석이 끝난 후 버퍼를 제거한 결과만을 활용하였다(Koen *et al.*, 2010; Koen *et al.*, 2014). 분석 결과인 전류맵(Current map)은 전류 밀도가 높게 나타나면 연결성이 높다고 해석되며 이를 토대로 멧돼지 이동을 예측할 수 있다.

또한, 행동권 분석 결과로 파악된 멧돼지 선호 토지피복 유형을 반영하기 위해 기존 연결성 시나리오에 가중치(Weight)를 반영한 시나리오를 구성하였다. 경사도의 저항값은 동일하게 적용하되, 토지피복 유형에 대한 저항값은 분석 방식별 선호 토지피복 비율을 활용하여 가중치를 부여하였다. 토지피복 유형별 비율에 따라

최대 50%의 가중치를 설정하기 위해 ‘기존 저항값 × 가중치(%)’ 계산식을 활용하고, 가중치 비율은 ‘최대 가중치 값 - 50% 토지피복 비율’로 계산하여 값을 도출하였다. 기존 저항값의 최대치가 100이었기에 최대 가중치 값은 50이 되며, 토지피복 비율은 전체 100%를 50%로 줄인 후 소수점 이하에서 반올림(Rounding)하였다. 기존에 선행연구를 참고하여 멧돼지에 대한 저항값을 반영한 시나리오의 결과와 가중치가 부여된 저항값으로 분석된 전류맵 결과를 비교해보고 최적의 시나리오를 산출하고자 하였다. 연결성 분석 결과에 대한 검증은 위해 실제 멧돼지 이동 데이터(총 6,985개의 포인트)를 활용하여 이동 지점별 전류 밀도 값을 구하고 이를 바탕으로 두 시나리오를 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 멧돼지의 행동권과 선호 토지피복 유형

멧돼지 4개체의 행동권 분석 결과, 평균 행동권은 MCP 100%에서 $1.510 \pm 1.112 \text{ km}^2$, KDE 95%에서 $0.891 \pm 0.714 \text{ km}^2$, 핵심 공간인 KDE 50%에서 $0.013 \pm 0.012 \text{ km}^2$ 로 확인되었다(Table 3, Figure 2). 56273번 암컷 개체는 MCP 100%에서 0.682 km^2 , KDE 95%에서 0.553 km^2 , KDE 50%에서 0.011 km^2 의 행동권을 보였고, 45237번 수컷 개체는 MCP 100%에서 2.774 km^2 , KDE 95%에서 2.053 km^2 , KDE 50%에서 0.033 km^2 로 추적 개체 중에서 가장 넓은 행동권을 가진 것으로 나

Table 3. Home range size (km^2) of wild boars by individual

Method	Individuals				Mean (\pm SD)
	No. 56273 (Female)	No. 45237 (Male)	No. 55638 (Male)	No. 45088 (Male)	
MCP 100%	0.682	2.774	2.425	0.160	1.510 (1.112)
KDE 95%	0.553	2.053	0.821	0.138	0.891 (0.714)
KDE 50%	0.011	0.033	0.004	0.003	0.013 (0.012)

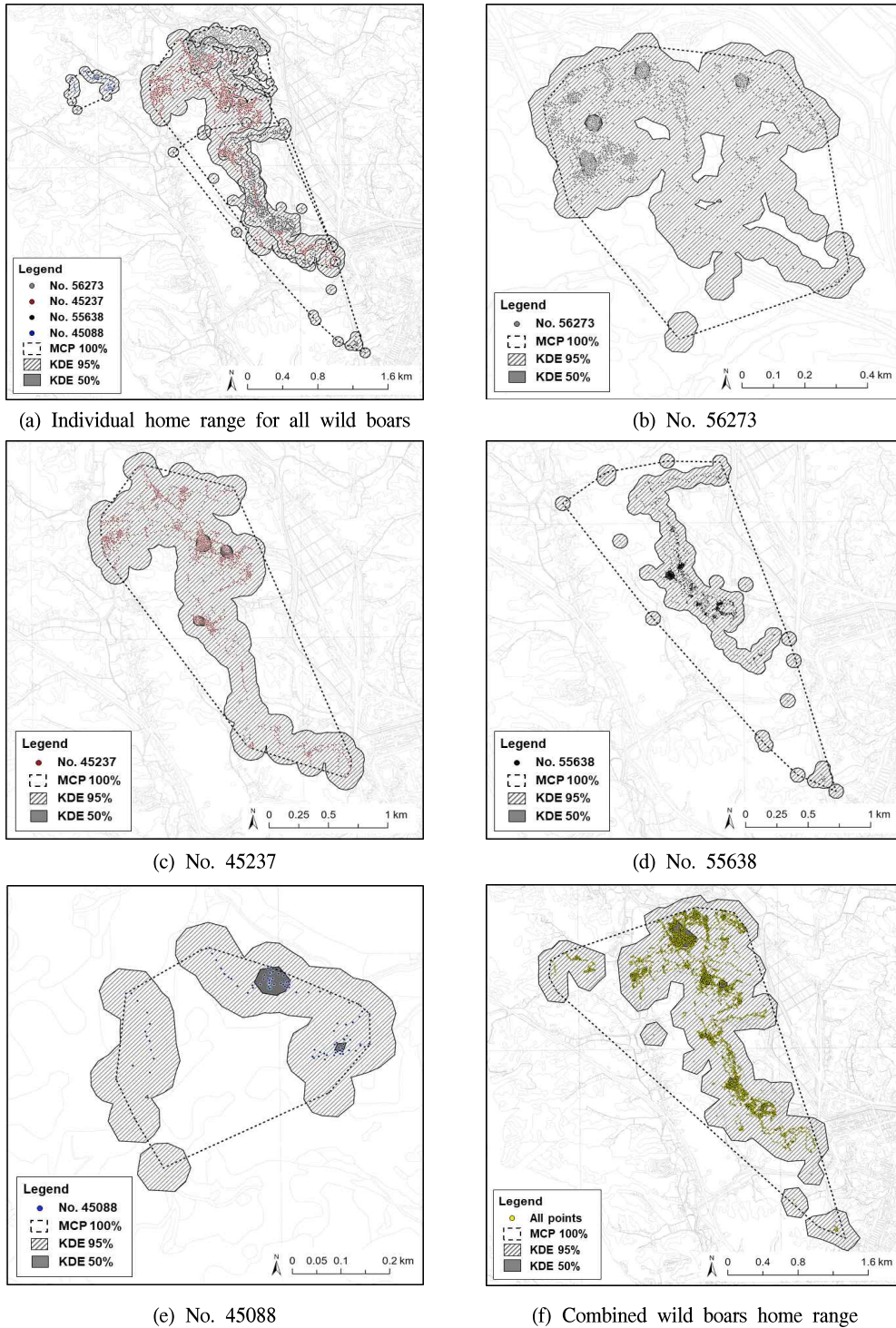


Figure 2. Analysis for wild boars (*Sus scrofa*) home range (Dotted line is MCP and Contours represent 95, 50% from outside line, respectively)

Table 4. Area (km²) and ratio (%) for each type of land cover preferred by all wild boars

Land cover	MCP 100%		KDE 95%		KDE 50%	
	Area (km ²)	%	Area (km ²)	%	Area (km ²)	%
Urban	2.426	24.97	2.337	26.53	0.314	17.26
Agriculture	0.826	8.50	0.626	7.11	0.053	2.91
Forest	5.392	55.50	4.756	54.00	1.413	77.68
Grass	0.937	9.64	0.946	10.74	0.039	2.15
Wetland	0.021	0.22	0.029	0.33	-	-
Bare land	0.072	0.74	0.061	0.69	-	-
Water body	0.042	0.43	0.053	0.60	-	-
Total	9.716	100	8.808	100	1.819	100

타났다. 55638번 수컷 개체는 MCP 100%에서 2.425km², KDE 95%에서 0.821km², KDE 50%에서 0.004km²의 행동권을 나타냈고, 45088번 수컷 개체는 MCP 100%에서 0.160km², KDE 95%에서 0.138km², KDE 50%에서 0.003km²의 결과가 도출되었다. 3개체(56273번, 45237번, 55638번)의 행동권이 겹쳤으며 개체 간 일부 지역을 공유하여 사용한 것으로 추정된다.

4개체에 대한 추적 데이터를 종합하여 전체 멧돼지의 행동권을 분석한 결과, MCP 100%에서 9.716km², KDE 95%에서 8.808km², KDE 50%에서 1.819km²로 나타났다(Figure 2(f), Table 4). 행동권 분석 결과를 바탕으로 멧돼지가 선호하는 토지피복 유형 및 비율을 확인하였고, 그 중 산림지역은 MCP 100%에서 5.392km² (55.50%), KDE 95%에서 4.756km² (54.00%), KDE 50%에서 1.413km² (77.68%)로 멧돼지가 가장 선호하는 지역으로 확인되었다. 시가화 지역, 초지, 농업지역은 각각 MCP 100%에서 2.426km² (24.97%), 0.937km² (9.64%), 0.826km² (8.5%), KDE 95%에서 2.337km² (26.53%), 0.946km² (10.74%), 0.626km² (7.11%), KDE 50%에서 0.314km² (17.26%), 0.039km² (2.15%), 0.053km² (2.91%)로 멧돼지의 이용 선호도가 높았다. 이에 비해 습지, 나지, 수역의 이용은 각각 MCP 100%에서 0.021km² (0.22%), 0.072km² (0.74%), 0.042km² (0.43%), KDE 95%에서 0.029km²

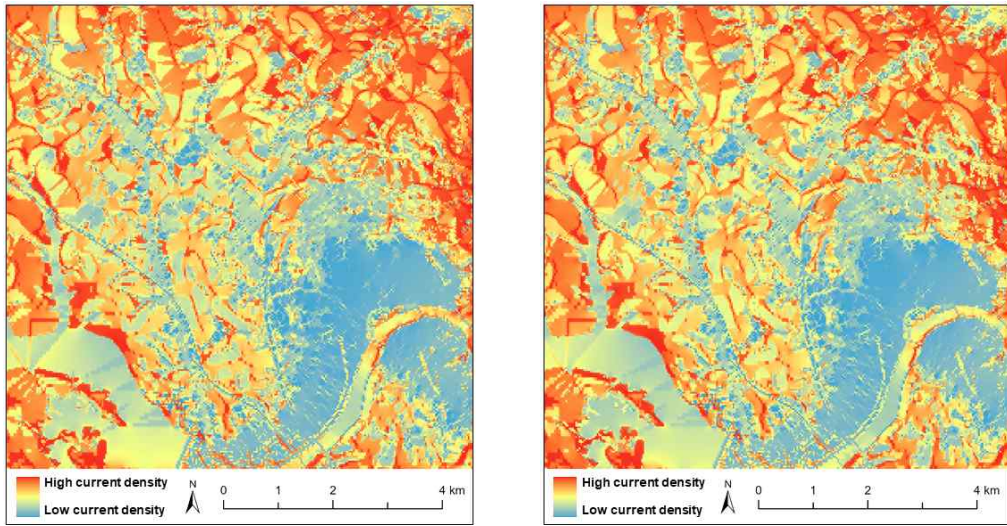
(0.33%), 0.061km² (0.69%), 0.053km² (0.60%)로 다른 토지피복 유형보다 상대적으로 낮았으며, 핵심지역인 KDE 50%는 이용률 0%로 현저히 낮았다.

2. 연결성 예측 결과

멧돼지가 이동한 것으로 확인된 영역에 대한 연결성은 산림지역이 다른 토지 유형에 비해 높았으며, 특히 북동과 남서 가장자리의 산림 주변에서 강한 전류 흐름을 보였다(Figure 3(a)). 연결의 주요 흐름은 분석 대상지의 북동 방면에 위치한 장대산, 광산, 비봉산이 북서 방면의 노루목산, 장야산과 만나 중심부로 이어졌다. 중심 지역 내 농경지와 초지는 산림과 연결되어 전류의 흐름이 상대적으로 강하게 나타났고, 수역은 통과하지 못하고 수역 주변으로 연결성이 이어지는 형태를 보였다. 이를 바탕으로 멧돼지는 주로 산림지역에서 활발하게 활동하고 산림 주변의 농경지 또는 초지를 따라 이동할 것으로 예측된다. 또한, 수역을 횡단하거나 서식하는 등의 직접적인 이용보다는 수분 보충을 위해 수역 주변부 가장자리를 따라 이동할 확률이 높다.

3. 가중치 산정

멧돼지 종합 행동권 분석 결과에서 확인했던 멧돼지 선호 토지피복 비율을 기존 저항값에 대한 가중치 비율로 변환하여 시나리오를 재구성



(a) Connectivity result with resistance values (b) Connectivity result with weighted resistance values

Figure 3. Current map as a result of connectivity analysis

Table 5. Weight calculation and reflection in resistance value

		Urban	Agriculture	Forest	Grass	Wetland	Bareland	Waterbody	
Resistance value		100	27	1	14	27	40	27	
MCP 100%	Land cover ratio(%)	100	24.97	8.50	55.49	9.65	0.22	0.74	0.43
	Weighting	50	12.49	4.25	27.75	4.83	0.11	0.37	0.22
	Weight(%)	12	4	27	5	0	0	0	0
	Weighted value	38	46	22	45	50	50	50	50
KDE 95%	Land cover ratio(%)	100	26.53	7.11	54.00	10.74	0.33	0.69	0.60
	Weighting	50	13.27	3.56	27.00	5.37	0.17	0.35	0.30
	Weight(%)	13	4	27	5	0	0	0	0
	Weighted value	37	46	23	45	50	50	50	50
KDE 50%	Land cover ratio(%)	100	17.24	2.91	77.69	2.16	-	-	-
	Weighting	50	8.62	1.46	38.85	1.08	0	0	0
	Weight(%)	9	1	39	1	0	0	0	0
	Weighted value	41	49	11	49	50	50	50	50
Average of Weighted values		139	39	1	20	40	60	40	

하였다(Table 5). 가중치 비율은 시가화 지역, 농업지역, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역 순으로 각각 MCP 100%에서 38%, 46%, 22%, 45%, 50%, 50%, 50%, KDE 95%에서 37%, 46%, 23%,

45%, 50%, 50%, 50%, KDE 50%에서 41%, 49%, 11%, 49%, 50%, 50%, 50%이었다. 이 비율을 기존 저항값에 반영하여 분석별 가중치가 적용된 저항값을 산출하였을 때, 토지피복 유형별

저항값은 MCP 100%에서 138, 39, 1, 20, 40, 60, 40, KDE 95%에서 137, 39, 1, 20, 40, 60, 40, KDE 50%에서 141, 40, 1, 20, 40, 60, 40이었다. 토지피복 유형에 대해 세 가지 분석에서 값이 상이하여 평균 저항값을 구하였고 결과적으로 가중치가 부여된 저항값은 토지피복 유형별 139, 39, 1, 20, 40, 60, 40의 값으로 도출되었다.

4. 가중치 적용 및 연결성 예측 결과 비교

재구성된 시나리오 연결성 결과, 앞서 분석한 시나리오와 동일하게 산림지역의 연결성이 가장 높게 나타났다(Figure 3(b)). 전체적인 전류의 흐름은 기존 연결성 분석 결과와 유사하였고 두 시나리오의 결과가 시각적으로 큰 차이는 없었다. 다만, 재구성된 시나리오에서 멧돼지가 주로 이동했던 중심부에 대한 전류 밀도가 더 높게 나타난 것으로 보아 멧돼지의 행동 특성을 반영하였을 때 연결성 예측이 더 효과적인 것으로 확인되었다. 예측된 연결성 분석 결과를 검증하고 두 시나리오를 비교하기 위해 실제 멧돼지가 이동했던 지점에 대한 전류 밀도 값을 구한 결과, 저항값만을 반영했던 기존 시나리오에서 이동 지점에 대한 전류 밀도 값은 평균 2.76, 최소 1.12, 최대 4.36이었다. 가중치가 반영된 시나리오의 이동 데이터의 전류 밀도 값은 평균 2.84, 최소 0.96, 최대 4.65로 도출되었고, 기존 시나리오에 비해 전류 밀도 값이 평균 약 2.90% 높았다. 또한, 가중치가 적용된 시나리오는 이동 확률을 제어하는 저항값이 기존보다 크게 적용되었음에도 최솟값과 최댓값을 통해 파악한 전류 전체 범위가 더 넓게 나타났다. 실제 이동했던 지점은 멧돼지의 이동 및 서식 특성이 반영된 곳이므로 이용 확률이 높아 연결성이 높게 나타나야 하는데, 가중치 시나리오 결과는 이를 반영하고 있음을 확인하였다. 따라서, 멧돼지의 행동권을 고려하여 가중치를 부여하였을 때가 이전의 시나리오보다 멧돼지의 이동을 효과적으로 예측하였다고 판단된다.

생물종의 이동에 대해 연구하기 위해서는 목표종에 대한 정보 수집 및 직접 조사가 이루어져야 한다. 본 연구는 멧돼지를 대상으로 연구를 진행하고자 멧돼지의 서식 특성에 대한 문헌 조사 및 추적조사를 실시하였다. 연결성 분석을 위한 저항값 산출 시 선행연구를 참고하여 멧돼지의 특징을 최대한 반영하고자 하였으며, 멧돼지 이동 데이터를 행동권 분석 및 연결성 예측 분석에 이용하였다. 실제로 많은 연구에서 종의 이동을 관찰 및 예측하기 위해 연결성 분석에 종 추적 데이터를 활용하고 있다. Carroll *et al.*(2020)의 연구는 미국 서부 지역에 서식하고 있는 울버린(*Gulo gulo*)의 복막 내 VHF 무선 추적기를 장착하고 수집된 데이터를 활용하여 서식지 연결성을 평가하였다. Naidoo *et al.*(2018)의 연구에서는 아프리카 코끼리에 대한 GPS 데이터를 수집하여 코끼리의 이동 경로를 추정하였다. Algeo *et al.*(2017)은 너구리의 위치 데이터를 활용하여 광견병 확산 경로를 예측하였다. 본 연구에서도 연결성 평가 시 멧돼지의 서식 특성 및 실제 데이터를 반영하여 예측 확률을 높이고 결과의 신뢰성을 높이고자 하였다. 그러나, 본 연구는 멧돼지 4개체의 추적 시기가 1월과 5월로 일치하지 않았고 6~20일의 상당히 짧은 기간 동안 추적되었다. 이동 데이터의 한계로 인해 개체별 행동권 범위는 상당히 작았으나, 연결성 분석에 행동권 분석 결과를 활용하기 위해 4개체에 대한 전체 행동권 분석 결과를 활용하였다. 또한, 전체 행동권 분석 결과에서 시가화 지역의 이용률이 상대적으로 높았고, 나지의 이용률이 습지나 수역보다 높았으나 저항값에는 반대로 적용되었다. 이는 선행연구의 저항값을 기준으로 값을 조정하는 과정에서 발생하였으며, 선행연구를 참고하여 멧돼지의 대표적인 특징만을 반영하고 진주시에 서식하는 멧돼지 특성을 충분히 고려하지 못하였기에 지역별 환경 차이를 고려한 멧돼지 서식환경 및 특징을 반영한 추가적인 연구가 필요하다. 멧돼지

개체별로 행동권 범위가 다르고 선호하는 토지 유형도 다를 가능성이 있어 전체 멧돼지를 종합한 행동권을 사용하였으나 이를 멧돼지 전체 특성으로 일반화하기에 어려움이 있다. 향후 연구에서는 멧돼지의 특성을 일반화할 수 있는 기준을 마련하여 분석 결과를 보완할 필요가 있을 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 국내에 서식하고 있는 멧돼지 일부를 대상으로 서식 환경 및 행동 특성을 반영하여 멧돼지의 이동 연결성에 대해 예측 및 평가하기 위해 수행되었다. 2021년 1월부터 6월까지 진주시에 서식하고 있는 멧돼지 4개체에 대한 추적을 진행하였으며, 수집된 추적 데이터를 활용하여 멧돼지 전체 및 개체별 행동권을 분석하였다. 행동권 분석 결과를 통해 멧돼지의 이동 반경 및 선호 토지피복 유형을 파악하여 연결성 분석에 적용해보고 이를 멧돼지 특성 및 대상지 특징을 고려한 연결성 분석 결과와 비교하고자 하였다. 멧돼지의 행동권을 바탕으로 멧돼지가 선호하는 토지피복 유형을 확인해본 결과, 산림을 가장 선호하고 그 외에도 시가화 지역, 초지, 농업지역에 대한 이용률이 높았다. 두 가지 연결성 분석 시나리오 결과를 비교하였을 때 시각적으로 큰 차이는 없었으나 멧돼지 주요 이동 지점에 대한 전류 밀도의 값은 행동권 분석 결과를 적용한 시나리오가 더 높았다. 이는 생물종에 대한 연결성을 평가할 때 종의 실측데이터를 활용하는 것이 이동 예측 정확도를 높일 수 있음을 뒷받침한다. 또한, 이동 데이터는 실제로 이용한 지역의 좌표를 기반으로 생성되었기에 연결성 예측결과에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 멧돼지의 이동 데이터를 활용하여 서식 및 이동 경로를 예측하는 방법을 제시하고자 하였다. 증가하는 멧돼지 개체에 대해 효과

적인 대응 방안 및 관리전략에 대한 기초자료를 마련하였다. 또한, 분석된 멧돼지의 연결 경로를 토대로 ASF 확산 위험 지역 예측 및 통제를 진행하는데 이바지하였다는데 의의가 있다. 그러나, 본 연구에서는 4마리의 멧돼지 추적 시기가 일정하지 않았고 개체별 다른 특징을 지닌 멧돼지의 특성을 충분히 반영하지 못한 한계가 있다. 멧돼지에 대한 현장 조사 자료 및 서식 특성에 대한 자료가 미흡하여 추가적인 데이터 확보를 통해 보완할 필요가 있다. 향후 연구에서 멧돼지나 그 외 포유류에 대한 이동 연결성을 평가할 때 개체의 특성 및 선호 토지 유형 외에 여러 변수를 마련하여 분석하는 방안이 고려될 필요가 있다. 또한, 최근 국외에서 이동 데이터를 기반으로 서식지 적합성 모델링을 실시하고 결과를 연결성 평가의 저항값으로 반영하는 연구가 진행되고 있어 향후 연구에 적용해본다면 더욱 효과적인 파악이 가능할 것으로 판단된다.

References

- Acevedo, P. ·M. A. Escudero·R. Muñoz and C Gortázar. 2006. Factors affecting wild boar abundance across an environmental gradient in Spain. *Acta Theriologica*, 51(3) : 327-336.
- Algeo, T. P·D. Slate·R. M. Caron·T. Atwood·S. Recuenco·M. J. Ducey, ... and M. Palace. 2017. Modeling raccoon (*Procyon lotor*) habitat connectivity to identify potential corridors for rabies spread. *Tropical medicine and infectious disease*, 2(3) : 44.
- Allwin, B. ·R. Swaminathan·A. Mohanraj·G. N. Suhas·S. Vedaminckam·S. Gopal and M. Kumar. 2016. The wild pig (*Sus scrofa*) behavior - a retrospective study. *Journal of Veterinary Science Technology*, 7(4).
- Amici, A. ·F. Serrani, F·C. M. Rossi and R. Primi. 2012. Increase in crop damage

- caused by wild boar (*Sus scrofa* L.): the “refuge effect”. *Agronomy for sustainable development*, 32(3) : 683-692.
- Barrios-Garcia, M. N. and S. A. Ballari. 2012. Impact of wild boar (*Sus scrofa*) in its introduced and native range: a review. *Biological Invasions*, 14(11) : 2283-2300.
- Cai, J. ·Z. Jiang·Y. Zeng·C. Li and B. D. Bravery. 2008. Factors affecting crop damage by wild boar and methods of mitigation in a giant panda reserve. *European Journal of Wildlife Research*, 54(4) : 723-728.
- Carroll, K. A. ·A. J. Hansen·R. M. Inman·R. L. Lawrence and A. B. Hoegh. 2020. Testing landscape resistance layers and modeling connectivity for wolverines in the western United States. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01125.
- Caruso, N. ·A. E. Valenzuela·C. L. Burdett·E. M. Luengos Vidal·D. Birochio and E. B. Casanave. 2018. Summer habitat use and activity patterns of wild boar *Sus scrofa* in rangelands of central Argentina. *PLoS One*, 13(10), e0206513.
- Choi, TY·YS Lee and CH Park. 2006. Home-range of wild boar, *Sus scrofa* living in the Jirisan National Park, Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 29(3) : 253-257. (in Korean with English summary)
- Desrochers, A., ·M. Bélisle·J. Morand-Ferron and J. Bourque. 2011. Integrating GIS and homing experiments to study avian movement costs. *Landscape Ecology*, 26(1) : 47-58.
- Gortázar, C. ·E. Ferroglio·U. Höfle·K. Frölich and J. Vicente. 2007. Diseases shared between wildlife and livestock: a European perspective. *European Journal of Wildlife Research*, 53(4) : 241-256.
- Giménez-Anaya, A. ·J. Herrero·C. Rosell·S. Couto and A. García-Serrano. 2008. Food habits of wild boars (*Sus scrofa*) in a Mediterranean coastal wetland. *Wetlands*, 28(1) : 197-203.
- Han, SH·JG Oh·IC Cho·MS Ko·TW Kim·MH Chang, … and HS Oh. 2011. A molecular genetic analysis of the introduced wild boar species (*Sus scrofa* coreanus) on Mount Halla, Jeju Island, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 25(5) : 658-665. (in Korean with English summary)
- Jinju. 2022. Jinju City Press Release. <https://www.jinju.go.kr/00130/02730/00138.web?amode=view&gcode=1004&idx=39497584&artiSno=>. (accessed 19. May. 2022)
- Ju, DU·K Jung·CS Ohk·SS Kim and GH Ahn. 2020. A survey for prevalence of infectious diseases in wild boar (*Sus scrofa*) in northern Gyeonggi province, South Korea. *Korean Journal of Veterinary Service*, 43(3) : 155-159. (in Korean with English summary)
- Keuling, O. ·N. Stier, N and M. Roth. 2008. How does hunting influence activity and spatial usage in wild boar *Sus scrofa* L.?. *European Journal of Wildlife research*, 54(4) : 729-737.
- Keuling, O. ·E. Baubet·A. Duscher·C. Ebert·C. Fischer·A. Monaco, … and H. Thurfjell. 2013. Mortality rates of wild boar *Sus scrofa* L. in central Europe. *European Journal of Wildlife Research*, 59(6) : 805-814.
- Keuling, O. ·E. Strauß and U. Siebert. 2016. Regulating wild boar populations is “somebody else’s problem”! - Human dimension in wild boar management. *Science of the Total Environment*, 554 : 311-319.

- Killian, G. ·L. Miller·J. Rhyan and H. Doten. 2006. Immunocontraception of Florida feral swine with a single dose GnRH vaccine. American Journal of Reproductive Immunology, 55(5) : 378-384.
- Kim, HR·TG Kim·GP Hong·JM Kim and EK Kim. 2017. Home Range analysis of Wild boars (*Sus scrofa*) in Heuimangbong (peak) of Hallyeohaesang National Park. Journal of National Park Research, 8(3) : 133-137. (in Korean with English summary)
- Kim, MK·SI Lee·HM Park and SD Lee. 2020. Ecological Studies of Wild boars(*Sus scrofa*) in Yeongwol HanbandoWetland Inferred through DNA Analysis of Non-invasive Samples. Journal of Environmental Impact Assessment, 29(3) : 230-238. (in Korean with English summary)
- Kim, SO·KI Kwon·TS Kim·HS Ko and GS Jang. 2014. An analysis on aspects of farm lands damaged by the wild boar (*Sus scrofa*) in Gyeongnam Province, Korea. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology, 17(6) : 17-27. (in Korean with English summary)
- Kim, WM. 1994. An application of radio-telemetry technique for habitat use of boars (*Sus scrofa coreanus heude*). Ph. D thesis of Korea University, Seoul, Korea. (in Korean with English summary)
- Kim WJ·CH Park and WM Kim. 1998. Development of Habitat Suitability Analysis Models for Wild Boar(*Sus Scrofa*) : A Case Study of Mt. Sulak and Mt. Jumbong, 6(2) : 247-256. (in Korean with English summary)
- Ko, CW·WH, Cho·BM, Hwang·DW, Ko·WM, Kang. 2021. The Analysis of African Swine Fever Disease Spread using Agent-Based Model. Journal of the Korean Cadastre Information Association, 23(2) : 87-98. (in Korean with English summary)
- Koen, E. L. ·C. J. Garroway·P. J. Wilson and J. Bowman. 2010. The effect of map boundary on estimates of landscape resistance to animal movement. PloS one, 5(7), e11785.
- Koen, E. L. ·J. Bowman·C. Sadowski and A. A. Walpole. 2014. Landscape connectivity for wildlife: development and validation of multispecies linkage maps. Methods in Ecology and Evolution, 5(7) : 626-633.
- Łabudzki, L. ·G. Górecki·J. Skubis and M. Wlazełko. 2009. Forest habitats use by wild boar in the Zielonka Game Investigation Centre. Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria, 8(4) : 51-57.
- Lee, SM·EJ Lee·HB Park and CW Seo. 2018. Factors affecting Crop Damage by the Wild Boar (*Sus scrofa*) : A case study in Geochang County, Gyeongnam Province, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology, 32(2) : 140-146. (in Korean with English summary)
- Lee, SM and WS Lee. 2014. Diet of The Wild boar (*Sus scrofa*) in Agricultural Land of Geochang, Gyeongnam Province, Korea. Journal of Korean Forest Society, 103(2) : 307 - 312. (in Korean with English summary)
- Lee, WS. 2014. Habitat Use Characteristics and Development of DamagePrevention Technique in Wild Boar (*Sus scrofa*). Report to Korea Environmetnal Industry & Technology Institute. (in Korean)
- Lewis, J. S. ·J. L. Corn·J. J. Mayer·T. R. Jordan·M. L. Farnsworth·C. L. Burdett, ... and R. S. Miller. 2019. Historical, current, and potential population size estimates of invasive wild pigs

- (*Sus scrofa*) in the United States. *Biological Invasions*, 21(7) : 2373-2384.
- Marrotte, R. R. · J. Bowman · M. G. Brown · C. Cordes · K. Y. Morris · M. B. Prentice and P. J. Wilson. 2017. Multi-species genetic connectivity in a terrestrial habitat network. *Movement ecology*, 5(1) : 1-11.
- Massei, G. and P. V. Genov. 2004. The environmental impact of wild boar. *Galemys*, 16(1) : 135-145.
- Massei, G. · J. Kindberg · A. Licoppe · D. Gačić · N. Šprem · J. Kamler, ... and A. Náhlik. 2015. Wild boar populations up, numbers of hunters down? A review of trends and implications for Europe. *Pest management science*, 71(4) : 492-500.
- McRae, B. H. and V. B. Shah. 2009. Circuitscape User's Guide. ONLINE. The University of California, Santa Barbara.
- Melis, C. · P. A. Szafrńska · B. Jędrzejewska and K. Bartoń. 2006. Biogeographical variation in the population density of wild boar (*Sus scrofa*) in western Eurasia. *Journal of biogeography*, 33(5) : 803-811.
- Michez, A. · K. Morelle · F. Lehaire · J. Widar · M. Authelet · C. Vermeulen and P. Lejeune. 2016. Use of unmanned aerial system to assess wildlife (*Sus scrofa*) damage to crops (*Zea mays*). *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4(4) : 266-275.
- Naidoo, R. · J. W. Kilian · P. Du Preez · P. Beytell · O. Aschenborn · R. D. Taylor and G. Stuart-Hill. 2018. Evaluating the effectiveness of local and regional-scale wildlife corridors using quantitative metrics of functional connectivity. *Biological Conservation*, 217 : 96-103.
- National Institute of Biological Resources. 2012. Final report on vertebrate animals of Korea (2nd stage, 3Year). Research report to National Institute of Biological Resources. (in Korean)
- National Institute of Biological Resources. 2015. 2015 Wildlife Survey. Research report to National Institute of Biological Resources. (in Korean)
- National Institute of Biological Resources. 2019. Wild boar management I. Research report to National Institute of Biological Resources. (in Korean)
- Park, CR and WS Lee. 2003. Development of a GIS-based habitat suitability model for wild boar *Sus scrofa* in the Mt. Baekwoonsan region, Korea. *Mammal Study*, 28(1) : 17-21.
- Pelletier, D. · M. Clark · M. G. Anderson · B. Rayfield · M. A. Wulder and J. A. Cardille. 2014. Applying circuit theory for corridor expansion and management at regional scales: tiling, pinch points, and omnidirectional connectivity. *PLoS One*, 9(1), e84135.
- Rho, P. 2015. Using habitat suitability model for the wild boar (*Sus scrofa* Linnaeus) to select wildlife passage sites in extensively disturbed temperate forests. *Journal of Ecology and Environment*, 38(2) : 163-173.
- Risch, D. R. · J. Ringma and M. R. Price. 2021. The global impact of wild pigs (*Sus scrofa*) on terrestrial biodiversity. *Scientific reports*, 11(1) : 1-10.
- Sáez Royuela, C. and J. L. Telleria. 1986. The increased population of the wild boar (*Sus scrofa* L.) in Europe. *Mammal Review*, 16(2) : 97-101.
- Schley, L. · M. Dufrêne · A. Krier and A. C. Frantz. 2008. Patterns of crop damage by wild boar (*Sus scrofa*) in Luxembourg over a 10-year period. *European Journal of Wildlife Research*, 54(4) : 589-599.

- Scillitani, L. ·A. Monaco and S. Toso. 2010. Do intensive drive hunts affect wild boar (*Sus scrofa*) spatial behaviour in Italy? Some evidences and management implications. European Journal of Wildlife Research, 56(3) : 307-318.
- Seo, CW and CH Park. 2000. Wild boar(*Sus scrofa* coreanus Heude) Habitat Modeling Using GIS and Logistic Regression. Journal of GIS Association of Korea, 8(1) : 85-99. (in Korean with English summary)
- Song, JH·ED Choi and HJ Seo. 2018. Response of Wild Boars (*Sus scrofa*) to Two Attractants, and Use of Cage Traps to Capture Wild Boars in Korea. Korean Journal of Organic Agriculture, 26(3) : 381-391. (in Korean with English summary)
- Thurfjell, H. ·J. P. Ball·P. A. Åhlén·P. Kornacher·H. Dettki and K. Sjöberg. 2009. Habitat use and spatial patterns of wild boar *Sus scrofa* (L.): agricultural fields and edges. European journal of wildlife research, 55(5) : 517-523.
- Thurfjell, H. ·G. Spong and G. Ericsson. 2013. Effects of hunting on wild boar *Sus scrofa* behaviour. Wildlife Biology, 19(1) : 87-93.
- Wilson, C. J. 2004. Rooting damage to farmland in Dorset, southern England, caused by feral wild boar *Sus scrofa*. Mammal Review, 34(4) : 331-335.
- Yoon, EJ·EY Kim·JY Kim and DK Lee. 2019. Connectivity Assessment Based on Circuit Theory for Suggestion of Ecological Corridor. Journal of Environmental Impact Assessment, 28(3) : 275-286. (in Korean with English summary)