

(옆면)

(앞면)

320055
-02

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
가축질병대응기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004109-01

야생멧돼지 가축전염병
중요질병
전파방지
기술개발
최종보고서

2021

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

야생멧돼지 가축전염병 중요 질병 전파방지 기술개발

납본일자 2022. 06. 30.

주관연구기관 / 강원대학교 산학협력단
협동연구기관 / 강원대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “야생멧돼지 가축전염병 중요 질병 전파방지 기술개발”(개발기간 : 2020.04.29. ~ 2021.12.31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022.06.30

주관연구기관명 : 강원대학교 산학협력단 (대표자) 장 철 성
협동연구기관명 : 강원대학교 산학협력단 (대표자) 장 철 성 (인)
참여기관명 : 생태와 미래 지식인 협동조합 (대표자) 전 태 수 (인)



주관연구책임자 : 오연수

협동연구책임자 : 박영철

참여기관책임자 : 전태수

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	가축질병대응기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		320055-02
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0701	100 %		%	%
	농림식품 과학기술분류	RB0201	100 %		%	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)						
연구개발과제명	야생멧돼지 가축전염병 중요 질병 전파방지 기술개발					
전체 연구개발기간	2020. 04. 29. - 2021. 12. 31.(1년 9 개월)					
총 연구개발비	총 513,000천원 (정부지원연구개발비: 513,000천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계	기초[v] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(v) 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		<ul style="list-style-type: none"> - 중요 가축전염병인 아프리카돼지열병, 구제역 및 돼지열병에 대해 야생 멧돼지 간의 전파 및 사육돼지로의 전파 경로를 파악하고 선제적으로 차단 방역 모델 제시 - 야생멧돼지를 통한 주요 가축전염병 병원체 농가 유입 및 질병 발생시 전파 위험성 평가시스템 구축 			
	전체 내용		<ol style="list-style-type: none"> 1. 야생멧돼지 서식(분포) 생태자료 수집 및 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> 가. Camera trap 및 흔적조사를 통한 야생멧돼지 개체수, 서식 밀도 및 활동패턴 연구 나. GPS collar를 이용한 멧돼지 행동권 연구 다. MaxEnt를 이용한 야생멧돼지 서식지 적합성 분석 및 서식이용특성 분석 라. 유럽 등 해외 야생멧돼지 차단방역 조치 선진사례 수집 및 분석 2. 야생멧돼지 관련 주요 가축전염병 병원체 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> 가. ASF 병원체 특성 연구 나. 가축전염병 감수성 야생동물 연구 다. 멧돼지의 유전지도 및 지리적 분포 규명 라. 분석모형을 이용한 질병 전파 가능성 규명 연구 3. 국내 야생멧돼지 분포 및 병원체 특성 고려한 차단 방역지대 설정 <ul style="list-style-type: none"> 가. 펜스의 멧돼지 차단 효과 장기 모니터링 연구 나. 가축전염병 차단 방역지대 설정 연구 다. 야생멧돼지 방역지침 개선안 제안 			

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> - 비SCI 논문 : 5건 - 연구내용 학술 발표 15건 - 특허출원 2건 - 소프트웨어 저작권 등록 1건 - 기술실시 2건 - 정책활용 1건 - 홍보실적 2건 - 전문인력양성 2명 - 고용창출 1명
--------	---

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>1. 연구개발 결과의 활용방안</p> <ul style="list-style-type: none"> - 야생동물 생태조사와 모델링, 시뮬레이션을 통해 축산농가 인근 방역지대 설정에 과학적인 근거를 마련할 것이며 현실을 반영한 방역 정책 수립에 기여할 것임. - 야생동물의 행동권 파악을 통해 야생동물과 축산업, 사람의 생활이 서로의 영역을 존중하는 조화된 생태 친화적인 원헬스개념의 차단방역 실현에 기여할 것임. - 농가에 아프리카 돼지열병 관련 멧돼지 생태에 대한 정확한 정보제공. - 멧돼지 생태 및 서식지 적합성 조사와 함께 분자마커를 이용한 멧돼지에서 아프리카 돼지열병 진단 마커 개발. <p>2. 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 야생멧돼지에서 발생하고 있는 질병목록 구축을 통해 축산업 보호 차원에서 보다 심화된 야생 멧돼지 관리를 할 수 있을 것임. - 야생 멧돼지 생태조사를 통해 조사 대상 생태 안에서 서식하고 있는, 가축 전염성 질병 혹은 나아가 인수공통전염병에 있어 감수성이 있는 야생동물 종 목록을 구축하게 될 것임. - 이 연구를 통해 야생동물 질병차단을 위한 롤모델 즉, 야생동물 질병차단 플랫폼을 구축하여 향후 다른 야생동물 질병들에 대해서도 적용하여 질병차단에 효과적으로 사용할 수 있을 것임.
---------------------------	---

연구개발성과의
비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 사실 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	5	2	1	-	-	1						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	야생멧돼지		가축전염병		질병전파		전파방지		아프리카 돼지열병			
영문핵심어 (5개 이내)	wild boar		livestock epidemics		disease spread		quarantine		African swine fever			

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발 성과의 관리 및 활용 계획
7. 참고문헌

〈 표 목 차 〉

표 2.1. 국내 지자체별 돼지 사육두수 현황.	11
표 2.2. 개체 구분 기준표 세부 설명(강원대 야생동물연구실 및 국립공원연구원 멧돼지 장기모니터링 보고서 2018).	16
표 2.3. 횡성 무인센서카메라 데이터 분석 결과.	18
표 2.4. 이천 무인센서카메라 데이터 분석 결과.	18
표 2.5. 홍성 무인센서카메라 데이터 분석 결과.	19
표 2.6. 포획 개체 정보.	36
표 2.7. 멧돼지의 서식지 이용 특성 분석에 이용한 환경요인.	51
표 2.8. 멧돼지 출현지점의 산림환경 특성.	59
표 2.9. 멧돼지 출현지점의 교란환경.	61
표 2.10. ASF 감염 멧돼지 사체 발견 지점으로 구축한 모델의 AUC 및 서식지 적합도.	64
표 2.11. 모델 예측 능력 테스트 결과.	65
표 2.12. 전국 시도별 서식지 적합도 0.5이상 지역의 면적과 전체 면적 대비 비율(km ²).	66
표 2.13. 유럽연합(EU)의 ASF 발병 여부에 따른 지역화 조건 (출처: EU official website).	69
표 2.14. 해외 멧돼지 관련 연구사례.	78
표 2.15. 2019년 국내 ASFV 검출 분리주 현황.	87
표 2.16. 포획 멧돼지 사체 정보.	90
표 2.17. 연구에 사용된 멧돼지 포획 지역 및 각 지역별 샘플 수.	100
표 2.18. 유전자 분석에 사용된 프라이머 정보.	101
표 2.19. 멧돼지의 haplotype 종류와 variable sequence 정보.	102
표 2.20. 각 haplotype 그룹별 구성.	103
표 2.21. 남한에서의 ASF 감염 야생멧돼지 시공간 자료 및 공변량 구축 예(2019.10.-2021.11.).	109
표 2.22. ASF 관련 공변량간 공선성 분석.	118
표 2.23. 모델에 사용된 모수.	124
표 2.24. SiWiDi 출력 자료 (예시).	127
표 2.25. 양돈농가 ASF 발생현황(2022.01.31. 농림축산식품부).	139
표 2.26. 야생멧돼지 ASF 발생 현황(22.02.13. 환경부).	139

〈 그림 목 차 〉

그림 1.1. 아프리카돼지열병(ASF)의 전파경로(WUR).	1
그림 1.2. 유럽 ASF 발생원인 비율.	1
그림 1.3. ASF 확진 및 의심 농가 위치(돼지와 사람 2020.02.10.).	2
그림 1.4. 야생멧돼지 돼지열병 항원·항체 검출 현황(돼지와 사람 2019.11.08.).	2
그림 1.5. 국내 멧돼지 분포 현황(환경부 2016).	3
그림 1.6. 2005-2018년 전국 멧돼지 서식 밀도(좌, 파란색 선) 및 도별, 서식지별 서식밀도(우).	5
그림 1.7. 2017년 축산업 총 생산액 및 비율.	6
그림 1.8. 전세계 아프리카돼지열병 발생국가[2019년 상반기(좌상), 2019년 하반기(우상), 2020년 상반기(하)].	7
그림 1.9. Early Warning System을 통해 보고된 정보에 기반한 지역별 ASF 영향(출처:세계동물보건기구).	8
그림 2.1. 무인센서카메라 운영 지역 (횡성, 이천, 횡성)과 지역내 8개 격자 위치 지도	13
그림 2.2. 횡성, 이천, 횡성 각각 8개 격자 내 카메라 설치 지점.	14
그림 2.3. 횡성, 이천, 횡성 양돈 농가 주변 지역 (70m, 200m내) 무인센서카메라 설치 지점.	15
그림 2.4. 멧돼지 개체분석을 위한 코드적용순서(강원대 야생동물연구실 및 국립공원연구원 멧돼지 장기모니 터링 보고서 2018).	16
그림 2.5. 횡성 멧돼지 RAI(왼: 격자, 오: 농가).	20
그림 2.6. 횡성 지역 전체 멧돼지 RAI.	20
그림 2.7. 횡성 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI.	21
그림 2.8. 횡성 지역 월평균 멧돼지 개체수(왼: 격자, 오: 농가).	22
그림 2.9. 횡성 지역 월별 멧돼지 성체·새끼 개체수(왼: 격자, 오: 농가).	22
그림 2.10. 횡성 지역 격자 내 멧돼지 밀도(왼: 지점별, 오: 월별).	23
그림 2.11. 횡성 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율.	23
그림 2.12. 이천 멧돼지 RAI(왼: 격자, 오: 농가).	24
그림 2.13. 이천 지역 전체 멧돼지 RAI.	24
그림 2.14. 이천 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI.	25
그림 2.15. 이천 지역 월평균 멧돼지 개체수(왼: 격자, 오: 농가).	26
그림 2.16. 이천 지역 월별 멧돼지 성체·새끼 개체수(왼: 격자, 오: 농가).	26
그림 2.17. 이천 지역 격자 내 멧돼지 밀도(왼: 지점별, 오: 월별).	27
그림 2.18. 이천 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율.	28
그림 2.19. 횡성 멧돼지 RAI(왼: 격자, 오: 농가).	29
그림 2.20. 횡성 지역 전체 멧돼지 RAI.	29
그림 2.21. 횡성 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI.	30
그림 2.22. 횡성 지역 월평균 멧돼지 개체수(왼: 격자, 오: 농가).	30
그림 2.23. 횡성 지역 월별 멧돼지 성체·새끼 개체수(왼: 격자, 오: 농가).	31
그림 2.24. 횡성 지역 격자 내 멧돼지 밀도(왼: 지점별, 오: 월별).	31
그림 2.25. 횡성 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율.	32
그림 2.26. 횡성, 이천, 횡성의 멧돼지 RAI.	33
그림 2.27. 멧돼지 서식 밀도 비교(국립공원연구원, 2021).	33
그림 2.28. 설치된 생포 포획틀.	34
그림 2.29. 개체별 전체 위치좌표 및 이동거리.	35

그림 2.30. 포획 개체 모습.....	36
그림 2.31. 47171 개체 전체 기간 행동권.....	37
그림 2.32. 47172 개체 전체 기간 행동권.....	38
그림 2.33. 47361 개체 전체 기간 행동권.....	38
그림 2.34. 47362 개체 전체 기간 행동권.....	39
그림 2.35. 47171 개체 월별 행동권.....	40
그림 2.36. 47171 개체 기간별 행동권 크기.....	41
그림 2.37. 47172 개체 월별 행동권.....	42
그림 2.38. 47172 개체 기간별 행동권 크기.....	43
그림 2.39. 47362 개체 월별 행동권.....	44
그림 2.40. 47362 개체 기간별 행동권 크기.....	44
그림 2.41. 기간별 개체 간 이동속도.....	45
그림 2.42. 시간대별 개체 간 이동 속도.....	46
그림 2.43. 서식지 적합성 연구를 위한 야생멧돼지 위치 좌표(좌: ASF 발생 지점, 우: 행동권 위치지점).	47
그림 2.44. 야생멧돼지 서식환경 평가를 위한 지형환경 공간정보 구축.....	48
그림 2.45. 야생멧돼지 서식환경 평가를 위한 산림환경 공간정보 구축.....	49
그림 2.46. 야생멧돼지 서식환경 평가를 위한 교란환경 공간정보 구축.....	50
그림 2.47. 개체별 서식환경(1). [점은 연구 개체의 위치 지점, 파란선은 하천, 흰색 영역은 KDE 95%, 노란색 영역은 KDE 50%를 나타냄].....	53
그림 2.48. 개체별 서식환경(2). [점은 연구 개체의 위치 지점, 파란선은 하천, 흰색 영역은 KDE 95%, 노란색 영역은 KDE 50%를 나타냄].....	54
그림 2.49. 기간별 평균 이용 고도.....	55
그림 2.50. 개체별 평균 이용 고도.....	56
그림 2.51. 고도별 개체 출현 비율.....	56
그림 2.52. 경사도 유형별 개체 출현 비율.....	57
그림 2.53. 개체별 이용 사면향.....	57
그림 2.54. 수계로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.....	58
그림 2.55. 산림유형별 개체 출현 비율.....	59
그림 2.56. 수관밀도별 개체 출현 비율.....	60
그림 2.57. 영급별 개체 출현 비율.....	60
그림 2.58. 경급별 개체 출현 비율.....	61
그림 2.59. 건물로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.....	62
그림 2.60. 경작지로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.....	62
그림 2.61. 도로로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.....	63
그림 2.62. 서식지 적합성 모델의 ROC 곡선.....	64
그림 2.63. ASF 감염 멧돼지 사체 추가 발견지점.....	65
그림 2.64. ASF감염 멧돼지 사체 발견 지점을 이용해 분석한 서식지 적합성 지도.....	67
그림 2.65. 서식지 적합도 0.5 이상의 주요 멧돼지 서식지.....	68
그림 2.66. 체코의 지역별 방역대책 모식도(좌) 및 체코 전역에 대한 지역별 방역대책 적용[1-감염 지역(1a: 피해 낮은 지역, 1b: 피해가 높은 지역), 2-집중적인 사냥지역, 3-그 외 체코지역](우).....	70
그림 2.67. EU 규정에 따른 ASF 발생시 방역대 형성(좌) 및 벨기에 자체 방역대 형성(우).....	70
그림 2.68. 벨기에 ASF관련 지역 설정 현황(좌) 및 Part I, II으로 남아있는 지역에 대한 벨기에 자체 방역대 설정 현황(우).....	71

그림 2.69. 발생지(★)와 주변 오염지대 설정 모식도(좌), 발생지역 출입시 소독 모식도(우).	71
그림 2.70. 러시아 연도별 ASF 발병지점 및 횡수(빨간색:돼지, 파란색:멧돼지)[출처:FAO, Food And Agriculture Organization of the united nation]	72
그림 2.71. 북미(미국, 캐나다) 방역시설 및 관리수칙 모식도.	74
그림 2.72. 2020년부터 2022년까지 ASF 전 세계 현황(출처: OIE WAHIS).	82
그림 2.73. ASF에 대한 4개의 중점 방역 지구(critical control zones, CCZ)(출처: Yong-Joo Kim, 2021).	83
그림 2.74. 감염 ASF 감염 주적개체수에 따른 개체군 증가율 및 야생멧돼지 순증식률(R0; net reproductive rate).	84
그림 2.75. ASFV의 genotypes 분석 결과(Kyung-Lak Lee, 2021).	88
그림 2.76. 연구 대상지(삼척).	89
그림 2.77. 설치된 3대의 센서 카메라(좌)와 센서카메라 모식도(우).	90
그림 2.78. 연구사이트 내 서식종 및 출현 수.	93
그림 2.79. 겨울철 멧돼지 사체에 접근하는 야생동물 출현수 및 평균체류시간.	95
그림 2.80. Site 2 지점에서 촬영된 너구리를 쫓아내고 사체를 점유하는 삶.	96
그림 2.81. Site 3 지점에서 촬영된 뼈를 섭식하는 아성체 멧돼지.	96
그림 2.82. Site 3 지점에서 형성된 사체 분해 섬(Carcass decomposition island, CDI).	97
그림 2.83. Site 1 지점에서 촬영된 머리뼈를 끌고 이동하는 너구리(좌)와 사체를 섭식하는 너구리 가족(6개 체)(우).	98
그림 2.84. 여름철 멧돼지 사체에 접근하는 야생동물 출현수 및 평균체류시간.	99
그림 2.85. 홍천, 횡성, 평창에서 각각 포획한 멧돼지의 포획 위치 좌표 (2021.02.03.~2021.03.30.).	100
그림 2.86. mtDNA control region sequence를 기반으로 Neighbor joining(NJ)한 강원도권(평창, 홍천, 횡성) 야생 멧돼지의 중간 계통수 및 각 분류군의 haplotype 구성.	103
그림 2.87. 8개 haplotype 사이의 관계를 나타낸 유전자 네트워크.	104
그림 2.88. 각 군별 haplotype 구성 및 개체수 크기를 도식화한 그림.	105
그림 2.89. 각 군별 위성 지도에 haplotype network를 도식화하여 haplotype network와 지리적 위치 간의 연관성을 나타낸 그림.	106
그림 2.90. 한반도 남쪽의 주요 환경 요인에 대한 공간 자료.	109
그림 2.91. 남한반도에서의 ASF 발생 추세. a) 일일보고, b) 누적 증가.	110
그림 2.92. ASF 출현 개체의 성비 및 지역별 출현 양상.	111
그림 2.93. ASF 출현 장소와 주요 환경요인과의 거리.	112
그림 2.94. 시계열 보고에 따른 ASF 출현 인근 지점 간 거리 및 전 출현지점 간 거리.	113
그림 2.95. 감염기간 차이를 고려한 ASF 출현 지점 간 거리에 따른 빈도.	114
그림 2.96. ASF 공변량에 따른 공간 상관성(180표본).	116
그림 2.97. ASF 공변량에 따른 공간 상관성(128표본).	116
그림 2.98. ASF 공변량에 따른 공간 상관성(90표본).	117
그림 2.99. 거리에 따른 비출현 자료 위치.	117
그림 2.100. ASF 위해성 예측 모델 성능 비교.	119
그림 2.101. RF에 따른 변수 중요도.	120
그림 2.102. BRT에 따른 변수 중요도.	120
그림 2.103. 개체행동을 고려한 야생멧돼지 증식과 이동에 대한 흐름도.	122
그림 2.104. 야생멧돼지가 생산하는 자손수 확률.	123
그림 2.105. IBM에서 HMM에 따른 야생멧돼지 개체 이동 및 ASF 전파 모사 흐름도.	125

그림 2.106. SiWiDi 프로그램 예.	126
그림 2.107. 개체군 움직임을 통한 개체군 분산 및 ASF 전파 반응도 검정.	128
그림 2.108. 모사를 통한 개체 행동상 정의 및 서식처 선택 (예).	129
그림 2.109. 최초조건 및 ASF 감염율에 따른 개체군 크기 효과 검정.	130
그림 2.110. 사체제거일에 따른 전체 및 감염 개체군 크기 변이에 대한 검정.	131
그림 2.111. 북한산국립공원 중심 동쪽부(A) 및 울타리 설치지역(B)의 연구 영역(노란색 원).	134
그림 2.112. 2017년 6월 1일부터 2021년 10월 30일까지 B01과 B02의 멧돼지 출현 횟수.	135
그림 2.113. 2017년부터 2021년까지 B01과 B02의 월평균 멧돼지 출현 횟수(2017년 6월 1일부터 10월 30일까지 5개월, 2021년 1월 1일부터 10월 30일까지 10개월 동안 월평균 출현 횟수).	136
그림 2.114. B01(n=272) 및 B01(n=761)의 일별 멧돼지 출현을 카메라 트랩 데이터는 2019년 11월 1일부터 2020년 10월 31일까지 1년간 촬영되었음.	137
그림 2.115. 아프리카돼지열병 방역대책 추진전략(아프리카돼지열병 중앙사고수습본부, 2021.2.25).	140
그림 2.116. 양돈 농장 강화된 8대 방역시설 모식도(농식품부).	140
그림 2.117. 양돈농가 규모에 따른 지점 수 예시.	142
그림 2.118. 서식지 연결 분석 결과(1).	144
그림 2.119. 서식지 연결 분석 결과(2).	145
그림 2.120. 전국 양돈농가 규모에 따른 지점 현황.	146
그림 2.121. 전국 양돈농가 주요 밀집 지역(열지도). [A:경기도(용인시 처인구, 이천시, 안성시), B:충청남도(홍성군), C:전라북도(완주군, 김제시)]	147
그림 2.122. 차단방역대 설정과 관련된 환경요인.	148
그림 2.123. 경기도 양돈농가 주요 밀집 지역 차단방역대 설정.	149
그림 2.124. 충청남도 양돈농가 주요 밀집 지역 차단방역대 설정.	150
그림 2.125. 전라북도 양돈농가 주요 밀집 지역 차단방역대 설정.	151
그림 2.126. 농가 지점 수에 따른 차단방역대 중첩 지역의 면적과 전국면적 대비 비율.	152
그림 2.127. 양돈농가 지점 수에 따른 주요 방역지대 설정.	153
그림 2.128. 비감염지역 확산 차단을 위한 주요 차단방역대 설정.	155
그림 2.129. 한돈 농가 설치 의무 방역시설(한돈 농장 의무시설 설치 가이드북, 2021.12).	156
그림 2.130. 지면에 틈이 발생 되게 설치한 양돈 농가 외부울타리 모습(위)과 집쥐 등 야생동물 침입을 막기위해 바루를 고무패드로 막은 외부 울타리 모습(아래, 한돈농장 의무시설 설치 가이드북).	157

1. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 개요

- 최근 가축전염병의 발생이 국내외적으로 매우 중대한 사안으로 등장하고 있다. 국내적으로는 양돈의 규모화, 집단화, 밀집사육 특성에 따라 가축 질병이 빈번하게 발생하는 한편 대외적으로는 개방 및 교류확대 등으로 인해 해외 가축 전염병의 국내로 유입되어 구제역, 돼지열병, 아프리카 돼지열병 등 해외 악성 가축 전염병이 지속적으로 발생하고 있다(신병호 2006, 농림축산검역본부 2020). 이로 인하여 2000년 구제역 발생시 2,216두, 2002년 구제역 및 돼지열병 발생시 200,000여두, 2011년 구제역 발생시 948,364두, 2019년 아프리카돼지열병 발생시 11만여두의 발병가축의 살처분·매몰 되었는데, 이에 따른 보상 및 축산물 소비의 위축, 농가보상 등 지원에 따른 막대한 국가적 경제적 손실이 뒤따랐다.
- 돼지 질병의 주요 감염경로는 감염된 동물과 감수성 동물의 접촉에 의한 직접 전파와 바이러스에 오염된 음식을 먹거나 생물학적 매개체인 진드기에 물리거나, 차량, 장비, 의복 등에 의해 접촉되는 간접적인 전파가 있다(그림 1.1).

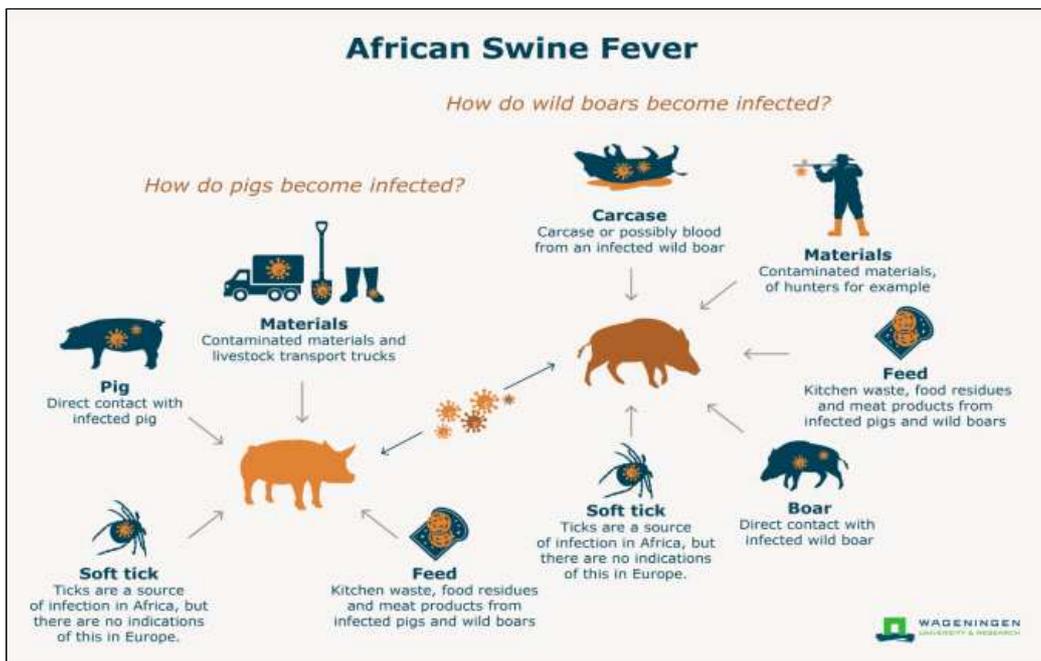


그림 1.1. 아프리카돼지열병(ASF)의 전파경로(WUR).

- 유럽에서 발생한 아프리카돼지열병 경우 발생원인이 감염원(생축, 축산물)의 이동에 의한 감염비율이 38%로 가장 높았고, 잔반급여 34%, 원인 불명 22%, 감염농장 주변 추가 감염 2%, ASF 감염 야생멧돼지 접촉 2% 등으로 나타났다(EFSA 2017). 이를 통한 예방대책 중 하나로 야생멧돼지로

부터 사육돼지로의 전파를 방지하는 것이 중요하다. 차단방역이 취약한 돼지농장 등에 야생멧돼지 접근이나 멧돼지 서식지 내 소규모 방목사육 시 ASF 등 야생멧돼지를 통한 가축전염병 전파 가능성이 높다(그림 1.2).

발생원인	비율(%)
감염원(생축, 축산물)의 이동	38
잔반 급이	34
원인 불명	22
감염농장 주변 추가 감염	2
ASF 감염 야생멧돼지 접촉	2
ASF 감염 사육돼지 판매	1
사람에 의한 직접 접촉	1
계	100

* 출처 : EFSA (European Food Safety Authority, 유럽식물안전청, 2017)

그림 1.2. 유럽 ASF 발생원인 비율.

· 특히 최근 들어 그동안 국내에 전파되지 않았던 제1종 가축전염병인 아프리카돼지열병이 2019년 9월 파주 돼지 농가에서 처음 시작하여 10월까지 한달 동안 파주, 연천, 김포, 강화 지역 사육농가에서 14건이 발생하였다. 초기 농가 이동제한, 살처분 등 강력한 방역대책을 수립하여 사육농가 간 전파는 현재로서는 진행되고 있지 않고 있다.

그러나 2019년 10월 연천지역 야생멧돼지 폐사체에서 ASF 바이러스 검출 이후 2020년 3월 현재 연천, 파주, 철원, 화천 등으로 확산되면서 ASF 항원이 지속적으로 검출되고 있는 실정이다(그림 1.3). 국내 발생농장의 사육 돼지에서 검출한 ASF 바이러스의 유전적 특성 분석결과 2007년 조지아공화국으로부터 유입되어 유럽과 아시아(중국 등)에서 유행 중인 ASF 바이러스와 동일한 genotype II(IGR II)로 알려졌다. 국내 야생멧돼지에서 검출된 ASF 바이러스의 유전자 염기서열 분석결과도 사육 돼지에서 검출된 ASF 바이러스와 동일한 genotype II(IGR II)로 확인되었다.

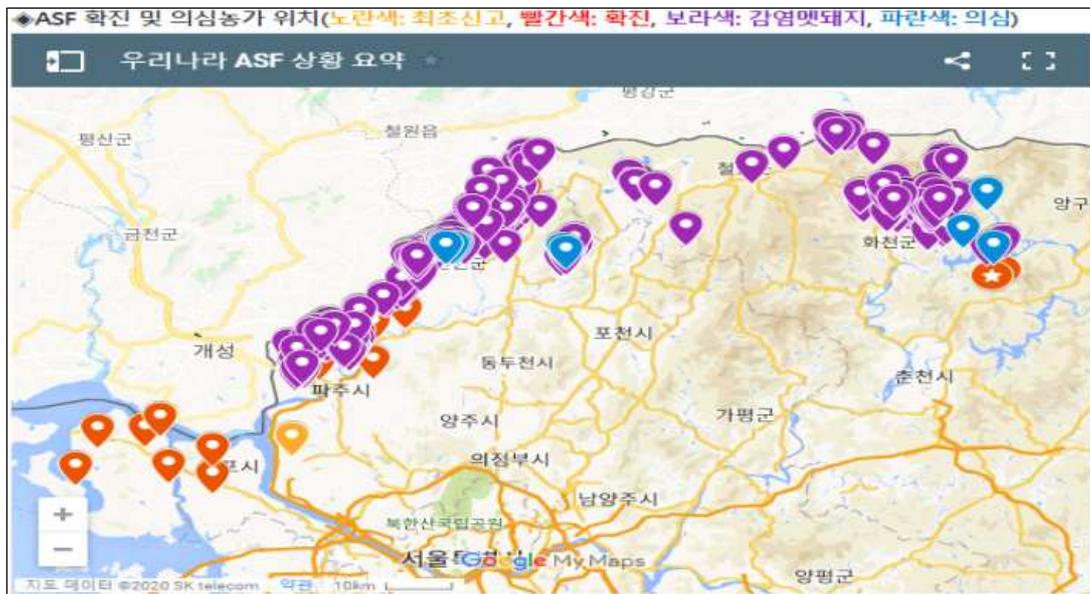


그림 1.3. ASF 확진 및 의심 농가 위치(돼지와 사람 2020.2.10.).

· 또한, 농림축산검역본부에서 실시한 돼지열병 전국 혈청검사에서 2015년 야생멧돼지 1,413두 중 항체 6건이 양성으로 나타났으며, 이후 2016년 7건, 2017년 20건, 2018년 49건, 2019년 상반기 119건 등 최근 급증하는 추세이다(그림 1.4). 구제역, 돼지열병 등 일부 가축전염병은 백신이 개발되어 있기 때문에 상대적 위험성이 낮지만 아프리카돼지열병은 백신이 없어 사육 농가에 전파되면 치명적 손실을 야기할 수 있다. 따라서 선제적인 질병전파의 차단이 매우 중요하다. 특히 주요 감염원 중 하나인 야생멧돼지의 관리는 매우 중요한 문제이지만 우리나라 야생멧돼지의 행동 및 생

태 연구 및 야생 멧돼지와 관련한 질병 연구는 극히 미미한 실정이다.

- 일반적으로 야생 멧돼지라고 불리는 Eurasian wild boar(*Sus scrofa*)는 온대성의 산림, 초원, 대초원, 낙엽성 산림, 농경지 등 건조한 지역에서 열대우림까지 방대한 서식환경을 가지며, 세계적으로 널리 분포한 포유동물 종으로, 그 범위는 서부 유럽과 지중해에서부터 러시아 동부, 일본을 비롯한 동남아시아 전체지역에 서식하고 있으며(Sjarmidi and Gerard 1988, IUCN 2018), 국내에서는 도서지방을 제외한 한반도 전역에 걸쳐 서식하고 있다(국립생물자원관 2018, 국립생태원 2016). 멧돼지는 환경에 대한 적응력이 우수하고 번식력이 왕성하며 상위 포식자가 없어 국지적으로 개체수가 크게 증가하여 농작물 피해, 가축전염병 전파, 도심 출현 및 로드킬에 의한 재산상의 피해와 인명피해를 초래하고 있는 실정이다(농림수산검역본부 2013, 환경부 2014, 국립공원연구원 2019).

- 멧돼지를 효율적으로 이용하고 가축전염병 차단 및 농작물 피해를 감소시키기 위해서는 서식 현황과 밀도조사가 선행되어야 한다. 우리나라에서 야생 멧돼지에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있기는 하지만, 행동과 생태에 관한 깊이 있는 연구는 이루어지고 있지 않다. 환경부에서 수행하고 있는 전국 멧돼지 밀도 조사는 발자국, 배설물 등 흔적을 통해서 수행되고 있기 때문에 멧돼지 개체군의 증감 추세 경향성에 대한

모니터링을 가능하지만, 정확한 개체군 밀도를 산정하기에는 한계가 있다(국립생물자원관 2018). 최근 본연구진과 국립공원공단 등에서는 북한산국립공원, 경주국립공원, 무등산국립공원, 계룡산국립공원 등 도심 국립공원을 대상으로 무인센서카메라를 이용 멧돼지 밀도 추정 및 GPS를 이용한 위치추적 등을 통한 서식지 이용특성과 행동권 연구를 수행하고 있지만 도심 지역을 국립공원에 한정되어 있어 지역적 한계가 있다(국립공원연구원 2019). 따라서 멧돼지를 통한 아프리카돼지열병을 포함한 전염병들의 전파차단을 위해서는 돼지사육 농가 인근 산림 지역을 중심으로 무인센서카메라나 GPS추적장치 등을 활용한 서식지 이용특성이나 및 행동권 분석, 개체식별을 등을 통해 정밀한 밀도 추정 등 깊이 있는 연구가 필요하다.

- 가축전염병 방역을 위한 야생멧돼지의 효율적인 관리를 위해서는 야생멧돼지와 서식지와의 관계에 대한 이해가 필수적이다. 야생멧돼지와 서식지와의 관계규명은 야생멧돼지의 번식생태, 활동유



그림 1.4. 야생멧돼지 돼지열병 항원·항체 검출 현황(돼지와 사람 2019.11.8.).

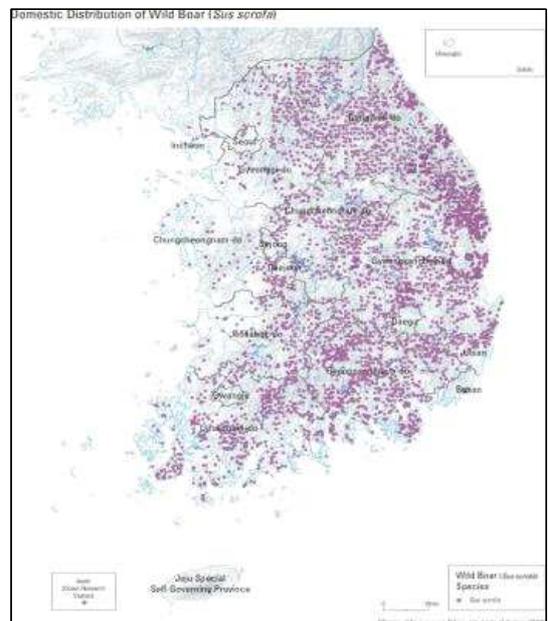


그림 1.5. 국내 멧돼지 분포 현황(환경부 2016).

형, 행동권 및 서식지 이용 등의 연구가 선행되어야 한다. 또한, 국내에서 연구가 미미한 야생 멧돼지 질병 연구가 필요하다.

- 본 연구의 목적은 축산 농가 인접지역을 중심으로 멧돼지의 서식 현황, 행동권, 서식지 이용 특성 등 생태자료 등을 수집 및 DB 구축을 하고, 야생멧돼지 관련 주요 가축전염병 병원체 특성 파악을 하는 것이다. 또한, 연구결과를 바탕으로 야생멧돼지 분포 및 병원체 특성을 고려한 선제적 가축전염병 차단 방역 모델을 제시하고, 야생멧돼지를 통한 주요 가축전염병 병원체 농가 유입 및 질병 발생 시 전파 위험성 평가시스템을 구축하는 것이다.

나. 연구개발 대상의 국내·외 현황

1) 국내 기술 수준 및 시장 현황

○ 야생멧돼지 생태연구 동향

- 우리나라 야생동물 연구는 국내 서식지 특성상 현장 자료에 대한 지속적인 습득의 어려움이 매우 커서 선진국에 비하면 매우 뒤쳐져 있다. 따라서 국내 실정에 맞는 현장 조사분석 기법 및 현장 데이터 수집이 전문성을 지닌 연구진이 매우 필요한 실정이다. 또한, 멧돼지와 서식지와의 관계를 구명하기 위해서는 멧돼지의 서식지 이용 및 행태와 관련된 방대한 양의 자료를 필요로 한다. 그러므로 멧돼지의 행동권 변화에 대한 모니터링이 꾸준히 이루어져야 한다. 장기 모니터링 자료를 바탕으로 생태적인 지식을 충분히 축적하고 피해방지 대책에 대한 면밀한 실효성 검증을 통해 피해 방지 대책이 수립되어야 한다.
- 비록 흔적조사에 근거한 것이기는 하지만 국내 야생멧돼지 전국 밀도는 야생동물 실태 조사에 의해 1997년부터 전국 810개의 고정조사구를 선정하여, 매년 고정조사구의 절반인 405개의 조사구에 대하여 매월 조사가 이뤄지고 있다(국립생물자원관, 2018). 야생동물 실태조사에 따른 국내 멧돼지 전국 밀도는 2017년 100ha 당 5.6마리, 2018년 100ha 당 5.2마리로 나타났다(그림 1.6).

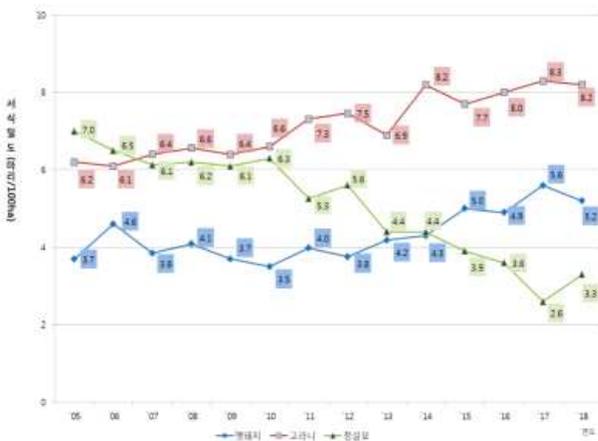


표 14. 멧돼지의 도별, 서식지별 서식밀도 (단위 :마리/100ha)

도별 서식지	연도																	
	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18				
경기 산악	2.3	2.3	1.8	0.8	0.5	0.3	0.8	1.8	0.3	1.2	2.2	3.3	2.8	5.2				
강원 산악	3.4	4.0	3.4	3.9	4.4	4.5	4.9	4.2	4.0	4.3	5.4	6.2	6.5	6.1				
충북 산악	4.0	4.8	3.6	6.0	4.0	4.7	5.2	4.3	4.5	4.7	5.5	5.2	4.8	4.8				
충남 산악	0.5	0.6	1.7	0.4	2.0	0.6	2.5	2.5	3.5	3.3	5.3	3.8	5.7	4.2				
전북 산악	2.7	4.2	4.1	3.6	4.9	5.9	7.5	7.4	7.3	7.2	8.7	6.4	5.4	6.9				
전남 산악	2.1	1.9	2.4	2.3	3.0	3.5	3.1	3.6	3.2	3.9	2.3	3.6	4.9	4.2				
경북 산악	3.2	4.8	2.8	3.5	1.9	1.4	1.2	1.0	0.8	2.8	4.1	4.5	7.4	3.6				
경남 산악	8.3	9.3	8.6	7.2	8.5	7.1	6.8	5.4	9.9	6.9	6.6	6.3	7.1	6.7				
평균 산악	3.7	4.6	3.8	4.1	3.7	3.5	4.0	3.8	4.2	4.3	5.0	4.9	5.6	5.2				

그림 1.6. 2005-2018년 전국 멧돼지 서식 밀도(좌, 파란색 선) 및 도별, 서식지별 서식밀도(우).

- 국내 멧돼지(*Sus scrofa*) 생태와 관련된 국내 문헌을 학술연구정보서비스 RISS, 한국학술정보 KISS를 통해 검색한 결과 총 25건의 문헌이 분류되었다. 가장 많은 연구가 진행된 분야는 행동생태로 8건이었으며, 농경지 피해 관련 4건, 서식지 3건, 유전 3건, 환경생태 2건, 먹이관련 2건, 계통분류 2건, 수의 1건으로 멧돼지의 서식지 및 개체군 관리의 필요성에 비해 연구는 매우 미흡한 실정이었다(그림 1.7).

○ 시장현황

- 2017년 농림축산 식품 주요 통계자료에 따르면 우리나라의 농업 총생산액은 47.5조원 이었으며, 이중 축산업이 40.4%(19.2조원)로 높은 비중을 차지하고 있었다. 또한, 축산업 19.2조 원 중 돼지가 35.1%(6.7조원)로 가축 중에 총생산액이 가장 높은 중요한 가축이었다(농림축산식품부 2017) (그림 1.7).

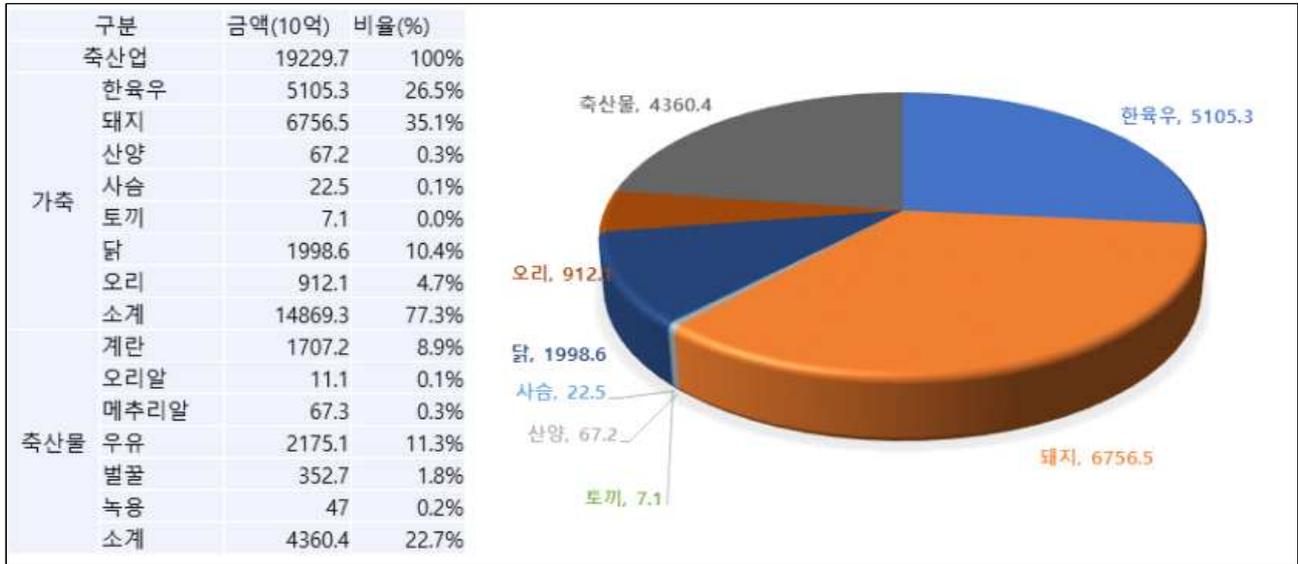


그림 1.7. 2017년 축산업 총 생산액 및 비율.

○ 지식재산권현황

- 아프리카돼지열병(ASF, African Swine Fever)과 관련된 국내 특허는 3건으로 가축전염병에 대한 타지역 확산을 막기 위한 일회용 차량 매트, 아프리카돼지열병 바이러스 진단용 조성물 및 키트 등이 있었다.

구분	특허명	출원번호	비고
1	모 바이러스 조지아 2007 분리주의 감염에 대한 합리적으로 개발된 아프리카 돼지 열병 약독화 바이러스 균주	10-2019-7003279 (2019-01-31)	
2	아프리카 돼지열병 바이러스 단백질 K205R에 대한 단클론항체 및 이를 포함하는 아프리카 돼지열병 바이러스 진단용 조성물	10-2015-0015946 (2015-02-02)	
3	방역을 위한 일회용 차량 매트	10-2019-0118572 (2019-09-26)	

2) 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 세계동물보건기구(OIE)에 따르면 2019년 12월 20일부터 2020년 3월 12일까지 OIE에 아프리카돼지열병(ASF, African Swine Fever) 발생이 보고된 국가는 총 27개로 유럽 12개국(불가리아, 헝가리, 라트비아, 몰도바, 폴란드, 루마니아, 러시아, 슬로바키아, 우크라이나, 벨기에, 그리스, 세르비아), 아시아 10개국(중국, 인도네시아, 북한, 대한민국, 라오스, 미얀마, 필리핀, 캄보디아, 베트남, 동티모르), 아프리카 5개국(코트디부아르, 케냐, 남아프리카공화국, 짐바브웨, 시에라리온) 등이었다(그림 1.8). 또한 2016-2019년까지 전 세계적으로 아프리카돼지열병에 대한 발병 국가는 <그림 1.9>와 같이 나타났다. OIE에서는 아프리카돼지열병이 유럽에선 집돼지와 야생 멧돼지에 발생한 반면, 아시아와 아프리카의 경우 주로 집돼지에서 발생하고 일부 경우에서 야생 멧돼지에 발생하는 것(2018년 8월부터 300개의 사례 보고)으로 발표했다(그림 1.9).

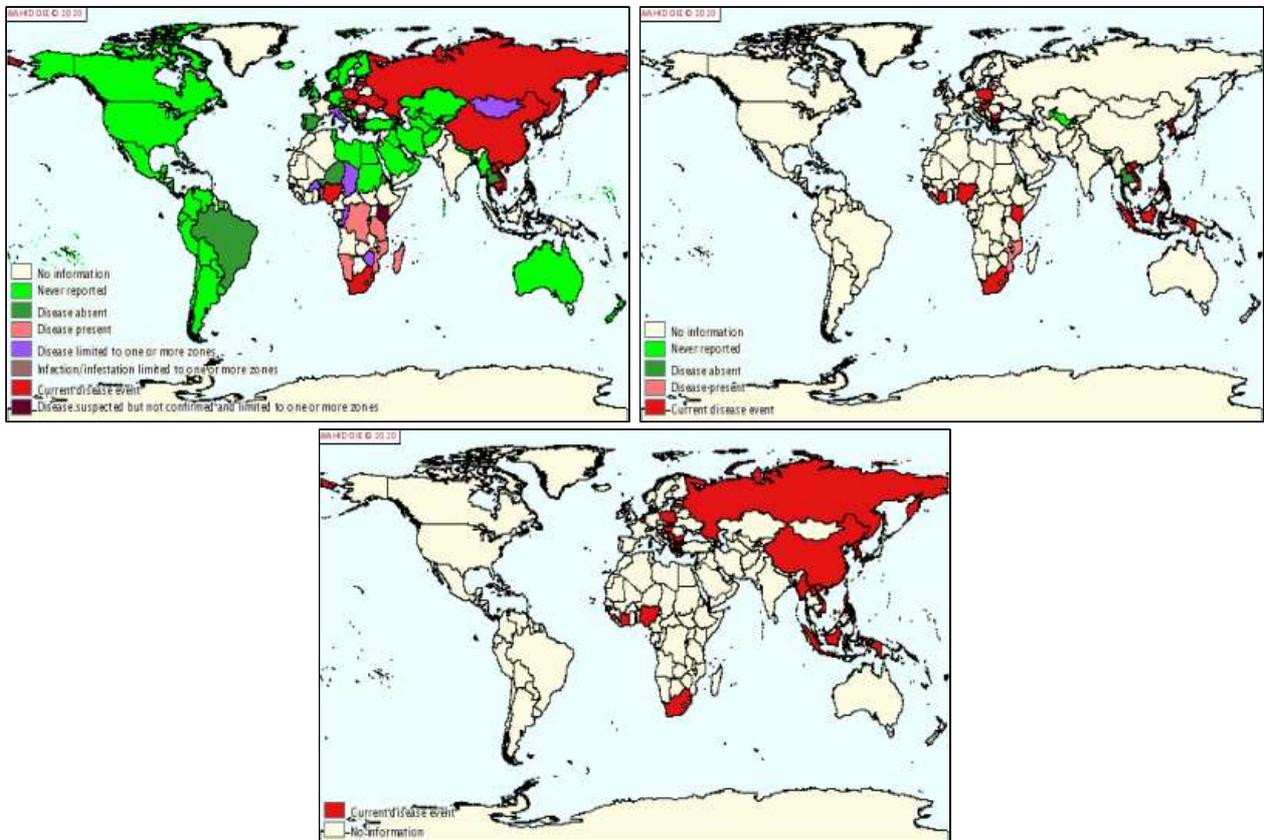


그림 1.8. 전세계 아프리카돼지열병 발생국가[2019년 상반기(좌상), 2019년 하반기(우상), 2020년 상반기(하)].

Region	Swine				Wild boar				Total Outbreaks	Total Susceptible	Total Cases	Total Losses
	Outbreaks	Susceptible	Cases	Losses**	Outbreaks	Susceptible	Cases	Losses**				
Africa	63	83 566	16 252	42 048	0				63	83 566	16 252	42 048
Asia	389	1 826 402	23 158	1 711 677	3	NA*	300		392	1 826 402	23 458	1 711 677
Europe	196	1 063 738	364 321	777 244	7 792	NA*	15 934		9 756	1 063 738	380 255	777 244
Total	2416	2 973 708	403 731	2 530 989	7 795	NA	16 234	NA	10 211	2 973 708	419 985	2 530 989

Table 1. Impact of ASF by region based on the information submitted through the Early Warning System (2016-2019).

* NA: Not applicable. ** The impact of this disease is measured in terms of losses, which are calculated by the sum of dead and culled animals from the infected farm or backyard premises of the reported outbreak.

그림 1.9. Early Warning System을 통해 보고된 정보에 기반한 지역별 ASF 영향(출처:세계동물보건기구).

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

2-1. 연구개발의 목표 및 내용

구분	내 용
최종목표	<ul style="list-style-type: none"> - 중요 가축전염병인 아프리카돼지열병, 구제역 및 돼지열병에 대해 야생멧돼지간의 전파 및 사육돼지로의 전파 경로를 파악하고 선제적으로 차단 방역 모델 제시 - 야생멧돼지를 통한 주요 가축전염병 병원체 농가 유입 및 질병 발생 시 전파 위험성 평가 시스템 구축
세부목표	<ul style="list-style-type: none"> - 야생멧돼지 서식(분포) 생태자료 수집 및 DB 구축 - 야생멧돼지 관련 주요 가축전염병 병원체 특성 분석 - 국내 야생멧돼지 분포 및 병원체 특성 고려한 차단 방역지대 설정

가. 연구 내용

- 야생멧돼지 서식(분포) 생태자료 수집 및 DB 구축
 - Camera trap 및 흔적조사를 통한 야생멧돼지 개체수, 서식밀도 및 활동패턴 연구
 - GPS collar를 이용한 멧돼지 행동권 연구
 - MaxEnt를 이용한 야생멧돼지 서식지 적합성 분석 및 서식이용특성 분석
 - 유럽 등 해외 야생멧돼지 차단방역 조치 선진사례 수집 및 분석

- 야생멧돼지 관련 주요 가축전염병 병원체 특성 분석
 - ASF 병원체 특성 연구
 - 가축전염병 감수성 야생동물 연구
 - 멧돼지의 유전지도 및 지리적 분포 규명
 - 분석모형을 이용한 질병 전파 가능성 규명 연구

- 국내 야생멧돼지 분포 및 병원체 특성 고려한 차단 방역지대 설정
 - 펜스의 멧돼지 차단 효과 장기 모니터링 연구
 - 가축전염병 차단 방역지대 설정 연구
 - 야생멧돼지 방역지침 개선안 제안

2-2. 연구수행 내용 및 연구결과

❖ 야생멧돼지 서식(분포) 생태자료 등을 수집 및 D/B 구축

○ Camera trap 및 흔적조사를 통한 야생멧돼지 개체수, 서식밀도 및 활동패턴 연구

(1) 연구 내용

- 축산 농가 및 인접 산림지대를 대상으로 카메라트랩과 흔적조사 등을 통하여 국내 야생 멧돼지 관련 생태정보, 서식 환경 조건 등 자료 수집 및 D/B 구축

(2) 연구 방법

- 연구대상지

- 국내 돼지 축산농가 중(표 2.1) 사육 규모가 큰 지자체인 충청남도 홍성군과 현재(2020년 4월) 가축 전염병 중 ASF 발병 중인 경기도와 강원도에서 ASF가 발병하지 않은 지자체 중 사육 규모가 크고 ASF 전파 가능성이 높은 지역인 경기도 이천시와 강원도 횡성군 등 3개 지역을 연구대상지로 선정하였다.
- 축산 농가 및 인접 산림지대를 대상으로 카메라트랩과 흔적조사 등을 통하여 국내 야생 멧돼지 관련 생태정보, 서식 환경 조건 등 자료 수집하고 관련 자료의 D/B를 구축하였다.

표 2.1. 국내 지자체별 돼지 사육두수 현황.

구분	시도	시군	사육 규모(두)		시 도	시군	사육 규모(두)		시 도	시군	사육 규모(두)
1	충청남도	홍성군	582,031		경 기 도	안성시	379,717		강 원 도	철원군	163,369
2	제주특별 자치도	제주시	415,837			이천시	374,094			황성군	87,063
3	전라북도	정읍시	380,362			포천시	301,321			강릉시	71,095
4	경기도	안성시	379,717			용인시 처인구	190,530			원주시	64,654
5	경기도	이천시	374,094			여주시	180,030			홍천군	50,600
6	경기도	포천시	301,321			화성시	174,125			화천군	28,556
7	전라북도	김제시	288,342			평택시	103,128			춘천시	27,000
8	충청남도	당진시	287,057			양주시	95,645			양양군	23,243
9	충청남도	보령시	286,391			양평군	53,651			평창군	20,000
10	충청남도	예산군	236,012			동두천시	19,505			양구군	10,953

- Camera trap 조사

• 무인센서카메라 운영 및 분석

- 연구대상지를 중심으로 돼지사육 농가 분포와 사육두수를 고려하여 지역별로 4곳을 선정하여 지역별로 총 20개 지점 ($20 \times 4 \text{km}^2 (2 \times 2 \text{km}) = 80 \text{km}^2$) 를 선정하였다(그림 2.1).
- 야생멧돼지 서식분포 조사 후 각 격자별로 진흙목욕장 또는 이동로에 무인센서카메라를 1대씩 설치하여 멧돼지 개체수, 밀도 및 활동패턴을 분석하였다(그림 2.2).
- 농가 주변지역 무인센서카메라 추가 설치(지점별 6대)를 통해 야생멧돼지 및 ASF 감수성 야생동물의 출입 현황을 조사했다(그림 2.3).

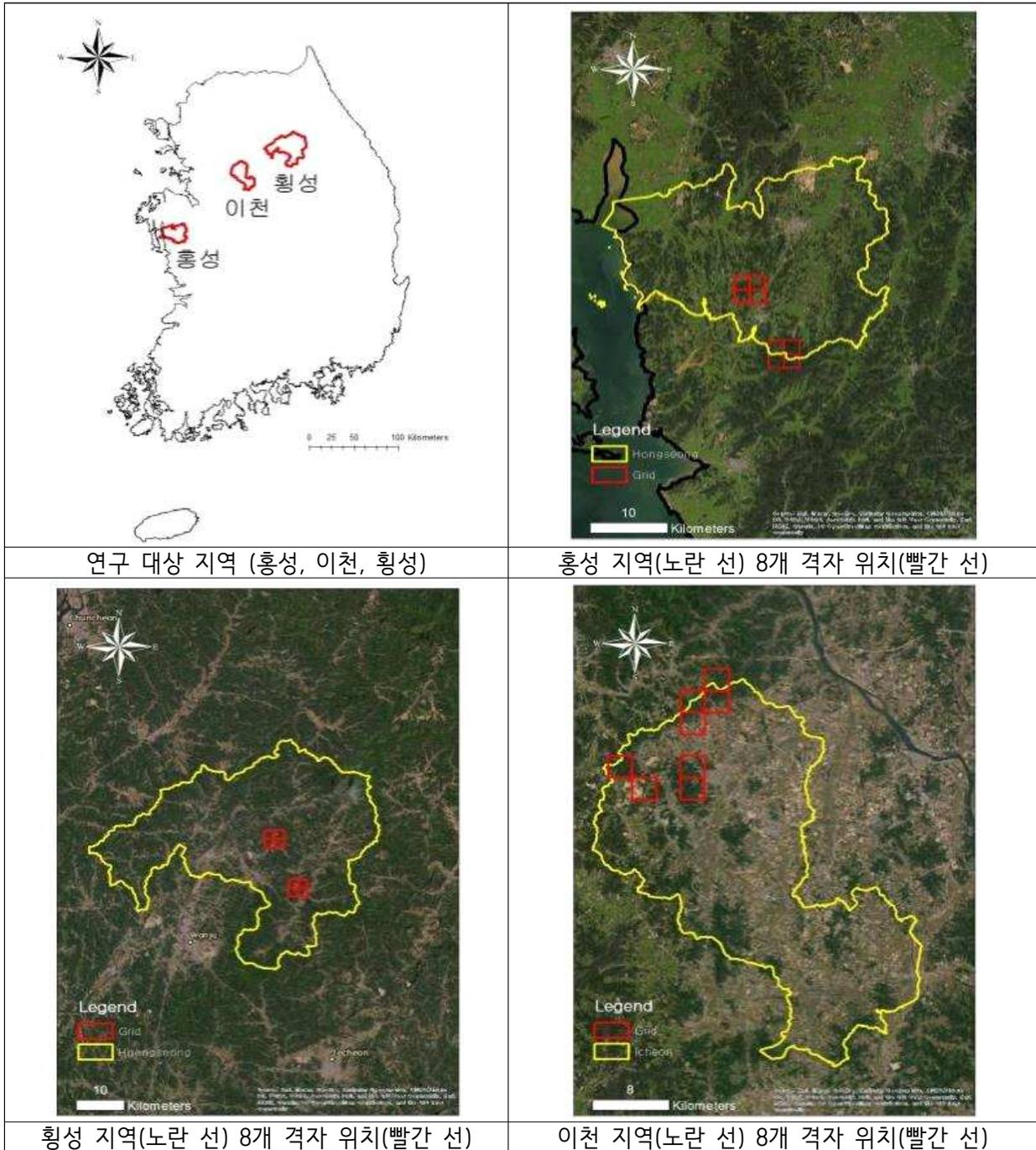
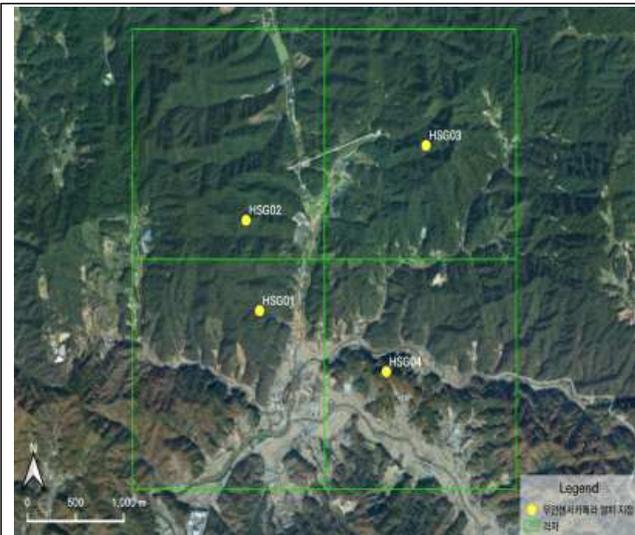


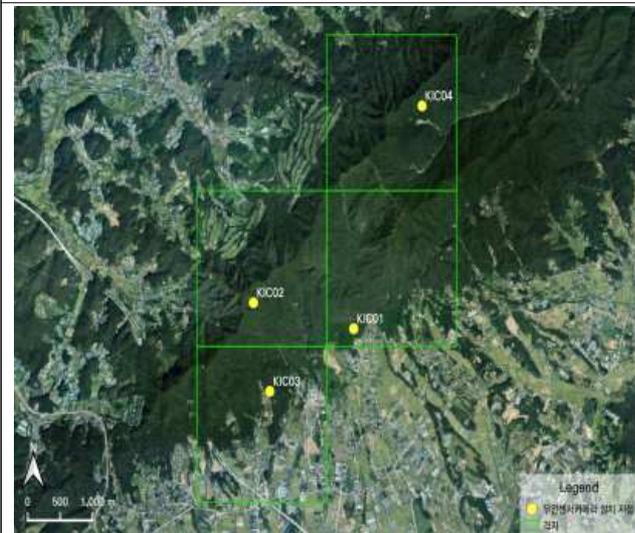
그림 2.1. 무인센서카메라 운영 지역 (홍성, 이천, 황성)과 지역내 8개 격자 위치 지도



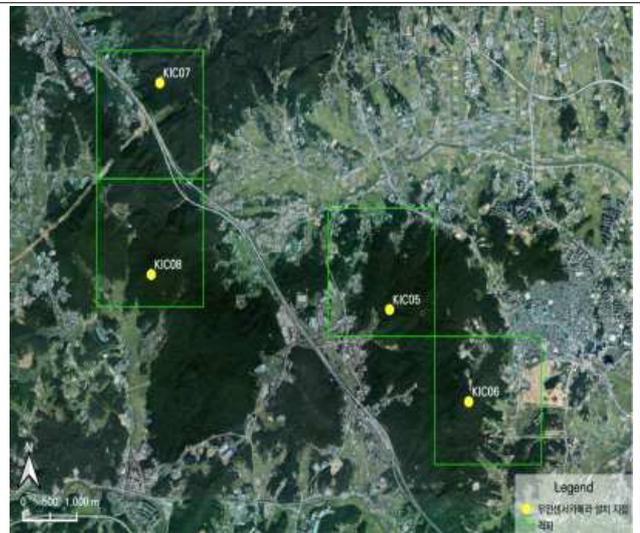
황성1 4개 격자내 카메라 위치(4개, 노란점)



황성2 4개 격자내 카메라 위치(4개, 노란점)



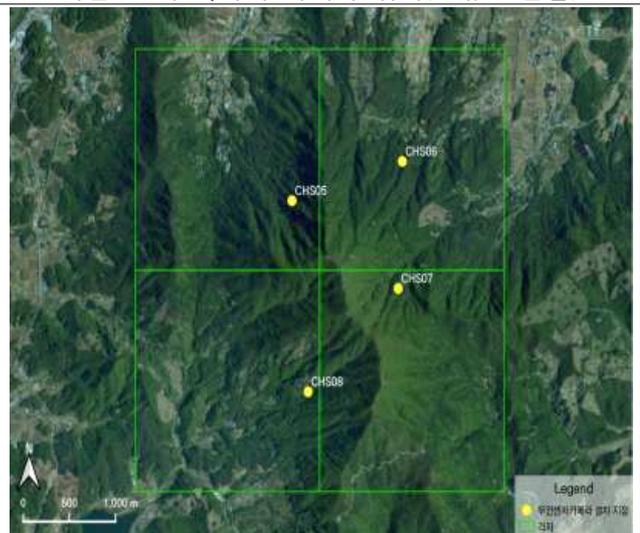
이천1 4개 격자내 카메라 위치(4개, 노란점)



이천2 4개 격자내 카메라 위치(4개, 노란점)



황성1 4개 격자내 카메라 위치(4개, 노란점)



황성2 4개 격자내 카메라 위치(4개, 노란점)

그림 2.2. 황성, 이천, 홍성 각각 8개 격자 내 카메라 설치 지점.



황성1 농가 주변 70m(3지점)와 200m(3지점) 이내
카메라 설치 지점



황성2 농가 주변 70m(3지점)와 200m(3지점) 이내
카메라 설치 지점



이천1 농가 주변 70m(3지점)와 200m(3지점) 이내
카메라 설치 지점



이천2 농가 주변 70m(3지점)와 200m(3지점) 이내
카메라 설치 지점



홍성1 농가 주변 70m(3지점)와 200m(3지점) 이내
카메라 설치 지점



홍성2 농가 주변 70m(3지점)와 200m(3지점) 이내
카메라 설치 지점

그림 2.3. 홍성, 이천, 황성 양돈 농가 주변 지역 (70m, 200m내) 무인센서카메라 설치 지점.

- 멧돼지 개체 구분 기준표

- 야생멧돼지 개체의 외형적 특징을 이용한 개체수 산정 방법으로 기존 육안 관찰에 의한 개체수 산정보다 객관적 Data 제시를 위한 개체 구분 기준표 작성하여 개체수를 산정하였다.
- 개체 구분 기준표는 촬영 사진을 이용해 식별가능 코드로 연령, 체고, 성별, 사진 내 개체수를 선별, 우선 순위에 따라 순차적으로 적용하여 개체별 코드를 부여했다(표 2.2, 그림 2.4).

표 2.2. 개체 구분 기준표 세부 설명(강원대 야생동물연구실 및 국립공원연구원 멧돼지 장기모니터링 보고서 2018).

식별 코드	세부 설명
연령(Age)	새끼 줄무늬가 있는 경우 (Y), 없는 경우 (A)
크기(Size)	성체의 경우 체고계 기준 크기에 따라 (a)(b)(c)로 분류
성별(Sex)	유두, 생식기의 외부형태로 (M),(F)로 분류
특징(Character)	외부형태에 표현된 상처, 귀 이표 등 기호화 힘든 외부 형태 특징 기입 (ex. 특징 없는 경우 A-c-M-0, 귀의 이표가 있는 경우 A-c-M-귀이표)
기타	촬영 사진의 해당 코드 적용 불가능할 경우 순서 내 0으로 표기

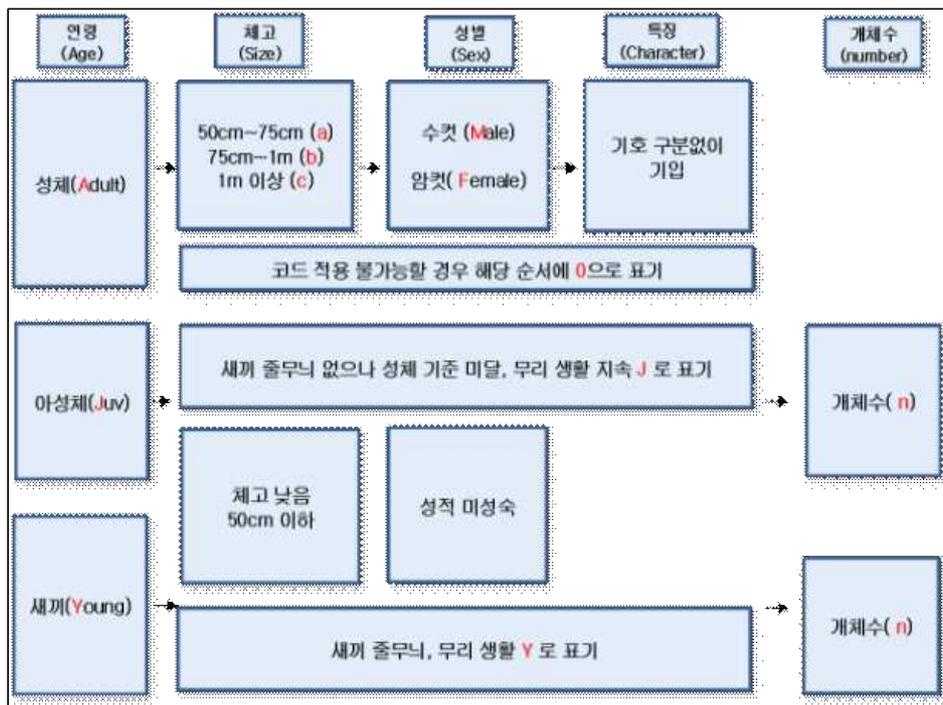


그림 2.4. 멧돼지 개체분석을 위한 코드적용순서(강원대 야생동물연구실 및 국립공원연구원 멧돼지 장기모니터링 보고서 2018).

- 데이터 분석

- 조사 지점 별 무인센서카메라 촬영 자료 중 외형 특징에 의한 개체 구분이 가능한 자료를 토대로 개체구분 기준표를 적용하여 월별 개체수 및 밀도 분석을 실시하고, 개체구분 기준표 적용이 힘든 자료는 야생멧돼지 활동패턴 분석 자료로 활용했다.

- 멧돼지 및 야생동물 상대풍부도지수(RAI) 분석

- 데이터 수집 기간을 고려한 상대풍부도지수(RAI)를 이용해 지점별 출현 현황을 비교하였다.
- * 조사자료 분석에 사용된 종의 상대풍부도 지수 산출식(Arroyo-Arce et al., 2017)

RAI(Relative Abundance Index of species)
= Events x (100 camera trap nights / sampling effort)

- RAI(Relative Abundance Index of species) : 상대적 종풍부도 지수
- Events : 해당 종이 촬영된 사진 수
- 100 camera trap nights : 다른 연구들과 데이터를 비교하기 위한 표준단위
- Sampling effort : 무인센서카메라가 운용된 총 일수

- 멧돼지 출현 개체수 및 밀도 분석

- 개체수 산정은 코드표를 참고해 개체에 코드를 부여한 후 월별로 중복되는 코드를 제거해 산정하였다. 격자의 크기는 4km²(2km×2km)로, 1km² 당 개체수로 멧돼지 평균밀도를 산출하였다. 양돈 농가 주변에 설치된 카메라는 밀도 분석용 카메라가 아니기 때문에 밀도 산출에서 제외하였다.

(3) 연구 결과

- 2020년 10월 13일부터 2021년 8월 28일까지 횡성, 이천, 홍성 지역의 카메라 운영일, 야생 멧돼지 출현수, 상대풍부도지수(RAI), 월평균 개체수, 평균 밀도 분석결과는 <표 2.3-2.5> 와 같다.

표 2.3. 횡성 무인센서카메라 데이터 분석 결과.

구분	지역	카메라명	유형	카메라 운영일	전체 기간 출현수	RAI	월평균 개체수	표준편차	평균밀도	표준편차
격자	격자 1	HSG01	이동로	317	25	7.89	1.09	0.70	0.27	0.18
		HSG02	이동로	317	26	8.20	2.18	3.12	0.55	0.78
		HSG03	이동로	317	19	5.99	0.91	1.22	0.23	0.31
		HSG04	진흙 목욕장	317	32	10.09	0.91	0.94	0.23	0.24
	격자 2	HSG05	비빔목	317	27	8.52	1.55	2.77	0.39	0.69
		HSG06	진흙 목욕장	317	6	1.89	0.36	0.92	0.09	0.23
		HSG07	비빔목	317	3	0.95	0.36	0.67	0.09	0.17
		HSG08	이동로	317	4	1.26	0.18	0.60	0.05	0.15
농가 1	70m 내	HSG09	이동로	295	2	0.68	0.18	0.60	-	-
		HSG10	이동로	305	1	0.33	0.09	0.30	-	-
		HSG11	이동로	305	4	1.31	0.36	0.50	-	-
	200m 내	HSG12	이동로	258	11	4.26	1.10	1.45	-	-
		HSG13	이동로	305	6	1.97	0.36	0.67	-	-
		HSG14	이동로	305	5	1.64	0.45	0.69	-	-
농가 2	70m 내	HSG15	이동로	305	2	0.66	0.36	0.92	-	-
		HSG16	이동로	203	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		HSG17	이동로	203	0	0.00	0.00	0.00	-	-
	200m 내	HSG18	비빔목	276	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		HSG19	이동로	203	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		HSG20	이동로	31	0	0.00	0.00	0.00	-	-

* 상대풍부도지수(RAI) = (독립적으로 찍힌 사진 수 / 전체 모니터링 일수) × 100

* - : 양돈농가 주변에 설치된 카메라는 밀도 분석용 카메라가 아니기 때문에 밀도산출에서 제외함

표 2.4. 이천 무인센서카메라 데이터 분석 결과.

구분	지역	카메라명	유형	카메라 운영일	전체 기간 출현수	RAI	월평균 개체수	표준편차	평균밀도	표준편차
격자	격자 1	KIC01	진흙 목욕장	316	37	11.71	1.64	3.26	0.41	0.82
		KIC02	이동로	316	3	0.95	0.27	0.65	0.07	0.16
		KIC03	진흙 목욕장	316	10	3.16	0.64	1.03	0.16	0.26
		KIC04	진흙 목욕장	108	6	5.56	1.43	2.51	0.36	0.63
	격자 2	KIC05	이동로	316	3	0.95	0.18	0.40	0.05	0.10
		KIC06	진흙 목욕장	316	32	10.13	1.91	1.92	0.48	0.48
		KIC07	이동로	316	25	7.91	1.27	1.90	0.32	0.48
		KIC08	이동로	316	9	2.85	0.64	0.67	0.16	0.17
농가 1	70m 내	KIC09	이동로	302	3	0.99	0.18	0.40	-	-
		KIC10	이동로	302	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		KIC11	이동로	302	0	0.00	0.00	0.00	-	-
	200m 내	KIC12	이동로	302	2	0.66	0.27	0.65	-	-
		KIC13	이동로	302	2	0.66	0.18	0.40	-	-
		KIC14	이동로	302	2	0.66	0.18	0.40	-	-
농가 2	70m 내	KIC15	이동로	201	1	0.50	0.14	0.38	-	-
		KIC16	이동로	138	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		KIC17	이동로	142	0	0.00	0.00	0.00	-	-
	200m 내	KIC18	이동로	302	6	1.99	0.36	0.67	-	-
		KIC19	이동로	202	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		KIC20	이동로	200	4	2.00	0.25	0.71	-	-

* 상대풍부도지수(RAI) = (독립적으로 찍힌 사진 수 / 전체 모니터링 일수) × 100

* - : 양돈농가 주변에 설치된 카메라는 밀도 분석용 카메라가 아니기 때문에 밀도산출에서 제외함

표 2.5. 홍성 무인센서카메라 데이터 분석 결과.

구분	지역	현재 카메라명	유형	카메라 운영일	전체 기간 출현수	RAI	월평균 개체수	표준 편차	평균 밀도	표준 편차
격자	격자 1	CHS01	진흙 목욕장	181	9	4.97	1.00	1.73	0.25	0.43
		CHS02	진흙 목욕장	318	42	13.21	1.18	1.33	0.30	0.33
		CHS03	진흙 목욕장	207	22	10.63	1.89	3.44	0.47	0.86
		CHS04	이동로	318	1	0.31	0.09	0.30	0.02	0.08
	격자 2	CHS05	이동로	175	1	0.57	0.14	0.38	0.04	0.09
		CHS06	이동로	318	38	11.95	2.64	3.04	0.66	0.76
		CHS07	이동로	318	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		CHS08	이동로	207	7	3.38	0.88	1.13	0.22	0.28
농가 1	70m 내	CHS09	이동로	276	2	0.72	0.20	0.42	-	-
		CHS10	이동로	276	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		CHS11	이동로	270	1	0.37	0.10	0.32	-	-
	200m 내	CHS12	이동로	254	4	1.57	0.40	0.70	-	-
		CHS13	이동로	198	1	0.51	0.13	0.35	-	-
		CHS14	진흙 목욕장	236	25	10.59	1.56	0.88	-	-
농가 2	70m 내	CHS15	이동로	260	13	5.00	0.90	0.99	-	-
		CHS16	이동로	276	0	0.00	0.00	0.00	-	-
		CHS17	이동로	276	1	0.36	0.10	0.32	-	-
	200m 내	CHS18	이동로	276	26	9.42	1.20	1.23	-	-
		CHS19	이동로	276	2	0.72	0.20	0.63	-	-
		CHS20	이동로	240	1	0.42	0.11	0.33	-	-

* 상대풍부도지수(RAI) = (독립적으로 찍힌 사진 수 / 전체 모니터링 일수) × 100

* - : 양돈농가 주변에 설치된 카메라는 밀도 분석용 카메라가 아니기 때문에 밀도산출에서 제외함

1) 황성

1-1) 황성 격자 및 양돈 농가 주변 내 멧돼지 RAI 분석 결과

- 황성 지역 전체에서 RAI가 가장 높게 나타난 지점은 HSG04(10.09)로 가장 낮은 RAI값을 가지는 HSG10(0.33)보다 약 30.6배 높은 것으로 나타났다.
- 격자의 경우, 가장 높은 RAI를 나타내는 HSG04(10.09)의 RAI는 가장 낮은 RAI를 나타내는 HSG07(0.95)에 비해 약 10.6배 높았다.
- 농가의 경우, 가장 높은 RAI를 나타내는 HSG12(4.26)의 RAI는 가장 낮은 RAI를 나타내는 HSG10(0.33)이 에 비해 약 12.9배 높았다.
- 농가의 경우, 70m 내 지역에 비해 200m 내 지역의 RAI가 더 높게 나타났는데, 이는 멧돼지가 농가에 완전 인접한 지역 보다는 농가에서 조금 떨어진 지역에서 더 많이 서식한다는 것을 의미한다.
- 양돈 농가 주변 HSG16~HSG20 지점에서는 멧돼지 출현이 없었다.

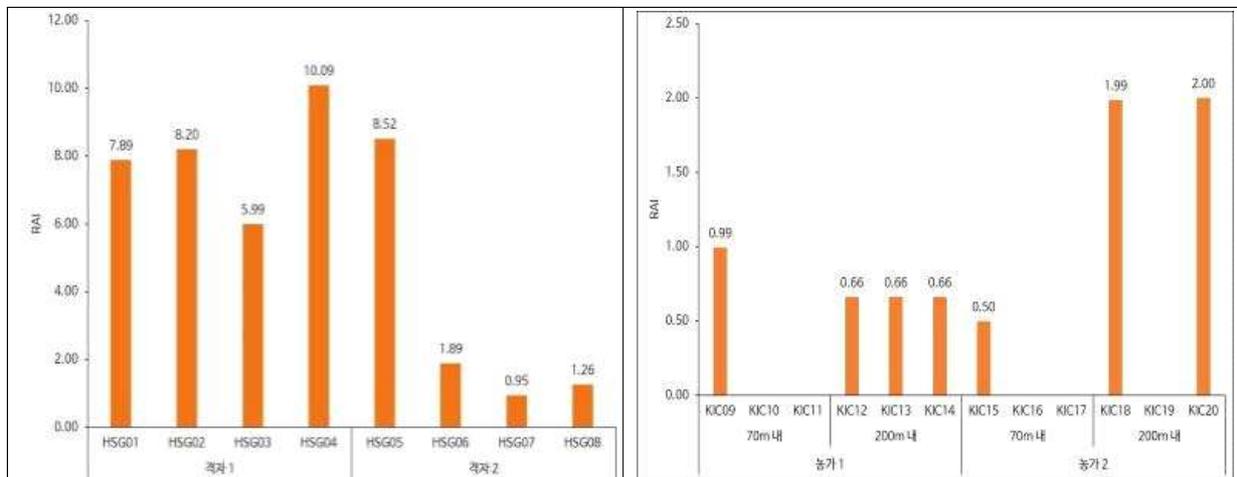


그림 2.5. 황성 멧돼지 RAI(왼: 격자, 오: 농가).

- 황성의 조사 지역을 격자, 양돈 농가 200m 내, 양돈 농가 70m 내로 구분하여 RAI를 계산한 결과, 격자(5.60), 200m 내(1.60), 70m 내(0.56)의 순으로 RAI값이 높게 나타났으며, 이는 농가에서 멀리 떨어져 있는 지역일수록 멧돼지가 더 많이 서식한다는 것을 의미한다.
- 3개의 조사 구역 중(격자, 양돈 농가 200m 내, 양돈 농가 70m 내), 가장 높은 RAI값을 가지는 격자의 전체

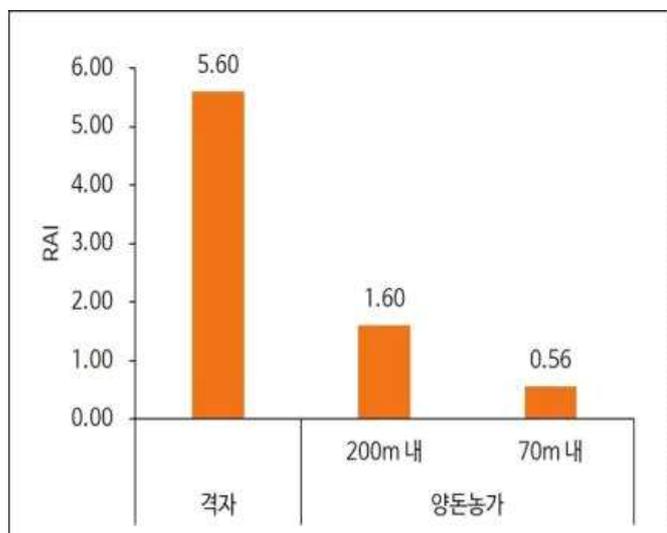


그림 2.6. 황성 지역 전체 멧돼지 RAI.

RAI는 가장 낮은 RAI값을 가지는 양돈 농가 70m 내의 전체 RAI에 비해 약 10배 높은 RAI를 나타냈다.

1-2) 황성 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI 분석 결과

- 지점별 야생동물 RAI는 HSG01(114.83), HSG14(107.87)순으로 높은 RAI를 나타냈고, HSG20(6.45)이 가장 낮은 RAI를 나타냈다.
- 황성 지역 멧돼지 외 야생동물의 RAI 분석 결과 총 3목 5과 10종이 나타났으며 고라니와 노루가 상대적으로 높은 RAI를 나타냈다.

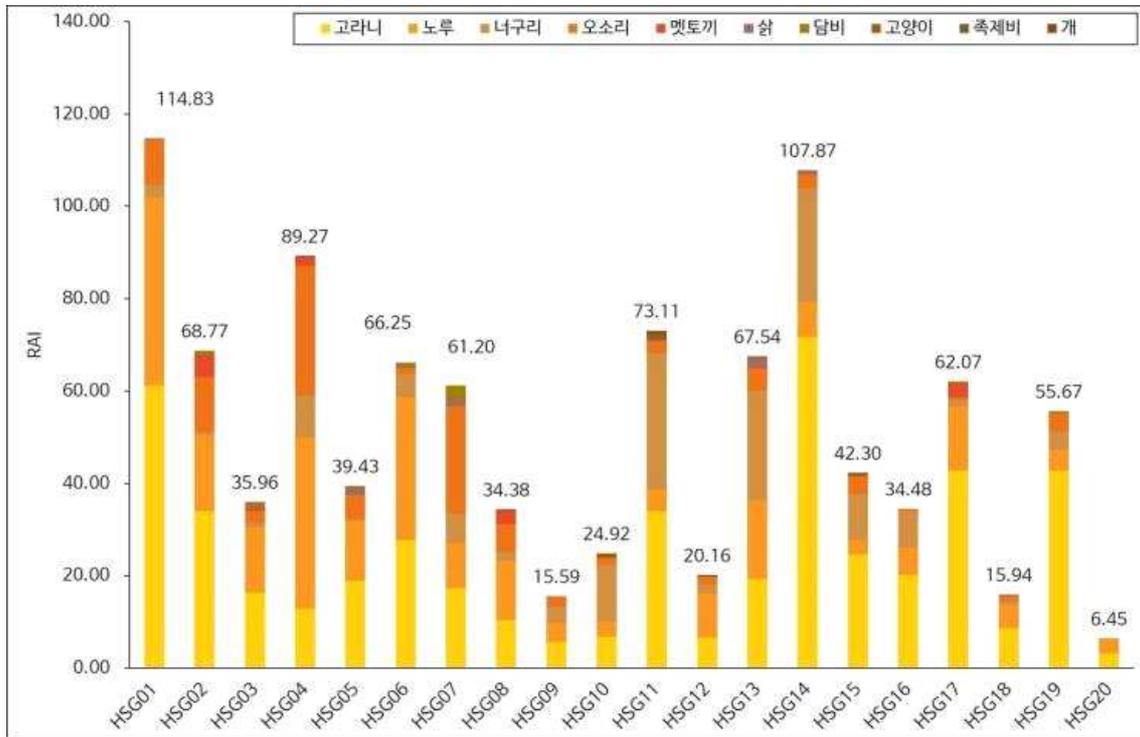


그림 2.7. 황성 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI.

1-3) 황성 격자 및 양돈 농가 주변 내 멧돼지 개체수 분석 결과

- 황성 지역 전체에서 HSG02(2.18 ± 3.12)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 HSG10(0.09 ± 0.30)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했다.
- 격자의 경우, HSG08(0.18 ± 0.60)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했으며 HSG02(2.18 ± 3.12)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 월평균 가장 적은 개체가 출현한 HSG08에 비해 약 12.1배 많은 개체가 출현하였다.
- 농가의 경우, HSG10(0.09 ± 0.30)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했으며 HSG12(1.10 ± 1.45)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 월평균 가장 적은 개체가 출현한 HSG10에 비해 약 12.2배 많은 개체가 출현하였다.

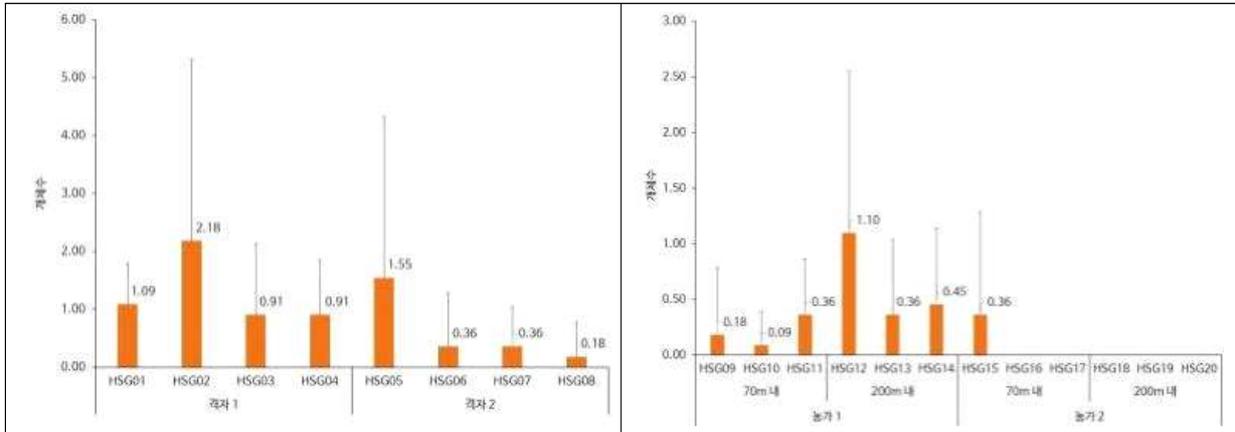


그림 2.8. 횡성 지역 월평균 멧돼지 개체수(원: 격자, 오: 농가).

- 격자의 경우, 가장 많은 개체수가 출현한 달은 8월, 12월, 2월 순이며 8월에는 성체와 새끼의 비율이 모두 높게 나타났는데 이는 출산 시기를 지나 새끼의 수가 증가하고 새끼 양육을 위해 멧돼지의 활동 반경이 전체적으로 넓어진 것을 의미한다.
- 격자의 경우, 10월에는 멧돼지가 출현하지 않았다.
- 농가의 경우, 가장 많은 개체수가 출현한 달은 12월, 1월, 3월 순이며 11월~1월은 멧돼지 짝짓기 기간으로 인해 멧돼지의 출현율이 높았음을 의미한다.
- 농가의 경우, 10월, 11월, 5월, 6월에는 멧돼지가 출현하지 않았다.

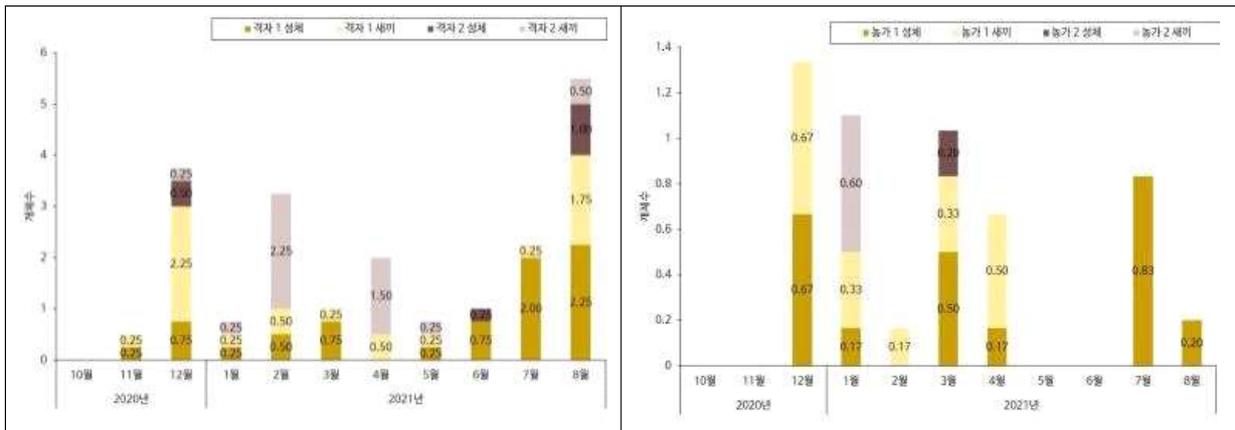


그림 2.9. 횡성 지역 월별 멧돼지 성체·새끼 개체수(원: 격자, 오: 농가).

1-4) 횡성 격자 내 멧돼지 밀도 분석 결과

- 횡성의 양돈 농가 주변 지점을 제외한 격자 내 지점에서 가장 많은 멧돼지가 출현한 HSG02의 평균 밀도는 0.55 ± 0.78 개체/ km^2 이고, 가장 적게 출현한 HSG08의 평균 밀도는 0.05 ± 0.15 개체/ km^2 이다.
- 월별 밀도 분석 결과, 8월에 가장 높은 밀도(0.69 ± 0.59 개체/ km^2)를 나타냈고, 11월에는 가장 낮은 밀도(0.06 ± 0.12 개체/ km^2)를 보였으며 5월부터 8월까지 점차 증가하는 추세를 보였다.

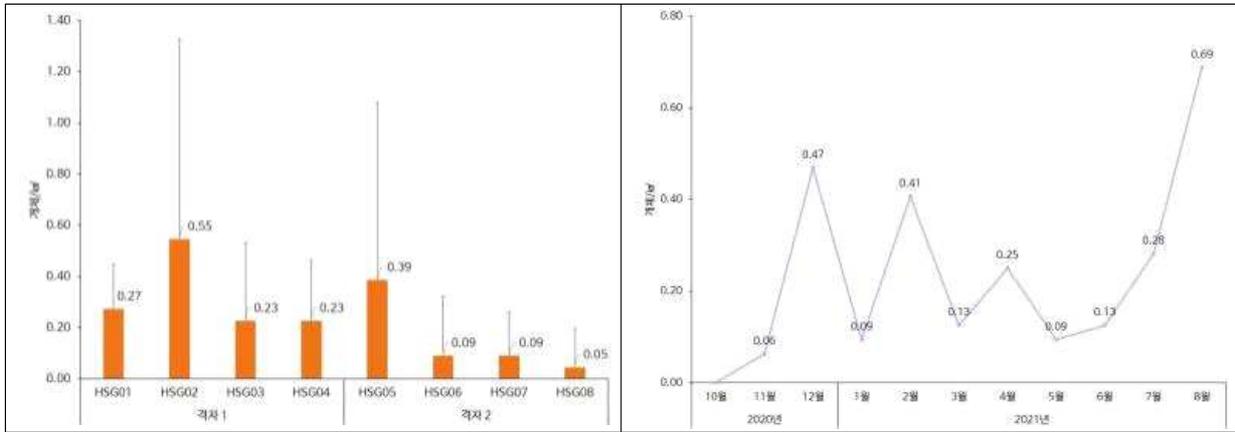


그림 2.10. 횡성 지역 격자 내 멧돼지 밀도(원: 지점별, 오: 월별).

1-5) 횡성 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율

- 횡성 지역 멧돼지 출현 비율 분석 결과, 전체 기간 동안 총 173회 출현한다.
- 주간 시간대(6시 이후~18시 이전)에 비해 야간 시간대(18시 이후~6시 이전)에 높은 출현 비율을 보였고, 12시에 최저 출현율(0.6%)을 보인 이후로 출현율이 점차 증가해 19시에 최고 출현 비율(16.2%)을 보였다.

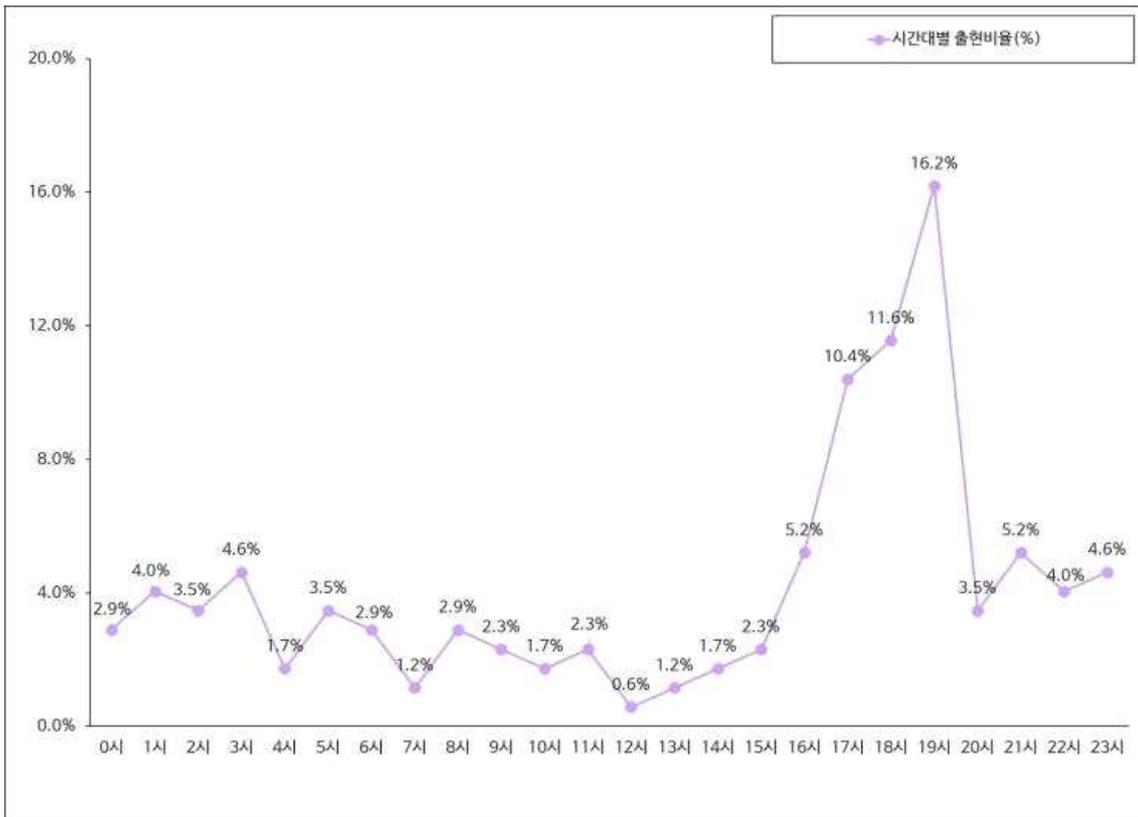


그림 2.11. 횡성 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율.

2) 이천

2-1) 이천 격자 및 양돈 농가 주변 내 멧돼지 RAI 분석 결과

- 이천 지역 전체에서 RAI가 가장 높게 나타난 지점은 KIC01(11.71)로 가장 낮은 RAI값을 가지는 KIC15(0.50)보다 약 23.4배 높은 것으로 나타났다.
- 격자의 경우, 가장 높은 RAI를 나타내는 KIC01(11.71)의 RAI는 가장 낮은 RAI를 나타내는 KIC02(0.95)와 KIC05(0.95)에 비해 약 12.3배 높았다.
- 농가의 경우, 가장 높은 RAI를 나타내는 KIC20(2.00)의 RAI는 가장 낮은 RAI를 나타내는 KIC15(0.50)에 비해 약 4배 높았다.
- 농가의 경우, 70m 내 지역에 비해 200m 내 지역의 RAI가 더 높게 나타났는데, 이는 멧돼지가 농가에 완전 인접한 지역 보다는 농가에서 조금 떨어진 지역에서 더 많이 서식한다는 것을 의미한다.
- 양돈 농가 주변 KIC10, KIC11, KIC16, KIC17 지점에서는 멧돼지 출현이 없었다.

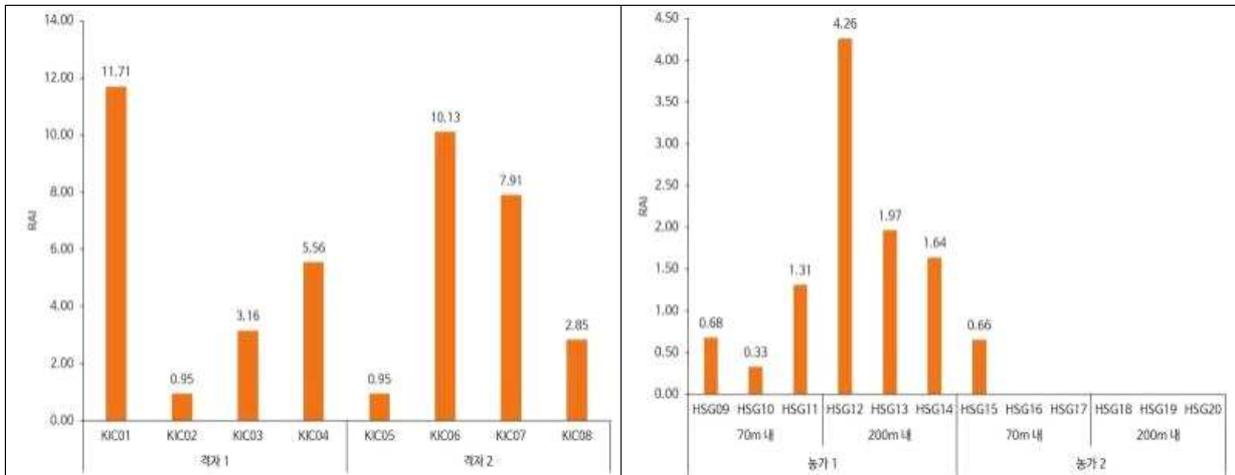


그림 2.12. 이천 멧돼지 RAI(왼: 격자, 오: 농가).

- 이천의 조사 지역을 격자, 양돈 농가 200m 내, 양돈 농가 70m 내로 구분하여 RAI를 계산한 결과, 격자(5.39), 200m 내(0.99), 70m 내(0.29)의 순으로 RAI값이 높게 나타났으며, 이는 농가에서 멀리 떨어져 있는 지역일수록 멧돼지가 더 많이 서식한다는 것을 의미한다.
- 3개의 조사 구역 중(격자, 양돈 농가 200m 내, 양돈 농가 70m 내), 가장 높은 RAI값을 가지는 격자의 전체 RAI(5.39)는 가장 낮은 RAI값을 가지는 양돈 농가 70m 내의 전체 RAI(0.29)에 비해 약 18.6배 높은 RAI를 나타냈다.

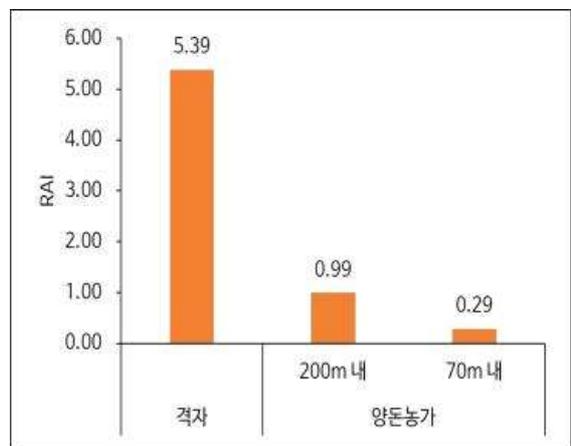


그림 2.13. 이천 지역 전체 멧돼지 RAI.

2-2) 이천 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI 분석 결과

- 지점별 야생동물 RAI는 KIC20(209.50)이 가장 높은 RAI를 나타냈고, KIC04(10.19), KIC02(13.92), KIC19(16.34) 순으로 낮은 RAI를 나타냈다.
- 이천 지역 멧돼지 외 야생동물의 RAI 분석 결과 총 2목 4과 8종이 나타났으며 고라니가 상대적으로 높은 RAI를 나타냈다.



그림 2.14. 이천 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI.

2-3) 이천 격자 및 양돈 농가 주변 내 멧돼지 개체수 분석 결과

- 이천 지역 전체에서 KIC06(1.91±1.92)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 KIC15(0.14±0.38)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했다.
- 격자의 경우, KIC05(0.18±0.40)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했으며 KIC06(1.91±1.92)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 월평균 가장 적은 개체가 출현한 KIC05에 비해 약 2.4배 많은 개체가 출현하였다.
- 농가의 경우, KIC15(0.14±0.38)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했으며 KIC18(0.36±0.67)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 월평균 가장 적은 개체가 출현한 KIC15에 비해 약 2.6배 많은 개체가 출현하였다.

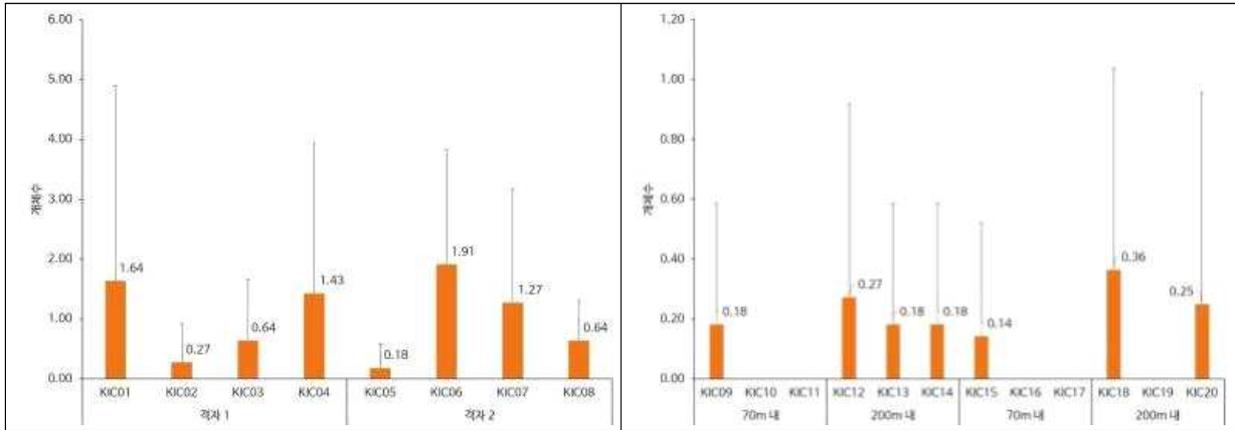


그림 2.15. 이천 지역 월평균 멧돼지 개체수(왼: 격자, 오: 농가).

- 격자의 경우, 가장 많은 개체수가 출현한 달은 3월, 6월, 12월 순이며 성체와 새끼 비율은 매월 달랐다.
- 격자의 경우, 10월에는 멧돼지가 출현하지 않았다.
- 농가의 경우, 가장 많은 개체수가 출현한 달은 12월이며 멧돼지 짝짓기 기간으로 인해 멧돼지의 출현율이 늘어난 것으로 추정된다.
- 농가의 경우, 10월, 11월, 1월, 3월, 5월에는 멧돼지가 출현하지 않았다.

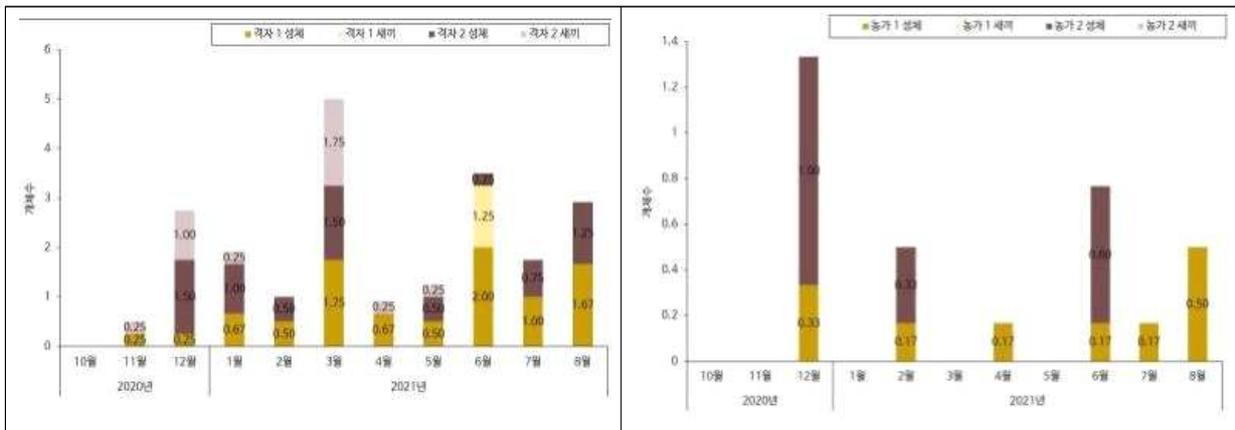


그림 2.16. 이천 지역 월별 멧돼지 성체·새끼 개체수(왼: 격자, 오: 농가).

2-4) 이천 격자 내 멧돼지 밀도 분석 결과

- 이천의 양돈 농가 주변 지점을 제외한 격자 내 지점에서 가장 많은 멧돼지가 출현한 KIC06의 평균 밀도는 0.48 ± 0.48 개체/ km^2 이고, 가장 적게 출현한 KIC05의 평균 밀도는 0.05 ± 0.10 개체/ km^2 였다.
- 월별 밀도 분석 결과, 3월에 가장 높은 밀도(0.63 ± 0.74 개체/ km^2)를 나타냈고 11월에는 가장 낮은 밀도(0.06 ± 0.12 개체/ km^2)를 보였으며 2020년 10월부터 2021년 8월까지 증감이 반복되었다.

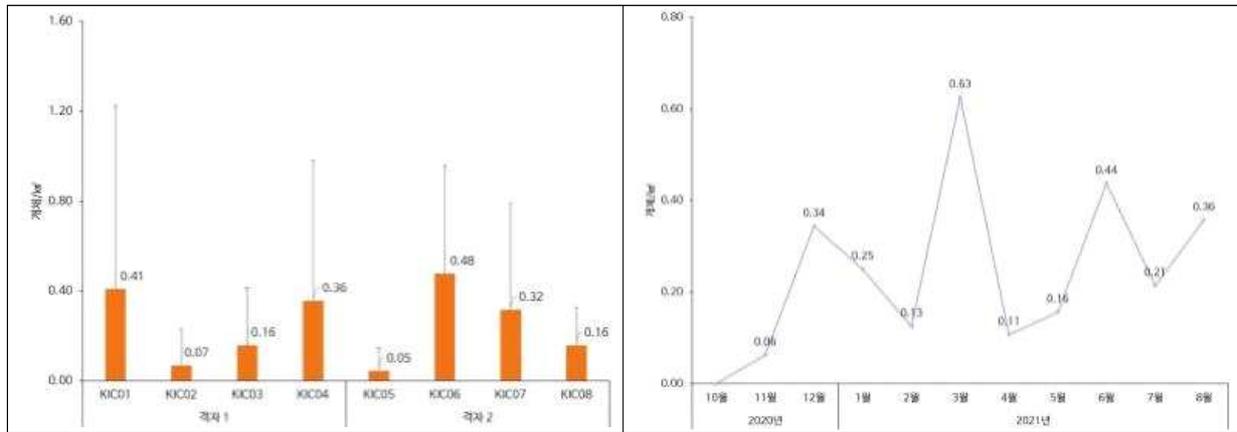


그림 2.17. 이천 지역 격자 내 멧돼지 밀도(왼: 지점별, 오: 월별).

2-5) 이천 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율

- 이천 지역 멧돼지 출현 비율 분석 결과, 전체 기간 동안 총 145회 출현했다.
- 사람들이 활동 하지 않는 야간 시간대(18시 이후~6시 이전)에 출현이 집중됐고 8시, 10시, 11시, 12시, 16시에는 멧돼지가 출현하지 않았다.
- 9시에 시에 최저 출현율(0.7%)을, 20시에 최고 출현율(13.8%)을 보였다.

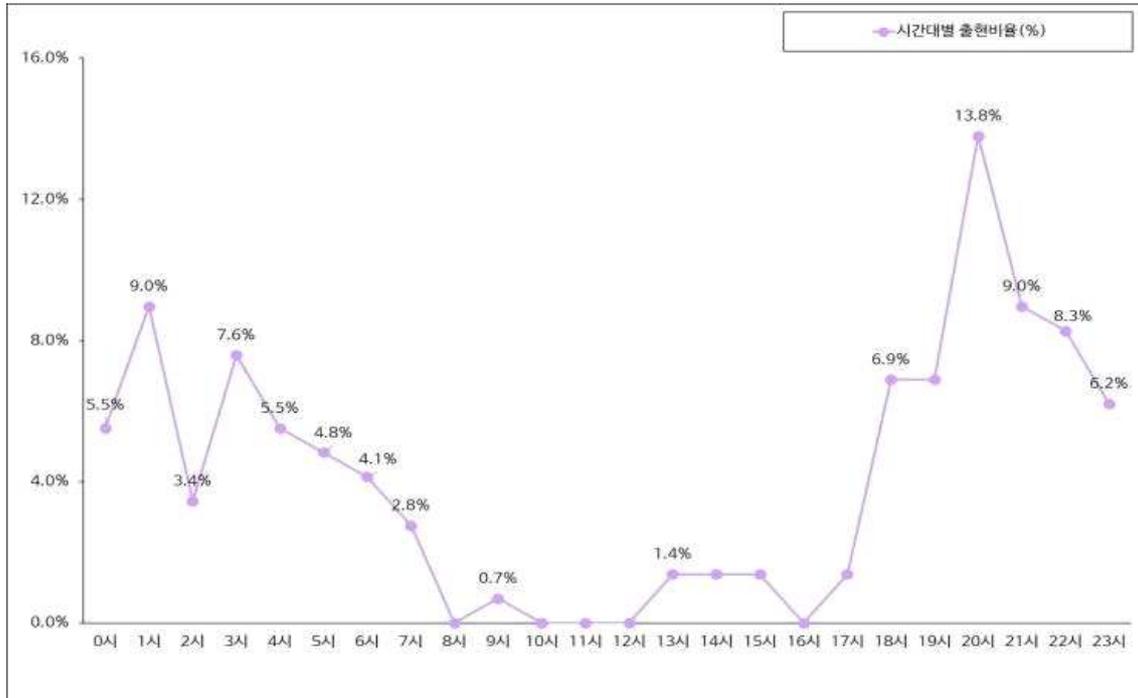


그림 2.18. 이천 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율.

3) 흥성

3-1) 흥성 격자 및 양돈 농가 주변 내 멧돼지 RAI 분석 결과

- 흥성 지역 전체에서 RAI가 가장 높게 나타난 지점은 CHS02(13.21)로 가장 낮은 RAI값을 가지는 CHS17(0.36)보다 약 36.7배 높은 것으로 나타났다.
- 격자의 경우, 가장 높은 RAI를 나타내는 CHS02(13.21)의 RAI는 가장 낮은 RAI를 나타내는 CHS04(0.31)에 비해 약 42.6배 높았다.
- 농가의 경우, 가장 높은 RAI를 나타내는 CHS14(10.59)의 RAI는 가장 낮은 RAI를 나타내는 CHS17(0.36)에 비해 약 29.4배 높았다.
- 농가의 경우, 70m 내 지역에 비해 200m 내 지역의 RAI가 더 높게 나타났는데, 이는 멧돼지가 농가에 완전 인접한 지역 보다는 농가에서 조금 떨어진 지역에서 더 많이 서식한다는 것을 의미했다.
- 양돈 농가 주변 CHS07, CHS10, CHS16 지점에서는 멧돼지 출현이 없었다.

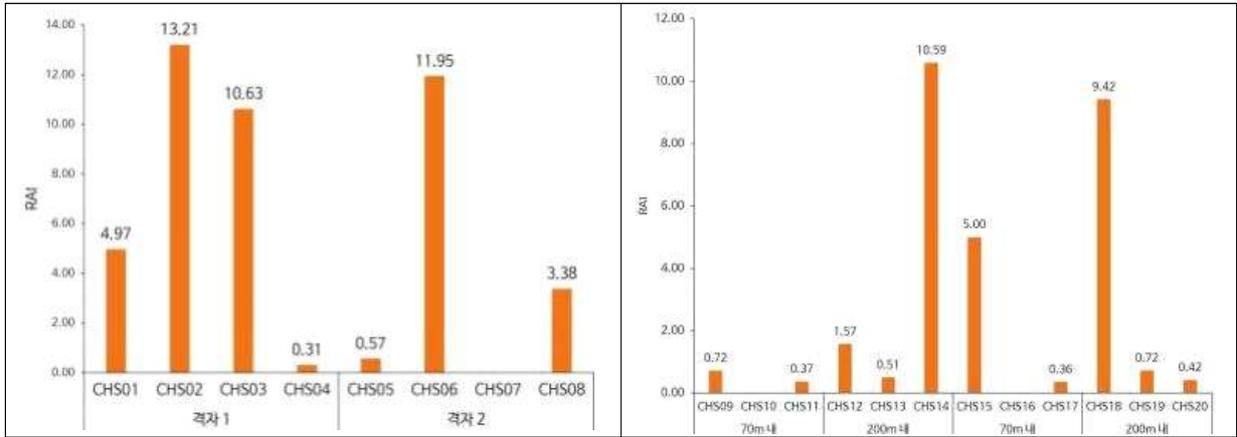


그림 2.19. 홍성 멧돼지 RAI(원: 격자, 오: 농가).

- 홍성의 조사 지역을 격자, 양돈 농가 200m 내, 양돈 농가 70m 내로 구분하여 RAI를 계산한 결과, 격자(5.88), 200m 내(3.99), 70m 내(1.04)의 순으로 RAI값이 높게 나타났으며, 이는 농가에서 멀리 떨어져 있는 지역일수록 멧돼지가 더 많이 서식한다는 것을 의미한다.
- 3개의 조사 구역 중(격자, 양돈 농가 200m 내, 양돈 농가 70m 내), 가장 높은 RAI값을 가지는 격자의 전체 RAI(5.88)는 가장 낮은 RAI값을 가지는 양돈 농가 70m 내의 전체 RAI(1.04)에 비해 약 5.6배 높은 RAI를 나타냈다.

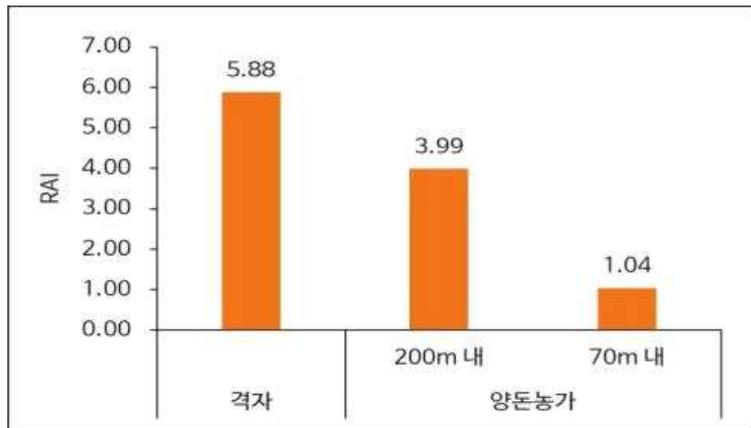


그림 2.20. 홍성 지역 전체 멧돼지 RAI.

3-2) 홍성 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI 분석 결과

- 지점별 야생동물 RAI는 CHS18(157.07)이 가장 높은 RAI를 나타냈고, CHS08(13.53), CHS14(15.68), CHS20(19.17) 순으로 낮은 RAI를 나타냈다.
- 홍성 지역 멧돼지 외 야생동물의 RAI 분석 결과 총 3목 5과 10종이 나타났으며(흑염소, 보어염소는 제외) 고라니가 상대적으로 높은 RAI를 나타냈다.
- CHS18에서 흑염소, CHS05에서 보어염소가 각각 전체 기간 중 한 번씩 관찰되었는데 이는 주변 염소 농가에서 유입된 것으로 추측된다.

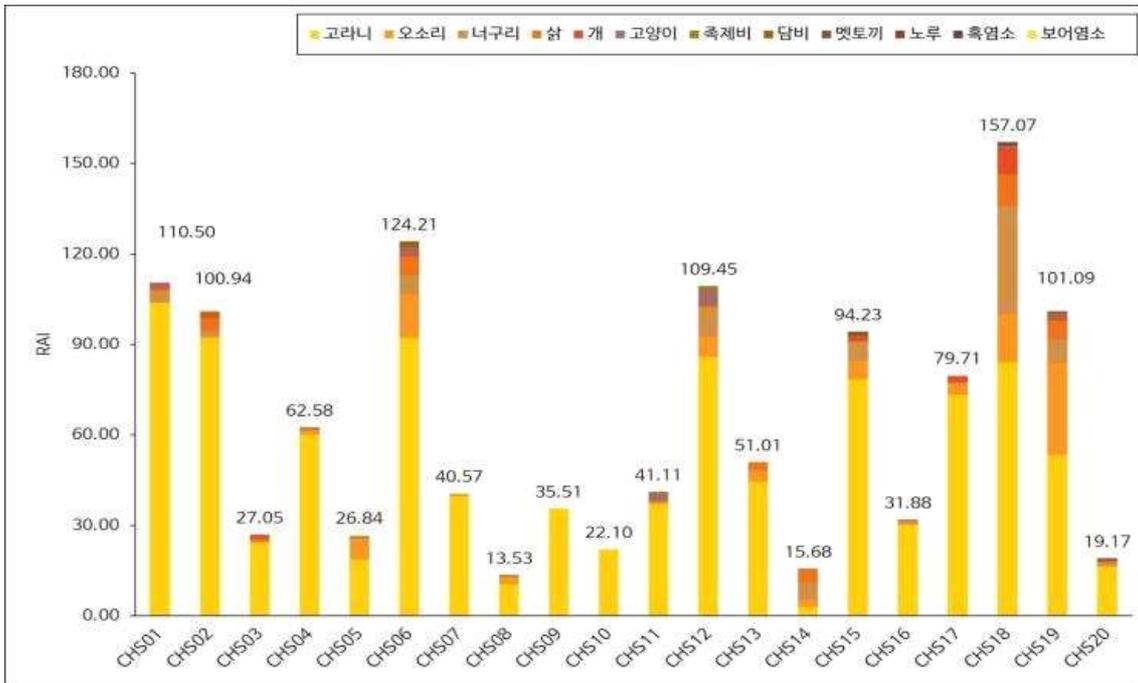


그림 2.21. 홍성 지역 멧돼지 외 야생동물 RAI.

3-3) 홍성 격자 및 양돈 농가 주변 내 멧돼지 개체수 분석 결과

- 홍성 지역 전체에서 CHS06(2.64±)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 CHS04(0.09±)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했다.
- 격자의 경우, CHS04(0.09±)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했으며 CHS06(2.64±)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 월평균 가장 적은 개체가 출현한 CHS04에 비해 약 29.3배 많은 개체가 출현하였다.
- 농가의 경우, CHS11(0.10±)와 CHS17(0.10±)에서 월평균 가장 적은 개체가 출현했으며 CHS14(1.56±)에서 월평균 가장 많은 개체가 출현하였고 월평균 가장 적은 개체가 출현한 CHS11와 CHS17에 비해 약 15.6배 많은 개체가 출현하였다.

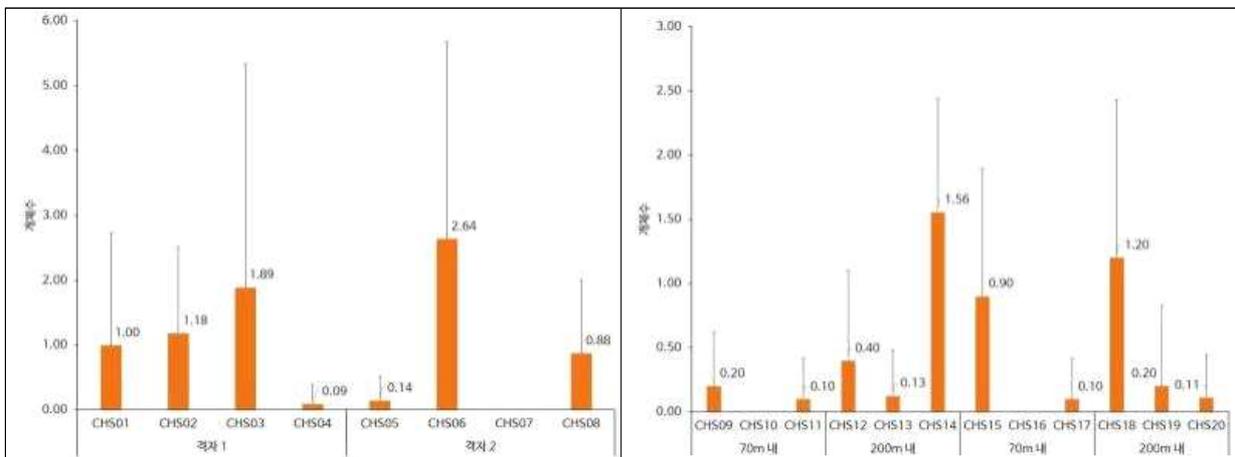


그림 2.22. 홍성 지역 월평균 멧돼지 개체수(원: 격자, 오: 농가).

- 격자의 경우, 가장 많은 개체수가 출현한 달은 8월, 7월, 3월 순이며 성체와 새끼 비율은 매월 달랐다.
- 농가의 경우, 가장 많은 개체수가 출현한 달은 12월이며 멧돼지 짝짓기 기간으로 인해 멧돼지의 출현율이 늘어난 것으로 추정된다.
- 격자와 농가 모두 10월에는 멧돼지가 출현하지 않았다.

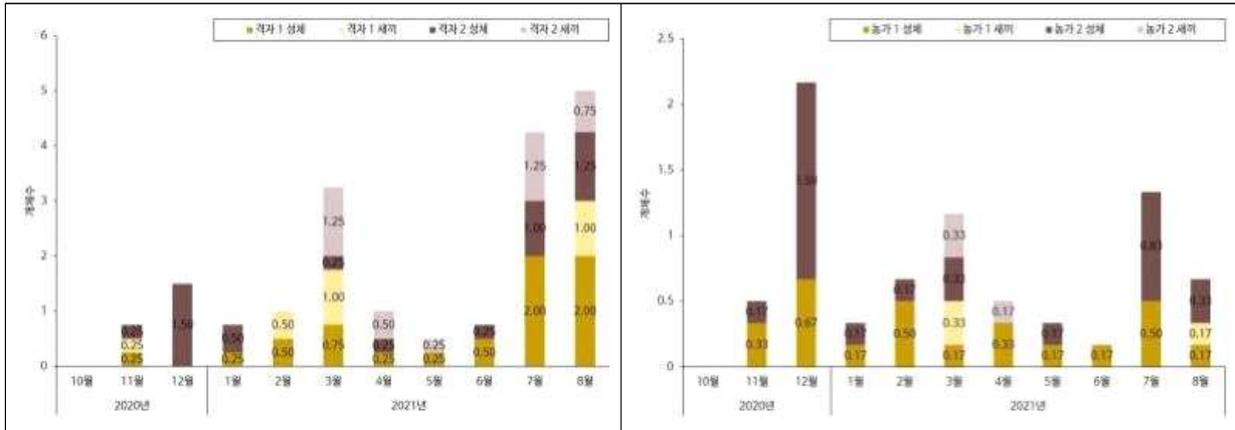


그림 2.23. 홍성 지역 월별 멧돼지 성체·새끼 개체수(원: 격자, 오: 농가).

3-4) 홍성 격자 내 멧돼지 밀도 분석 결과

- 홍성의 양돈 농가 주변 지점을 제외한 격자 내 지점에서 가장 많은 멧돼지가 출현한 CHS06의 평균 밀도는 0.66 ± 0.76 개체/ km^2 이고, 가장 적게 출현한 CHS04의 평균 밀도는 0.02 ± 0.08 개체/ km^2 였다.
- 월별 밀도 분석 결과, 2021년 5월에 최저 밀도(0.06 ± 0.12 개체/ km^2)를 기록한 이후로 밀도가 점차 증가하다가 8월에 최고 밀도(0.71 ± 1.06 개체/ km^2)를 기록했다.

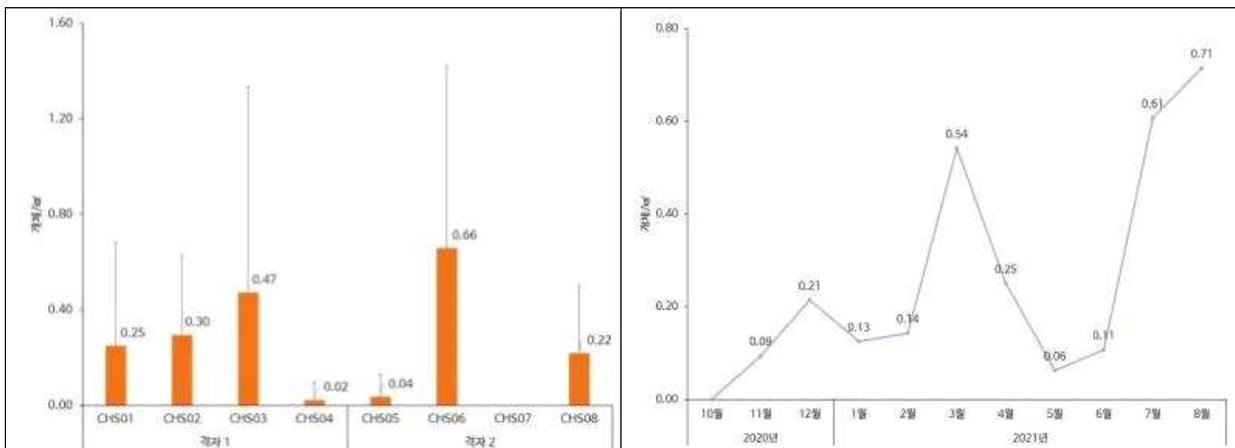


그림 2.24. 홍성 지역 격자 내 멧돼지 밀도(원: 지점별, 오: 월별).

3-5) 홍성 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율

- 홍성 지역 멧돼지 출현 비율 분석 결과, 전체 기간 동안 총 196회 출현했다.
- 사람들이 활동 하지 않는 야간 시간대(18시 이후~6시 이전)에 출현이 집중됐고 9시에는 멧돼지가 출현하지 않았다.
- 12시와 14시에 최저 출현율(0.5%)을, 3시와 4시에 최고 출현율(7.1%)을 보였다.

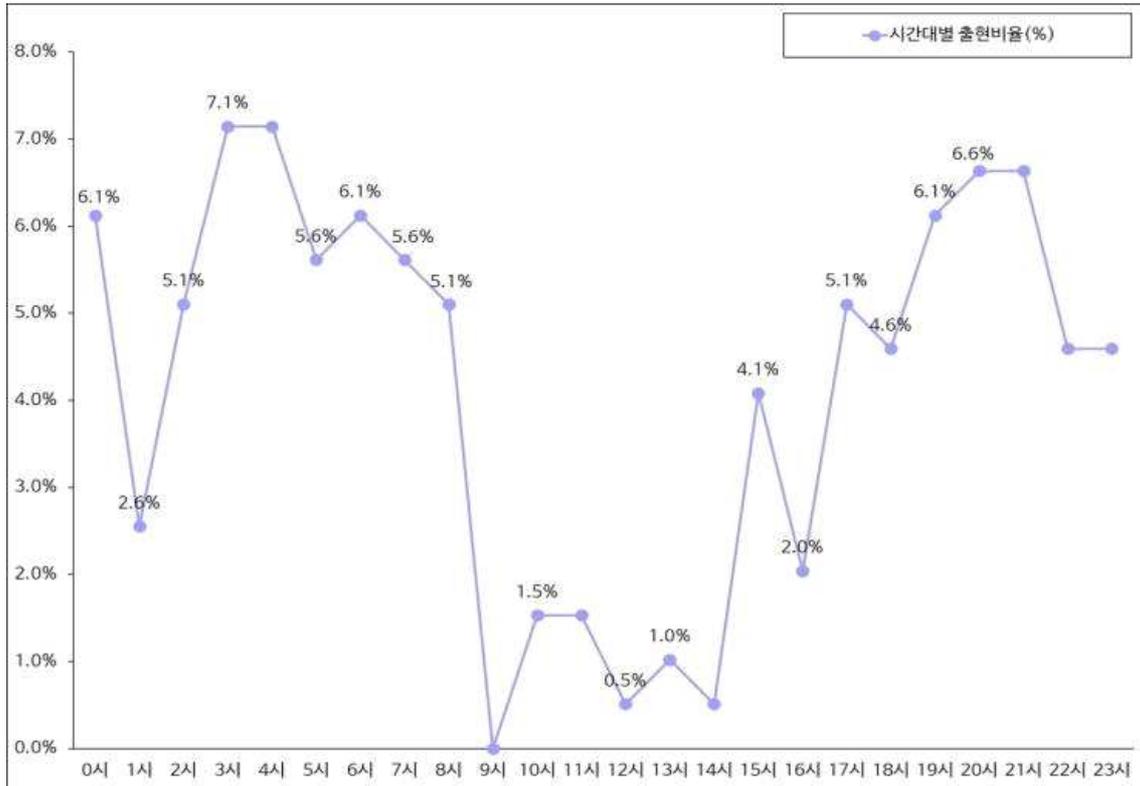


그림 2.25. 홍성 지역 시간대별 멧돼지 출현 비율.

4) 조사 지역별(황성, 이천, 홍성) 멧돼지 RAI 비교

- 조사 지역의 멧돼지 RAI 분석 결과, 격자, 200m 내, 70m 내의 순으로 RAI가 높았으며, 지역별로 RAI를 비교하면, 홍성, 황성, 이천 순으로 높았다.
- 각 조사 지역에 대한 격자, 양돈농가(200m 내, 70m 내)의 상대풍부도 지수를 비교하면, 양돈농가 70m 내 보다 200m 내에서 비교적 높은 풍부도를 보였다.
- 따라서, ASFV 감염에 대한 농가 인근 방역지대 설정에 대해서는 200m 범위 내를 고려하는 것이 유효할 것으로 보인다.

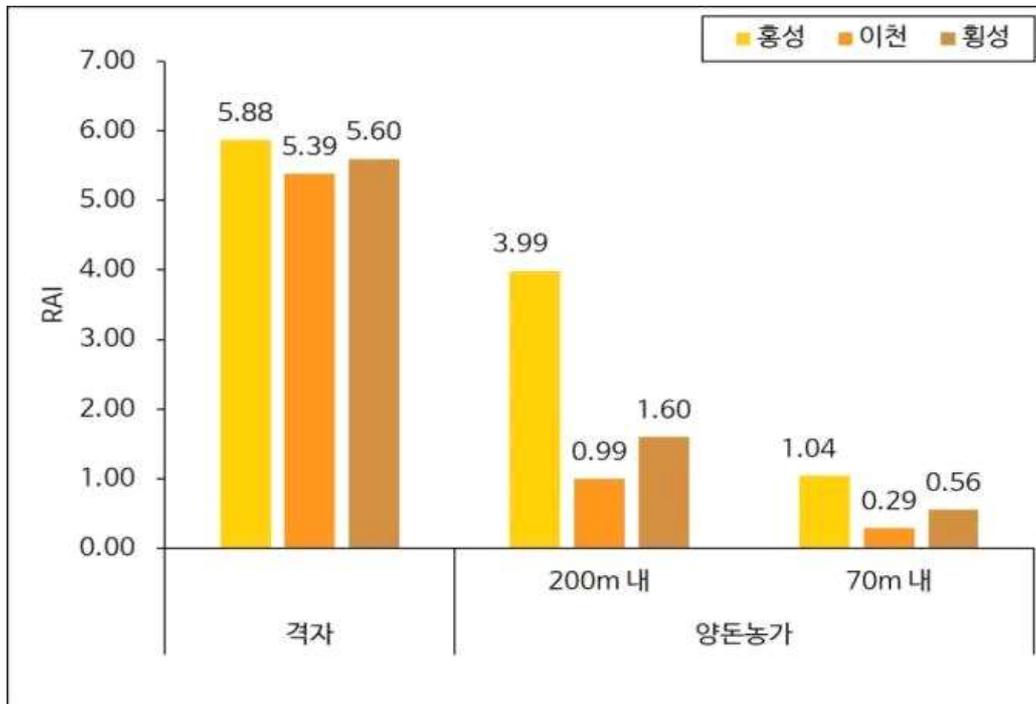


그림 2.26. 횡성, 이천, 홍성의 멧돼지 RAI.

5) 조사 지역(횡성, 이천, 홍성)과 보호지역과의 멧돼지 서식 밀도 비교

- 조사 지역의 서식 밀도를 격자당 평균 밀도(개체/km²)를 이용해 지역별 평균 밀도를 산출했다. 횡성, 이천, 홍성의 평균 밀도는 유사했으며 이중 이천이 0.25±0.16개체/km²로 평균 밀도가 가장 높았다. 국립공원연구원의 ‘도심권 국립공원 멧돼지 서식실태조사 연구’ 2021년 보고서에 따르면, 국립공원이 평균 밀도는 북한산국립공원이 1.8±0.8개체/km², 경주국립공원이 0.8±0.4개체/km², 계룡산국립공원이 1.1±0.3개체/km², 무등산국립공원이 1.0±0.6개체/km²로 나타났다.
- 따라서, 보호지역 내 멧돼지의 서식밀도가 수렵이 이뤄지는 일반지역에 비해 월등히 높다는 것을 보여주며 수렵에 의해 강원도 내 멧돼지 서식밀도가 낮아진 것으로 판단된다.

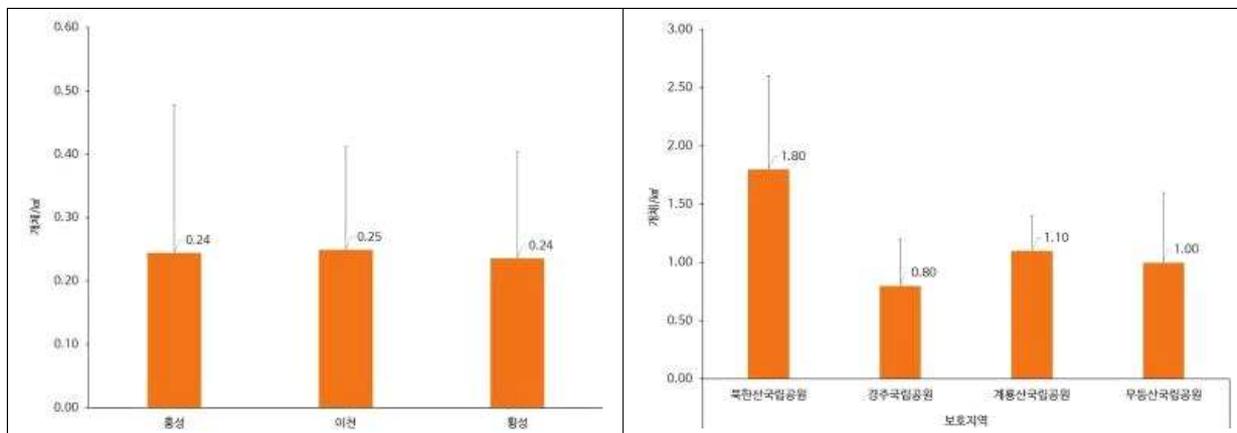


그림 2.27. 멧돼지 서식 밀도 비교(국립공원연구원, 2021).

○ GPS collar를 이용한 멧돼지 행동권 연구¹⁾

(1) 연구 내용

- 드론, GIS 기술 등을 활용한 야생멧돼지 서식 실태 자료 수집 및 D/B화
- GPS위치추적 장치 GIS분석 등을 통해 멧돼지의 행동권 및 서식실태 자료 수집, 분석 및 DB화

(2) 연구 방법

- 멧돼지 포획

- 개체를 포획하기 위해 북한산국립공원, 오대산국립공원, 영월, 춘천, 양구, 고성, 홍천을 연구 대상지로 선정했다. 군부대와 야생동물협회의 협조를 통해 포획틀 운영 및 관리를 위한 연락망을 구축했다.
- 멧돼지 생포 포획틀은 양문형으로 되어 있으며 내부에 옥수수, 막걸리 등 유인 먹이를 사용해 유인했다. 포획된 멧돼지는 마취 후 혈액을 채취해 ASF 검사를 실시했으며, 검사결과 음성일 경우 인공위성형 GPS collar를 부착해 방사했다(그림 2.28).



그림 2.28. 설치된 생포 포획틀.

- 멧돼지 위치좌표 수집

- GPS collar는 ATS사의 G5-D 모델로 포획된 멧돼지의 위치좌표가 1시간마다 수신되도록 설정했다. 만약 12시간 이상 수신이 되지 않을 경우에는 mortality로 판정된다.
- 분석에 사용된 위치좌표의 기간은 핵심지역에 진입한 시점(White and Garrott, 1990)부터 mortality 판정 이전까지로 설정했다.

- 행동권 분석

1) 본 연구는 강원도(강원도청, 양구군), 21사단 및 국립공원공단(북한산국립공원, 오대산국립공원, 국립공원연구원)의 도움을 받아 연구를 수행하였다.

- 멧돼지의 행동권은 MCP와 KDE로 분석했다. MCP(Minimum Convex Polygons)는 100%, 95%, 50%를 도출했으며 KDE(Kernel Density Estimation)는 95%, 50%를 도출했다. 이때 50%에 해당하는 행동권은 핵심지역으로 규정한다(White and Garrott, 1990). 각 도출된 행동권은 면적으로 산출하여 분석했다.
- 행동권 분석 프로그램은 ArcGIS 10.2와 QGIS 3.16.10을 혼용하였으며, MCP는 ArcGIS의 HRT(Home Range Tools) 2.0을 이용하고 KDE는 GME(Geospatial Modelling Environment) 0.7.3을 이용했다.

- 멧돼지 이동 속도 분석

- 멧돼지 이동 거리는 발신기의 연속된 위치 좌표들의 직선거리를 분석한 자료를 이용했다. 직선거리를 산출한 후 1시간 단위로 연속된 자료들만 사용하였으며 이동시간이 1시간을 초과한 자료들은 오류가 발생한 자료로 판정하여 제외했다(그림 2.29).
- 산출된 시간당 이동 거리를 활용해 평균 이동 속도를 도출했다.

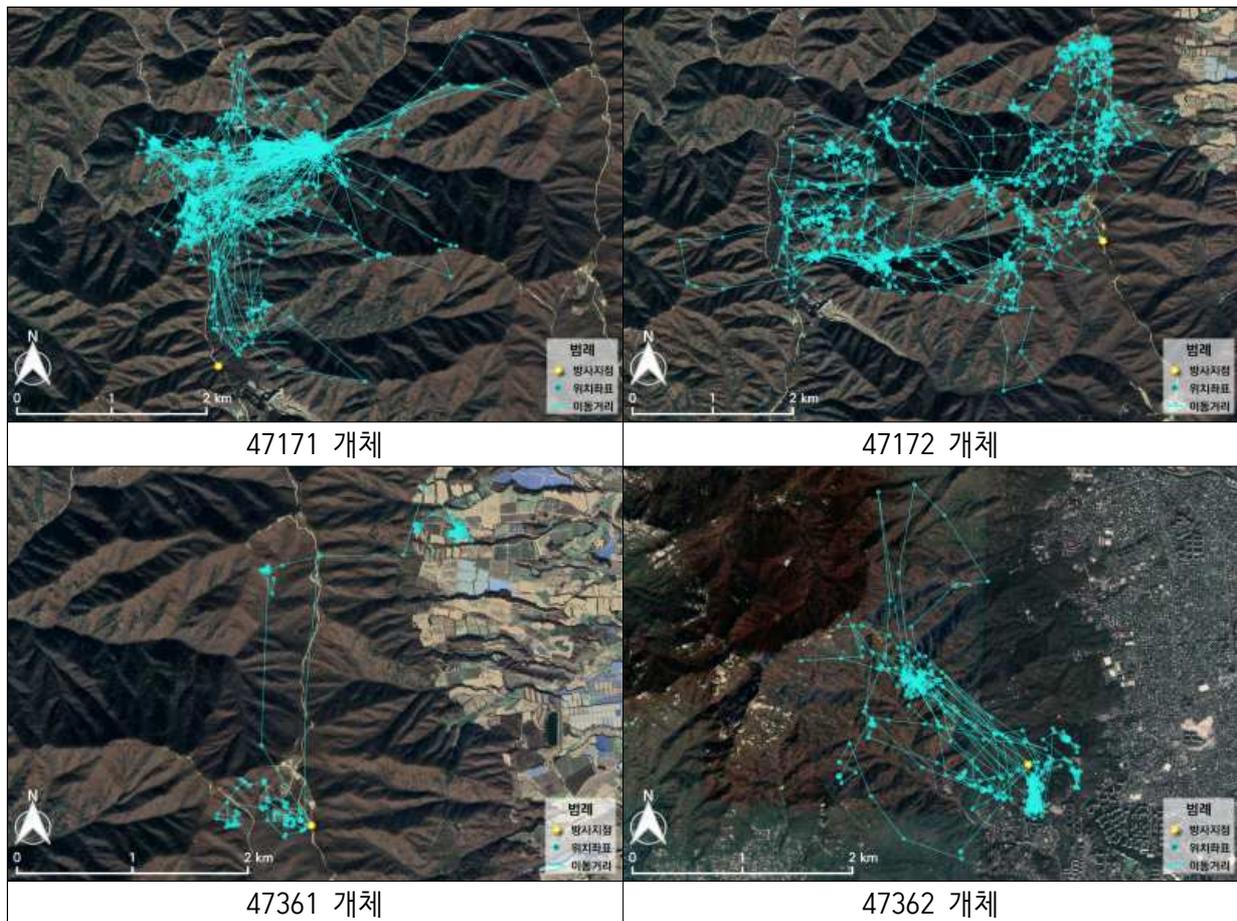


그림 2.29. 개체별 전체 위치좌표 및 이동거리.

(3) 연구 결과

- 멧돼지 포획

- 포획된 멧돼지는 총 4개체이며 양구 내 민간인 통제구역군에서 3개체(47171 개체, 47172개

체, 47361 개체), 북한산 국립공원에서 1개체(47362 개체)가 포획되었다(그림 2.30).

- 포획개체는 수의사의 마취 후 체고, 체장 등 체척치 자료를 수집하고 GPS collar를 장착했다(표 2.6). ASF 검사를 실시한 후 음성으로 판정 확인 후 방사했다.
- 본 행동권 연구를 위한 야생멧돼지 포획은 강원대학교 동물실험윤리위원회 윤리 승인을 받아 진행되었다(IACUC 승인 번호: KW-210111-1).



그림 2.30. 포획 개체 모습.

표 2.6. 포획 개체 정보.

개체 No.	연령	성별	무게 (kg)	체장 (cm)	체고 (cm)	ASF 검사결과	포획위치	방사일	특이사항
47171	2-3년생	암컷	70	132	73	음성	양구	21.04.11	임신개체
47172	1년생	암컷	40	-	-	음성	양구	21.07.28	같은 케이지에서 포획
47361	1년생	암컷	40	118	60	음성	양구	21.07.28	
47362	1-2년생	수컷	-	104	67	음성	북한산	21.07.06	-

- 분석기간

- White and Garrott(1990)의 이론을 참고해 수집된 전체 위치좌표로 도출된 행동권 중 핵심 지역에 해당하는 지역에 진입한 날짜를 연구 분석 기간의 시작점으로 설정했으며 mortality 판정 이전 좌표까지를 분석 기간으로 설정했다.
- 47171 개체는 8월 30일에 mortal 신호가 수신되고 난 후 위치 정보가 수신되지 않아 분석 기간을 4월 19일부터 8월 28일까지(131일)로 설정했으며 분석에 사용된 위치좌표수는 총 2,677개이다.
- 47172 개체의 경우 12월부터 위치 정보가 수신되지 않아 분석기간을 7월 28일부터 11월 29일까지(124일)로 설정했으며 분석에 사용된 위치좌표수는 총 1,547개이다.
- 47361 개체의 경우 8월 13일에 mortal 신호가 수신되어 분석기간을 7월 28일부터 8월 12일(15일)로 설정했으며 분석에 사용된 위치좌표수는 총 324개이다.
- 47362 개체는 9월부터 위치 정보가 수신되지 않아 분석기간을 7월 7일부터 8월 31일까지 (55일)로 설정했으며 분석에 사용된 위치좌표수는 총 990개이다.

- 전체 기간 멧돼지 행동권

- 47171 개체는 전체 기간 동안의 행동권은 MCP 100% 11.78km², MCP 95% 3.38km², MCP 50% 1.15km²로 나타났으며 KDE 95%는 2.06km², KDE 50%는 0.16km²로 나타났다(그림 2.31).
- 47171 개체의 핵심지역인 MCP 50%와 KDE 50%의 면적을 비교한 결과 MCP 50%가 KDE 50%보다 약 7.2배가 컸다.
- 47171 개체의 전체 분석 기간 동안의 행동권 내 최대 직선거리는 4.6km이다(그림 2.31).

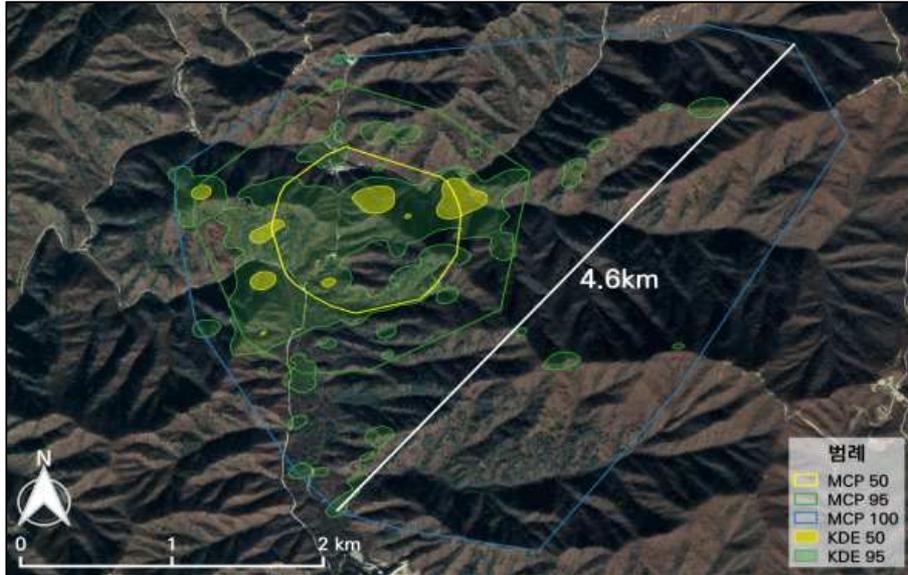


그림 2.31. 47171 개체 전체 기간 행동권.

- 47172 개체의 전체 기간 동안의 행동권은 MCP 100% 18.15km², MCP 95% 13.16km², MCP 50% 5.45km²로 나타났으며 KDE 95%는 10.01km², KDE 50%는 2.07km²로 나타났다. 47172 개체의 핵심지역인 MCP 50%와 KDE 50%의 면적을 비교한 결과 MCP 50%가 KDE 50%보다 약 1.7배가 컸다. 47172 개체의 전체 분석 기간 동안의 행동권 내 최대 직선거리는 6.5km이다(그림 2.32).

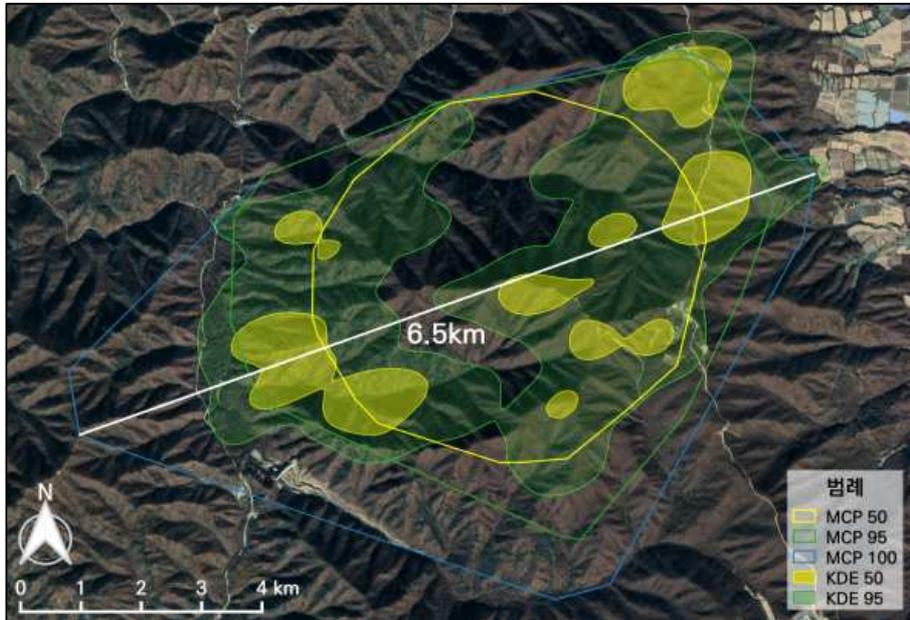


그림 2.32. 47172 개체 전체 기간 행동권.

- 47361 개체의 전체 기간 동안의 행동권은 MCP 100% 3.72km², MCP 95% 3.59km², MCP 50% 1.70km²로 나타났으며 KDE 95%는 1.39km², KDE 50%는 0.23km²로 나타났다. 47361 개체의 핵심지역인 MCP 50%와 KDE 50%의 면적을 비교한 결과 MCP 50%가 KDE 50%보다 약 7.4배가 컸다. 47361 개체의 전체 분석 기간 동안의 행동권 내 최대 직선거리는 3.5km 이다(그림 2.33).

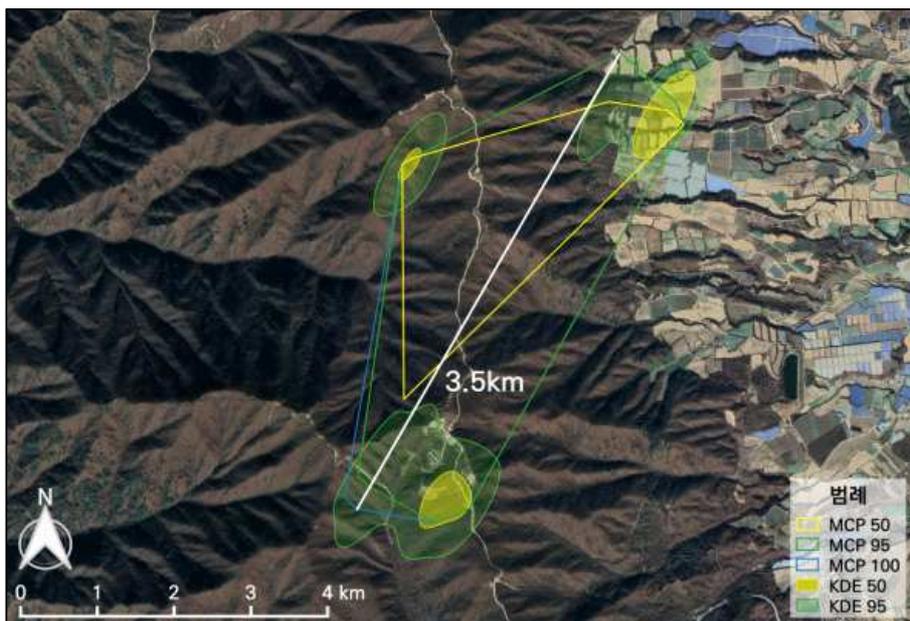


그림 2.33. 47361 개체 전체 기간 행동권.

- 47362 개체의 전체 기간 동안의 행동권은 MCP 100% 5.62km², MCP 95% 2.53km², MCP 50% 0.86km²로 나타났으며 KDE 95%는 1.10km², KDE 50%는 0.07km²로 나타났다(그림 2.34).

- 47362 개체의 핵심지역인 MCP 50%와 KDE 50%의 면적을 비교한 결과 MCP 50%가 KDE 50%보다 약 12.3배가 컸다.
- 47362 개체의 전체 분석 기간 동안의 행동권 내 최대 직선거리는 3.6km이다(그림 2.34).

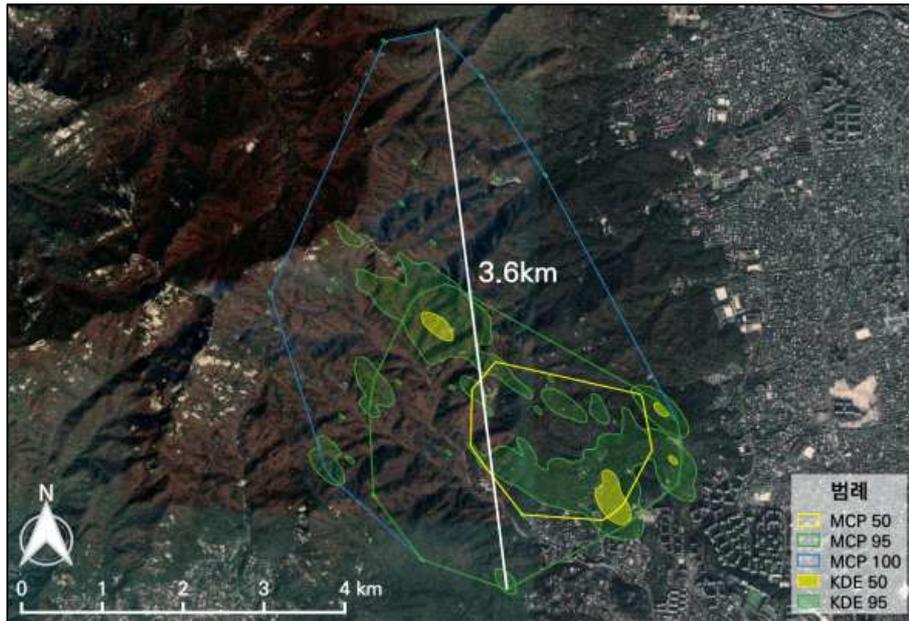


그림 2.34. 47362 개체 전체 기간 행동권.

- 월별 멧돼지 행동권

- 월별 행동권은 위치좌표 수신 기간이 15일로 짧은 47361 개체를 제외한 47171 개체, 47172 개체, 47362 개체만 분석했다.
- 47171 개체의 월별 멧돼지 행동권은 4월에 MCP 100% 0.85km², MCP 95% 0.82km², MCP 50% 0.32km², KDE 95% 0.42km², KDE 50% 0.06km², 5월에 MCP 100% 2.66km², MCP 95% 1.56km², MCP 50% 0.55km², KDE 95% 0.97km², KDE 50% 0.11km², 6월에 MCP 100% 4.69km², MCP 95% 1.89km², MCP 50% 0.55km², KDE 95% 0.97km², KDE 50% 0.11km², 7월에 MCP 100% 10.12km², MCP 95% 5.77km², MCP 50% 0.05km², KDE 95% 1.15km², KDE 50% 0.06km², 8월에 MCP 100% 5.67km², MCP 95% 3.18km², MCP 50% 0.95km², KDE 95% 2.58km², KDE 50% 0.32km²로 도출됐다(그림 2.35).
- 47171 개체의 월별 핵심지역 크기를 비교한 결과 4월부터 6월까지 꾸준히 증가하다가 7월에 급감하고 8월에 급증했다(그림 2.36).

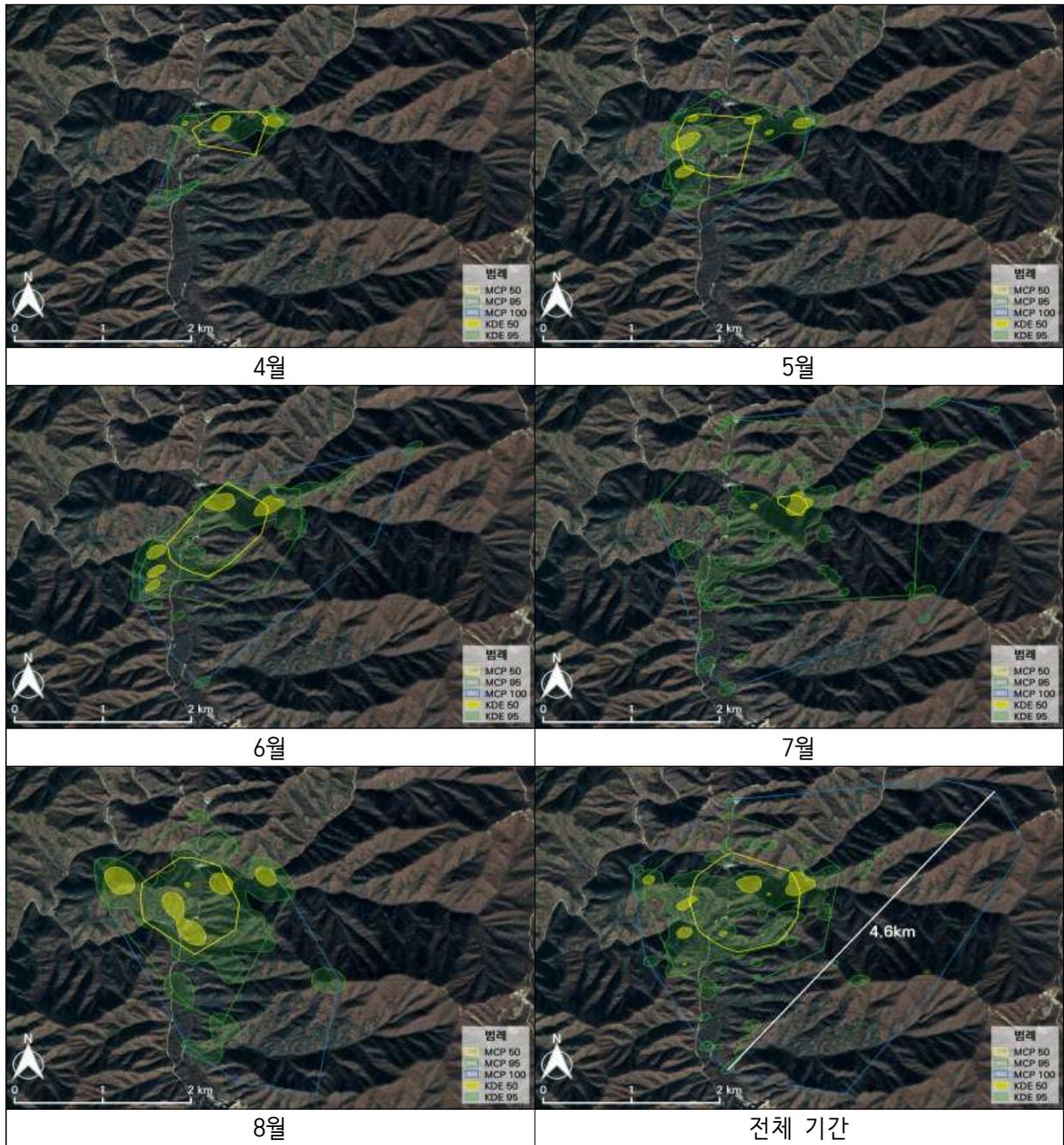


그림 2.35. 47171 개체 월별 행동권.

- 47171 개체의 월평균 행동권은 MCP 100%는 4.80km², MCP 95%는 2.65km², MCP 50%는 0.53km²이며 KDE 95%는 1.36km², KDE 50%는 0.14km²로 핵심지역 크기는 MCP 50%가 KDE 50%보다 약 3.8배 크다(그림 2.36).

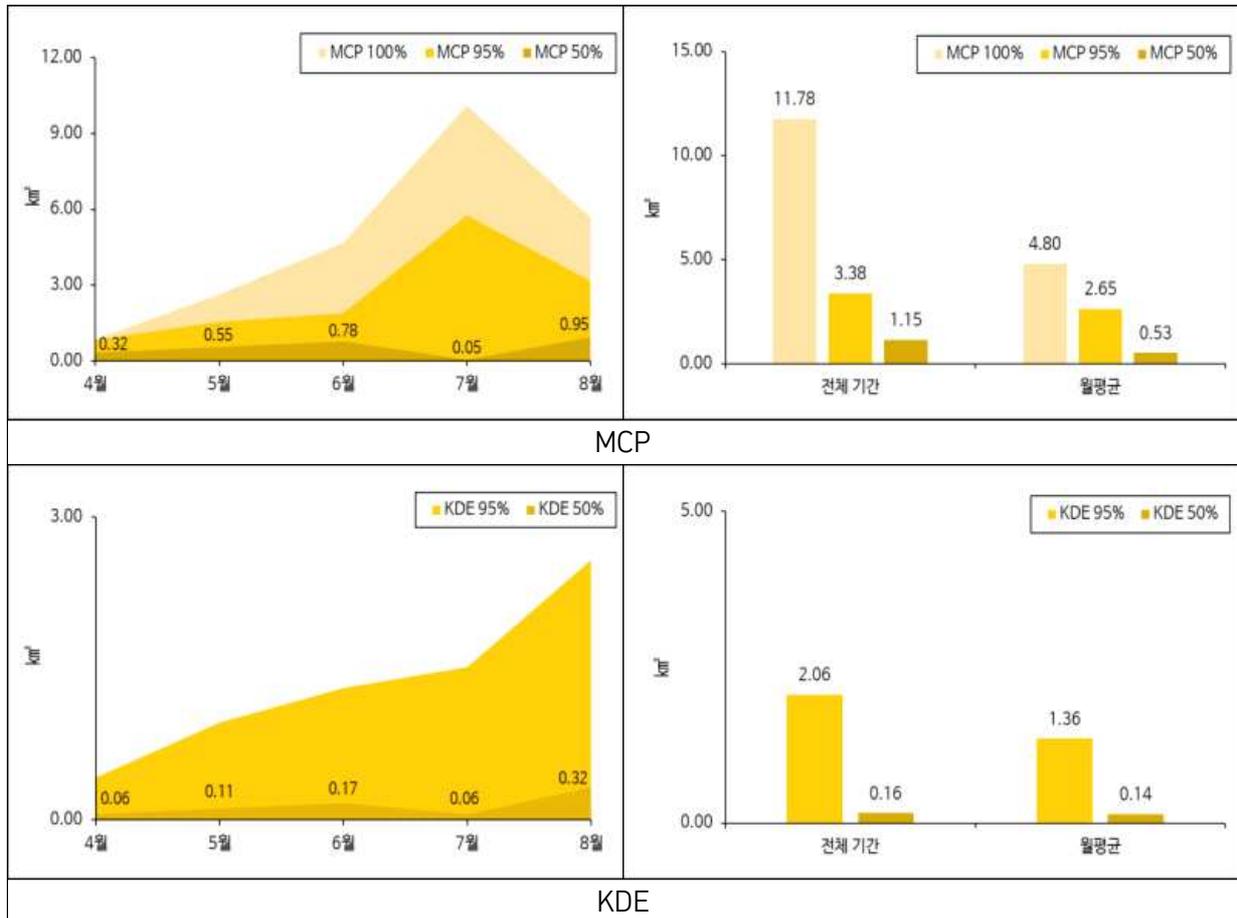


그림 2.36. 47171 개체 기간별 행동권 크기.

- 47172 개체의 월별 멧돼지 행동권은 8월에 MCP 100% 1.84km², MCP 95% 1.21km², MCP 50% 0.76km², KDE 95% 1.22km², KDE 50% 0.19km², 9월에 MCP 100% 3.71km², MCP 95% 2.14km², MCP 50% 0.46km², KDE 95% 2.62km², KDE 50% 0.58km², 10월에 MCP 100% 15.28 km², MCP 95% 13.86km², MCP 50% 3.21km², KDE 95% 9.76km², KDE 50% 1.84km², 11월에 MCP 100% 8.81km², MCP 95% 6.58km², MCP 50% 1.20km², KDE 95% 5.36km², KDE 50% 1.03km²로 도출됐다(그림 2.37).
- 47172 개체의 월별 핵심지역 크기를 비교한 결과 9월에 약간 감소하다가 10월에 급증하였고 11월에 감소했다(그림 2.38).
- 47172 개체의 월평균 행동권은 MCP 100%는 7.41km², MCP 95%는 5.95km², MCP 50%는 1.41km²이며 KDE 95%는 4.74km², KDE 50%는 0.91km²로 핵심지역 크기는 MCP 50%가 KDE 50%보다 약 1.5배 크다(그림 2.38).

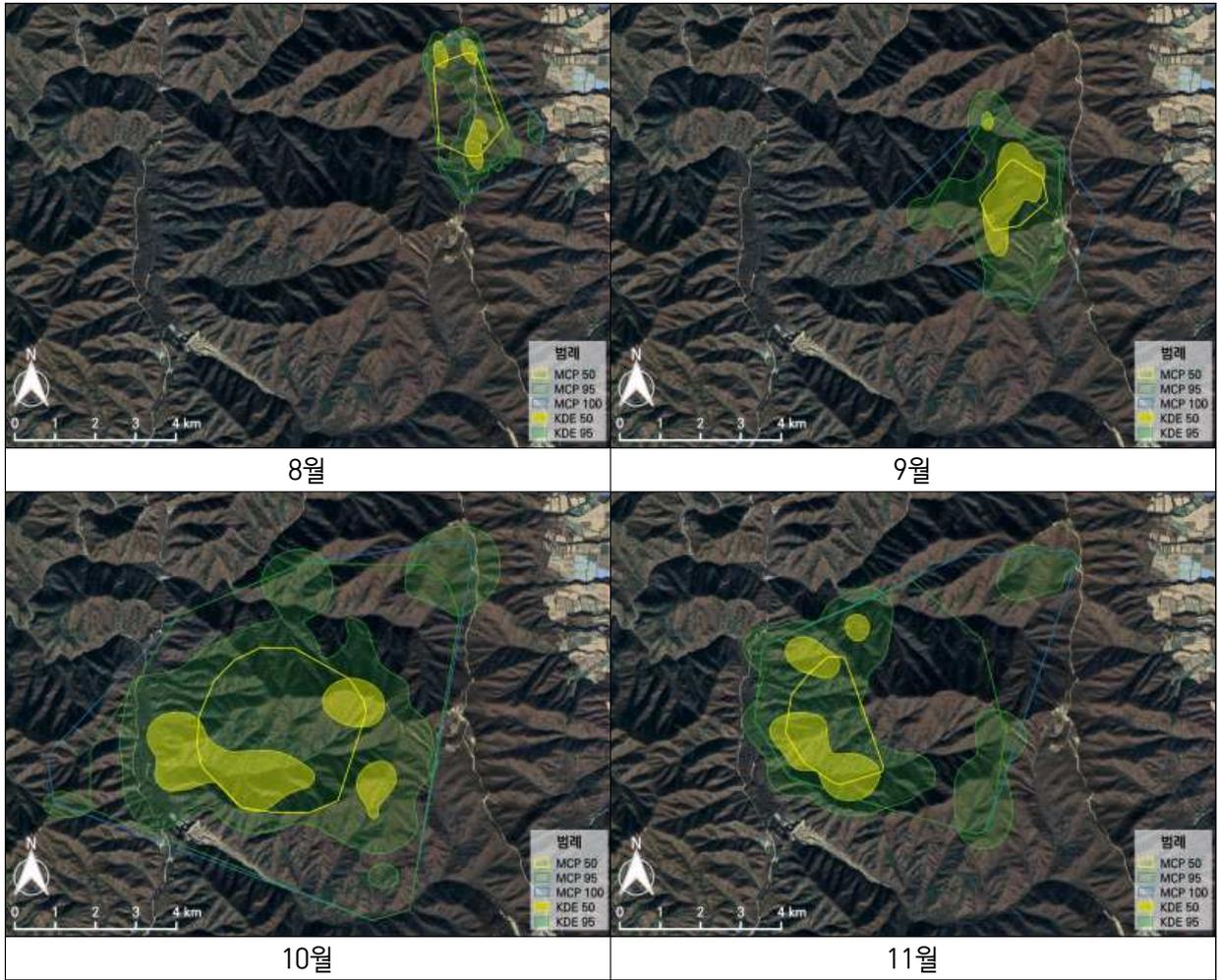


그림 2.37. 47172 개체 월별 행동권.

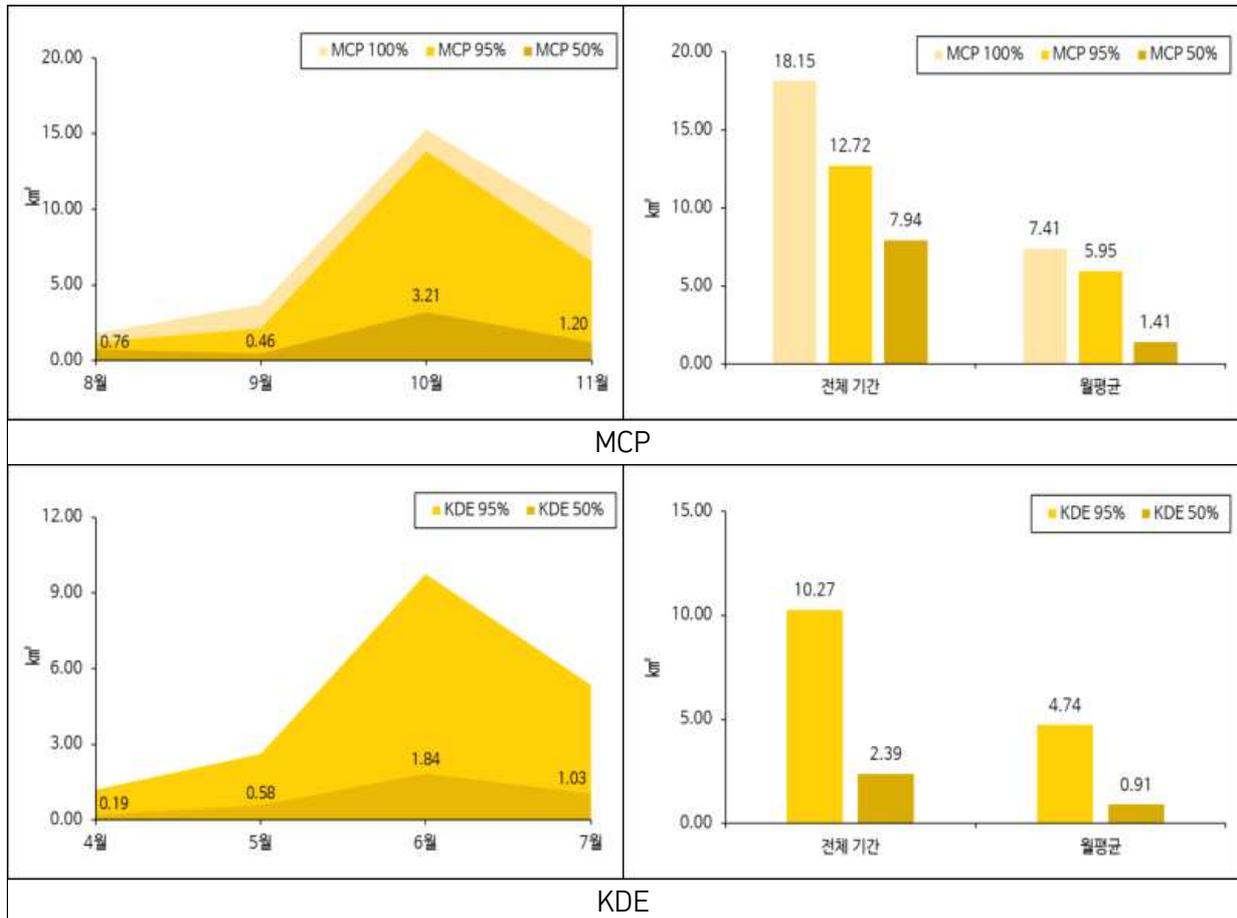


그림 2.38. 47172 개체 기간별 행동권 크기.

- 47362 개체의 월별 멧돼지 행동권은 7월에 MCP 100% 1.17km², MCP 95% 1.11km², MCP 50% 0.38km², KDE 95% 0.42km², KDE 50% 0.05km², 8월에 MCP 100% 5.33km², MCP 95% 2.53km², MCP 50% 1.03km², KDE 95% 1.48km², KDE 50% 0.11km²로 도출됐다(그림 2.39).
- 47362 개체의 월별 핵심지역 크기를 비교한 결과 7월에 비해 8월에 증가했다(그림 2.40).
- 47362 개체의 월평균 행동권은 MCP 100%는 3.25km², MCP 95%는 1.82km², MCP 50%는 0.71km²이며 KDE 95%는 0.95km², KDE 50%는 0.08km²로 핵심지역 크기는 MCP 50%가 KDE 50%보다 약 9배 크다(그림 2.40).



그림 2.39. 47362 개체 월별 행동권.

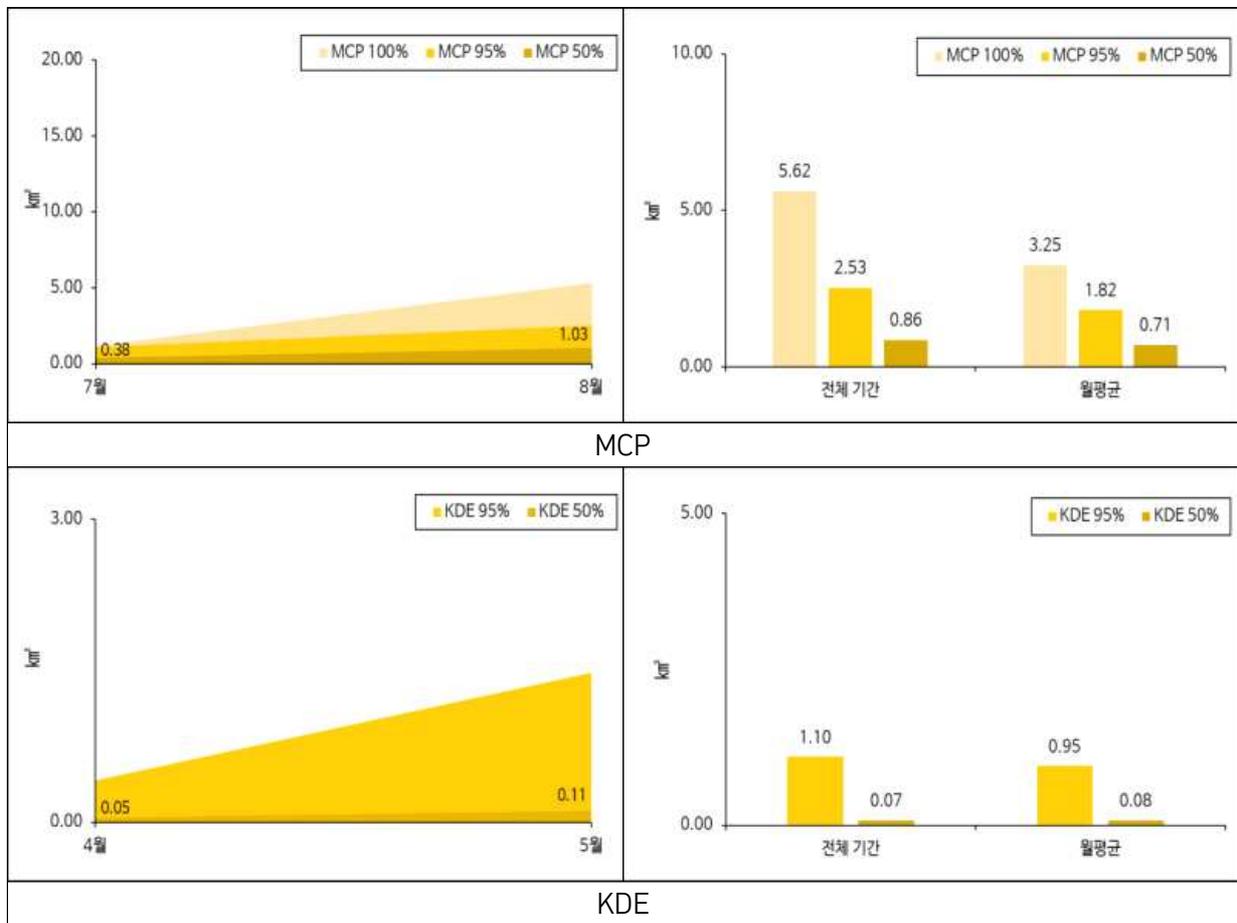


그림 2.40. 47362 개체 기간별 행동권 크기.

- 멧돼지 이동 속도

- 개체 간 평균 이동 속도 비교 결과 47172 개체가 0.123km/h로 가장 빨랐으며 47361 개체가 0.052km/h로 47172 개체와 약 2.4배 차이 날 정도로 가장 느렸다(그림 2.41).
- 개체별 월별 이동 속도의 경우 월별행동권과 마찬가지로 위치좌표 수신 기간이 15일로 짧은 47361 개체를 제외한 47171 개체, 47172 개체, 47362 개체만 분석했다.
- 47171 개체의 월별 이동 속도는 4월부터 6월까지 꾸준히 증가하여 0.13km/h이었지만 7월에 약간 감소하여 0.11km/h이었으며 8월에는 약간 증가해 0.12km/h이었다. 월평균 이동 속도는 0.11km/h이었다(그림 2.41).
- 47172 개체의 월별 이동 속도는 8월부터 10월까지 이동 속도가 꾸준히 증가하여 0.17km/h이었으나 11월 0.11km/h로 감소했다. 월평균 이동 속도는 0.13km/h이다(그림 2.41).
- 47362 개체의 월별 이동 속도는 7월 0.06km/h에서 8월 0.12km/h로 증가했다. 월평균 이동 속도는 0.09km/h이었다(그림 2.41).

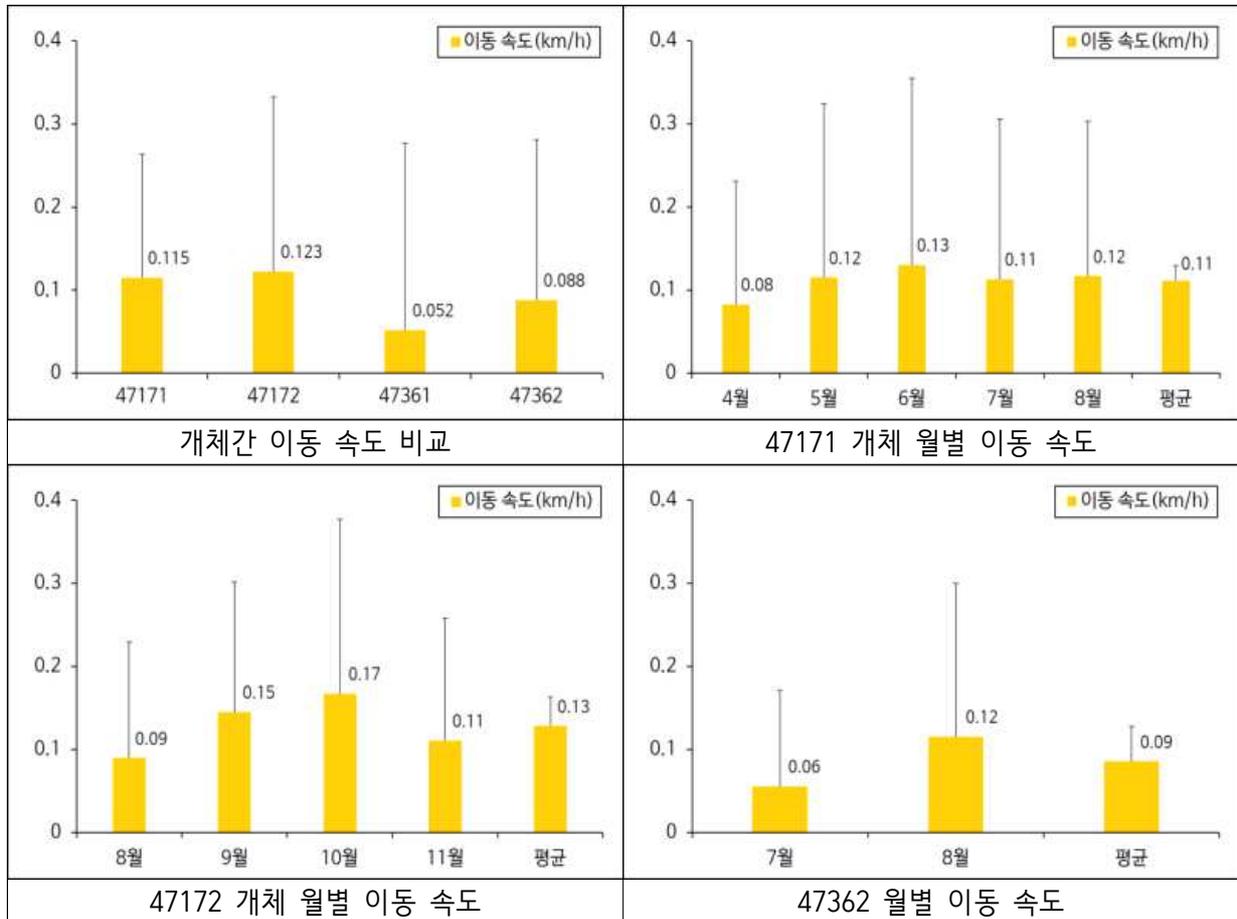


그림 2.41. 기간별 개체 간 이동속도.

· 47171 개체의 시간대별 이동 속도는 19시, 18시, 6시 순으로 높았으며 저녁 시간에 더 많은 움직임을 보였다. 47172 개체의 시간대별 이동 속도는 15시, 16시, 6시 순으로 높았으며 분석기간인 7월 말~ 11월 기준으로 해질녘에 많은 움직임을 보였다. 47361 개체의 시간대별 이동 속도는 10시, 19시, 20시 순으로 높았으며 분석기간인 7월 말~ 8월 초 기준으로 낮보다는 선선한 오전과 저녁 시간에 많은 움직임을 보였다. 47362 개체의 시간대별 이동 속도는 5시, 0시, 23시 순으로 높았으며 북한산에 서식하는 개체로 인적이 비교적 드문 이른 새벽과 늦은 밤에 많은 움직임을 보였다(그림 2.42).

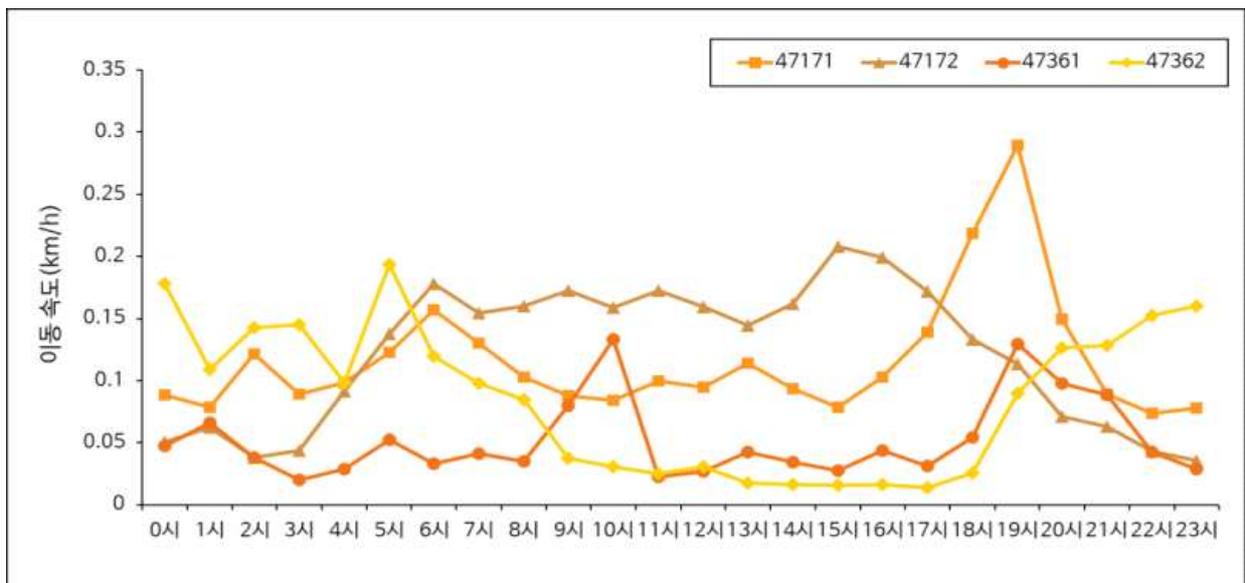


그림 2.42. 시간대별 개체 간 이동 속도.

○ MaxEnt 모델을 이용한 야생멧돼지 서식지 적합성 및 서식지 이용특성 연구

(1) 연구 내용

- 종 분포모형 등을 통한 국내 야생멧돼지 분포 현황 분석 및 시각화

(2) 연구 방법

- 멧돼지 위치 좌표 DB구축

- 멧돼지 종 분포모형 연구를 위한 야생멧돼지 위치좌표 DB는 환경부로부터 제공받은 ASF감염 야생멧돼지 사체 발생 위치좌표 1,710개를 이용하여 구축하였다. 위치지점 자료의 수집 기간은 19년 10월 2일부터 21년 11월 23일까지이다(그림 2.43) .
- 본 연구를 통해 수집된 행동권 연구 개체의 위치좌표는 일부 좌표가 환경 공간정보가 제공되지 않는 민간인 출입통제선 내에 포함되어있고 밀집되어 있어 국내 멧돼지 분포 모델링에 적합하지 않아 모델링에는 이용하지 않고 서식지 이용 특성 분석에 이용하였다(그림 2.43).

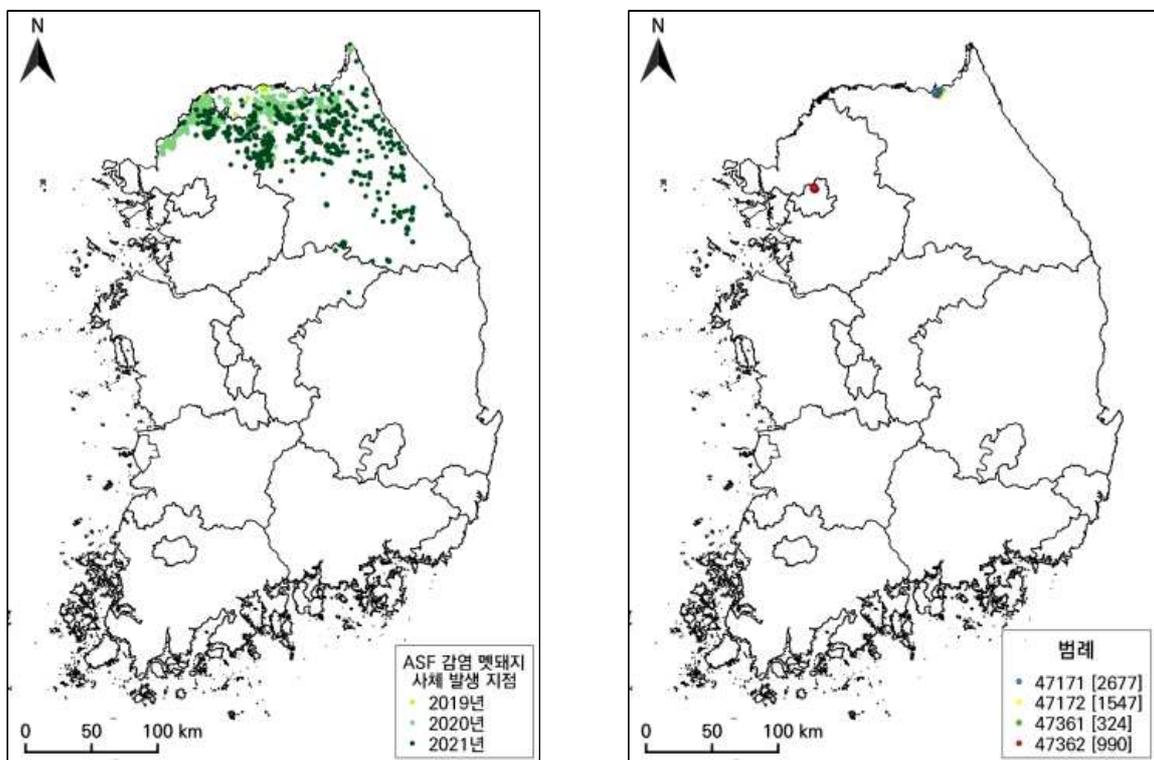


그림 2.43. 서식지 적합성 연구를 위한 야생멧돼지 위치 좌표(좌: ASF 발생 지점, 우: 행동권 위치지점).

- 서식환경 평가 환경요인 선정 및 공간주제도 구축

- 야생멧돼지 서식환경 평가 항목 구성은 선행 연구결과(김원주 등, 1998; 서창완&박종화, 2000; 국립공원연구원, 2017)를 참고하여 임상, 영급, 수관밀도, 고도, 향, 경사도, 수계로부터 거리, 경작지로부터 거리, 건물로부터 거리, 도로로부터 거리 등 11개 환경요인을 이용하였고 QGIS 3.16.8 프로그램을 이용해 공간주제도를 구축하였다(그림 2.44).

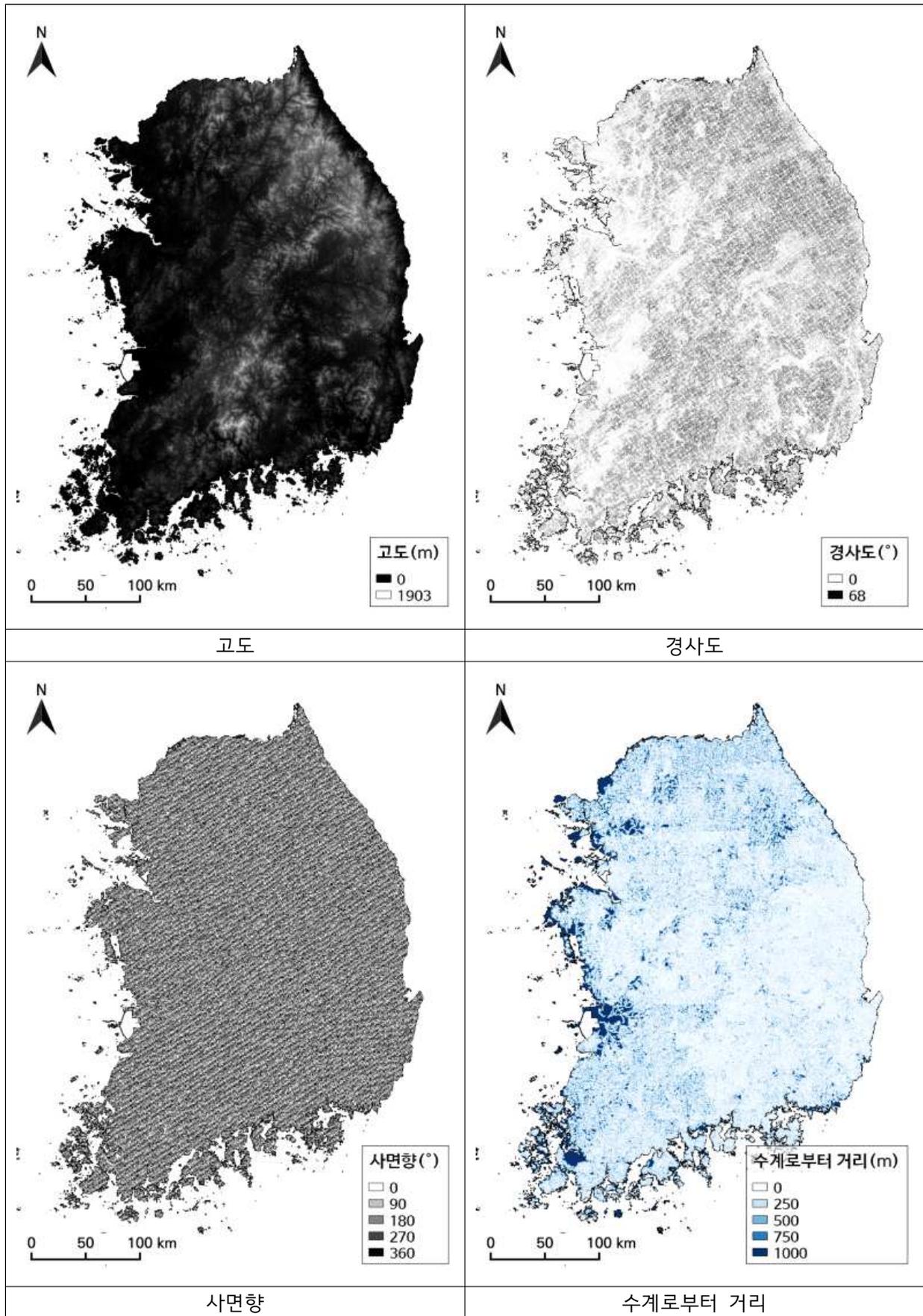


그림 2.44. 야생멧돼지 서식환경 평가를 위한 지형환경 공간정보 구축.

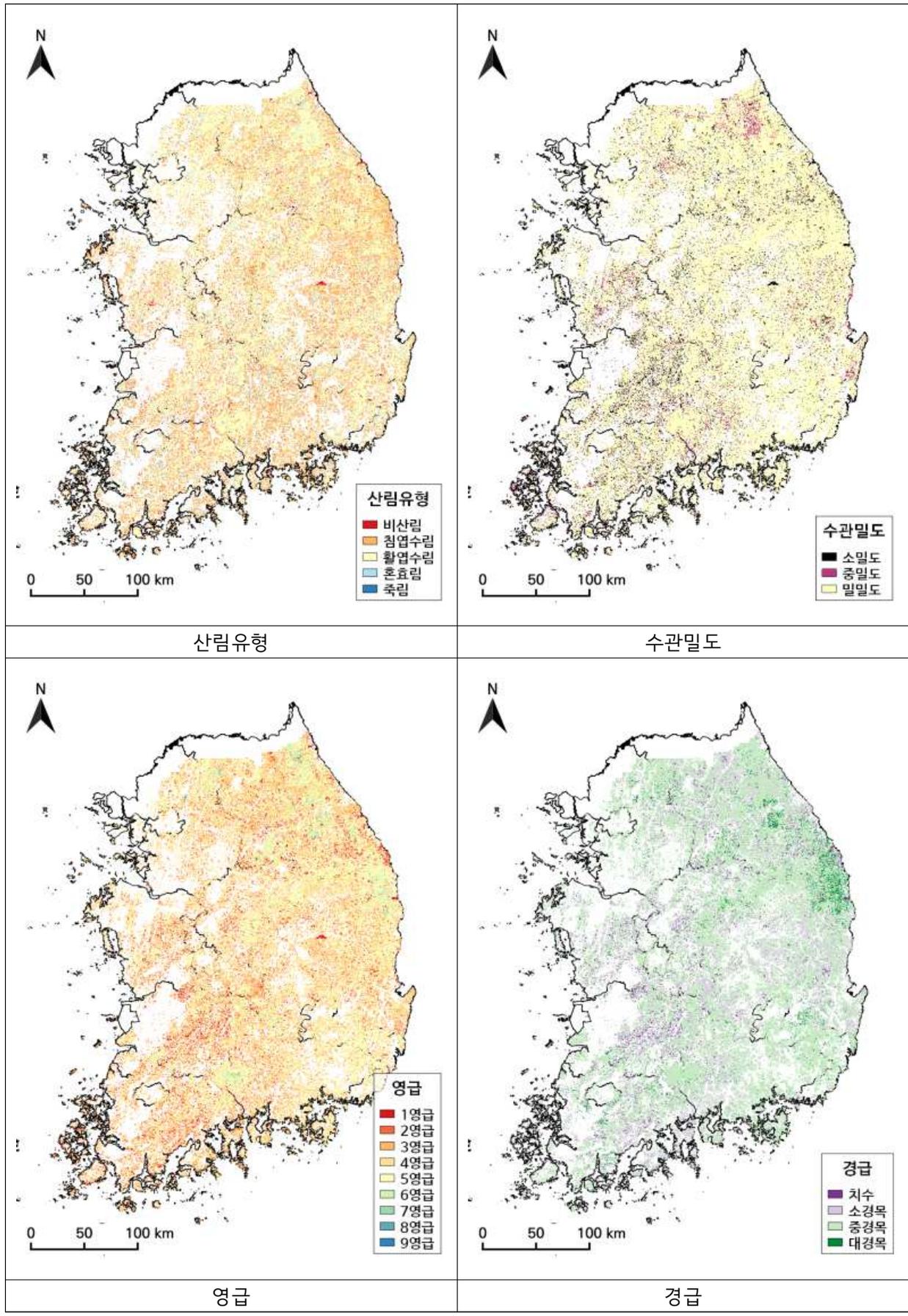


그림 2.45. 야생멧돼지 서식환경 평가를 위한 산림환경 공간정보 구축.

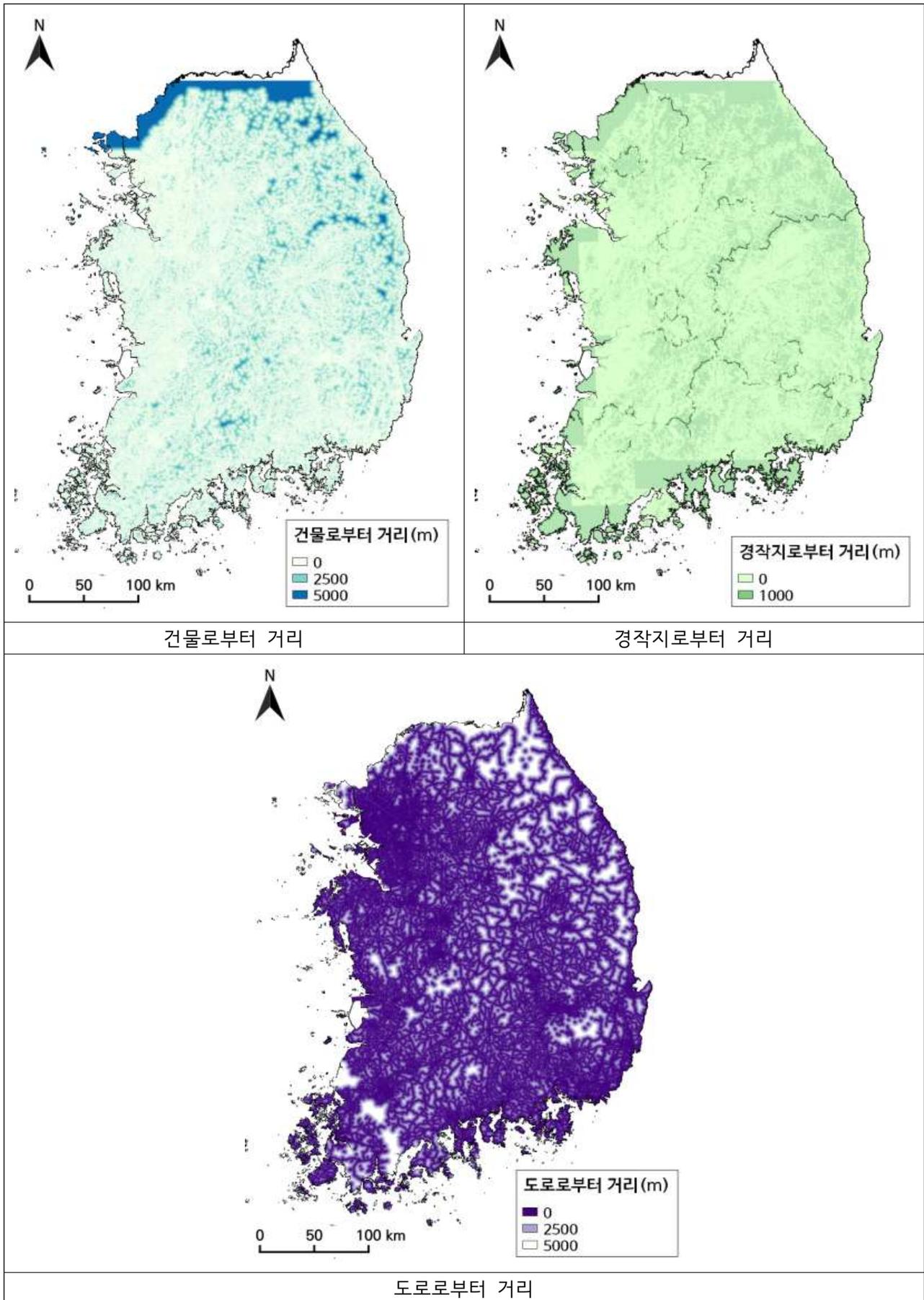


그림 2.46. 야생멧돼지 서식환경 평가를 위한 교란환경 공간정보 구축.

- 야생멧돼지 서식지 이용 특성 분석

- 야생멧돼지 행동권 위치좌표 5,538개와 11개의 서식 환경요인 간 공간분석을 통해 야생멧돼지가 선호하는 서식 환경분석을 하였다.
- 행동권 연구 개체 중 양구 3개체의 경우, 일부 서식 환경요인 정보가 제공되지 않는 민간인 통제선 내에서 서식하여 지형환경에 대한 분석만 실시하였고, 북한산국립공원의 연구 개체는 11개의 환경요인에 대해 모두 서식지 이용 특성 분석을 하였다.
- 분석은 QGIS 3.16.8 프로그램과 Point sampling tools를 이용해 수행하였으며, 행동권 위치 지점의 서식 환경요인을 추출하여 추출된 환경 요인 값을 이용해 분석하였다.
- 각 서식지 환경요인은 raster 형식으로 해상도는 30m로 일치시켰으며, 자료의 변환과 분석은 QGIS 3.16.8, ArcGIS 10.2 소프트웨어를 혼용하였다.
- 서식지 이용 특성에 사용된 환경요인은 특성에 따라 크게 자연환경과 교란환경으로 구분하였고 자연환경은 산림환경과 지형환경으로 세분하였다(표 2.7).
- 산림환경 요인은 산림청에서 제공하는 1:5000 임상도에서 산림유형, 영급, 경급, 수관밀도를 추출해 사용하였고, 지형환경 요인은 수치표고모델(DEM)을 이용해 고도, 경사도, 사면향을 추출하였으며 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 전국 하천차수도 자료를 이용해 수계로부터 거리를 추출해 사용하였다.
- 교란환경 요인은 환경부에서 제공하는 세분류 토지피복도를 이용해 건물로부터 거리와 경작지로부터 거리를 추출하였고 국토교통부에서 제공하는 전국도로망 자료에서 도로로부터 거리를 추출해 분석에 이용하였다.

표 2.7. 멧돼지의 서식지 이용 특성 분석에 이용한 환경요인.

환경특성		환경요인	자료원	제공처
자연환경	산림환경	산림유형	1:5,000 임상도	산림청
		수목연령(영급)		
		수목흉고직경(경급)		
		수관밀도		
	지형환경	고도	수치표고모델(DEM)	국토지리정보원
		경사		
사면향				
	수계로부터 거리	하천차수도	국가수자원관리종합정보시스템	
교란환경	건물로부터 거리	세분류 토지피복도	환경부	
	경작지로부터 거리			
	도로로부터 거리	전국도로망	국토교통부	

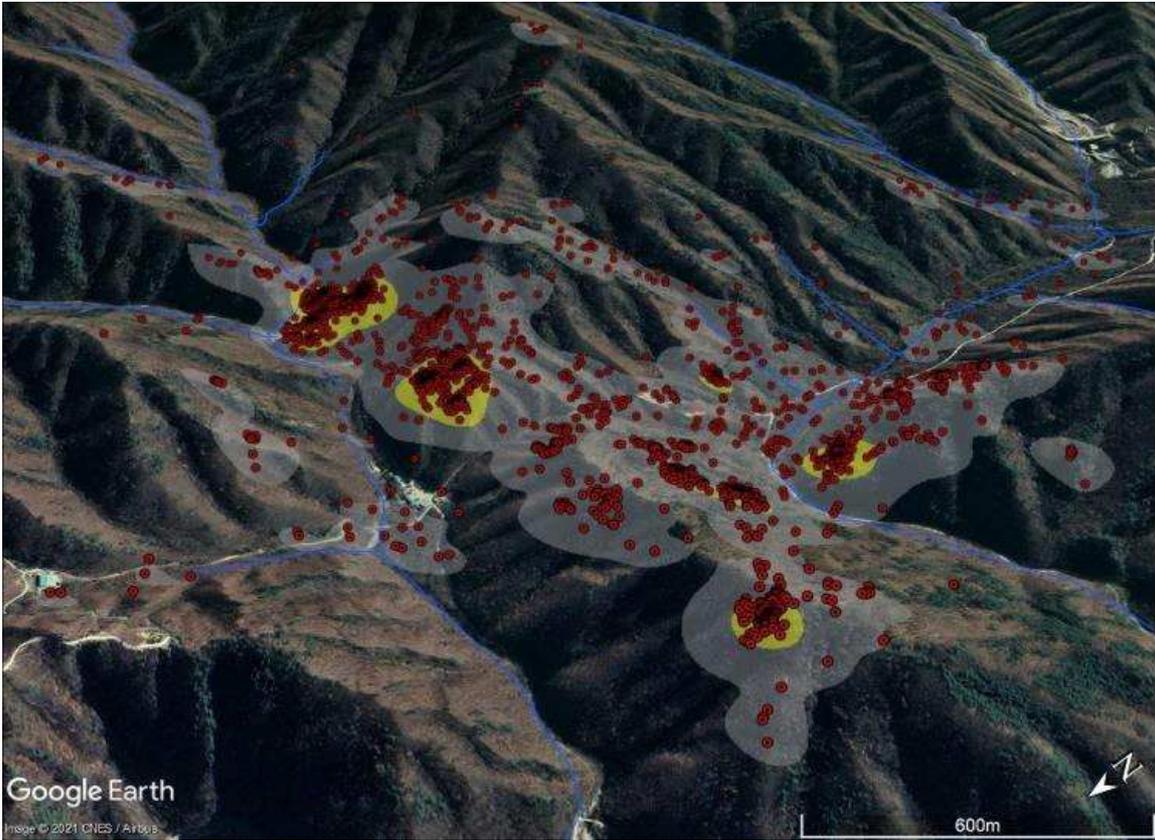
- 야생멧돼지 서식지 적합성 분석

- 서식지 적합성 연구를 위해 구축한 위치 좌표 DB 중 공간상 환경요인 범위 내 포함되는 위치좌표 1,646개를 모형 제작 입력 자료로 이용하였다.
- 서식지 적합성 분석에는 서식지 이용 특성 분석에 이용한 11개 환경요인을 모두 사용하였으며 변수의 해상도는 분석 자료의 용량을 고려하여 90m로 변환하였다.
- 생물종 출현과 서식환경의 관계를 설명하기 위한 모형 알고리즘은 기계 학습 기법 중 하나인 최대 엔트로피 방법(Maximum Entropy Method)이며, 이를 적용한 MaxEnt 3.4.4 프로그램을 이용해 모델링을 실시하였고 서식지 적합지도는 QGIS 3.16.8을 이용해 제작하였다.
- 최종 모델은 모델링을 10회 반복하여 생성된 평균 모델을 이용하였고 모델의 정확도는 ROC 커브 아래 면적인 AUC(Area under curve)로 평가하였으며 AUC가 1에 가까울수록 예측을 잘하는 정확한 모델이라 할 수 있다.
- 모형 적용 결과 서식처의 공간적 분포 특성은 0에서 1의 값으로 표현되는 서식환경 적합성 예측 지도로 표현된다. 적합지도는 생물종에게 적합한 서식환경조건에서 출현할 가능성을 0~1 값으로 산출되며, 점수가 높을수록 출현 가능성이 높다는 것을 의미한다(국립공원연구원, 2011).

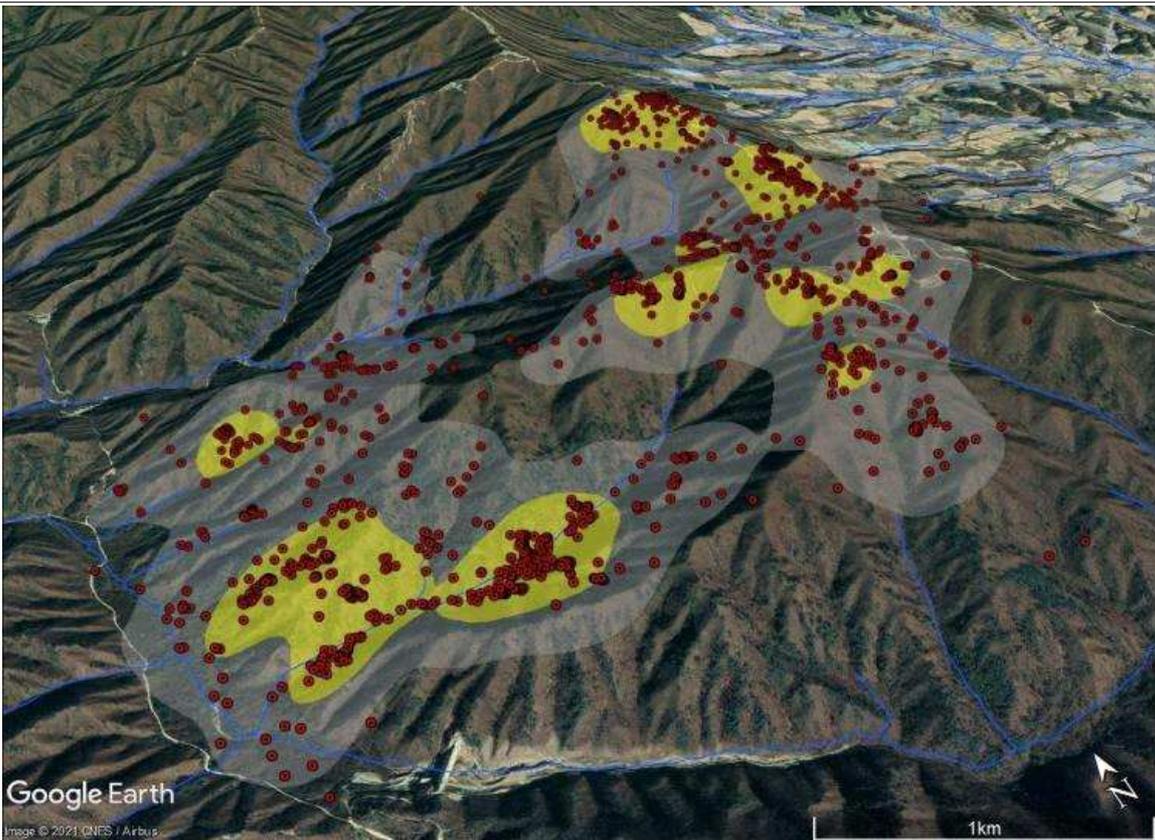
(3) 연구 결과

- 야생멧돼지 서식지 이용 특성 분석

- 행동권 연구 개체의 위치좌표와 KDE 행동권을 구글어스 프로그램에서 3D로 나타내 개체별 서식환경을 시각화하였다(그림 2.47-48).
- 양구에 서식하는 개체들의 경우, 서식지가 민간인 출입 통제선 내부이고 서식지 내 비포장 도로와 군사시설물(건물) 등이 확인되었으며 인근에 민간인이 출입 가능한 해안마을이 위치하고 넓은 면적의 경작지가 있는 것으로 확인되었다.
- 북한산국립공원 연구 개체의 경우, 정릉 지역에서 주로 서식하였고 서식지 주변으로 차도, 탐방로, 건물들이 가까이 있으며 서식지 내에는 암반 지역이 포함되는 것으로 확인되었다.
- 양구 지역의 3개체의 경우 서식지가 인가와 비교적 떨어진 산림 내부이고 강원 지역의 고지대인데 반해, 북한산국립공원의 개체의 경우 서식지 주변이 도심지이고 강원 지역에 비해 해발고도가 낮아 두 지역의 서식환경이 다른 것으로 확인되었다.

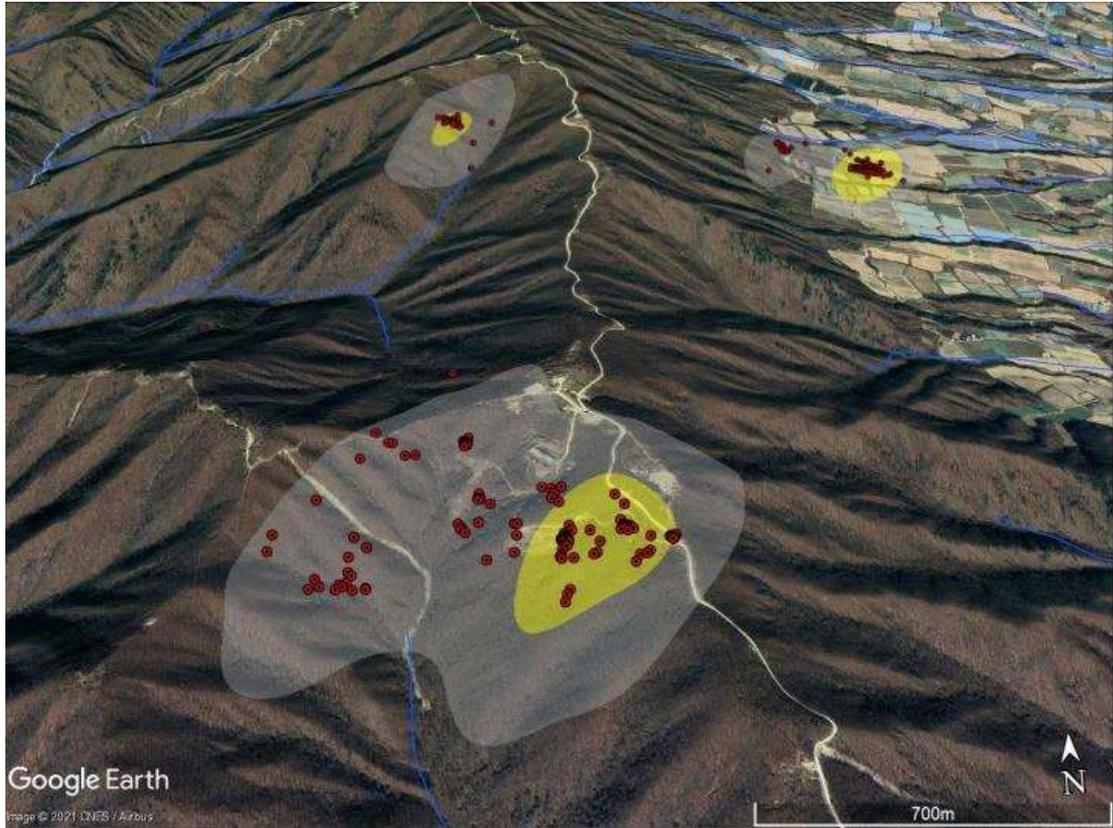


양구 47171 개체

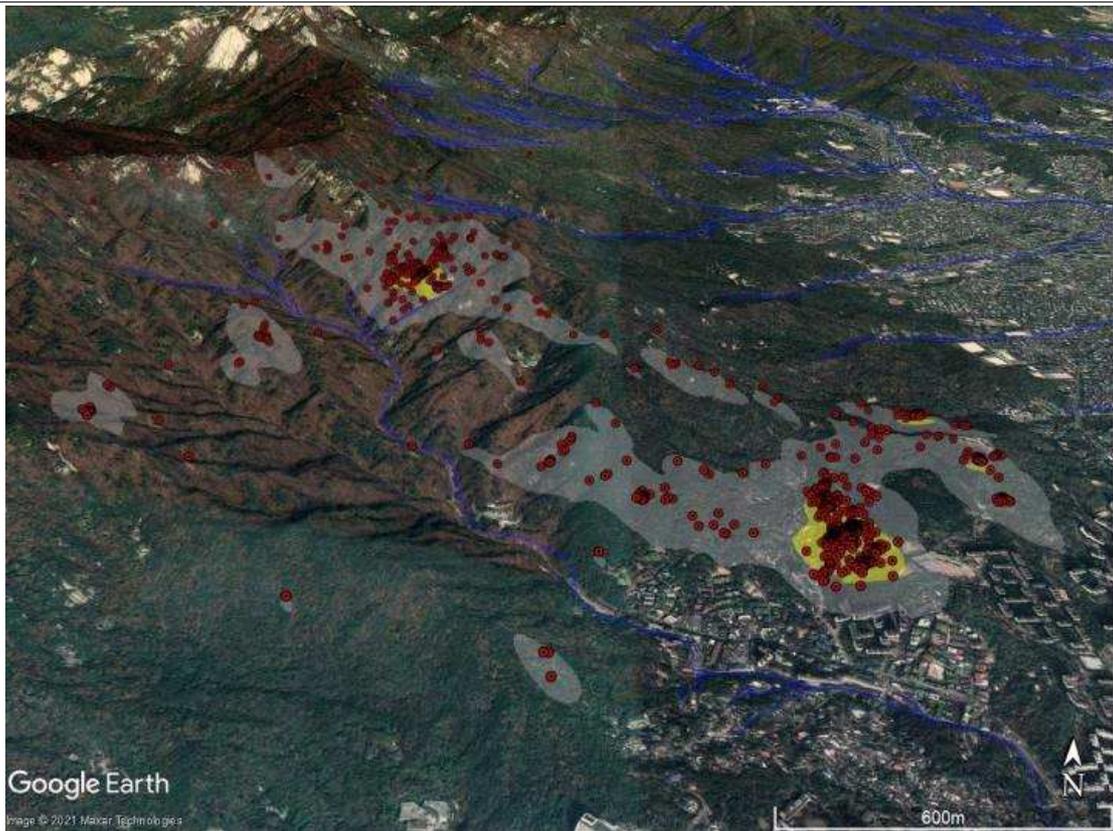


양구 47172 개체

그림 2.47. 개체별 서식환경(1). [점은 연구 개체의 위치 지점, 파란선은 하천, 흰색 영역은 KDE 95%, 노란색 영역은 KDE 50%를 나타냄]



양구 47361 개체



북한산국립공원 47362 개체

그림 2.48. 개체별 서식환경(2). [점은 연구 개체의 위치 지점, 파란선은 하천, 흰색 영역은 KDE 95%, 노란색 영역은 KDE 50%를 나타냄]

1) 자연환경

1-1) 지형환경

- 각 개체를 대상으로 자연환경 중 지형환경 범주에 속하는 해발고도, 경사도, 사면향, 수계로부터 거리 등 4가지 환경요인에 대한 분석을 하였다.
- 47171 개체는 4월부터 6월까지 이용고도가 낮아지다가 7월에 높아지고 8월에 다시 소폭 감소하는 추세를 보였고 47172 개체는 8월부터 11월까지 지속적으로 이용 고도가 낮아지는 경향을 나타냈으며 47362 개체는 7월에 비해 8월의 이용 고도가 높았다(그림 2.49).
- 계절적 흐름에 따라 이용 고도 변화를 보기 위해선 분석 기간이 더 늘어날 것으로 판단되며, 연구 결과로 보아 여름철 이용 고도가 상승하였다가 겨울철에 고도가 낮아질 것으로 판단된다. 개체별 평균 이용 고도는 양구 지역의 47171개체는 $535.68(\pm 64.87)m$, 47172개체는 $836.43(\pm 198.44)m$, 47361개체는 $841.34(\pm 195.10)m$ 로 나타났고 양구 지역보다 평균 고도가 낮은 북한산국립공원의 47362개체는 $238.57(\pm 96.02)m$ 로 나타났다(그림 2.50).

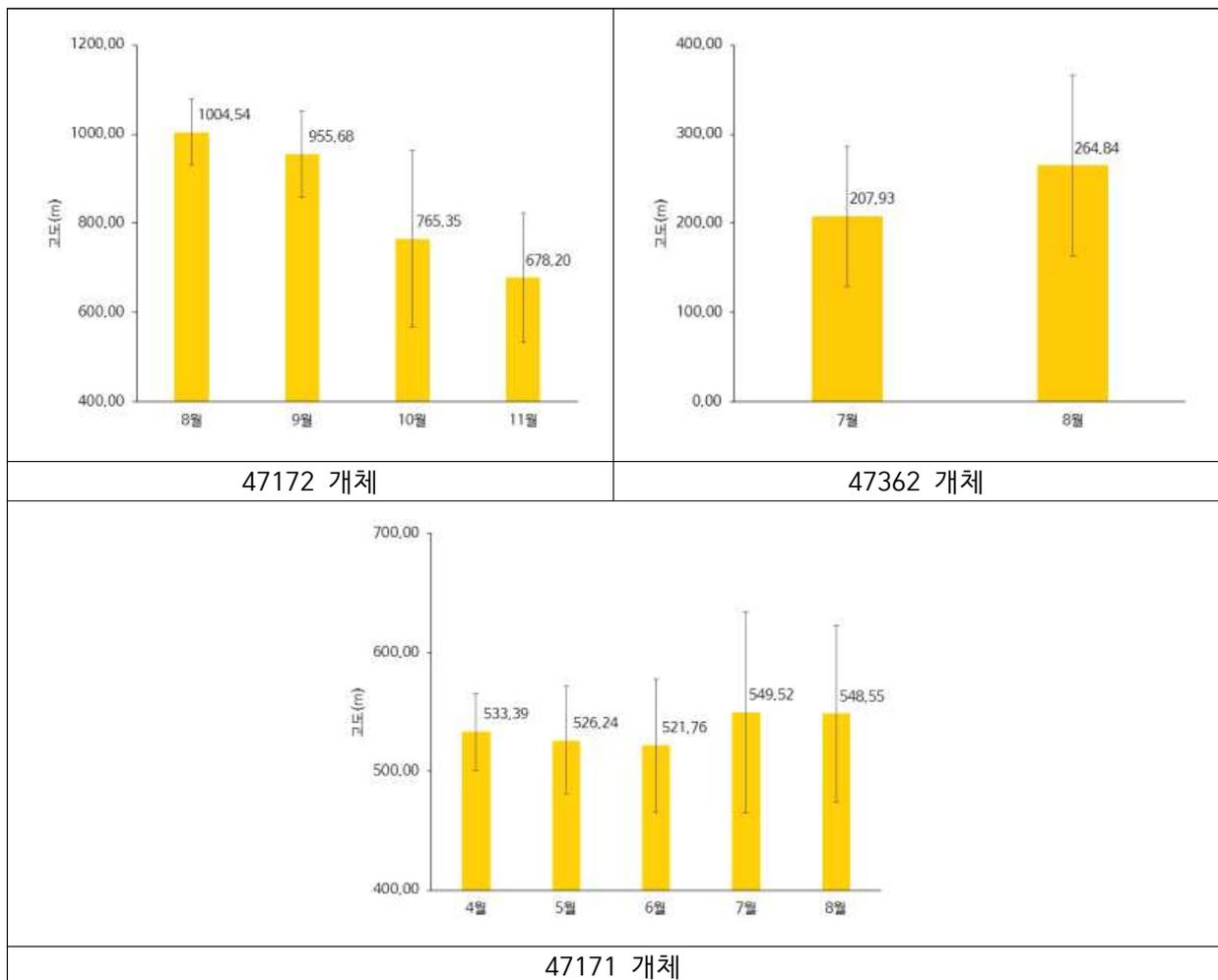


그림 2.49. 기간별 평균 이용 고도.

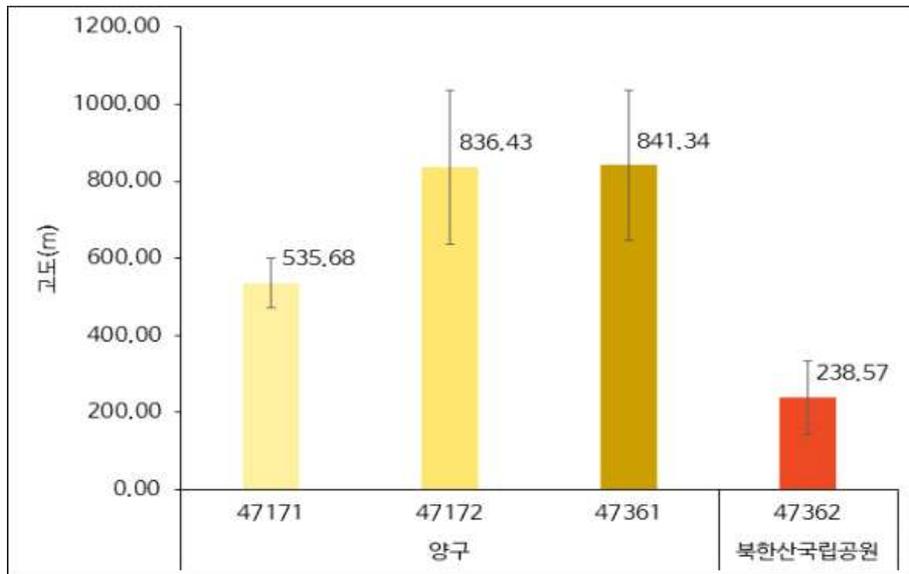


그림 2.50. 개체별 평균 이용 고도.

- 100m 단위로 고도별 개체 출현 비율을 분석한 결과, 47171개체는 500-600m 구간에서 73%의 높은 출현율을 보였고 47172개체는 900m 이상 고도에서 68%의 출현율, 47361개체는 600-700m 구간과 1000m 이상 고도에서 각각 51%와 42%의 출현율을 보였으며 47362 개체는 100-200m 구간에서 65% 출현한 것으로 나타났다(그림 2.51).

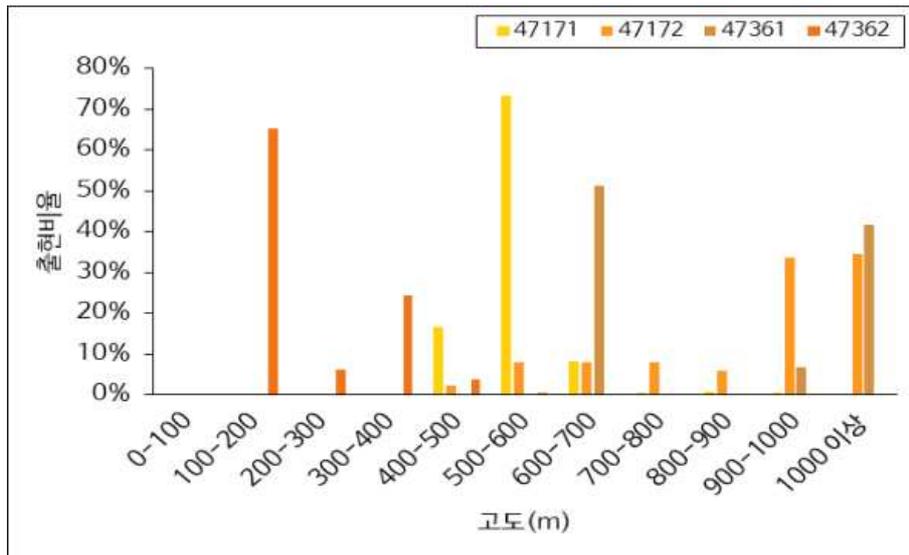


그림 2.51. 고도별 개체 출현 비율.

- 경사도에 따라 0-15(°)를 완경사지, 15-20(°)를 경사지, 20-25(°)를 급경사지, 25-30(°)를 험준지, 30(°)이상을 절험지로 구분하여 개체별 출현 비율을 분석하였다(그림 2.52).
- 모든 개체가 완경사지에서 높은 출현비율을 나타내었고 47361개체가 비율이 60% 이상으로 매우 높게 나타났다.
- 47171개체는 완경사지>험준지>절험지>급경사지>경사지 순으로 많이 출현하는 것으로 나타

났다. 47172개체는 완경사지>급경사지>절험지>경사지>험준지 순으로 출현 비율이 높았다. 47361개체는 경사지, 절험지, 험준지에서 출현 비율이 10% 미만으로 낮게 나타났다. 47362개체는 완경사지>경사지>급경사지>절험지>험준지 순으로 높게 나타났으며, 급경사지 이하의 경사도에서 80% 이상의 출현비율을 보였다.

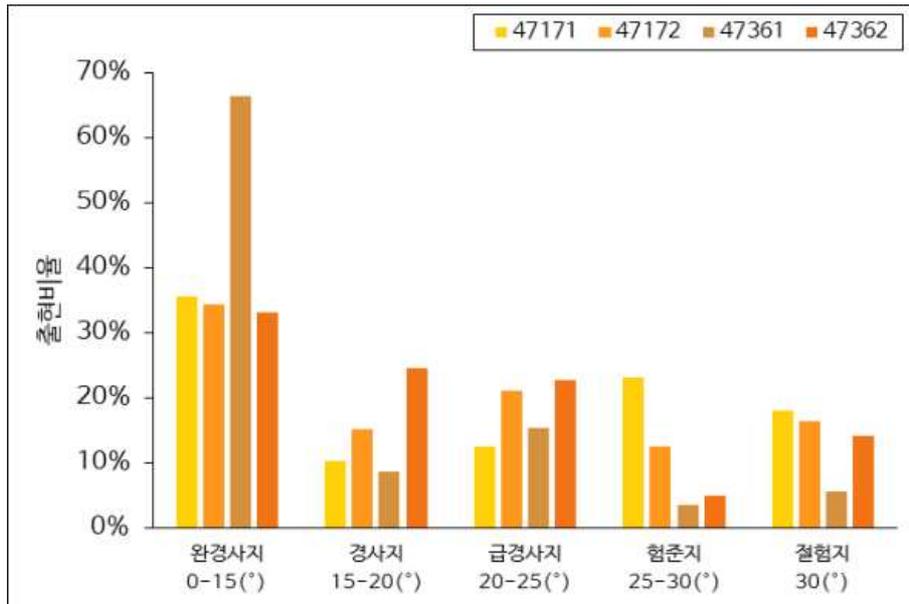


그림 2.52. 경사도 유형별 개체 출현 비율.

- 47171개체는 북향(N)과 남향(S)의 사면에서 각각 28%와 21%로 높은 출현 비율을 나타냈으며, 47361개체는 서향(W)과 동향(E)의 사면에서 각각 33%와 41%로 높게 출현하였다(그림 2.53).
- 47172개체와 47362개체는 최소 이용 사면향과 최대 이용 사면향의 출현 비율 차이가 13% 내외로 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다.

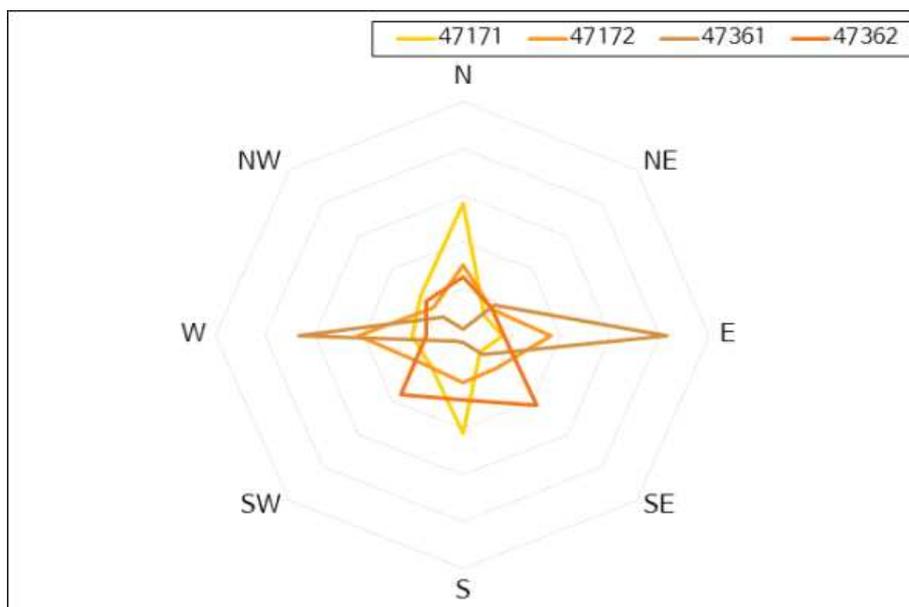


그림 2.53. 개체별 이용 사면향.

- 하천(수계)로터 거리를 100m 간격으로 나누어 개체별 출현 비율을 분석한 결과, 개체들은 500m 이하에서 많이 출현하는 것으로 나타났다(그림 2.54).
- 47171개체는 200-300m 구간에서 37%로 가장 많이 출현하였고 47172개체는 400-500m 구간에서 32%, 47361개체는 300-400m 구간에서 55%, 47362개체는 400-500m 구간에서 30%로 많이 출현하였다.
- 모든 개체는 900m 이상에서는 출현하지 않았으며 600-900m 구간에서는 매우 적은 출현율을 보였다.

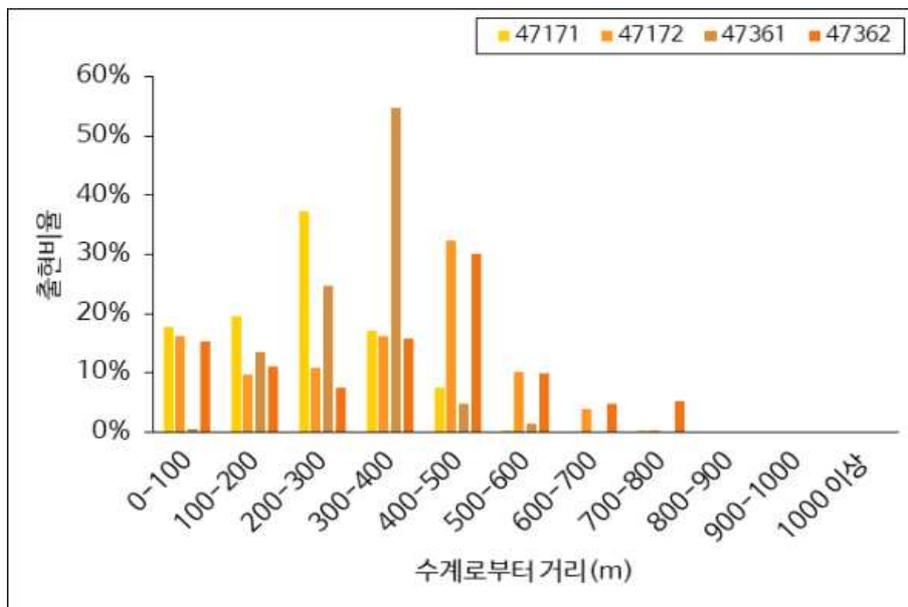


그림 2.54. 수계로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.

1-2) 산림환경

- 북한산국립공원 지역을 대상으로 산림환경요인에 속하는 산림유형, 수관밀도, 수목 연령(영급), 수목 흉고직경(경급) 분포 현황에 대한 분석을 실시하였다(표 2.8).
- 수관밀도는 최소 0(비산림)에서 최대 3(밀밀도)였으며, 평균 수관밀도는 2.81 ± 0.64 이었다.
- 영급은 최저 0영급(비산림)에서 최대 7영급이었으며, 평균 영급은 4.43 ± 1.48 로 분석되었다.
- 경급은 최저 0경급(치수)에서 최대 3영급(대경목)이었으며, 평균 경급은 1.86 ± 0.37 이었다.

표 2.8. 멧돼지 출현지점의 산림환경 특성.

구분	수관밀도		영급		경급	
	북한산	47362	북한산	47362	북한산	47362
표본 크기	86177	990	86177	990	86177	990
평균	2.81	2.99	4.43	4.62	1.86	1.93
±표준편차	±0.64	±0.11	±1.48	±0.52	±0.37	±0.25
최소	0	0	0	0	0	0
최대	3	3	7	5	3	2

- 수관밀도의 값을 수치화하여 계산, 비산림,소밀도,중밀도,고밀도를 각각 0,1,2,3으로 변환
- 영급의 값을 수치화하여 계산, 비산림=0, 1영급에서 9영급은 1에서 9로 변환
- 경급의 값을 수치화하여 계산, 비산림은 계산에서 제외, 치수=0, 소,중,대경목은 각각 1,2,3로 변환

- 북한산국립공원의 산림유형을 분석한 결과, 수종의 면적은 활엽수림(53%) > 혼효림(21%) > 침엽수림=비산림(13%) > 죽림(0%) 순으로 분석되었다(그림 2.55).
- 47362개체의 위치지점의 산림유형을 추출하여 분석한 결과, 활엽수림(57%) > 혼효림=침엽수림(21%) > 비산림(1%) > 죽림(0%) 순으로 나타났다.

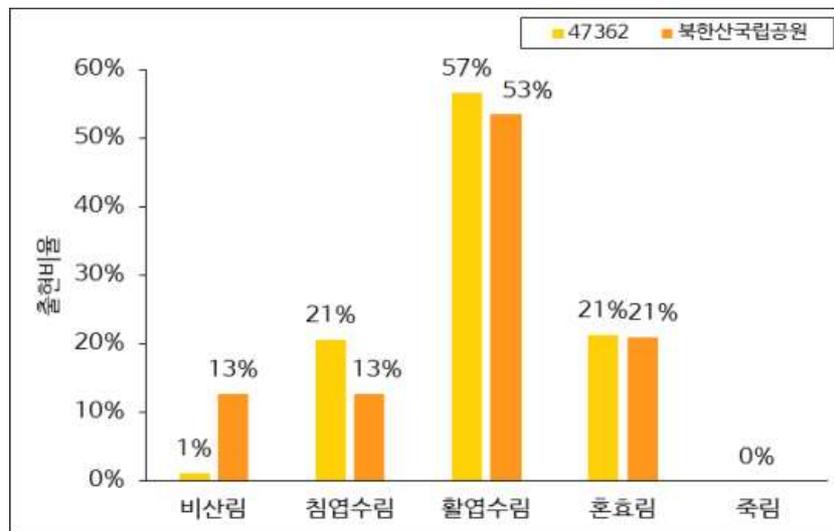


그림 2.55. 산림유형별 개체 출현 비율.

- 북한산국립공원의 수관밀도를 분석한 결과, 밀밀도가 86%로 가장 많이 차지하였고 소밀도 10%, 비산림 3%, 중밀도 1%로 나타났다(그림 2.56).
- 47362개체가 출현한 위치지점의 수관밀도는 밀밀도 98%, 비산림 2%, 소밀도와 중밀도는 0%로 분석되었다.

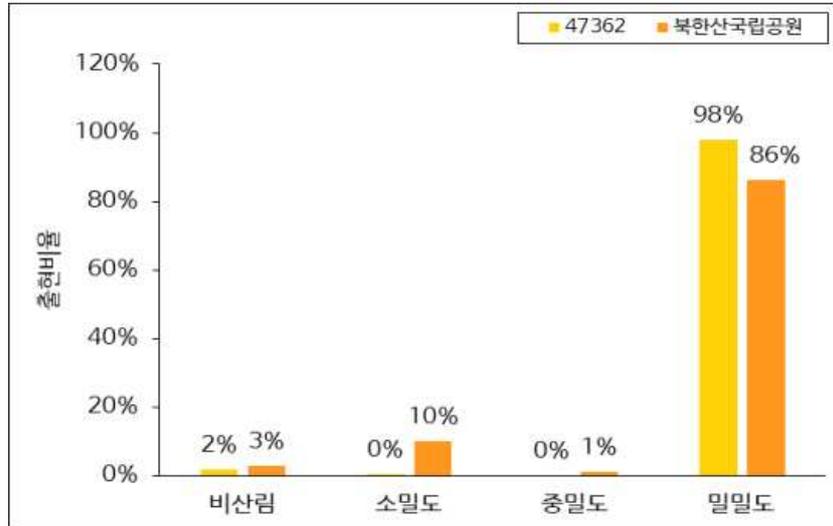


그림 2.56. 수관밀도별 개체 출현 비율.

- 북한산국립공원의 수목 연령을 분석한 결과, 5영급이 70%로 가장 많았고, 1영급과 4영급이 10%, 6영급이 9%, 3영급이 1%, 2영급과 7영급이 1% 미만으로 분석되었다(그림 2.57).
- 47362개체는 1영급, 4영급, 5영급에서만 출현하였으며, 5영급(62%), 4영급(36%), 비산림 (2%), 1영급(1% 미만) 순으로 출현하였다.

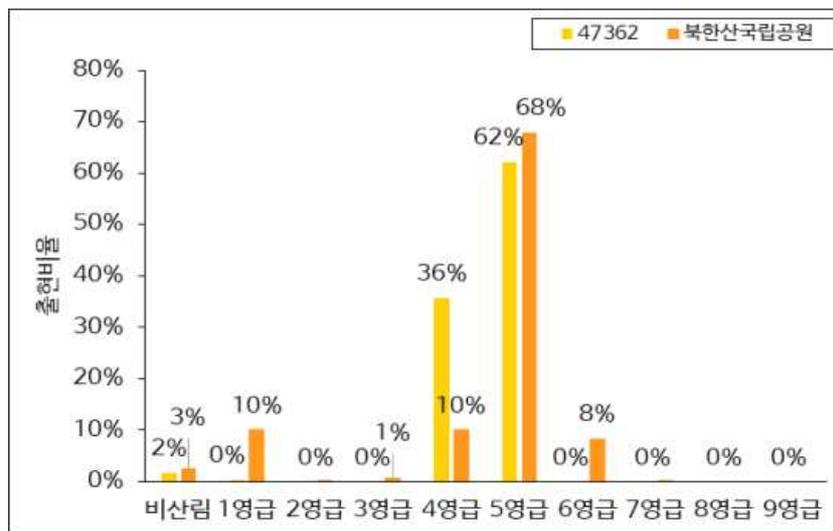


그림 2.57. 영급별 개체 출현 비율.

- 북한산국립공원의 수목 흉고직경을 분석한 결과, 중경목 74%, 소경목과 비산림이 13%, 대 경목 1%, 치수 1%의 비율을 나타냈다(그림 2.58).
- 47362개체의 출현지점의 수목의 흉고직경은 중경목이 가장 많았으며(91%), 소경목 7%, 비 산림 지역에서는 2% 출현하였다.

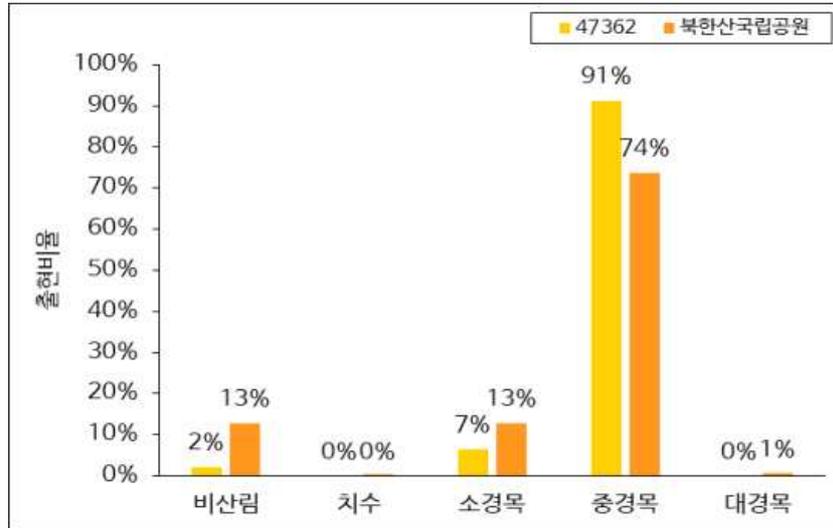


그림 2.58. 경급별 개체 출현 비율.

1-3) 교란환경

- 북한산국립공원 전 지역을 대상으로 교란환경 요인인 건물로부터 거리, 경작지로부터 거리, 도로로부터 거리에 대해 분석하였다(표 2.9).
- 북한산국립공원은 도심형국립공원으로 건물과의 최소거리가 0m이고 최대 2266.14m 떨어져 있으며, 평균적으로 $909.29 \pm 502.42m$ 떨어져 있는 것으로 분석되었다.
- 북한산국립공원은 경작지와 접해있고(최저거리 0m) 경작지로부터 최대 떨어진 곳은 2902.41m이며 평균 $1160.05 \pm 665.63m$ 떨어진 것으로 나타났다.
- 북한산국립공원은 도로와 인접해있고(최저거리 0m) 최대 멀리 떨어진 곳은 1560m 떨어졌으며 평균 $535.64 \pm 539.31m$ 떨어졌다.

표 2.9. 멧돼지 출현지점의 교란환경.

구분	건물로부터 거리(m)		경작지로부터 거리(m)		도로로부터 거리(m)	
	북한산	47362	북한산	47362	북한산	47362
표본 크기	86152	990	86152	990	86152	990
평균	909.29	565.51	1160.05	1011.17	535.64	845.55
± 표준편차	± 502.42	± 556.29	± 665.63	± 559.18	± 539.31	± 584.55
최소	0	0	0	324.5	0	0
최대	2266.14	1747.48	2902.41	2536.02	1560.00	2663.08

- 북한산국립공원은 건물과 1000m 이상 떨어진 곳의 면적이 가장 넓은 것(41%)으로 분석되었고 100m 이하의 면적은 2%로 가장 적었다(그림 2.59).
- 북한산국립공원 내 건물과의 거리 1000m 이하의 구간의 비율은 7% 이하로 고루 분포되어 있는데 이는 북한산국립공원 내 사찰이 고루 분포되어 나타난 결과로 보인다.

- 47362개체는 건물과 평균 $565.51 \pm 556.29m$ 떨어져있으며, 1000m 이상 지역에서 가장 많이 출현하였다(28%).
- 47362개체는 건물로부터 400m 이하의 거리에서 주로 출몰(65%)하는 것으로 나타났다. 이는 인가 주변에 먹이원(음식물쓰레기 등)에 의한 영향일 것으로 판단된다.

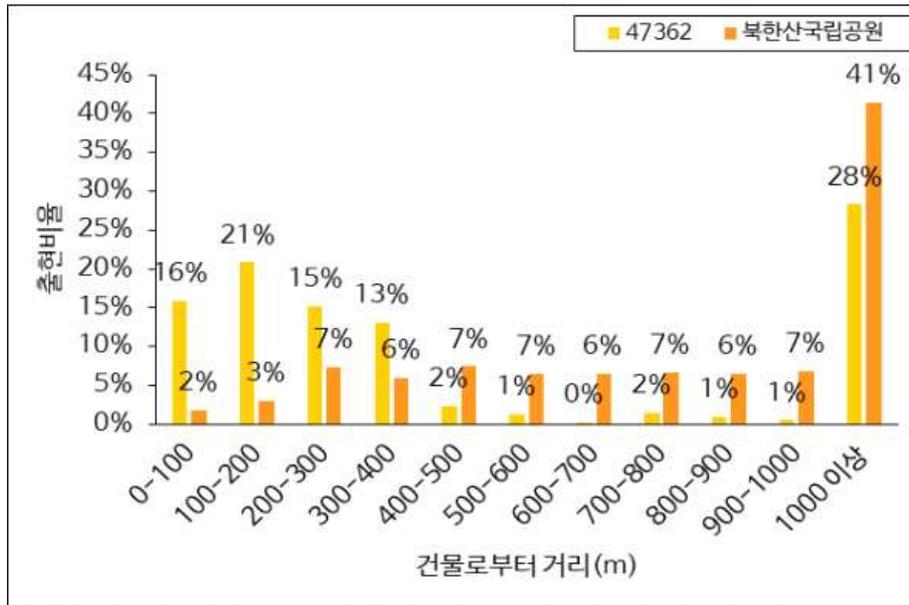


그림 2.59. 건물로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.

- 북한산국립공원은 경작지로부터 1000m 이상 떨어진 곳의 면적이 55%로 가장 넓었으며 1000m 이하의 각 구간의 면적은 5% 이하로 나타났다(그림 2.60).
- 47362개체는 경작지로부터 거리 500-600m 구간과 1000m 이상 구간에서 각각 30%, 40% 비율로 출현하였다.



그림 2.60. 경작지로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.

- 북한산국립공원에서 도로와의 거리는 1000m 이상 떨어진 지역이 가장 넓었고 1000m 이하 구간에서는 각 구간이 8% 이하 비율로 고루 차지하였다(그림 2.61).
- 47362개체는 도로로부터 400m 이하 거리에서 66% 비율로 많이 출현하는 것으로 나타났다. 400이상 1000 미만 거리에서는 2% 이하 비율로 매우 적게 출현하였지만 1000m 이상 거리에서는 28%로 다른 구간에 비해 많이 출현하는 것을 확인하였다.
- 건물로부터 거리와 함께 도로로부터 거리 400m 이하 구간에서 많이 출현한다는 것은 인가 주변으로 많이 출현한다는 것을 의미한다. 따라서, 멧돼지가 사람들에게 노출될 가능성이 높고 그로 인한 민원이 자주 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

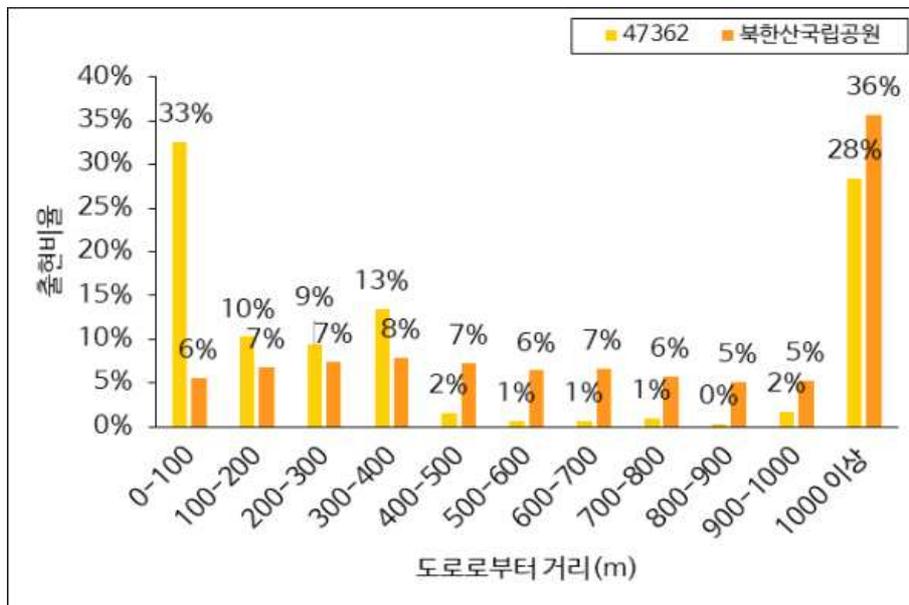


그림 2.61. 도로로부터 거리에 따른 개체 출현 비율.

- 야생멧돼지 서식지 적합성 분석

- 서식지 적합성 모델 구축 시 Bootstrap 값을 10으로 설정하였고 구축된 평균 모델의 AUC 값은 0.780으로 나타나 모델의 정확도가 검증되었다(Swets, 1988)(그림 2.62).

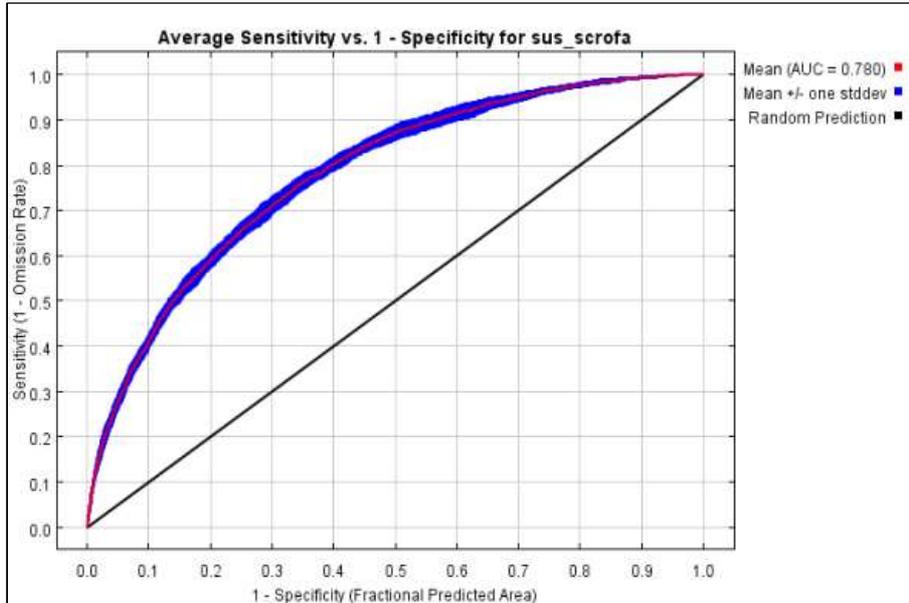


그림 2.62. 서식지 적합성 모델의 ROC 곡선.

- ASF 감염 멧돼지 사체 발견 지점에 따른 서식지 적합성 지도의 셀 6,516,143개의 서식지 적합도를 분석하였다(표 2.10).
- 서식지 적합도의 범위는 0.000~0.961이었고 평균 서식지 적합도는 0.307 ± 0.172 로 분석되었다.

표 2.10. ASF 감염 멧돼지 사체 발견 지점으로 구축한 모델의 AUC 및 서식지 적합도.

표본 크기	AUC	서식지 적합도 (범위 = 0-1)		
		평균 ± 표준편차	최소	최대
6,516,143	0.780	0.307 ± 0.172	0.000	0.961

- 252개의 추가 사체 발견 지점의 서식지 적합도를 추출하여 분석한 결과, 결측치가 17.46% 이었고 0-0.25 범위에서 14.29%, 0.25-0.5 범위에서 51.19%, 0.5-0.75 범위에서 15.87%, 0.75-1 범위에서 1.19% 발견되었다(표 2.11, 그림 2.63).
- 서식지 적합도가 보통인 지역에서 추가 감염 사체가 약 70% 발견되었기 때문에 향후의 사체 수색 작업 시 서식지 적합도 0.25 이상의 지역을 우선 대상지로 수색할 경우 효과적인 수색 작업이 가능할 것으로 보인다.

표 2.11. 모델 예측 능력 테스트 결과.

서식지 적합도	비율(%) n=252	평균	표준편차	최소	최대
Null	17.46%	-	-	-	-
0-0.25 (서식지 적합도 낮음)	14.29%	0.192	0.042	0.112	0.248
0.25-0.5 (서식지 적합도 보통)	51.19%	0.371	0.069	0.253	0.498
0.5-0.75 (서식지 적합도 높음)	15.87%	0.608	0.078	0.504	0.750
0.75-1 (서식지 적합도 매우 높음)	1.19%	0.776	0.019	0.755	0.790

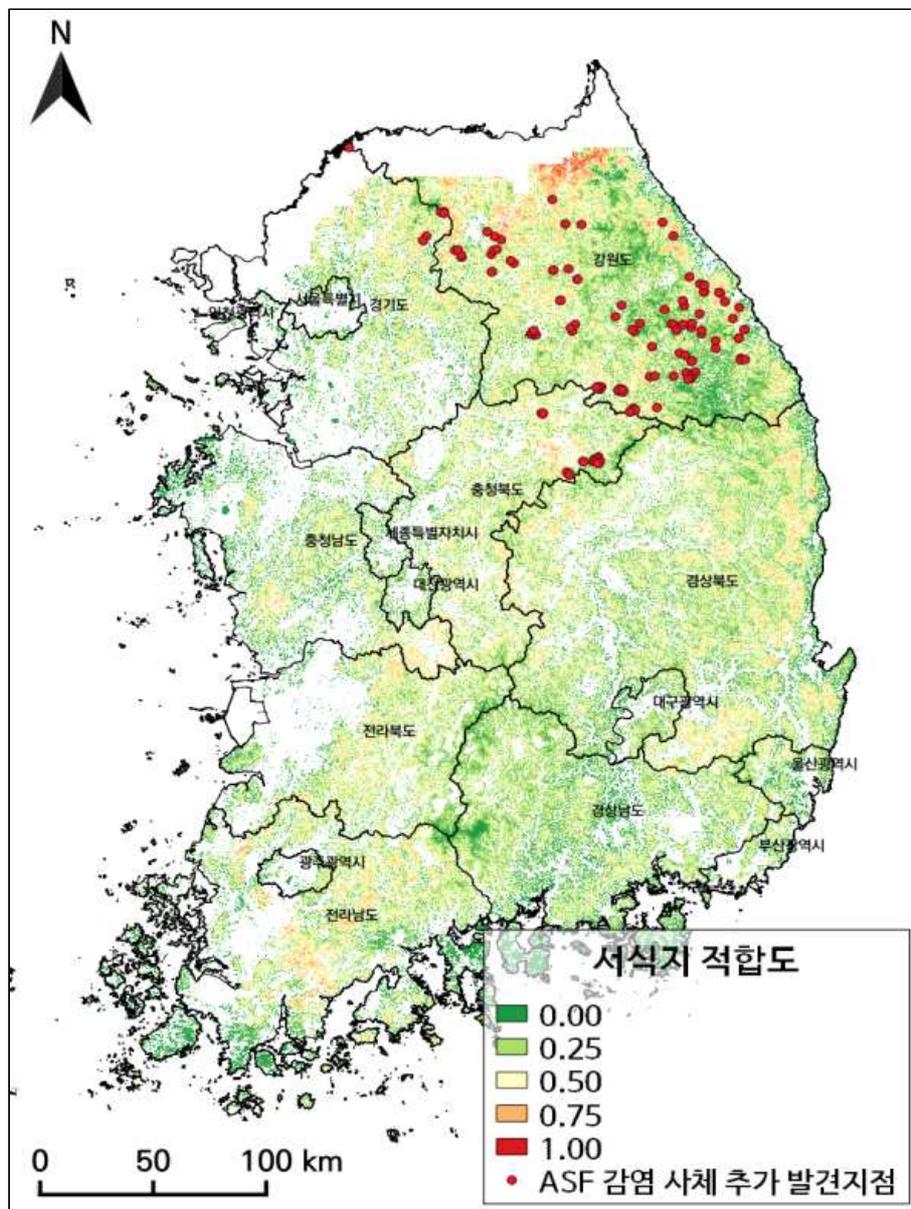


그림 2.63. ASF 감염 멧돼지 사체 추가 발견지점.

- 서식지 적합성 지도에서 붉은색 영역일수록 서식지 적합도가 높은 것을 나타내며 흰 배경은 환경요인 중 산림공간정보가 제공되지 않는 지역으로 서식지 적합성 분석 범위에서 제외된 지역이다(그림 2.64).
- 생성된 모델의 평균 서식지 적합도를 고려하여 서식지 적합도 0.5 이상의 지역을 ASF 감염 멧돼지 사체 및 야생멧돼지의 주요 예상 출몰지와 주요 서식지로 구분하였다.
- 서식지 적합성 지도에서 서식지 적합도 0.5 이상의 셀을 추출하여 분석한 결과, 6,516,143 셀 중 922,608개의 셀이 추출되었고 추출된 셀을 이용해 지도로 제작하였다(그림 2.65).
- 시도별 서식지 적합도 0.5 이상의 지역의 면적을 분석한 결과, 강원도(2210.04km²), 경상북도(1670.67km²), 전라남도(958.42km²) 순으로 면적이 크게 나타났지만 비율로 환산하였을 경우, 강원도(13%), 충청북도(10%), 경상북도(9%)순으로 높게 나타났다(표 2.12).
- 아프리카돼지열병(ASF)의 확산 차단을 위해서는 멧돼지의 주요 서식지가 많은 지역을 대상으로 선제적 방역 대책이 마련되어야 한다. 현재 확산이 많이 진행된 강원 지역에서 타지역으로 확산될 경우, 백두대간을 따라 주요 서식지의 비율이 높은 충청북도, 경상북도, 전라도 순으로 ASF가 확산될 가능성이 있다. 따라서, 해당 지역을 예비방역대상지로 설정해 정책을 수립해야 할 필요가 있다.

표 2.12. 전국 시도별 서식지 적합도 0.5이상 지역의 면적과 전체 면적 대비 비율(km²).

지역	면적(km ²)	서식지 적합도 0.5 이상의 지역 면적(km ²)	비율(%)
강원도	16639.03	2210.04	13%
충청북도	7414.55	756.91	10%
경상북도	19028.09	1670.67	9%
전라남도	12291.21	958.42	8%
전라북도	8072.83	489.63	6%
경기도	10191.01	598.70	6%
충청남도	8230.85	426.43	5%
울산광역시	1054.98	42.85	4%
부산광역시	771.53	19.42	3%
대전광역시	539.54	13.24	2%
경상남도	10519.30	246.09	2%
광주광역시	498.36	10.01	2%
대구광역시	880.41	14.75	2%
세종특별자치시	465.24	7.13	2%
서울특별시	605.69	5.75	1%
인천광역시	1063.81	2.90	0%



그림 2.64. ASF감염 멧돼지 사체 발견 지점을 이용해 분석한 서식지 적합성 지도.

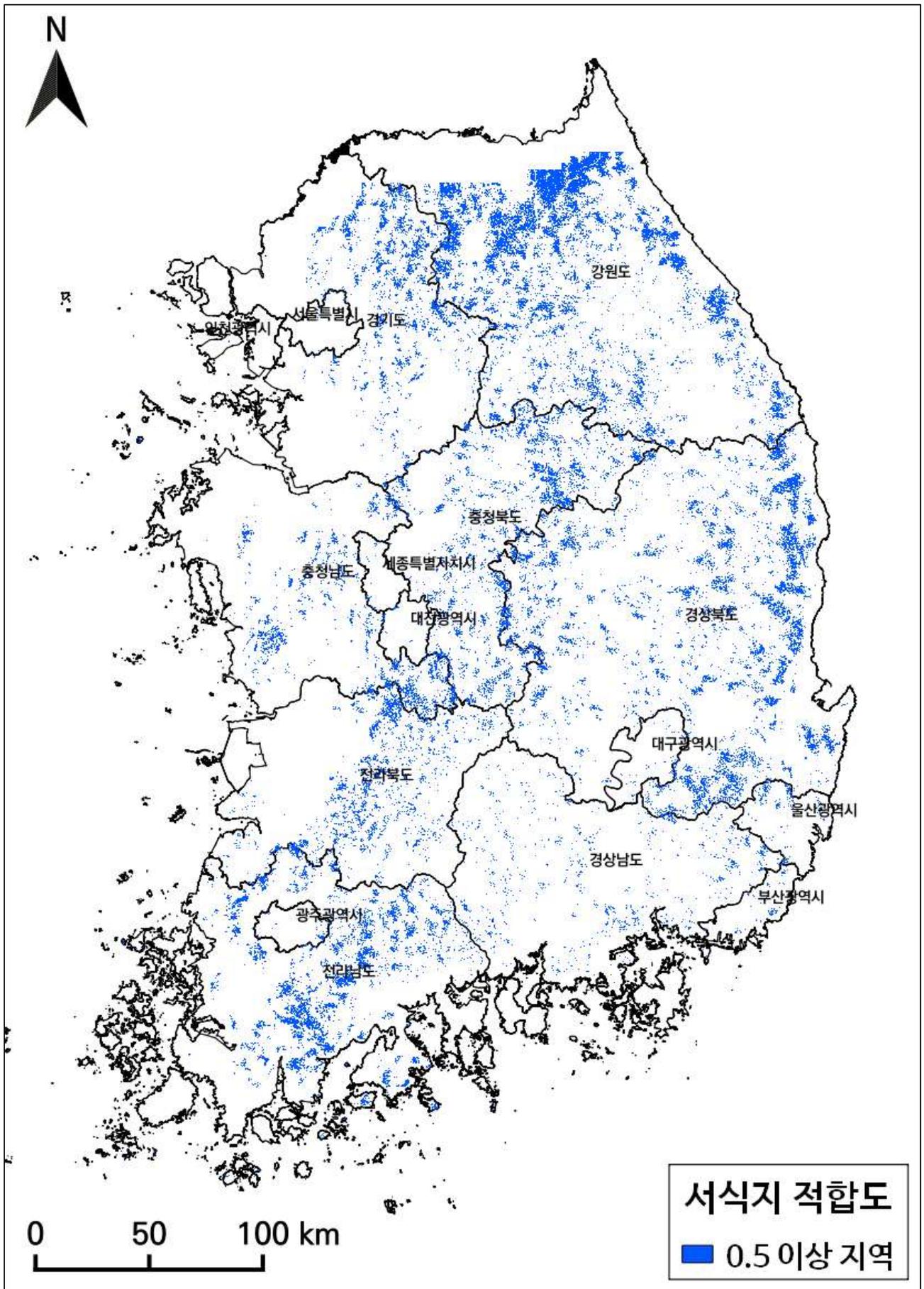


그림 2.65. 서식지 적합도 0.5 이상의 주요 멧돼지 서식지.

○ 해외 야생멧돼지 차단 방역 선진 사례 연구

(1) 연구 내용

- 유럽 등 해외 야생멧돼지 차단 방역 조치 선진사례 수집 및 분석
- 해외 국가의 양돈 농가 방역시설 및 관리기준 조사결과 참고하여 국내 상황에 응용하여 국내 상황에 적용하기 위한 비교 분석

(2) 연구 방법

- 해외 차단 방역 사례

1) 유럽 아프리카돼지열병 현황 및 방역대 설정

- 유럽연합(EU)은 2014년 10월 EU 내 ASF 상황의 진행 정도와 관련해 아프리카돼지열병의 감염상태에 따라 Part I, Part II, Part III, Part IV의 등급으로 위험이 적은 지역의 돼지고기를 EU 국가 간 이동 및 수출을 허용하였다(표 1.13). 또한 EU규정(Decision 2014/709/EU, CD 2002/60/EC)에 따라 멧돼지 발생지역은 Zone 2- Zone 1의 방역대를 형성하고 발생농장 이동제한, 예찰, 소독 등 방역 관리를 실시하고 있다.

표 2.13. 유럽연합(EU)의 ASF 발병 여부에 따른 지역화 조건 (출처: EU official website).

구분	설명	비고
Part I	ASF가 발생하지는 않았으나, 발생위험성이 높은 지역 (집중적인 예찰이 수행되고 있는 지역)	
Part II	ASF가 야생동물에서 발생한 지역	
Part III	ASF가 사육돼지와 야생멧돼지에서는 발생했지만 (확산되지는 않은 지역)	
Part IV	ASF가 사육돼지와 야생멧돼지에서 발생하고, 풍토병으로 발생하는 지역	

1.1) 체코

- 체코는 2019년 3월 공식적으로 ASF 청정국으로 인정받았으며, 주변 국가인 에스토니아, 라트비아, 리투아니아 및 폴란드 등지에서 2014년부터 아프리카돼지열병이 발생하자, 영토 내에서 발견된 모든 야생멧돼지 사체에 대하여 ASF 검사를 실시하였다. 수의행정청(SVA)은 ASF 확산을 막기 위해 사육돼지에 대한 잔반 사료 급여 금지, 야생멧돼지에 대해서도 미끼 이외의 먹이급여 금지, 금지되어 있던 사냥방법의 허용을 통한 전연령의 야생멧돼지에 대한 집중적인 수렵을 허가하고 있다(조진현, 2019).
- 체코는 아프리카돼지열병 위험 수준에 따라 각 지역마다 각각의 방역대책을 수립하였으며(그림 1.10), 국경방어를 위해 전기울타리 및 냄새기피제를 설치하였다. 2017년 7월 긴급방역대책에 따라 발생지역을 중심으로 32km에 걸쳐 10개의 전기울타리 및 22km의 화학적 장벽을 설치하였다.

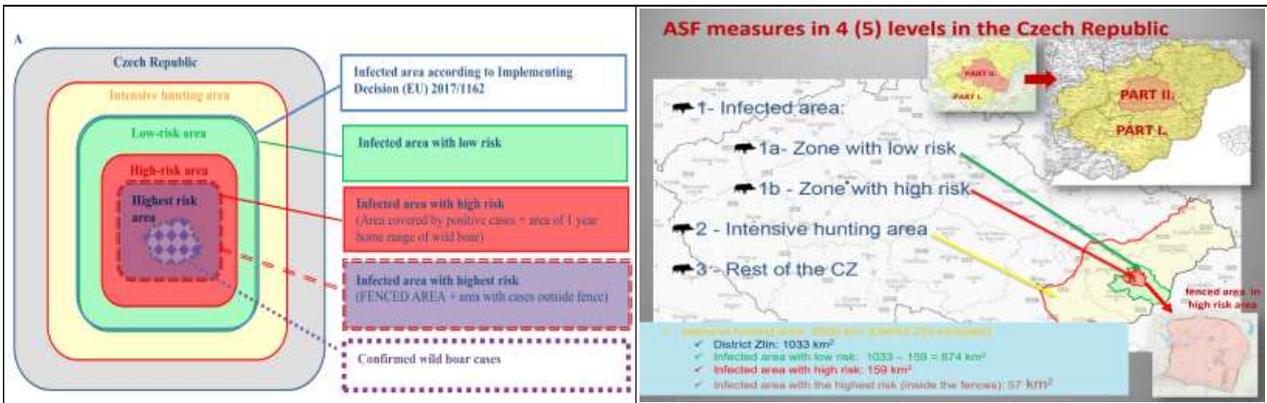


그림 2.66. 체코의 지역별 방역대책 모식도(좌) 및 체코 전역에 대한 지역별 방역대책 적용[1-감염 지역(1a: 피해 낮은 지역, 1b: 피해가 높은 지역), 2-집중적인 사냥지역, 3-그 외 체코지역](우).

1.2) 벨기에

· 벨기에에는 2018년 야생멧돼지에서 ASF가 최초로 발생하였다. 그러나 2020년 현재 사육 돼지에서는 ASF 발병이 나타나고 있지 않으며, 야생 멧돼지에서만 ASF가 나타나고 있어 가축돼지에 한해 ASF 청정지역(free status)으로 OIE에 의해 공식 승인받았다. 벨기에에는 EU규정과는 별도로 멧돼지 ASF 발생지역에 방역대를 자체적으로 4개 zone으로 구분[커널존(kernel) - 버퍼존(buffer) - 예찰(Reinforced observation)존 - 경계존(vigilance)존]하고 방역지역내 돼지 임상 예찰, 멧돼지 수렵 등 방역관리를 실시하였다(그림 2.67). 2019년 7월부터 커널존(kernel) - 버퍼존(buffer)을 감염존(Infected zone)으로 통합하였으며 질병의 확산에 맞춰 정기적으로 조정하고 있다(그림 1.67).

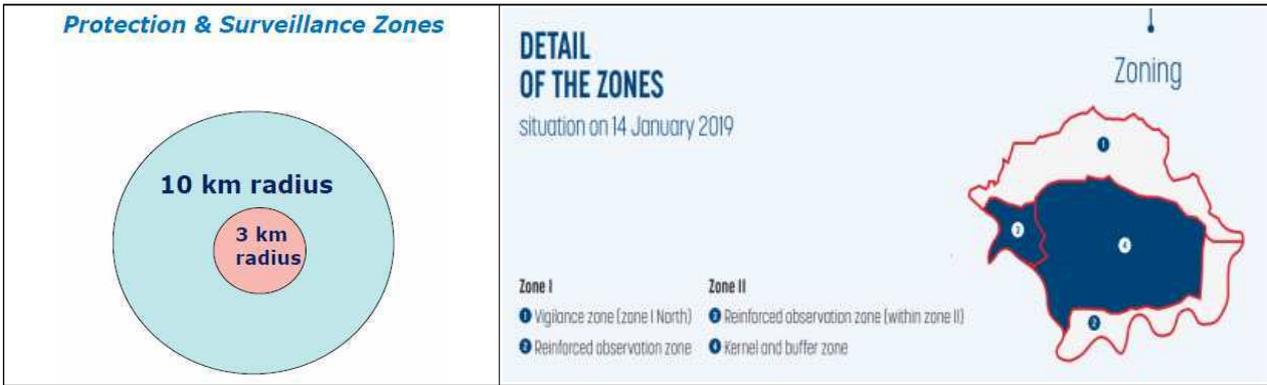


그림 2.67. EU 규정에 따른 ASF 발생시 방역대 형성(좌) 및 벨기에 자체 방역대 형성(우).

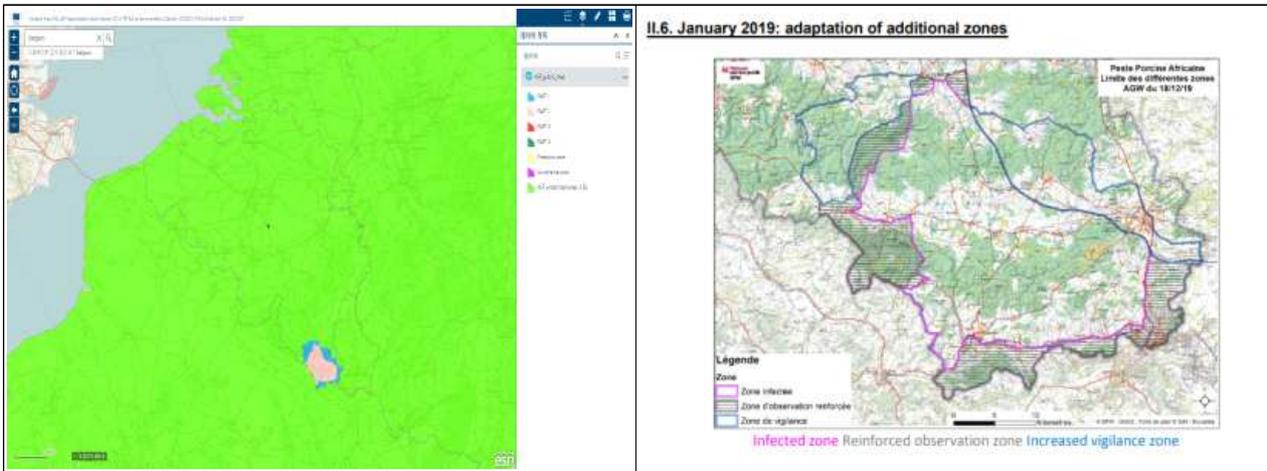


그림 2.68. 벨기에의 ASF관련 지역 설정 현황(좌) 및 Part I, II으로 남아있는 지역에 대한 벨기에 자체 방역대 설정 현황(우).

2.3 러시아

러시아의 경우 아프리카돼지열병 발생지와 그 주변 지역에 발생지, 오염지대 I (발생지 주변 최소 5km), 오염지대 II (발생지 주변 100km)를 설정하여 지역별 지침을 달리하고 있다(그림 1.13). 러시아에서는 서부 지역을 중심으로 집중적으로 발생하고 있으며(그림 1.14), 발생지는 돼지, 돼지산물, 사료 등에 대한 이동을 금지하고 모든 돼지를 피를 흘리지 않고 살처분하며, 사체 및 분변, 잔여 사료 등은 모두 소각과 매몰한다. 오염지대 I 내의 도축된 돼지는 모두 가열한 소세지나 통조림으로 가공하며 돼지 및 도축 산물의 이동 금지 및 소독 장벽을 설치하고 있다. 오염지대 II 내에서는 돼지 및 돼지축산물 교역 및 방목을 금지하며, 아프리카돼지열병 발생이 의심되는 경우 발생시 확산을 기다리지 않고 발생에 준한 조치를 실시하고 있다.

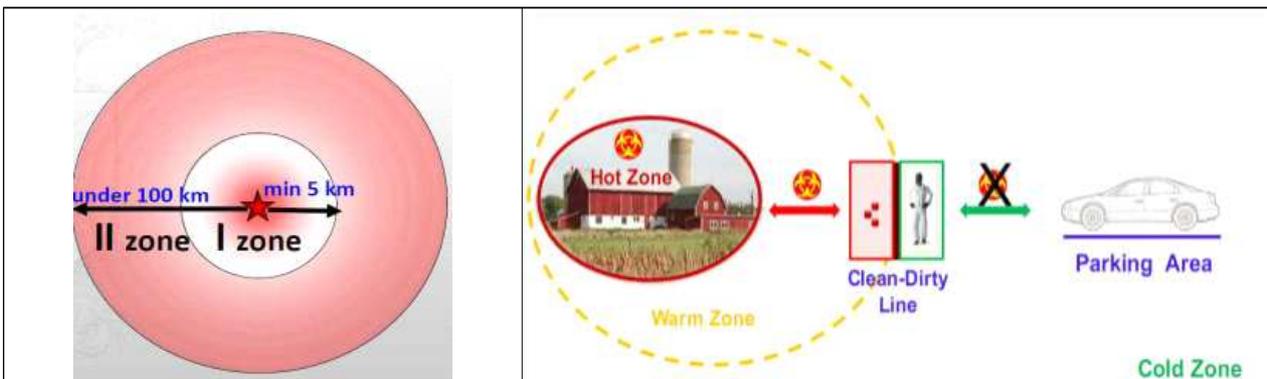


그림 2.69. 발생지(★)와 주변 오염지대 설정 모식도(좌), 발생지역 출입시 소독 모식도(우).

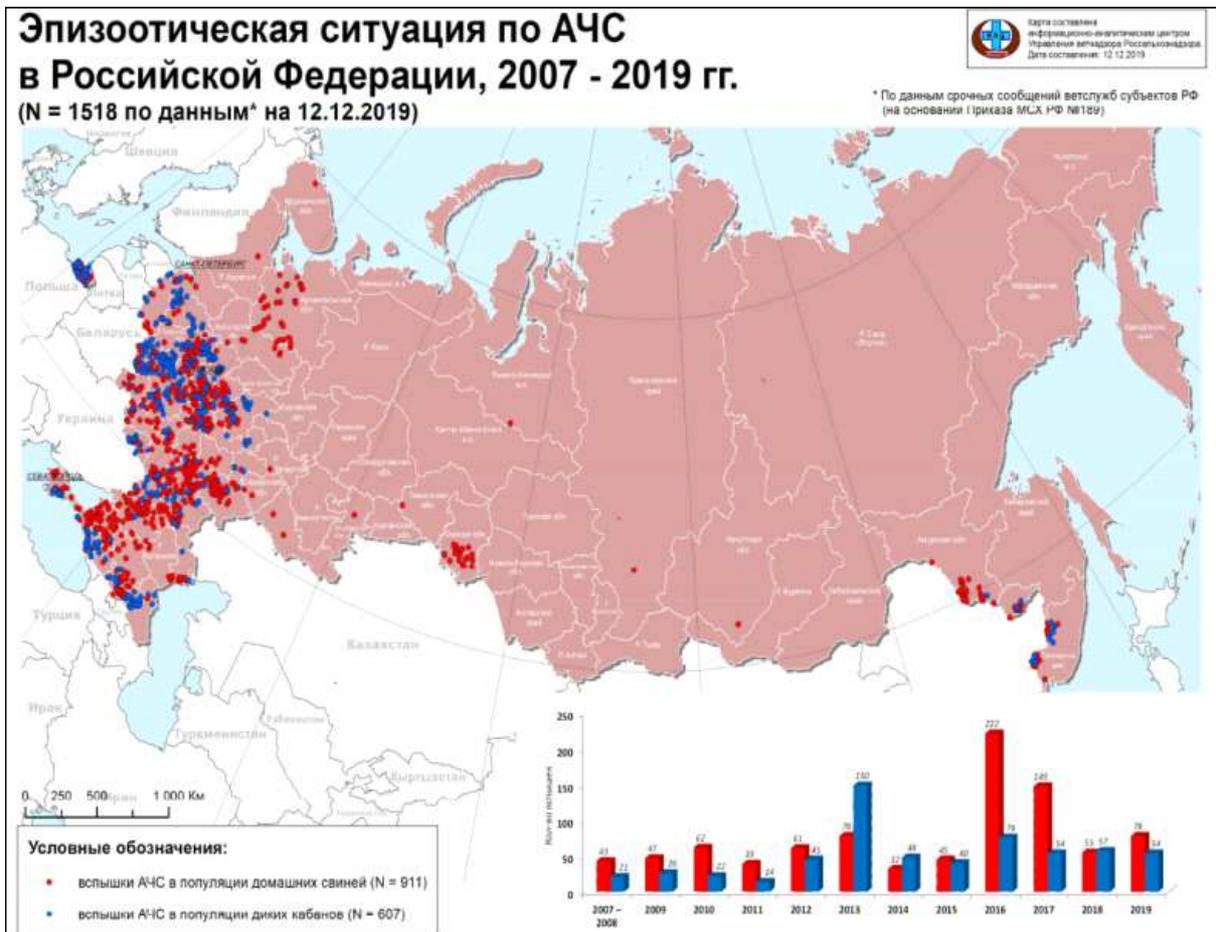


그림 2.70. 러시아 연도별 ASF 발병지점 및 횟수(빨간색:돼지, 파란색:멧돼지)[출처:FAO, Food And Agriculture Organization of the united nation]

나. 북미(미국, 캐나다) 방역시설 및 관리수칙

- 4가지 개념을 강조
 - ⇒ ①방역관리자, ②농장별 차단방역 계획서, ③완충지역 및 ④방역선 설정
- (근로자 관리) 농장근무자는 매년 1회 이상 의무방역교육 이수해야 한다.
- (물품 소독) 음식, 개인물품, 용품의 방역선 이동을 제한하며, 돈사 안에서 사용되는 모든 장비(주사기 등)는 UV, 열, 화학 소독제 등으로 소독한다
- (차량 관리) 가축운반 차량은 완충지역 외부에 대기시키고, 별도의 셔틀을 이용하여 가축을 차량으로 이동시키며, 불가피한 경우 차량을 소독하고, 가장 짧은 경로로 이동하고 이동경로를 소독, 생석회도포 한다.
- (전실) 전실을 출입하는 사람은 별도의 출입기록을 작성 한다.
 - : 이름, 연락처, 출입사유, 작업일정, 48시간동안 가축 접촉여부를 기록

- (완충지역) 농장경계 울타리 완충지역 진입하는 모든 물품을 기록하고, 진입 전 일회용신발과 장갑을 착용(손소독제 사용)
- (돼지·정액 반입) 질병 비발생지역으로부터 공급받아야 한다. 위험지역으로부터 돼지 이동전 해당 돼지를 7일간 격리후 이상이 없을경우 농장내 반입허용 하며, 비위험지역으로부터 돼지 이동 후 해당 돼지를 7일간 격리후 관찰한다.
- (돼지 상하차) 방역선의 출입구를 통해 한방향으로만 이동하며, 방역선 밖으로 건너간 돼지는 되돌아 갈 수 없음
- (사체 처리) 랜더링 트럭이 완충지역내로 진입하지 않도록 완충지역 가장자리에 사체저장통을 설치(사체 임시 냉장보관도 좋은 방법임)한다.
- (구서·구충) 건물주변 잡초·잔디 제거, 쓰레기통은 상시 비움, 전문 구서·구충업체와 계약하여 관리한다.
- (야생동물 차단) 돈사 등에 그물을 설치, 개나 고양이 등이 매개체가 될 수 있으므로 농장내 사육 금지(농장 밖에서 사육)한다.

⇒ 미국·캐나다는 우리나라와 유사한 방역관리 체계임, 완충지역은 우리나라 농장의 경계에 설치된 울타리내 개념과 유사함

- 출입구 폐쇄(간판 설치)
 - 평시 잠금상태 유지
- 방역선 진입시 방역출입시설(전실)을 반드시 통과
 - 샤워 및 의복을 갈아입음
- 완충지역 설정 및 준수
 - 돈사 주변의 외부통제 경계역할 수행 (완충지역 진입 전 차량과 장비 세척·소독)
 - 차량이 완충지역에 들어가지 않도록 완충지역을 설정하며 설정방법은 울타리, 간판, 말뚝, 깃발, 로프 등 다양함
- 울타리 설치(필수는 아님)
- 주차장 : 농장 외부에 설치



- <전실>
- 방역선 통과 전 반드시 전실을 거쳐야 함
 - 전실내 샤워시설이 가능한 경우 샤워
 - 특정 의복과 신발 제공하며 반드시 환복
 - 돈사가 여러개인 경우 돈사별 작업복, 신발로 환복
 - 전실내 물품들은 상시 청소 및 소독

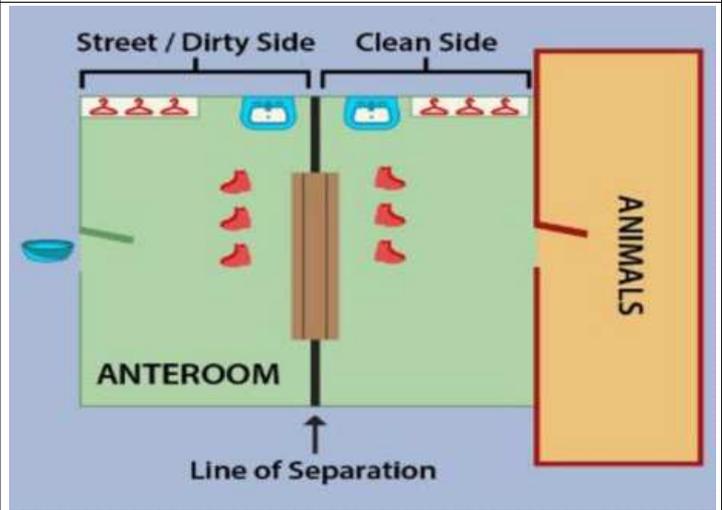


그림 2.71. 북미(미국, 캐나다) 방역시설 및 관리수칙 모식도.

- 해외 멧돼지 관련 연구사례 분석

1) 생태

- 중국에서는 무인센서카메라를 통해 멧돼지의 성별 및 연령 등급 구조를 파악한 결과, 2012년과 2014년 연령 구조는 아성체가 많았으며 성체, 새끼 순으로 사회구조가 형성됨. 반면 2015년에는 성체가 많았으며 아성체, 새끼 순으로 사회구조가 형성됨. 성별 구분은 성체에게만 수행한 결과 암컷의 비율이 수컷보다 컸음. 독립개체를 제외한 평균 그룹 크기는 월별로 다양했으며 9월에 3.3 ± 1.2 로 가장 컸음
- 멧돼지는 식물의 종자 분산, 농작물 피해 등 양면적인 영향을 줌. 특히, 먹이를 찾기 위해 땅을 헤집는 행동인 '루팅'은 식물 공동체를 교란시키는 주요 원인임. 미국 그레이트 스모키 산맥 국립공원의 경우, 멧돼지가 선호하는 초본식물 5종의 풍부도가 30%에서 1%로 감소함(Howe. T. D. and S. Bratton, 1976). 독일의 경우 가문비 나무(Picea abies) 농장에 멧돼지를 도입하여 경쟁적 식물 제거, 가문비 나무 재생 및 성장 강화 효과를 거둠(Brownlow. M.J.C, 1994). 멧돼지로 인해 동물이 받는 부정적인 영향은 다음과 같음. 미국 대륙발취속 북부짧은꼬리땃쥐 개체군의 감소, 스페인과 이탈리아 북부 조류 알 포식, 호주 잎벌레아목(Cephalia abietis) 포식으로 개체군 35.2% 감소, 호주 새끼 양 포식으로 1년간 새로 태어나는 새끼 양의 32%까지 영향을 미침(Singer et al., 1984; Marsan et al., 1990; Fuhrer and Fischer, 1991; Choquenot, 1996). 긍정적인 영향으로는 멧돼지를 포식하는 늑대, 호랑이, 들개, 황금독수리 등 대형 육식동물의 개체군 유지가 있음(Meriggi et al., 1996; Okarma et al., 1995; Stoen and Wegge, 1996; Meriggi et al., 1996; Roemer et al., 2002). 특히, 검은부리까치와 송장 까마귀의 경우, 멧돼지의 털 손질을 해주고 먹이를 얻어 먹는 공생관계가 발견됨(Messet. G. and P. Genov, 1995)

2) 피해 관리

- 미국에서는 멧돼지 피해 식별 및 관리를 파악하여 피해 관리 방법을 고안함. 멧돼지에 의한 피해를 식별하는 방법은 비교적 찾기 쉬우며 발자국, 비빈 흔적, 파헤친 흔적, 똥군 흔적, 배설물 등을 이용해 식별할 수 있음. 멧돼지를 관리하는 방법으로는 울타리 및 우회로, 덩 설치, 사냥, 독성 물질, 불임조절 등의 방법이 있음. 효율적으로 관리하기 위해서는 다양한 기술을 통합된 방식으로 사용하고 멧돼지의 개체수와 피해 관리에 대한 전후를 점검하는 것이 필요함

3) 기피제

- 스위스에서 멧돼지를 상대로 기피제를 연구함
- 첫 번째로 사용한 기피제는 Wildschwein-Stopp 에어로졸 스프레이이며, 포식자 냄새가 혼합된 불쾌한 냄새로 멧돼지를 억제하는 효과가 있다고 알려져 있음. 실험설계는 멧돼지가 자주 출몰하는 장소에 미끼를 설치하고 기피제를 뿌림. 실험 결과, 전체 연구기간 동안 총 453건 중 80건은 멧돼지가 출몰하였으며 이 중 92%는 미끼를 섭취했음. 따라서 냄새를 이용한 멧돼지 기피제는 멧돼지를 저지하는데 효과적이지 않았음

- 두 번째로 사용한 기피제는 Sucrosan이며 펠렛형태임. 해당 기피제는 냄새로 멧돼지를 유인한 뒤 섭취하면 불쾌한 경험을 하게 하는 미각 기피제로 아인산이 함유된 밀과 옥수수를 기반으로 만들어짐. 작물 재배지에서 실험되었으며 40일 동안 진행됨. 실험 결과, 미각 퇴치제인 Sucrosan은 피해 감소에 효과가 없었음
- 세 번째로 사용한 기피제는 마늘과 생강을 이용해 만든 식물성 수용액임. 토마토 작물 재배지에서 연구를 수행하였으며 짓밟음, 루팅, 작물 섭취로 피해를 관찰함. 실험 결과, 식물 추출액은 피해 감소에 효과가 있음을 보여줌

4) 경구 예방접종

- 스페인에서 ASFV 유전자형 II형에 대한 유라시아 멧돼지의 첫 경구 예방 접종 연구를 진행함
- ASFV 유전자형 II형은 유라시아 ASF 발병의 원인 균주로서 독성이 매우 강해 가축돼지와 멧돼지에서 100%의 사망률과 관련된 임상 형태를 유도함. 이 연구는 Lv17, WB, Riel 균주를 사용한 멧돼지의 경구 면역화가 악성 ASFV 유전자형 II형 분리주(Arm07)에 대한 공격으로부터 멧돼지를 얼마나 보호하는지 평가함. 실험 후 12마리의 백신 접종 및 바이러스 접촉 멧돼지 중 11마리가 생존. 단, 접종한 1마리는 항체반응을 보이지 않아 ASF 임상 반응을 보이며 폐사. 백신의 잠재적인 사용은 멧돼지 개체군에서 집단 면역력을 증가시켜 ASF 발생률을 줄일 수 있음

5) 휴대용 ASFV 검출기

- 중국에서는 현장에서 신속하게 ASFV 모니터링을 할 수 있는 휴대용 검출기 개발을 위해 연구함. RNA 유도 DNA 엔도뉴클레아제인 Cas12a는 collateral effect와 등온 증폭, 형광 판독을 결합해 신속하고 구체적임

6) 행동권

- 호주에서는 멧돼지의 행동권과 체질량, 개체군 밀도 사이의 상대적 관계를 알아보하고자 함. 수컷과 암컷 행동권 크기를 기하학적 회귀분석한 결과, 체질량이 증가함에 따라 수컷과 암컷 멧돼지의 행동권이 증가함. 성체 멧돼지의 행동권 크기는 성체 밀도가 증가함에 따라 감소함. 수컷과 암컷 행동권 크기 사이에 통계적 차이는 크게 없었으나, 행동권에 영향을 미칠 수 있는 성별 간 행동 차이가 있을 수 있음(암컷은 수컷보다 사교적인 경향이 있어 결과적으로 수컷보다 접촉률이 높을 수 있음(Choquenot et al., 1996))
- 독일에서는 멧돼지의 공간이용정보와 시공간적 변화를 유도하는 요인을 파악하고자 함. 전체 일일 MCP100 평균 $69.7 \pm 124.3ha$ 이며, 평균적으로 아성체(수컷)>성체(수컷)>아성체(암컷)>성체(암컷), 새끼 순으로 행동권을 보임. 4월에 일일 평균 범위가 50ha으로 좁은 행동권을 보였으며, 가을, 겨울철에 일일 평균 범위가 더 넓어짐. 또한, 평균 기온이 일일 행동권 크기에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었음

7) 감수성 야생동물

- 독일의 Probst는 2019년부터 2021년까지 3년간 야생 멧돼지 폐사체와 감수성 야생동물의 관계에 대한 연구를 진행함
- 첫 번째 연구(2019)는 청소부가 멧돼지 개체군 내에서 ASFV의 잠재적인 기계적 벡터로 간주되어야 하는지 여부를 결정하기 위한 과학적 근거 제공을 위해 연구를 수행함. 포유류 13종, 조류 9종을 포함하여 총 22종의 척추동물이 사체를 방문함. 포유류에서는 너구리(66%), 멧돼지(20%), 붉은여우(14%) 순으로 방문하였고, 조류에서는 큰까마귀(48%), 말뚝가리(39%), 흰꼬리수리(7%), 기타(7%) 순으로 방문함. 너구리와 붉은여우의 경우, 사체를 격렬하게 찢고 내장으로 빼내어 조각내서 옮기는 장면이 촬영됨. 또한, 큰까마귀가 부리에 작은 고기 조각을 물고 이동하는 것이 포착됨
- 두 번째 연구(2020)는 멧돼지 사체의 사후 간격 추정과 현장에서 발견되는 멧돼지 사체에 맞춤형된 체크리스트를 제안함. 멧돼지/가축돼지 비교, 햇빛/그늘/진흙탕에 노출된 새끼 멧돼지 간의 비교, 햇빛/그늘에 노출된 성체 멧돼지 간의 비교를 진행함. 연구 결과 가축돼지가 멧돼지보다 빨리 분해됨. 새끼와 성체 모두 햇빛, 그늘, 진흙탕 순서로 빠르게 분해됨. 멧돼지 사체는 가축 돼지에 비해 특정 조건에서 분해에 대한 저항성이 매우 높을 수 있음을 시사함. ASF에 감염된 동물은 종종 시원하고 습한 서식지에서 죽음을 선택한다고 보고됨. 물에서 발견되는 사체의 경우, 건조한 표면에서 발견되는 사체보다 보존율이 높음. 따라서, ASF에 오염된 사체가 습한 장소에서 오래 지속되는 잠재적인 감염원이라는 중요성을 나타냄
- 세 번째 연구(2021)는 멧돼지 개체군에서 ASF 역학을 보다 이해하기 위해 살아있는 멧돼지-멧돼지 사체 사이의 인터페이스에 대한 현장 데이터를 제공함. 멧돼지는 사체 옆, 아래의 토양에 관심을 보였으며, 멧돼지 방문의 약 1/3이 죽은 동종과의 직접적인 접촉으로 이어짐. 접촉은 주로 킁킁거리고 찌르는 행동. 사체의 골격화가 완료되면서 새끼 멧돼지가 맨 뼈를 섭식하는 것이 여러 번 관찰됨
- 멧돼지는 사체에서 나온 부산물에 의해 생성된 진흙에 눕는 행동을 보임. 대형 척추동물의 사체 분해는 '인'을 토양으로 흡수시켜 토양의 화학 및 국부적 변화를 일으킴. ASF에 오염된 사체 아래 및 주변 토양의 바이러스 부하를 멧돼지에서 ASF가 발생하는 지역에서 추가 조사가 필요함

8) AI 식별모델

- 브라질에서는 멧돼지 관리방안에 있어 중요한 멧돼지 개체군 모니터링을 위해 4개의 컨볼루션 신경망(AlexNet, VGG-16, Inception-v3, Resnet-50)을 이용하여 브라질 토종 멧돼지인 목도리페커리, 흰입술페커리를 외래종인 *Sus scrofa*와 분류함
- 4개의 모델 중 ResNet-50은 정확성과 가장 낮은 오차를 가지며, VGG-16과 Inception-v3의 경우, 유사한 행동과 외모를 가진 동물을 분류할 때 적합한 모델임을 입증함

9) 수렵

- 스웨덴에서는 GPS를 이용하여 암컷 멧돼지의 이동이 다양한 사냥법에 의해 어떠한 영향을 받는 지 알아보고자 함. 멧돼지가 피난처로 달아난 후의 움직임과 서식지 이용을 정량화 하고자 함
- 멧돼지는 사냥의 강도와 거리에 따라 도망치거나 숨는 반응을 보임. 사냥에 대한 반응 후 이동을 줄이고 몸을 감출 수 있는 서식지 이용이 증가함. GPS를 부착한 15마리 중 6마리만 다른 서식지로 이동하는 것을 보았을 때, 사냥에 의해 쉽게 기존의 행동권을 벗어나진 않음

10) 펜스

- 북미에서는 외국의 여러 비정부 기구와 야생동물기관이 정한 야생동물 친화적 울타리 지침에 따른 울타리 수정이 유제류에게 부정적인 영향을 미치는지 알아보고자 함. SAGR reflectors와 PVC pipe를 이용해 울타리 수정을 진행한 결과, 울타리 수정 전후의 횡단 확률의 감소는 관찰되지 않아 횡단에 부정적인 영향을 끼치지 않는다는 결과가 도출됨
- 일본에서는 기존 울타리(전기 울타리, 철조망 등)의 약점을 보완하는 새로운 물리적 방제법인 유제류 배제 쇠격자를 제안함. 발급크기와 모양에 따른 7가지 유형의 쇠격자를 설치 후 효율성을 평가함. 가장 효율성이 좋은 유형 5를 실제 도로에 설치해 테스트를 실행한 결과, 98.5%의 확률로 유제류의 통과를 억제함
- 호주에서는 feral pig를 대상으로 8가지 펜스 디자인의 효과를 연구함. 8가지의 펜스 디자인은 전기 유무, 격자, 와이어 간격, 와이어 디자인 등 다양하게 구성되어 있음. 실험 결과, 전기가 통하지 않는 경우 79.5%가 통과하였으며, 전기가 통하는 경우 11.6%가 통과해 전기가 통하는 디자인이 높은 효율성을 보임. 따라서 전기 울타리가 일반 울타리보다 훨씬 효과적임
- 동아프리카에서는 야생동물의 울타리 횡단의 경관 수준의 예측 변수 테스트 및 여러 요인의 울타리 횡단 행동에 대한 영향을 연구함. 케냐의 Nakuru에서 실시하였으며 공원 경계를 따라 울타리를 설치함. 무인센서카메라 설치 후 실험한 결과, 경관변수 중 토양유형이 영향을 미치며 강과 작은 수로를 통해 허점이 발생하며 우기와 건기에 따라 펜스가 손상되기도 함. 또한 횡단 행동 분석 결과, 유제류의 경우 몸크기, 낮시간, 다른 공원과의 인접성, 계절이 영향을 끼침
- EU에서는 ASF를 근절했거나 퇴치하는 과정에 있는 체코와 벨기에의 ASF 방역펜스에 대해 연구함. 첫 번째로 Transboundary fence를 이용해 단기적으로 직접 접촉에 의한 질병 전염을 효율적으로 줄임. 두 번째로 Focal fence를 이용해 감염이 감지되면 신속하게 감염지역을 정하고 펜스를 통한 감염지역 안팎의 멧돼지 개체 이동을 통제함. 체코의 경우 이러한 방법뿐만 아니라 멧돼지 사체 수거와 검사를 통한 수동적인 감시를 함께해 현재까지 ASF가 성공적으로 근절된 유일한 사례로 남음

표 2.14. 해외 멧돼지 관련 연구사례.

관련 분야	국가	저자	주제	연구내용
생태	중국	Guo et al. (2017)	Population dynamics and space use of wild boar in a tropical forest, Southwest China	- 멧돼지의 성별 및 연령 등급 구조 파악
	영국	Massei and Genov (2004)	The environmental impact of wild boar	- 멧돼지가 식물 및 동물에 미치는 영향 정리
	오스트리아	Vetter et al. (2020)	How climate change and wildlife management affect population structure in wild boars	- 기후 변화가 멧돼지 개체군 구조와 역할에 어떻게 영향을 미치는지 조사하기 위해 연령-체질량 하이브리드 Leslie 매트릭스 모델 개발
피해 관리	미국	Campbell and Long (2009)	Feral swine damage and damage management in forested ecosystems	- 멧돼지 피해 식별 및 관리를 파악, 피해 관리 방법 고안
기피제	스위스	Schlageter and Haag-Wackernagel (2012)	Evaluation of an odor repellent for protecting crops	- 멧돼지 기피제 연구 - Wildschwein-Stopp 에어로졸 스프레이, Sucrosan 펠렛형태, 마늘과 생감을 이용해 만든 식물성 수용액 등
경구 예방접종	스페인	Barasona et al. (2019)	First Oral Vaccination of Eurasian Wild Boar Against African Swine Fever Virus Genotype II	- Lv17, WB, Riel 균주를 사용한 멧돼지의 경구 면역화가 악성 ASFV 유전자형 II형 분리주(Arm07)에 대한 공격으로부터 멧돼지를 얼마나 보호하는지 평가
휴대용 ASFV 검출기	중국	Lu et al. (2020)	Rapid detection of African swine fever virus using Cas12a-based portable paper diagnostics	- 현장에서도 신속하게 ASFV 모니터링을 할 수 있는 휴대용 검출기 개발 연구 - RNA 유도 DNA 엔도뉴클레이스인 Cas12a는 collateral effect와 등온 증폭, 형광 판독을 결합해 신속하고 구체적임
행동권	호주	Saunders and Mcleod (1999)	Predicting home range size from the body mass or population densities of feral pigs, <i>Sus scrofa</i> (Artiodactyla:Suidae)	- 멧돼지의 행동권과 체질량, 개체군 밀도 사이의 상대적 관계 연구
	독일	Johann et al. (2020)	Variability of daily space use in wild boar <i>sus scrofa</i>	- 멧돼지의 공간 이용 정보와 시공간적 변화를 유도하는 요인 파악
감수성 야생동물	독일	Probst et al. (2019)	The potential role of scavengers in spreading african swine fever among wild boar	- 청소부가 멧돼지 개체군 내에서 ASFV의 잠재적인 기계적 벡터로 간주되어야 하는지 여부를 결정하기 위한 과학적 근거 제공
		Probst et al. (2020)	Estimating the Postmortem Interval of Wild Boar Carcasses	- 멧돼지 사체의 사후 간격 추정과 현장에서 발견되는 멧돼지 사체에 맞춤형된 체크리스트 제안
		Probst et al. (2021)	Behavior of free ranging wild boar towards their dead fellow: potential implications for the transmission of African swine fever	- 멧돼지 개체군에서 ASF 역할을 보다 이해하기 위해 살아있는 멧돼지-멧돼지 사체 사이의 인터페이스에 대한 현장 데이터를 제공

관련 분야	국가	저자	주제	연구내용
AI 식별모델	브라질	Silva et al. (2021)	Wild boar recognition using convolutional neural networks	- 멧돼지 관리방안에 있어 중요한 멧돼지 개체군 모니터링을 위해 4개의 컨볼루션 신경망(AlexNet, VGG-16, Inception-v3, Resnet-50)을 이용하여 브라질 토종 멧돼지인 목도리페커리, 흰입술페커리를 외래종인 <i>Sus scrofa</i> 와 분류
수렵	스웨덴	Thurfjell et al. (2013)	Effects of hunting on wild boar <i>Sus scrofa</i> behaviour	- GPS를 이용하여 암컷 멧돼지의 이동이 다양한 사냥법에 의해 받는 영향 연구
펜스	북미	Jones et al. (2020)	Evaluating Responses by Sympatric Ungulates to Fence Modifications Across the Northern Great Plains	- 외국의 여러 비정부 기구와 야생동물기관이 정한 야생동물 친화적 울타리 지침에 따른 울타리 수정이 유제류에게 미치는 영향 연구
	일본	Takeshi et al. (2020)	Ungulates-exclusion grates as an adjoining facility to crop damage prevention fences	- 기존 울타리(전기 울타리, 철조망 등)의 약점을 보완하는 새로운 물리적 방제법인 유제류 배제 쇠격자를 제안
	호주	Jim and Bill (1983)	Evaluation of Fencing to Control Feral Pig Movement	- feral pig를 대상으로 8가지 펜스 디자인 효과 연구
	동아프리카	Wilkinson et al. (2021)	Quantifying wildlife responses to conservation fencing in East Africa	- 야생동물의 울타리 횡단의 경관 수준의 예측 변수 테스트 및 여러 요인의 울타리 횡단 행동에 대한 영향 연구
	EU	Jori et al. (2021)	Management of wild boar populations in the European Union before and during the ASF crisis	- ASF를 근절했거나 퇴치하는 과정에 있는 체코와 벨기에의 ASF 방역 펜스 연구

❖ 야생멧돼지 관련 주요 가축전염병 병원체 특성 파악

○ ASF 병원체 특성 연구

(1) 연구 내용

- 병원체 특성을 고려하여 야생멧돼지로부터 농가로의 병원체 유입 가능성 분석
- 아프리카 돼지열병 확산에 대한 대응방안 마련을 위해 야생 멧돼지 사체를 이용하여 삼척 지역에서 겨울철과 여름철 사체에 접근하는 감수성 야생동물 모니터링 진행

(2) 연구 방법

- 가축전염병 병원체 특성 분석
- 야생멧돼지의 가축전염병 감염정도와 분포, 잠복기, 재생산수 등 분석하여 각 병원체의 특성을 파악한다.

(3) 연구 결과

- 아프리카돼지열병 감염 정도 및 분포
- 아프리카돼지열병(ASF; African swine fever)은 가축 돼지와 야생 멧돼지에서 높은 치사율을 보이는 바이러스성 출혈성 질환으로 세계동물보건기구(OIE; World Organization for Animal Health) 관리대상 질병이자 국내 제1종 가축전염병으로, 제한된 숙주 범위와 인수공통감염병이 아님에도 전 세계적으로 사회·경제적 영향이 높으나 현재 상용화된 백신이 없기 때문에 통제 조치는 엄격한 위생 관리에 의존한다.
- ASFV는 정상적으로 입이나 비강을 통해 체내에 유입되지만, 그 외에도 피부 및 피하를 통해, 진드기에 물려서, 또는 흙을 파헤치는 동작을 할 때 들어가는 경우도 존재함. 과거에 비발생 지역으로 바이러스가 유입된 경로는, 특히 공항만에서, 열처리되지 않은 돼지고기 잔반을 돼지에 급여하여 발생한 경우가 보고된 바 있다.
- 직접 전파; 감염된 동물이 건강한 동물과 접촉할 때 발생한다. 국내 전파에서는 야생멧돼지가 주요 전파 요인임. 감염성이 있는 침, 호흡기 분비물, 오줌과 분변에 바이러스가 대량 존재함. 돼지가 죽은 후에도 혈액과 조직에 바이러스가 존속할 수 있다. 부검 중 또는 돼지들끼리 싸우는 중에 흘린 피, 혈액이 섞인 설사 등으로 인해 환경에 바이러스가 대량으로 오염될 수 있다.
- 간접 전파; 환경에 저항성이 강한 ASFV가 오염된 차량, 사료 및 도구 등의 비생체접촉매개물에 의해 바이러스가 전파될 수 있다. 장거리 간접 전파 방법 중 한 가지는 열처리하지 않은 돼지고기 산물로 오염된 잔반을 돼지에 급여하는 관행으로, 감염된 개체에서 유래한 돼지고기 등을 돼지에 급여하면 질병이 전파될 수 있다.
- 매개체 전파; ASFV에 감염된 물렁진드기가 돼지를 흡혈하여 바이러스를 전달함. 감염된 진

드기는 다른 진드기나 자손 진드기에게 바이러스를 전달할 수 있으며, 돼지 농가 내에서 ASFV를 유지하고 전파하는 물렁진드기의 역할은 아프리카와 이베리아반도에서 자주 증명된 바 있음. 모기 등의 흡혈 곤충도 ASFV를 기계적으로 전파할 수 있다.

- ASF는 2007년 아르메니아, 아제르바이잔, 러시아, 벨로루시 등 주변 국가로 점차 확산되었고, 2014년에는 유럽연합(EU) 국가들이 가축 폐사로 인한 손실을 가장 크게 입은 것으로 파악됨. 아시아대륙 최초 ASF 사례는 2018년 8월 중국에서 발생했으며 가축 돼지에만 영향을 끼쳤다. 2019년 1월에 시작된 ASF는 남아시아에서 동남아시아로 대대적으로 보고되었으며 국내 첫 발생은 2019년 9월 멧돼지와 가축 돼지에서 보고되었다. 가장 최근에 발생한 ASF는 2022년 1월 태국에서 보고되었으며 역시 가축 돼지에서 보고되었으며, 이와 같이 ASF는 새로운 지역에서 감지 및 진단되면 다른 인접 지역으로 전파될 위험이 높다.
- 최근 OIE 정보에 따르면 2021년 7월 도미니카 공화국에서 ASF가 확인됨에 따라 미주 대륙에 40년만에 ASF가 상륙하여 근절 필요성이 더욱 시급해짐. 이탈리아에는 ASF 유전자형 II가 신고되었다.

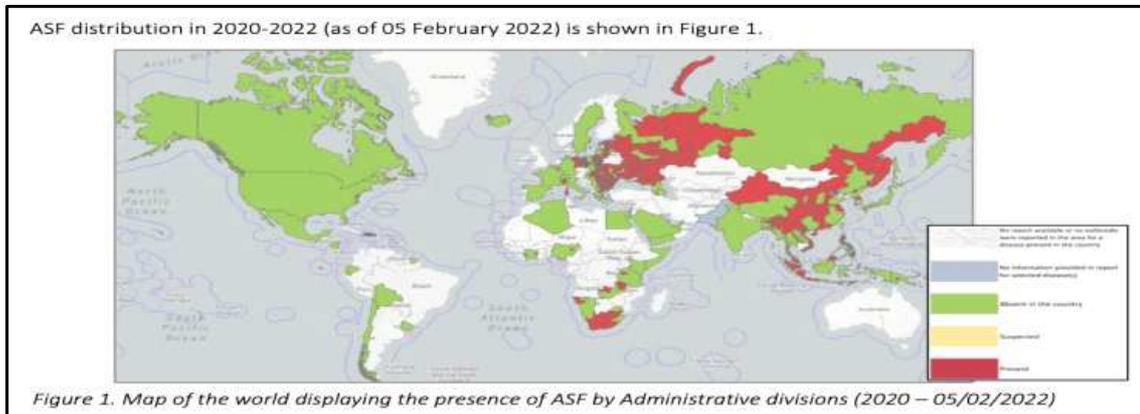


그림 2.72. 2020년부터 2022년까지 ASF 전 세계 현황(출처: OIE WAHIS).

- 국내의 경우, 2019년 9월 17일 경기도 파주시에서 처음으로 발생하여 이후 지속해서 경기도 파주시, 연천군, 포천시, 강원도 철원군, 화천군, 춘천시, 양구군, 인제군, 고성군에서 발생하였다. 발생 건수는 2019년 10~12월에는 하루 평균 0.6건이었다가 2020년 1~4월에는 하루 평균 4.4건으로 증가함. 5월 이후에 하루 평균 1.1건으로 감소하는 양상을 보였다. 1~4월에 크게 하루 평균 발생 건수가 높아진 이유는 겨울철 먹이 경쟁과 교미로 인한 접촉이 늘어나면서 개체 간 전파가 빨라졌기 때문으로 분석되며, 발생지역 역시 2019년 10~12월에 경기도 파주시, 연천군, 강원도 철원군의 민통선 또는 인접 지역에 한정됐으나 2020년 1~4월에 강원도 화천군, 양구군, 고성군으로 확대됨. 멧돼지 폐사체 또한 강원도, 경기도 등에서 지속적으로 관찰되고 있다.



그림 2.73. ASF에 대한 4개의 중점 방역 지구(critical control zones, CCZ)(출처: Yong-Joo Kim, 2021).

- 아프리카돼지열병 잠복기 및 재생산수

- 2019-2020년도와 2020-2021년도 두 해의 ASF 감염 야생멧돼지 순증식률(R_0 ; net reproductive rate)(Marcon et al., 2020)은 전년도(1.168)에 비해 금년도(1.084)는 다소 낮아졌다.

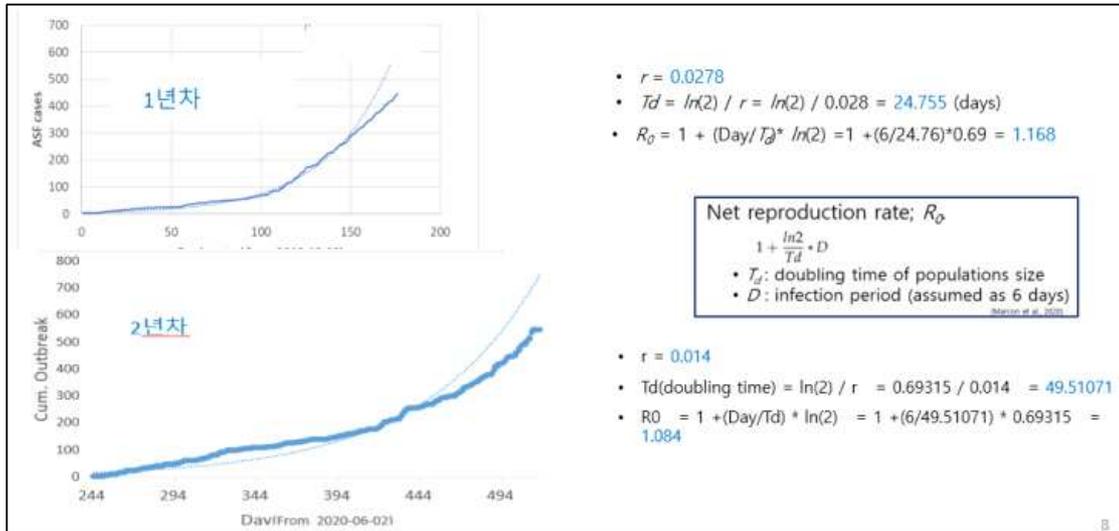


그림 2.74. 감염 ASF 감염 주적개체수에 따른 개체군 증가율 및 야생멧돼지 순증식률(R_0 ; net reproductive rate).

- 이는 금년도의 개체군 배가기간(doubling time; T_d)(49.5일)이 작년도의 배가기간(24.8일)보다 길어졌고 금년도의 감염 개체군증가율(0.014)이 작년도의 증가율(0.028)보다 낮아졌기 때문이라 판단된다.
- 이는 위 그림에서 보듯이 2차 대발생의 경우 감염 시작 후부터 정점을 보이는 기간이 길었기 때문에 여겨지며, 2차 발생 기간의 경우 주로 동쪽으로 분산되었기 때문에 이러한 공간적 분산이 낮은 순증식률과 연계될 수 있는지 검토해 볼 필요가 있다. 아울러 증가 기간의 길이에 따라 순증식률이 달라질 수 있으므로 증가 시점에 대해서도 더 검토해볼 필요가 있다고 여겨진다. 순증식률은 외국(예, 1.65 - 1.95; Marcon et al., 2020)의 유사한 경우에 비해 다소 낮았는데, 야생개체군 증가율, 사체 발견 효율, 공간 확산 양상 등과 관련이 있는 것으로 사료된다.
- 감염된 돼지는 감염된 바이러스의 병원성에 따라 심급성형(peracute), 급성형(acute), 아급성형(subacute), 만성형(chronic)으로 구분한다.
- 심급성형 : 돼지는 아무런 전조증상 없이 폐사하고 폐사 돼지가 발견되고서야 파악하는 경우가 있으며, 돼지가 옆으로 누는 횡와 자세를 보인다. 체강의 출혈과 체액 저류 이외에 병변은 거의 관찰되지 않는다.
- 급성형 : 지속해서 42°C 이상의 고열을 보이며, 원기가 없고 식욕부진이 있다. 발열 때문에

돼지는 그늘과 물을 요구하고 무리 지어 겹쳐져 있으며, 운동을 싫어하고 피부가 흰 돼지에서는 귀나 복부, 뒷다리에 청색증이 관찰됨. 농양(고름) 또는 점액 모양의 눈곱과 콧물을 보일 수 있다. 또, 복통에 의해 등을 활처럼 구부리는 증상도 보이며, 거동 불안 및 옆구리를 찌는 이상 운동을 일으키기도 한다. 구토는 일반적인 증상 중 하나이며, 점액 혈변 또는 피 섞인 설사 때문에 돼지 꼬리나 회음부가 더러워진다. 반대로 변비가 될 수도 있다. 보통 뒷다리의 운동 실조를 동반고, 호흡 곤란으로 입 및 콧구멍에는 가끔 출혈성 거품 액체가 보인다. 많은 증례에서 인정되는 주요 폐사 원인은 폐부종에 의한 것으로, 더 오래 살아남은 돼지가 경련 등 신경 증상을 나타낸다. 점막이나 피부에는 점상 출혈이 보임. 임신 중인 돼지는 임신 시기에 상관없이 유산이 일어나며, 임상 증상의 경과는 일반적으로 2~7일로 짧지만 이보다 긴 것도 있다. 회복된 것처럼 보여도 재발하여 폐사로 이어지는 경우가 있으며, 치사율은 100%에 가깝고, 울혈성 비장비대증, 림프샘 출혈 종대, 각종 장기에 점상 출혈이 관찰된다.

- 아급성형 : 병원성이 약한 바이러스주의 감염에 의한 것임. 돼지는 급성형에 비하여 더 장기간 살아남음. 고열이 떨어지면 반대로 일반 증상이 악화할 수 있음. 일반적으로 습성 기침을 동반한 만성 호흡기 증세를 특징으로 하는 간질성 폐렴을 일으키며 세균의 2차 감염도 동반할 수 있음. 관절은 붓고 통증 때문에 절뚝거리게 됨. 폐사까지의 기간은 수 주일에서 수개월임. 감염 돼지가 일단 회복하여 만성으로 이행하는 때도 있음. 폐사 원인은 급성 혹은 만성 심장 기능 부전에 의한 것임.
- 만성형 : 돼지 피모가 길고 거칠어지며 현저하게 발육 불량이나 나타남, 폐렴 증상이 현저하고 절뚝거림과 피부 궤양이 보인다. 세균의 2차 감염이 일어나면 몇 달간은 살아남지만 결국 폐사한다.

- 아프리카돼지열병 유전체 특징

- 이러한 ASF의 원인체는 African swine fever virus (ASFV)임. Asfarviridae 과(family), Asfivirus 속(genus)에 속하는 dsDNA임 (Alonso et al., 2018). 2019년 ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses)에서 발간한 명명법에 따라 Asfarviridae 과(family)는 Pokkesviricetes 강(class), Asfuvirales 목(order)에 포함되었었다.
- 비리온(virion)은 매우 복잡한 구조를 지니고 전체 직경은 175-215 nm이고, 여러 개의 원형 도메인을 지닌 정20면체 형태이며, 주요 게놈이 핵상물질을 갖는 내부 코어(핵단백 코어로 지름 70-100nm)을 이루고 이는 다시 코어셸(core shell)이라 불리는 두꺼운 단백질 층으로 둘러싸여있다. 이러한 중심부를 내부 지질막이 감싸고 있으며 세포 내 비리온의 가장 바깥쪽 층은 1892-2172 캡소머(capsomer)를 갖는 정20면체 캡시드(capsid)이다. 세포 외 비리온은 바깥쪽에 추가적인 막을 갖는데 이는 바이러스 buds가 원형질막으로부터 사출될 때

얻어진 것이나, 감염성에 있어 이런 막이 필요한지는 아직 불명확하다.

- ASFV 게놈은 바이러스주에 따라 151 내지 167 개의 오픈 리딩 프레임을 포함하는 170-190 kbp의 이중가닥 DNA 분자로 이루어짐. 게놈의 말단부는 말단 역반복을 보이고 헤어핀 고리를 가진다. 게놈은 바이러스 합성, DNA 복제 및 수선에 관여하는 다양한 단백질을 암호화하며, 나아가 면역 조절, 예를 들면 인터페론 I형이나 세포사멸 경로의 간섭에 관여하는 단백질도 암호화하는 것으로 알려져 있으나 현재 대략 반 정도의 ASFV 유전자의 기능이 불명이다.
- ASFV의 게놈은 좌측 가변 부위(left variable region, 38-48 kb), 중심 보존 부위(central conserved region, 대략 125 kb), 우측 가변 부위(right variable region, 13-22 kb)로 나뉘며, 각 바이러스 균주별로 중심 보존 부위의 중심 가변 부위, 좌측 가변 부위의 다유전자 군과 EP402R(CD2v 단백질을 발현함) 유전자 등 이와 같은 중요 위치에서 유의한 차이를 보인다. 이러한 가변 부위는 ASFV의 진화 분석에 매우 중요함. B646L 유전자의 C-터미널 말단부는 주요 단백질인 p72를 암호화하는데, 이를 비교분석하여 바이러스의 분리주를 24개 유전자형 중 하나로 분류할 수 있다.
- 바이러스 분리주는 EP402R 유전자에서 암호화하는 CD2v 단백질의 계통학적 분류를 통해 8개의 혈청군으로 분류된다. 이러한 방법은 ASFV 바이러스주의 분석을 비교적 신속하고 간편하게 하며 혹여 새로운 지역에 바이러스가 유입되었을 때 ASFV의 출처를 규명하는 가장 첫 번째 접근법이 되며, 나아가 중심 가변 부위, E183L 유전자와 같은 시퀀스를 분석하는 것은 ASFV의 분자역학적 분석력을 향상시켜준다.
- p72/VP73 (B646L) 유전자형 분석: ASFV의 유전자형 분석에 있어 가장 첫 번째 타깃이 되는 유전자 중 하나는 주요 캡시드 단백질을 암호화하는 유전자(p72, VP73 혹은 B646L)이다. 2007년 Boshoff 등이 1973년부터 1999년까지 남아프리카에서 분리한 43개의 ASFV로 비교분석을 수행하고 6개의 새로운 유전자형을 발견하였으며 ASFV를 22개의 유전자형으로 분류하였다. Achenbach 등은 2017년에 2011년에서 2014년까지 에티오피아에서 분리한 ASFV의 B646L 유전자에서 진화를 분석하였으며 23번째 유전자형을 규명하였다. Quembo 등은 2018년에 모잠비크의 물렁진드기 표본으로부터 19개의 ASFV 바이러스주를 분리하였고, 이를 통해 5개의 바이러스가 새로이 진화적으로 분기되었다는 것이 발견되었으며 24번째 유전자형으로 지정되었다. 현재 일반적으로 ASF 유전자형은 p72 유전자형을 가리킨다.
- CVR (9RL/B602L) 유전자형 분석: 일반적 유전자형 분류 방법이 B646L 유전자를 이용한 방법이기 는 하나 이러한 방법이 적합하지 않을 때에는 B602L 유전자의 CVR에 대한 접근으로 높은 유전자형 해상도를 얻을 수 있다. CVR 분석은 근연 관계의 ASF 분리주를 구별하는 데에 폭넓게 이용되기는 하나 유전적 다양성이 낮다.
- p54 (E183L) 유전자형 분석: p54를 암호화하는 유전자인 E183L은 표준 p72 유전자형 분석에서 해상도를 높여준다. 그러나 이러한 E183L 유전자 내 차이는 p72 분석 및 CVR 분석과 비교할 때 유의하지 않기 때문에 p54 분석은 ASFV의 계통학적 분석에서 오직 보조적 지수

로써 이용된다.

- 기타 유전자형 분석 방법: 동일한 지역 내 진화적으로 흡사한 ASFV 분리주 사이의 진화적 경향성을 평가하고자 할 때는 다른 방법을 사용할 수 있다. p30을 암호화하는 CP204L 유전자에 대한 분석을 포함하여 CD2v 암호화 유전자(EP402R), 티미딘키나아제(thymidine kinase) 유전자, J268L, Bt/Sj, KP86R, O174L 유전자, I73R 및 I329L 사이의 유전자간부위 내 탠덤 반복 서열(tandem repeat sequences), C315R/C147L 부위의 추가적 평가에 의한 다른 유전자형 분석 방법이 확립되었다.

표 2.15. 2019년 국내 ASFV 검출 분리주 현황.

	이름	장기	PCR G Value	HAD	p72 유전자형	IGR _{I173R-I329L}	CVR Type	IGR _{MGF505-9R10R}
1	Korea/Pig/Paju1/2019	비장	17.1	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
2	Korea/Pig/Yeoncheon1/2019	비장	17.2	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
3	Korea/Pig/Gimpo1/2019	혈액	15.4	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
4	Korea/Pig/Paju2/2019	비장	15.3	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
5	Korea/Pig/Ganghwa1/2019	혈액	13.3	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
6	Korea/Pig/Ganghwa2/2019	혈액	15.4	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
7	Korea/Pig/Ganghwa3/2019	혈액	15.5	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
8	Korea/Pig/Ganghwa4/2019	혈액	16.0	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
9	Korea/Pig/Ganghwa5/2019	비장	17.6	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
10	Korea/Pig/Paju3/2019	비장	18.1	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
11	Korea/Pig/Paju4/2019	혈액	15.4	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
12	Korea/Pig/Paju5/2019	비장	16.4	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
13	Korea/Pig/Gimpo2/2019	비장	18.1	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
14	Korea/Pig/Yeoncheon2/2019	혈액	15.5	양성	II	IGR-II	CVR1	MGF-1
15	Korea/19S5464/wb/2019	.	.	.	II	IGR-III	.	.
16	Korea/19S804/wb/2019	.	.	.	II	IGR-II	.	.
17	Korea/19S3965/wb/2019	.	.	.	II	IGR-I	.	.
18	Korea/19S3646/wb/2019	.	.	.	II	.	.	.
19	Korea/19S3645/wb/2019	.	.	.	II	.	.	.
20	Korea/19S3404/wb/2019	.	.	.	II	.	.	.
21	Korea/19S1676/wb/2019	.	.	.	II	.	.	.

- 국내 2019년 분리된 분리주를 phylogenetic tree로 나타냈을 때 p72 genotype II 형에 다수 속함.

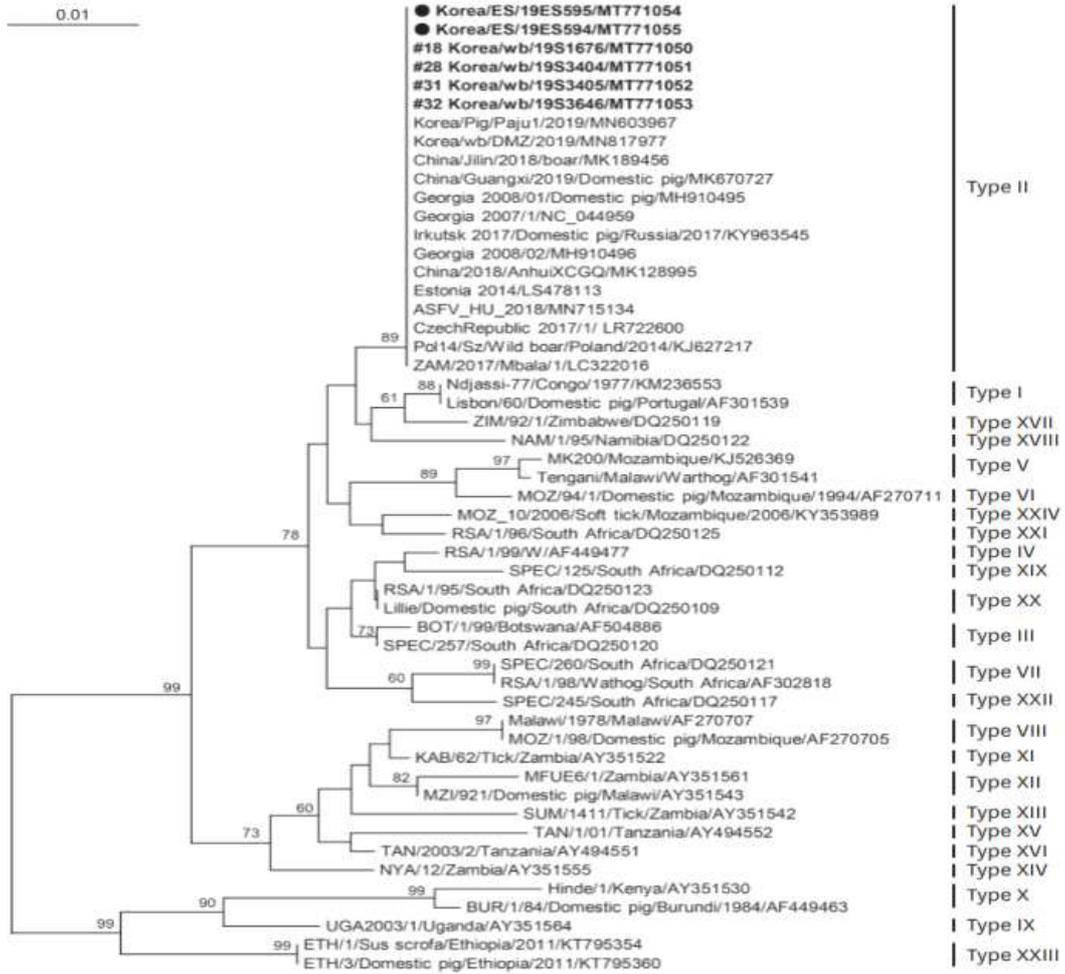


그림 2.75. ASFV의 genotypes 분석 결과(Kyung-Lak Lee, 2021).

○ 야생멧돼지 가축전염병 감수성 야생동물 연구²⁾

(1) 연구 내용

- 병원체 특성을 고려하여 야생멧돼지로부터 농가로의 병원체 유입 가능성 분석
- 아프리카 돼지열병 확산에 대한 대응방안 마련을 위해 야생 멧돼지 사체를 이용하여 삼척 지역에서 겨울철과 여름철 사체에 접근하는 감수성 야생동물 모니터링 진행

(2) 연구 방법

- 연구대상지

- 연구대상지는 강원도 삼척시 근덕면 동막리 산 일대(12,263,506㎡) 중 총 3개 지점을 선정하였다(그림 2.76).
- Sites 1(N37.31942, E129.21488)은 소나무(Pinus densiflora)가 주요 수종인 침엽수림으로 이루어져 있고, Sites 2(N37.30531, E129.22467)는 침활혼효림, Sites 3(N37.30749, E129.22203)는 기타활엽수로 이루어진 활엽수림을 이룬다.
- 세 지점 모두 경급은 중경목, 영급은 5영급의 천연림이다.

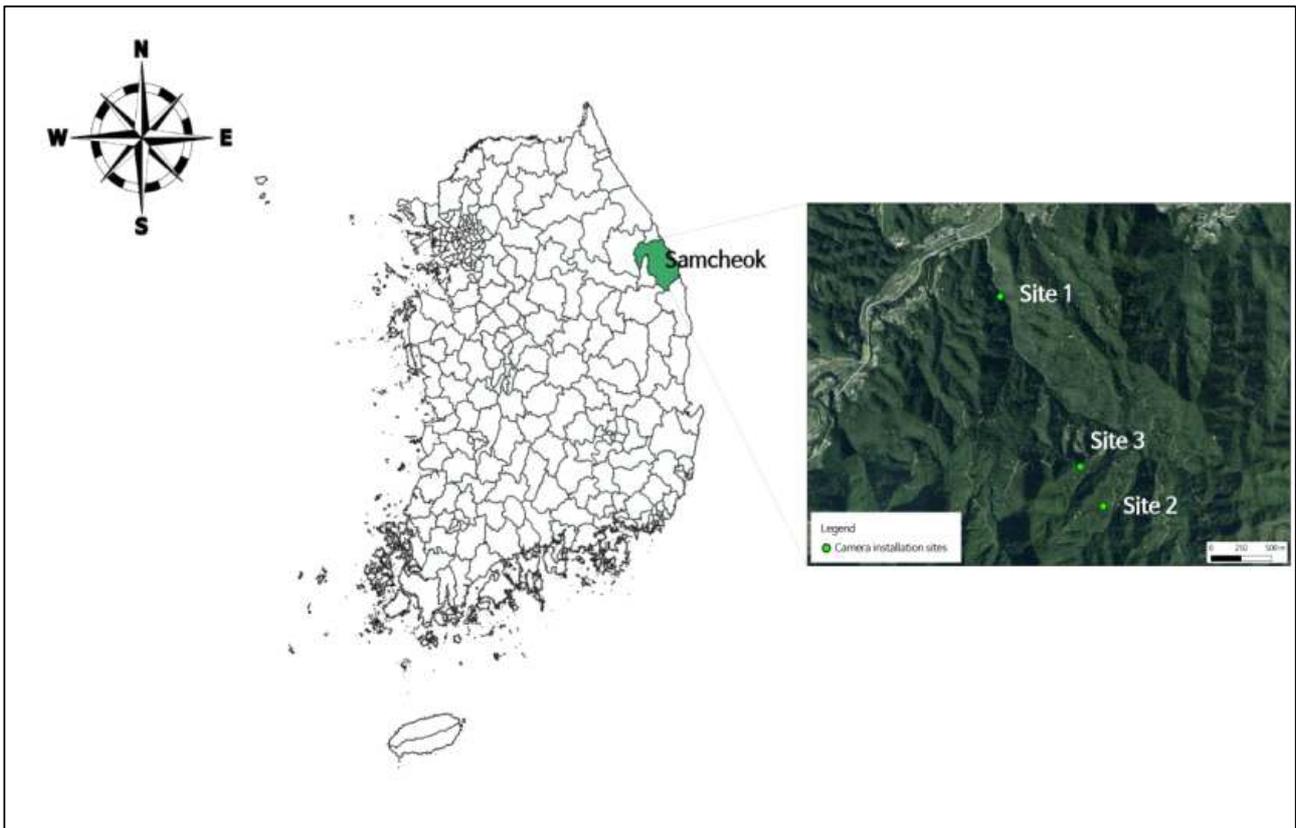


그림 2.76. 연구 대상지(삼척).

2) 본 연구는 강원도 삼척시의 도움을 받아 연구를 수행하였다.

- 멧돼지 사체

- 겨울철과 여름철의 야생멧돼지 폐사체 확보를 위해 2020년 12월 14일, 2021년 6월 28일 2차례에 걸쳐 야생생물관리협회 삼척시지회 업무에 의해 삼척에서 포획된 멧돼지 폐사체를 수집하였다(표 2.16).

표 2.16. 포획 멧돼지 사체 정보.

계절	Site	체중 (kg)	성별	연령	사체 포획 일자
겨울	1	80	암컷	성체	2020-12-14
	2	80	암컷	성체	2020-12-14
	3	80	암컷	성체	2020-12-14
여름	1	40	암컷	아성체	2021-06-28
		40	암컷	아성체	2021-06-28
	2	120	수컷	성체	2021-06-28
	3	80	수컷	성체	2021-06-28

- 여름철 Site 1의 경우, 야생멧돼지 성체 폐사체 확보가 어려워 아성체 폐사체 2마리를 한 지점에 배치하였다.
- 멧돼지는 업무에 의해 총기 포획하였고, ASFV 정밀검사 결과 음성으로 확인된 후 연구사이트로 이동해 진행하였다. 사체는 포유류, 조류 및 무척추동물이 제한 없이 접근할 수 있도록 숲 바닥에 배치하였다. 또한, 감수성 야생동물에 의해 카메라 시야 밖으로 이동되는 것을 방지하기 위해 각 카메라 설치지점 나무 밑동에 밧줄로 묶어 고정하였다(그림 2.77).



그림 2.77. 설치된 3대의 센서 카메라(좌)와 센서카메라 모식도(우).

- 무인 센서 카메라

- 조사 기간은 2020년 12월 15일부터 2021년 7월 14일까지 총 212일이며, 모든 사체가 청소부 또는 무척추동물에 의해 완전히 분해되고 뼈와 가죽만 남을 때까지 관찰되었다(Probst et al., 2017).
- 겨울철(2020.12.15.~2021.02.03.)과 여름철(2021.06.29.~07.14.)에는 야생멧돼지 폐사체를 배

치하여 사체에 접근하는 감수성 야생동물을 관찰하였고, 봄철(2021.02.03.~06.29.)에는 지역 내 서식종을 알아보기 위해 사체를 제거하고 5개월간 무인 센서 카메라를 운용하였다.

- 지점별 3대씩 총 9대의 무인 센서 카메라를 설치하여 촬영하였다(그림 2.77).
- 무인 센서 카메라 모델은 Natureone의 BTC-6PXD, Browning의 BTC-5HD PX, Browning의 BTC-8A 를 이용하였다.
- 카메라 사진 촬영 설정은 2대는 동영상, 1대는 사진으로 설정하였다.
- 동영상 카메라는 30초간 촬영하며 delay time은 1분, 사진 카메라는 연속적으로 3장이 촬영 되도록 설정하고 delay time은 1분으로 설정하였다.
- 사체를 배치한 겨울철과 여름철에는 1개월을 주기로 카메라 점검을 하였으나, 사체를 배치하지 않은 봄철에는 별도의 메모리 카드 및 배터리 교체 없이 5개월간 운용하였다.

- 데이터 분석

- 분석 대상은 같은 지점에 설치한 3대의 카메라를 비교하여 체류시간이 긴 데이터, 동영상 데이터, 사진 데이터 순으로 이용하였다. 분석 시 30분 이내에 같은 종이 2회 이상 촬영된 것은 중복으로 고려하여 합산하지 않았다(Treves et al., 2010). 종별 체류시간 계산은 동영상의 경우, 연속된 파일의 출현 시간을 합산하였고, 사진의 경우는 처음 촬영된 시간과 마지막 촬영된 시간 차이를 계산하였다.

(3) 연구 결과

- 지점별 서식종 출현 수

- 연구사이트 내 서식종을 알아보기 위해 2021년 2월 3일부터 6월 29일까지 약 5개월간 카메라를 운용한 결과, 포유류 11종(고라니, 고양이, 개, 너구리, 노루, 다람쥐, 담비, 멧돼지, 산, 오소리, 족제비), 조류 13종(검독수리, 곤줄박이, 들꿩, 되지빠귀, 딱새, 멧비둘기, 붉은배지빠귀, 쇠박새, 오색딱다구리, 큰부리까마귀, 큰오색딱다구리, 호랑지빠귀, 흰배지빠귀)이 출현하였다(그림 2.78).
- Site 1에서는 되지빠귀(29회), 흰배지빠귀(23회), 너구리(15회) 순으로 조류가 비교적 출현 수가 높게 나타났다. Site 2에서는 멧돼지(73회)가 상대적으로 잦은 출현 수를 보였고, 다람쥐(14회), 들꿩(10회) 순으로 출현 수가 높았다. Site 3에서는 붉은배지빠귀(45회), 큰부리까마귀(15회), 멧비둘기(12회) 순으로 조류의 출현 수가 비교적 높게 나타났다.
- 출현 종 풍부도는 Site 2(총 18종; 포유류 10종, 조류 8종) > Site 3(총 17종; 포유류 8종, 조류 9종) > Site 1(총 11종; 포유류 7종, 조류 4종) 순으로 확인되었다.
- Site 1은 해발고도는 116m로 비교적 낮지만, 도로와 인접해있어 야생동물의 출현 종 풍부도가 낮게 나온 것으로 판단된다. Site 2, 3 두 지점에서 멧돼지의 출현이 확인되었고(Site 2=73회, Site 3=7회), Site 2의 경우, 상대적으로 잦은 출현 수를 보였다(그림 2.78).
- 멧돼지가 이용하는 비빔목은 해발 200~600m 사이에서 가장 많이 발견되는 것으로 알려져

있다(Lee and Lee, 2014). 각각 해발 311m, 339m에 위치하는 Site 2, 3 환경 특성상 멧돼지의 선호 환경에 해당하는 환경요인을 가진 것으로 고려해 볼 수 있다. 또한, Site 2는 침활훈효림, Site 3은 활엽수림으로 구성되어 있는데, 봄철 멧돼지 출산 시기인 5월에 에너지 확보를 위한 도토리 섭취 등 먹이 활동으로 잦은 출현 수를 보인 것으로 판단된다(Won, 1967; Yoon et al., 2002). 향후 이 두 지점에 대한 멧돼지 흔적 조사 및 행동권 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

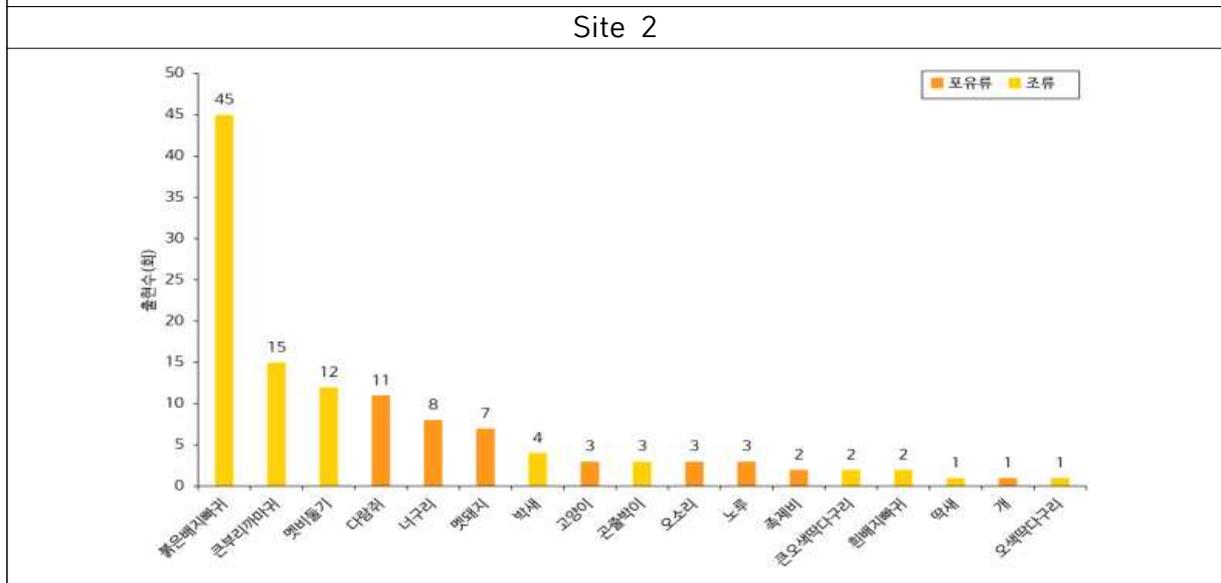
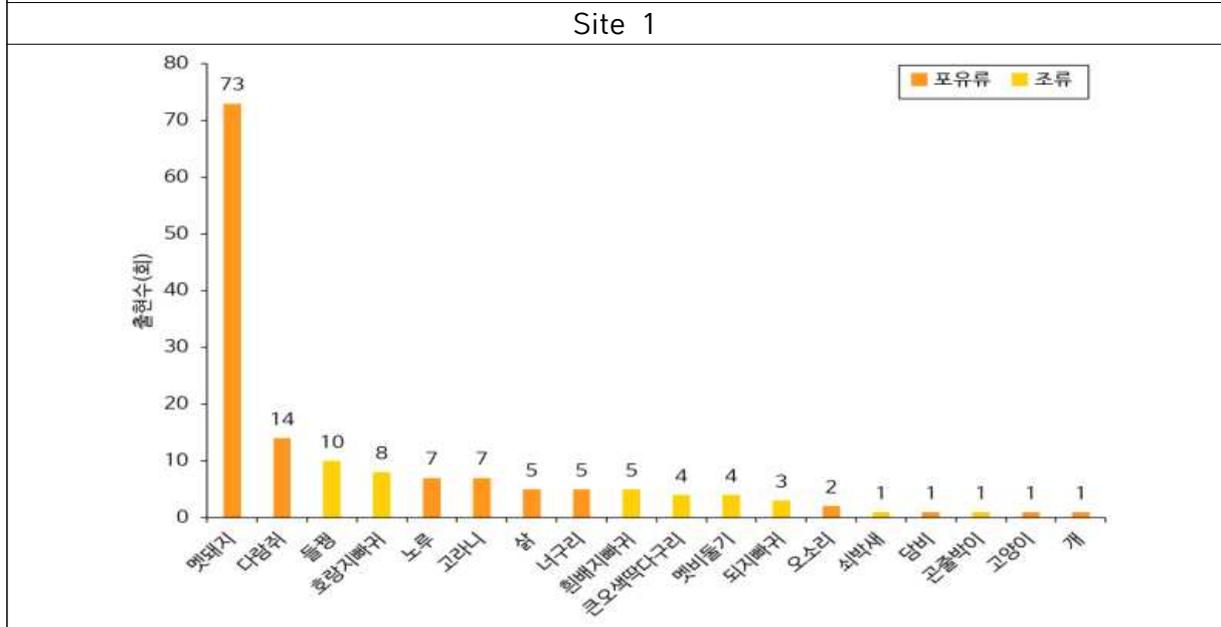
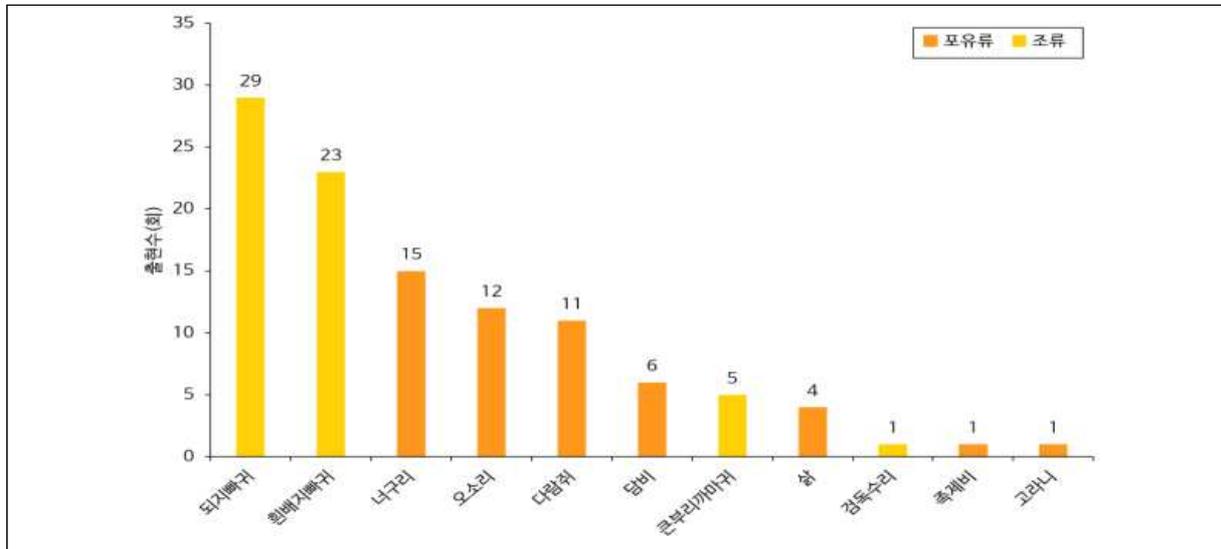
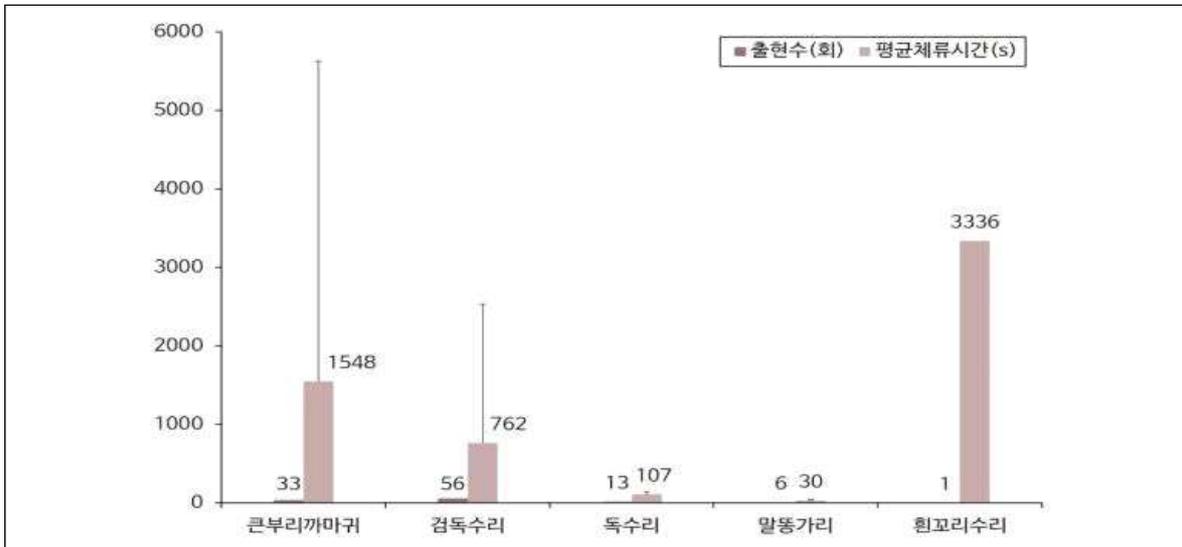


그림 2.78. 연구사이트 내 서식종 및 출현 수.

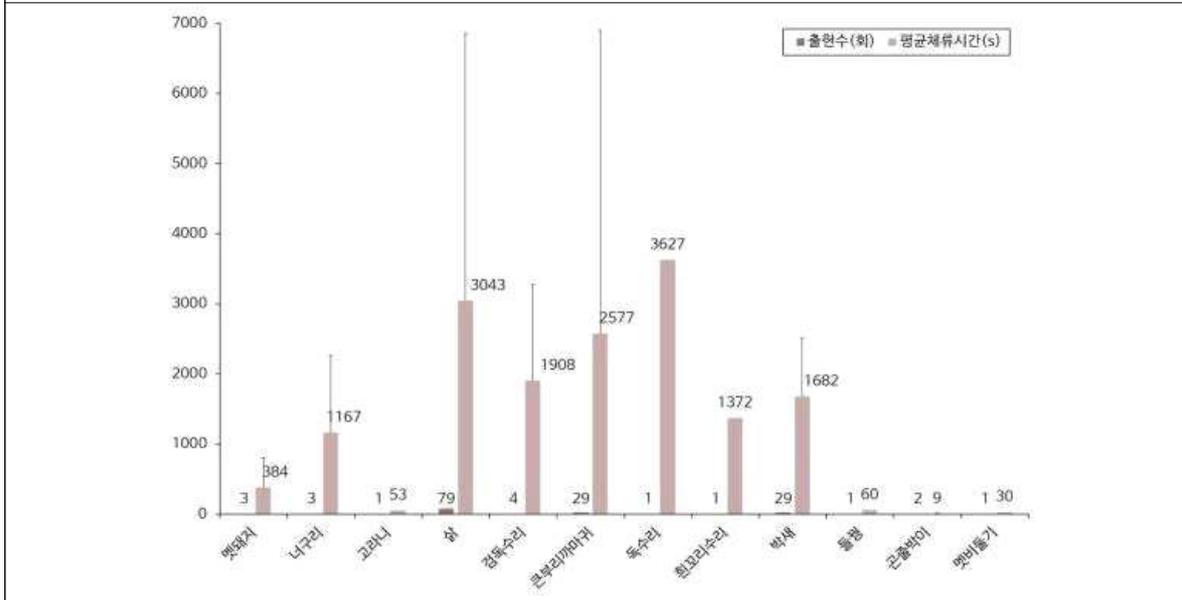
- 지점별 감수성 야생동물 출현 수 및 평균 체류시간

1) 겨울철

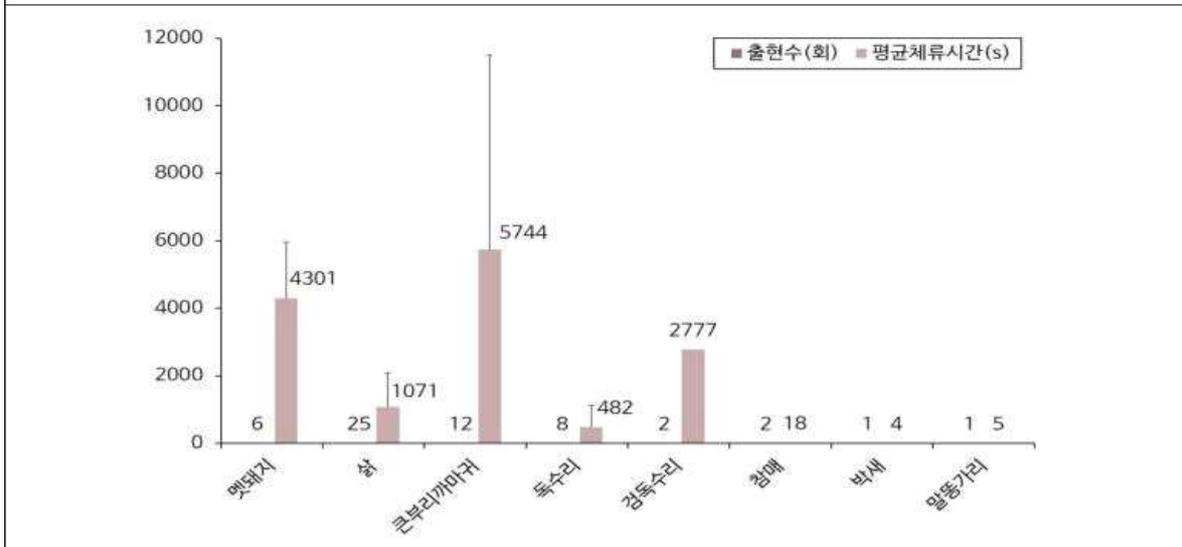
- 2020년 12월 15일부터 2021년 2월 3일까지 약 2개월간 겨울철 야생멧돼지 폐사체에 접근하는 감수성 야생동물을 확인하였다.
- 또한, 종별로 평균 체류시간을 분석하여 어느 종이 폐사체에 오랜 시간 머물러 질병의 감염 및 전파 확률이 높은지 확인하였다. 겨울철 가장 체류시간이 긴 종은 Site 1에서 흰꼬리수리(3336s=55.6min), Site 2에서 독수리(3627s=60.45min), Site 3에서 큰부리까마귀(5744s=95.73min)로 조류가 사체에서 비교적 오래 체류하였다. 겨울철 산림 개간지에서 멧돼지 폐사체를 최초로 발견하여 선점할 확률이 조류가 87%, 포유류가 13%로 나타난 선행 연구와 비교하였을 때, 일치하는 결과를 나타내었다(Probst et al., 2019). 비행하여 높은 고도에서 넓은 시야로 먹이를 사냥하는 조류의 특성상 겨울철 멧돼지 폐사체를 포유류보다 빠르게 선점한 것으로 분석된다.
- 포유류의 경우, Site 2에서 삶(3043s=50.72min), Site 3에서 멧돼지(4301s=71.68min)가 사체에 오래 머무른 것으로 나타났다. 삶의 경우, 너구리가 접근하지 못하게 내쫓는 등 사체를 점유하는 행동을 보였고(그림 2.80), 멧돼지의 경우, 아성체가 뼈를 섭식하는 장면이 확인되었다(그림 2.81). ASFV는 4°C의 혈액에서는 1년 이상, 척수에서 수개월 동안 생존 가능하다고 알려져 있다(Sanchez-Vizcaino et al., 2009; EFSA, 2014; CFSPH, 2015). 아성체 멧돼지가 호기심에 의해 뼈를 섭식하는 행동 특성은 ASF 전파 위험과 관련하여 중요한 문제이다. 뼈를 섭식하는 과정에서 혈액 및 척수와 직접적인 접촉이 발생할 경우, ASFV 감염 및 전파에 있어서 위험성이 증가되기 때문이다. 독일 지역에서 진행된 선행연구에서는 새끼 멧돼지가 뼈를 여러 번 섭식하는 것뿐만 아니라, 사체에서 나온 부산물에 의해 생성된 진흙 목욕장을 이용하면서 사체보다 사체 아래의 토양에 관심을 보이는 것으로 나타났다(Probst et al., 2017).
- 대형 척추동물의 사체 분해는 인(P)을 토양으로 흡수시켜 토양의 화학적 변화를 일으킨다(Carlson et al., 2020). 따라서 향후 ASF 발생 지역 내 사체 발견 지점의 주변 토양에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단한다.
- 본 연구를 통해 살아있는 멧돼지와 멧돼지 사체 사이의 인터페이스에 대한 현장 데이터를 확인하였으나 카메라 오류로 인한 연속적인 계절별 데이터 확보에 어려움이 있었다. 향후 계절별 사체 분해에 대한 변수 확인 및 분해 단계별 사체에 대한 멧돼지의 행동 특성 파악 연구가 추가적으로 필요하다.



Site 1



Site 2



Site 3

그림 2.79. 겨울철 멧돼지 사체에 접근하는 야생동물 출현수 및 평균체류시간.



그림 2.80. Site 2 지점에서 촬영된 너구리를 쫓아내고 사체를 점유하는 샷.



그림 2.81. Site 3 지점에서 촬영된 뼈를 섭식하는 아성체 멧돼지.

2) 여름철

- 2021년 6월 29일부터 2021년 7월 14일까지 약 15일간 여름철 야생멧돼지 폐사체에 접근하는 감수성 야생동물을 확인하였다.
- 또한, 각각 평균 체류시간을 분석하여 어느 종이 폐사체에 오랜 시간 머물러 질병의 감염 및 전파 확률이 높은지 확인하였다.
- 운영 기간이 겨울철에 비해 짧은 것은 덥고 습한 여름 기후와 무척추동물 등 분해자의 활발한 활동으로 인해 사체 부패가 빠르게 활성화되어 사체 분해 섬(Carcass decomposition

island, CDI, 그림 2.78)을 형성하였기 때문이다.

- 여름철 폐사체의 경우, 분해자에 의한 부패가 빠르게 진행되어 겨울철 평균 36.6일보다 4.82배 빠른 평균 7.6일 만에 사체가 골격화 되었다.
- 여름철 가장 체류시간이 긴 종은 Site 1, 2, 3 모든 지점에서 너구리로 나타났다(Site 1=1549s=25.82min; Site 2=1657s=27.62min; Site 3=1994s=33.23min).
- 너구리는 사체의 머리뼈를 끌고 이동하는 장면과 새끼(5개체)를 데려와 사체를 섭식하는 등 직접적으로 멧돼지 폐사체에 접촉하는 장면이 촬영되었다.
- 잡식성 중형포유류인 너구리는 설치류, 곤충, 과일뿐만 아니라 썩은 고기도 섭식하는 것으로 알려져 있다(Hwang, 2007).
- 멧돼지 폐사체 근육 섭식과 더불어 사체가 분해되면서 형성된 CDI 내 곤충 섭식, 그리고 곤충을 먹기 위해 모여든 설치류 섭식 등 너구리에게 최적의 사냥 환경이 조성되어 오랜 시간 체류하며 번식하여 세력권을 형성한 것으로 분석된다.
- 본 연구 결과에서는 멧돼지뿐만 아니라 너구리, 삥, 설치류 등 야생동물이 야생멧돼지 폐사체에서 비교적 긴 체류시간을 가지는 것이 확인되었다.
- ASFV가 가축 돼지, 야생멧돼지 이외의 야생동물과 접촉하여 확산 전파된 사례는 아직까지 보고된 바 없으나, ASFV 차단 방역 모델 수립에 있어 변수 요인으로 감수성 야생동물에 의한 매개 전파 부분을 고려해야 함을 시사한다.



그림 2.82. Site 3 지점에서 형성된 사체 분해 섬(Carcass decomposition island, CDI).



그림 2.83. Site 1 지점에서 촬영된 머리뼈를 끌고 이동하는 너구리(좌)와 사체를 섭식하는 너구리 가족(6개체)(우).

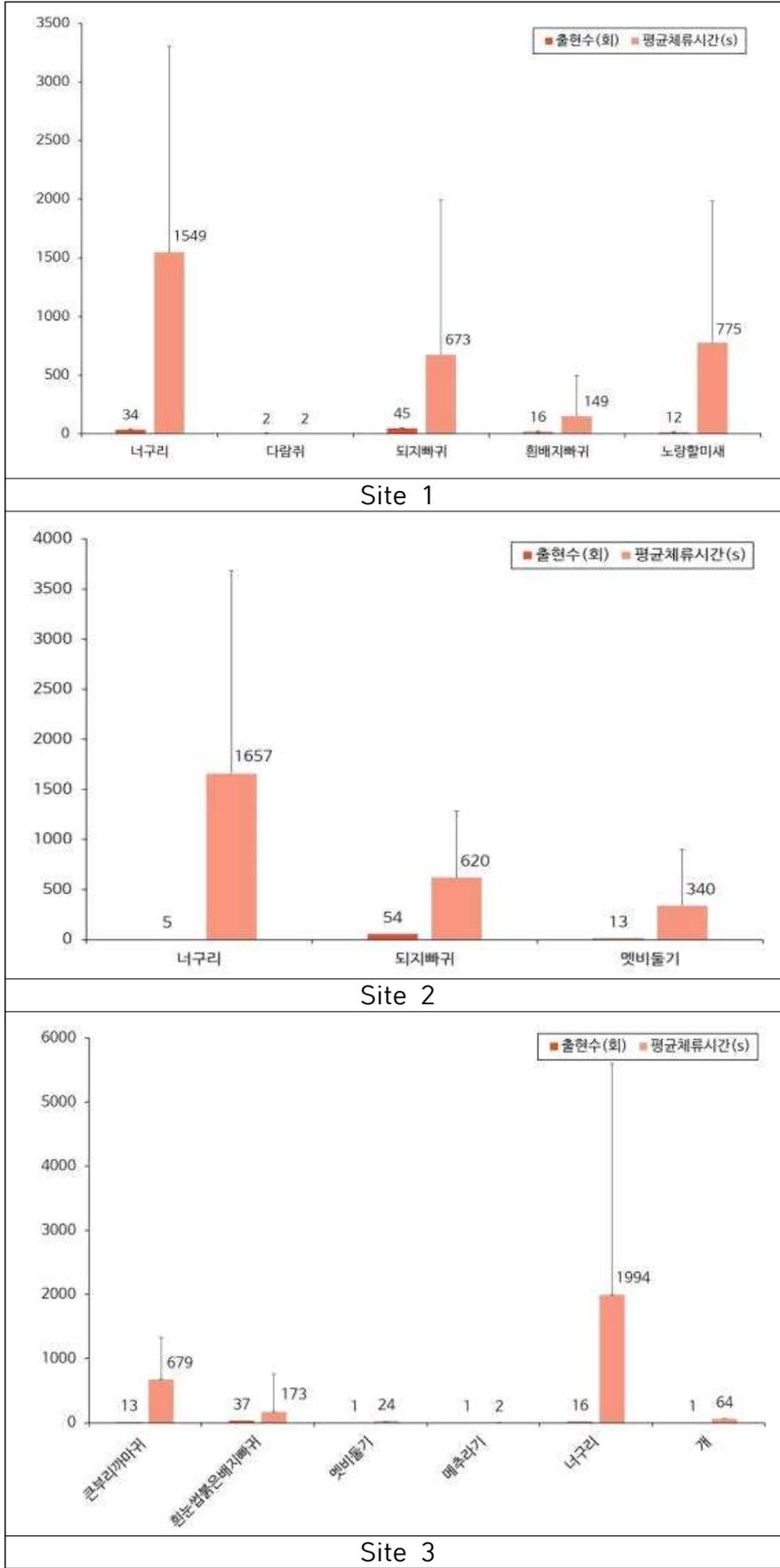


그림 2.84. 여름철 멧돼지 사체에 접근하는 야생동물 출현수 및 평균체류시간.

○ 멧돼지의 유전지도 및 지리적 분포 규명³⁾

(1) 연구 내용

- mtDNA control region 유전자를 이용해 국내 멧돼지의 종내 계통관계 및 유전자 네트워크를 분석하여 국내 멧돼지 간 상호 유연관계 규명

(2) 연구 방법

- 시료 채집

- 2021년 2월 3일~2021년 3월 30일 사이에 강원도권의 총 3개의 군(평창, 홍천, 횡성)에서 수렵한 야생멧돼지의 꼬리만을 수집해 유전자 분석에 이용했다(그림 2.85).

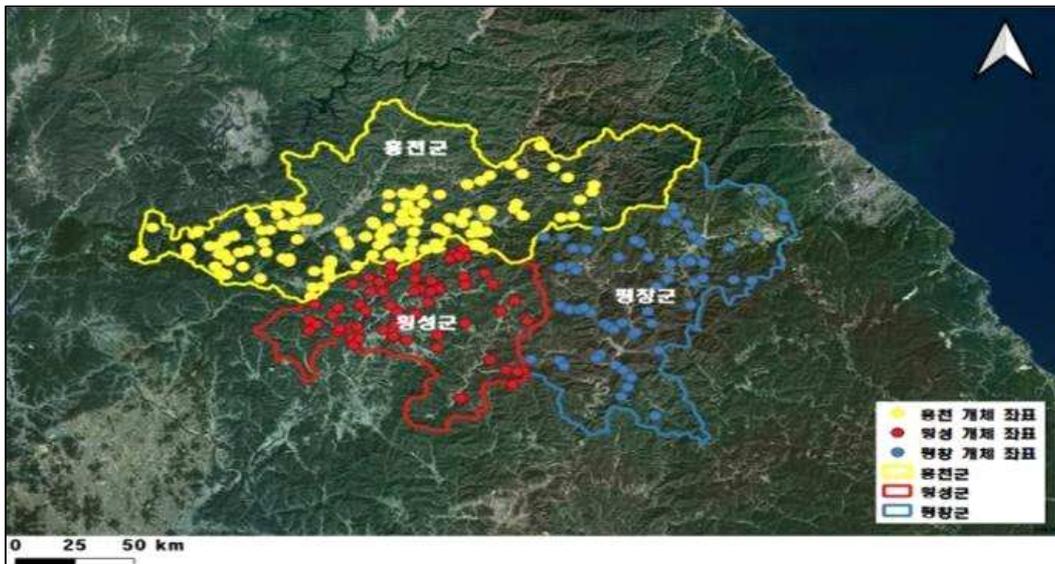


그림 2.85. 홍천, 횡성, 평창에서 각각 포획한 멧돼지의 포획 위치 좌표 (2021년 2월 3일~2021년 3월 30일).

- 수집한 샘플 중, 총 377개체의 꼬리 조직 샘플의 mtDNA control region을 분석에 이용하였다(표 2.17).

표 2.17. 연구에 사용된 멧돼지 포획 지역 및 각 지역별 샘플 수.

Group Name	Number of Samples	County	Province
HC	189	홍천	강원
HS	92	횡성	
PC	96	평창	

3) 본 연구는 강원도청의 도움을 받아 연구를 수행하였다.

- 유전자 추출 및 분석 방법

가) Genomic DNA 추출

- 멧돼지 꼬리 조직으로부터 genomic DNA (이하 gDNA) 추출은 Biomedic® gDNA Extraction Kit (Biomedic Co., Ltd., Bucheon, Korea; www.ibiomedic.co.kr)를 이용하여 제조회사의 지침에 따라 수행하였다. 추출한 gDNA의 양과 질은 DeNovix DS-11+ Spectrophotometer (DeNovix, Wilmington, DE, USA)와 1% (w/v) 아가로스 겔 전기영동을 통하여 결정하였다.

나) PCR과 염기서열 결정

- Control 영역의 증폭에 사용된 프라이머 쌍은 표 2와 같다. PCR 증폭은 ~10 ng gDNA, 1x Taq DNA polymerase buffer, 1.5 mM MgCl₂, 각각 0.2 mM dNTP, 각각 0.2 μM의 정방향과 역방향 프라이머, 1.25 unit Taq DNA polymerase (Dongsheng Biotech, Guangzhou, China)를 포함하는 15 μl의 반응부피에 ABI 2720 thermal cycler (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)로 수행하였다. PCR 증폭 조건은 다음과 같다; 초기 열변성(1회)-94°C 5분, DNA 증폭(총 30회 반복)-94°C 30초, 55°C 30초, 72°C 1분 30초, 최종 신장 반응(1회)-72°C 7분. 증폭된 PCR 산물은 Biomedic® Gel & PCR Purification Kit (Biomedic Co., Ltd., Korea)를 사용하여 제조회사의 지침에 따라 정제하였다. PCR 산물의 염기서열 결정은 증폭에 사용된 정방향 및 역방향 프라이머와 dGTP Thermo Fisher Scientific BigDye® Terminator v3.0 Ready Reaction Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)를 사용하여 제조회사의 지침에 따라 수행하였다. 결정된 염기서열은 DNASTAR Lasergene 프로그램(v7.0.0; DNASTAR, Inc., Madison, WI, USA)을 이용하여 contig assembly를 수행하였다.

표 2.18. 유전자 분석에 사용된 프라이머 정보.

Primer name	Primer sequence (5' to 3')	Purpose
Ss(cr)-F	ACCCTGGTCTTGTAACCAG	PCR & sequencing
Ss(cr)-R	AAGATCTGGAGGGCATTCTC	
Ss(cr)-F1	GCATCTGGTTCTTACTTCAG	Sequencing
Ss(cr)-R1	GGCTTATTGTATTTGTACAC	

다) 염기서열 및 종내 분자계통분석

- 시퀀싱한 염기서열들을 확인 및 편집, 배열(alignment) 및 종내 분자계통분류(intraspecific molecular phylogeny)는 Geneious 11.0.12 소프트웨어 이용하였다. 종내 분자계통분류는 Neighbor Joining(NJ)방법으로 분석하였고 사용한 모델은 Tamura-Nei (Tamura and Nei, 1993)였고, 계통도 내 각 branch node의 신뢰도를 확인하기 위해 1000회의 반복검증(bootstrap)을 수행하였다.

라) 유전자다양성

- 종별, 지역별 haplotype 수 (H), 변이지역 수(number of polymorphic sites_S), haplotype diversity (Hd), nucleotide diversity(π) 등의 유전자다양성(genetic diversity) 연구 (Nei & Tajima 1981; Graur & Li 2000)는 DnaSP ver. 5.0 (Rozas et al. 2003)을 이용하였다.

마) 유전자 구조

- 멧돼지의 유전적 구조(genetic structure)를 minimum spanning tree (Kruskal, 1956) (Arlequin 3.5.1.2) 분석을 바탕으로 Hapstar 0.7을 이용하여 haplotype network를 그렸다. 본 연구에서는 NJ 계통트리에서 언급하였던 haplotype들 간의 관계를 분석함으로써 haplotype들의 지리적 구조와 지역 간 유전적 다양성 정도를 파악하고자 하였다.

(3) 연구 결과

- 유전자다양성

- 미토콘드리아 DNA control region에서 550개의 염기서열을 확보했다. 이 염기서열들을 이용하여 멧돼지의 유전자다양성을 분석하였다. 총 377개체의 시료에서 변이부위(polymorphic site)는 모두 20곳이었으며, 8개의 haplotype이 존재했다(표 2.18). Haplotype diversity(Hd)는 0.4363 ± 0.0305 이었으며, nucleotide diversity(π)는 0.005338 ± 0.003101 이었다.

표 2.19. 멧돼지의 haplotype 종류와 variable sequence 정보.

Group	Nucleotide Position																				Haplotype
	3	8	31	32	64	117	132	144	156	173	240	293	302	309	312	351	410	425	507	542	
I	T	G	.	.	.	T	T	G	T	.	T	G	T	C	T	.	C	G	.	.	H1
II	T	G	.	C	.	T	T	G	T	.	T	G	T	C	T	.	C	G	.	.	H2
III	T	G	.	.	.	T	T	G	T	.	T	G	T	C	.	.	C	G	.	.	H3
IV	T	G	.	.	.	.	T	G	.	.	T	G	T	.	T	.	C	G	.	.	H4
V	T	G	.	.	C	.	T	G	.	T	T	.	T	.	.	G	C	G	.	A	H5
VI	T	G	.	.	C	.	T	G	.	T	T	.	T	.	.	G	C	G	T	A	H6
VII	T	G	.	.	C	T	T	G	T	T	T	.	T	.	.	.	C	G	.	A	H7
VIII	T	G	C	.	.	T	.	G	T	T	T	.	.	.	.	.	.	G	.	A	H8

- 샘플 수가 많은 관계로 <표 2.20>과 같이 haplotype별로 그룹화하였다. 각 그룹별 샘플 구성은 다음과 같다(표 2.20).

표 2.20. 각 haplotype 그룹별 구성.

Group	Group Composition(<i>n</i>)	Haplotype
I	HC: 142, HS: 71, PC: 66	H1
II	PC: 2	H2
III	PC: 1	H3
IV	HC: 13, HS: 11, PC: 12	H4
V	HC: 17, HS: 2, PC: 1	H5
VI	PC: 1	H6
VII	HC: 9, HS: 5, PC: 8	H7
VIII	HC: 8, HS: 3, PC: 5	H8

- 멧돼지의 종내 분자계통분류

- Neighbor joining(NJ)을 이용하여 377개체 멧돼지 mtDNA control region으로부터 계통관계를 분석하였다(그림 2.81). 멧돼지는 크게 3개의 주요 그룹(Clade A, Clade B, Clade C)으로 분리되었다. Clade A는 총 6개의 그룹으로 나뉘었는데 A-1부터 A-6까지 이들은 모두 하나의 그룹(Clade A)에서 분리되어 나와 각각 다른 계통군으로 분리되었다. A-1과 A-2는 유전학적으로 가장 가까운 그룹이며 처음 파생되어 나왔던 계통군으로부터 가장 유전학적으로 거리가 멀다. Clade B와 Clade C는 Clade A와는 다르게 하나의 분류군으로 구성되며 이 두 분류군은 Clade A에 비해 유전학적으로 가깝다(그림 2.86).

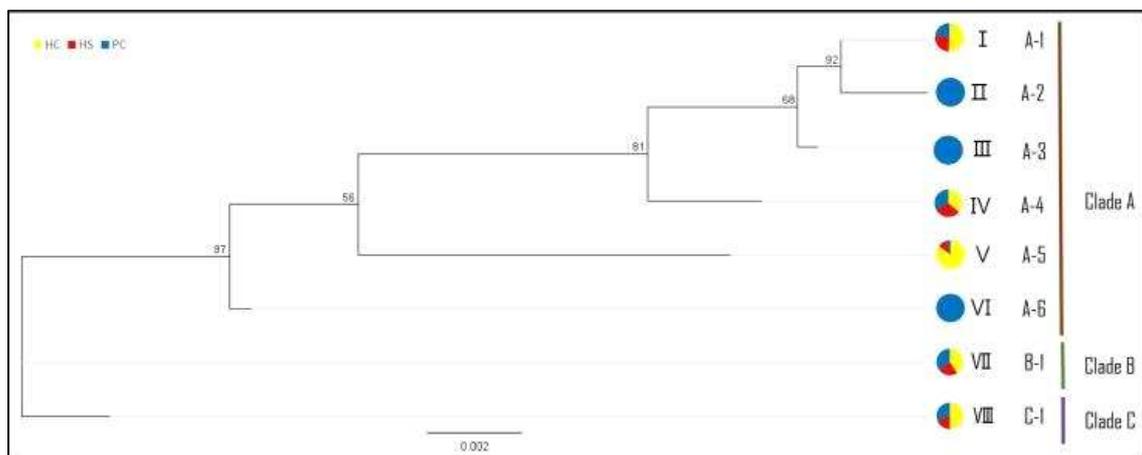


그림 2.86. mtDNA control region sequence를 기반으로 Neighbor joining(NJ)한 강원도권(평창, 홍천, 횡성) 야생 멧돼지의 종내 계통수 및 각 분류군의 haplotype 구성

- 이 중 II, III, VI은 평창에서 포획된 개체에서만 존재하는 haplotype을 가지는데, 이는 평창에 서식하는 멧돼지들이 다른 지역과는 다른 독자적인 분류군을 일부 형성한다는 것을 의미

한다(그림 2.87).

- 그 외의 그룹에서는 각 그룹이 가지고 있는 haplotype이 고르게 모든 지역에 분포하고 있었으며 강원도권 내에서 멧돼지의 유전적 교류가 활발하게 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 강원도권의 야생 멧돼지들은 각각의 지역에서 고립되어 살아가기보다는 넓은 행동반경으로 여러 지역에서 다양한 개체들과 교류 및 교배함을 의미한다.

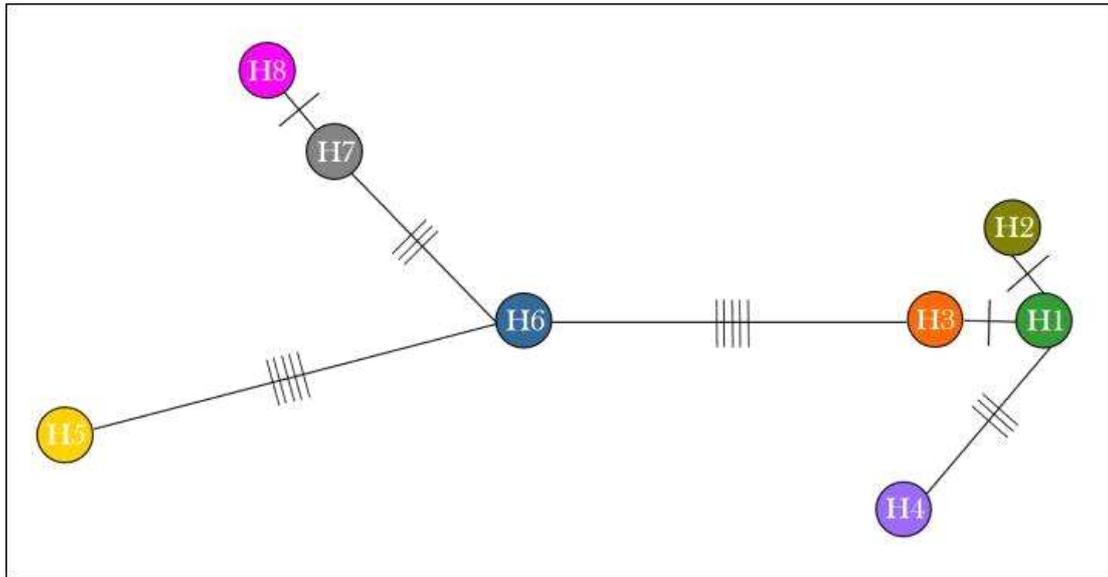


그림 2.87. 8개 haplotype 사이의 관계를 나타낸 유전자 네트워크

- 멧돼지 유전자 분석 결과, 홍천, 횡성, 평창, 세 지역에서 총 8개의 haplotype이 나왔고, 이들의 유전적 관계를 도식화하면 그림 2와 같다. H6를 기준으로 보면, H5와 H3은 유전적 거리가 동일하고 H7은 이 두 haplotype 보다는 다소 유전적으로 H6과 가깝다. H8은 H6로부터 H7보다 유전적으로 조금 더 멀리 떨어져 있으나 H7과 가장 유전적으로 가까운데, 이는 계통수에서도 알 수 있는 결과이다(표 2.19, 그림 2.81). 반면, H1은 H2와 H3로부터 각각 유전적으로 한 칸 떨어져 있으며, H4는 H1으로부터 유전적으로 3칸 떨어져 있어 H6로부터 가장 유전적으로 거리가 먼 haplotype임을 알 수 있다(그림 2.82).
- 계통수와 네트워크를 종합해보면, H7과 H8이 유전학적으로 가깝고, H1과 H2, H3, H4가 유전학적으로 가깝다는 것을 알 수 있다. 또한, H5는 H6과 그나마 유전학적으로 가까우나, 이 두 haplotype 모두 어느 haplotype과도 유전적으로 가깝지 않으며 각각 유전적으로 다른 haplotype과 멀리 떨어져 있어 독자적인 분화를 했을 것으로 보여진다(그림 2.86-87).

- 멧돼지 mtDNA control region의 haplotype 네트워크

- 국내 멧돼지 개체군의 유전자 구조를 mtDNA control region의 minimum spanning tree (Kruskal, 1956) (Arlequin 3.5.1.2)을 이용하여 분석하였다(그림 2.83). H2, H3, H6은 평창에만 존재한다. 그 외의 haplotype들은 연구 지역 전반에 걸쳐 고르게 분포하는 양상을 보

인다. 또한, 모든 지역에서 가장 많이 관찰되는 haplotype은 H1이었다(그림 2.88).

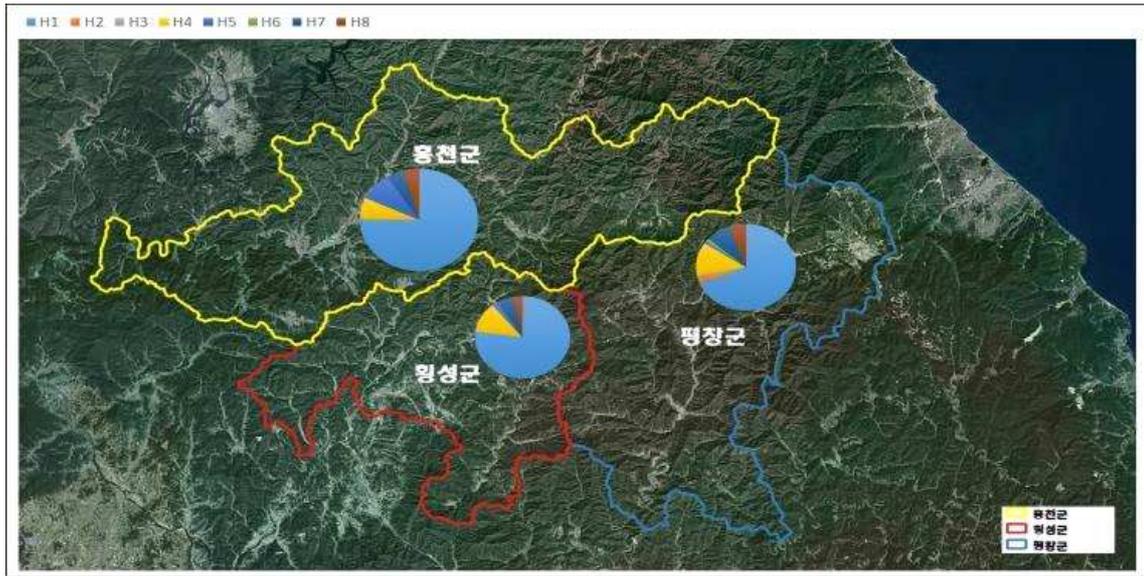


그림 2.88. 각 군별 haplotype 구성 및 개체수 크기를 도식화한 그림.

- <그림 2.89>는 각 군별로 haplotype 구성을 도식화한 것으로, 각 군별 포획 개체수가 많을 수록 원의 크기는 크다. 홍천군의 포획 개체수가 189개체로, 횡성군과 평창군의 포획 개체수가 각각 92개체, 96개체인 것에 비해 약 2배 많은 개체가 잡혔다(표 2.16).
- 지역별로 살펴보면, 세 지역 중 평창이 유일하게 8개의 haplotype을 모두 가지고 있어 유전적으로 가장 다양성이 높았다. 그 외의 지역(홍천, 횡성)은 각각 총 5개의 haplotype을 가져 비슷한 수준의 다양성을 가졌다. 각 지역의 haplotype richness(P_b)는 홍천, 횡성, 평창 순으로 3.994, 4.000, 6.874였다(Contrib 1.02). 홍천이 포획 개체수가 가장 많음에도 불구하고, 개체수 대비 유전적 다양성이 가장 낮았다. 반면, 평창은 홍천 포획 개체수의 절반에 해당하는 개체가 있었음에도 가장 높은 유전적 다양성을 보였다. 즉, 평창, 횡성, 홍천 순으로 각 지역에 서식하는 멧돼지의 유전적 다양성이 풍부함을 의미하고 평창에 서식하는 멧돼지들의 유전적 다양성이 월등히 높음을 알 수 있다(그림 2.89).

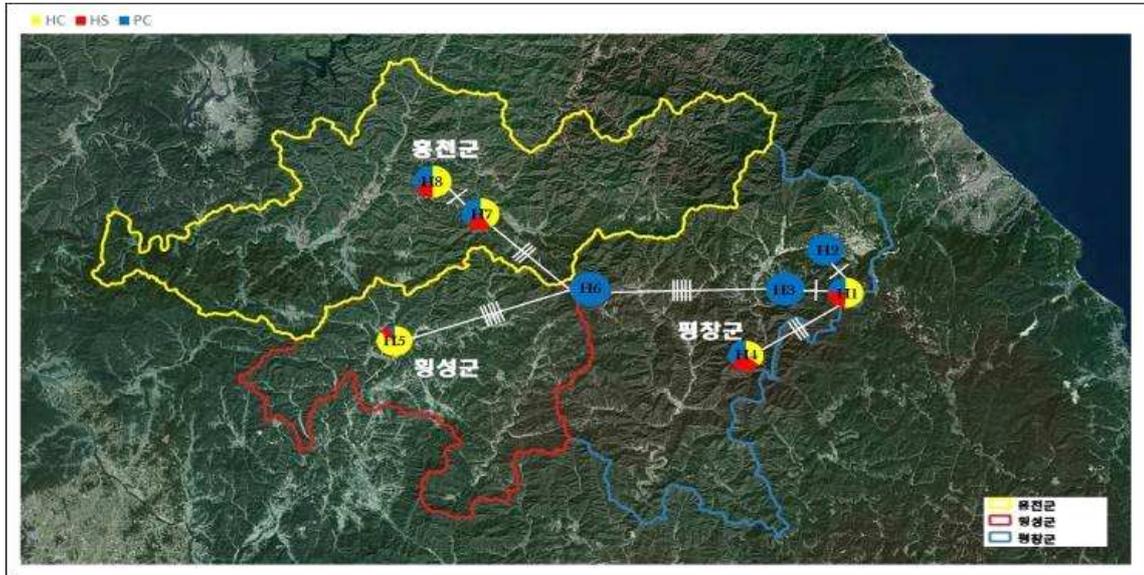


그림 2.89. 각 군별 위성 지도에 haplotype network를 도식화하여 haplotype network와 지리적 위치 간의 연관성을 나타낸 그림.

- <그림 2.84>은 각 haplotype 간의 유전적 거리를 시각화한 그림을 위성 지도 위에 나타내어 haplotype network가 지리적 위치와 어떠한 연관성이 있는지를 알아보기 위해 나타낸 그림이다. H2, H3, H6은 평창에만 존재하는 haplotype 이므로 위치적으로 평창 지역 위에 나타내었다. 그 외의 haplotype들은 haplotype network에 기반하여 홍천, 횡성, 평창 전 지역에 걸쳐 위치하도록 배치했으며, 이전에 언급했던 바와 같이 이들 5개의 haplotype은 세 지역에 걸쳐 모두 분포하여 이와 같이 배치하였다(그림 2.84).
- 평창군에서는 3개의 독자적인 haplotype (H2, H3, H6)이 있었고, 이들 중 H2와 H3는 유전적으로 거리가 매우 가까운 것으로 보아 이 두 개의 haplotype은 평창에 서식하고 있는 야생 멧돼지들 간의 교배를 통해 얻어진 고립된 haplotype임을 알 수 있다. H6 또한 평창에만 있는 haplotype이긴 하나, H6은 H2나 H3에 비해 다른 haplotype과 유전적으로 연관성이 더 높다. 즉, H6은 평창에만 존재하는 haplotype이나 H2나 H3에 비해 유전적으로 덜 고립되어 있고 다른 haplotype으로부터 분리되는 과정에서 생성된 haplotype이라고 할 수 있다. 세 지역 모두에 존재하는 haplotype 중 하나인 H1이 H2, 그리고 H3과 유전적으로 가장 가까운 것으로 보아, 비록 다른 분류군으로부터 분화된 haplotype이라도 유전적 거리는 가까울 수 있다는 것을 시사하며(그림 3.83), 평창에만 고립된 haplotype이지만 H3와 유전적으로 가깝기 때문에 평창 개체들만의 haplotype 형성이 지역적으로 완전히 고립된 상태에서 진행된 것은 아니라고 판단된다.
- 멧돼지 유전자 네트워크 및 haplotype 계통수 분석 결과를 종합하면, 강원도권에 퍼진 ASF 바이러스는 홍천, 횡성, 평창 지역만을 봤을 때 홍천과 횡성은 포획 위치가 집중되어 있는 편이고, 이들 지역에서는 5개의 haplotype이 고르게 비슷한 비율로 분포하고 있는 것으로 보아 홍천과 횡성 지역에서의 야생 멧돼지 간의 교류가 매우 활발히 일어나고 있으며 바이

러스가 특정한 방향 없이 홍천과 횡성 지역 사이에서 여러 방향으로 퍼졌을 것이라고 추측된다(그림 2.84). 평창의 경우, 독자적인 haplotype이 있고 포획 위치가 비교적 분산되어 있는 것으로 보아 평창에 서식하는 야생 멧돼지들은 홍천이나 횡성에 비해서는 다소 고립되어 있으나 다른 지역과 마찬가지로 멧돼지들 간의 유전적 교류는 활발하다. 따라서 ASF 바이러스가 평창 지역에서도 여러 방향으로 퍼졌을 가능성이 높으며 다만, 다른 지역에 비해 유전적 고립의 가능성이 있기 때문에 바이러스의 확산 속도가 더딜 것이라고 판단된다.

- 멧돼지 유전자 네트워크 및 haplotype 계통수 분석 결과를 종합하면, 강원도권에 퍼진 ASF 바이러스는 홍천, 횡성, 평창 지역만을 봤을 때 홍천과 횡성 지역에서의 야생 멧돼지 간의 교류가 매우 활발히 일어나고 있으며 바이러스가 특정한 방향 없이 홍천과 횡성 지역 사이에서 여러 방향으로 퍼졌을 것이라고 추측된다. 평창의 경우, 독자적인 haplotype이 있고 포획 위치가 비교적 분산되어 있는 것으로 보아 평창에 서식하는 야생 멧돼지들은 홍천이나 횡성에 비해서는 다소 고립되어 있으나 다른 지역과 마찬가지로 멧돼지들 간의 유전적 교류는 활발하다. 따라서 ASF 바이러스가 평창 지역에서도 여러 방향으로 퍼졌을 가능성이 높으며 다만, 다른 지역에 비해 유전적 고립의 가능성이 있기 때문에 바이러스의 확산 속도가 더딜 것이라고 판단된다.
- 국내 ASF 발생 상황이 심각해짐에 따라 본 연구와 같은 멧돼지의 유전학적 다양성 및 분자 계통학적 연구는 보다 세밀한 관리 방안을 수립하는 데에 필수적이다. 멧돼지의 유전자 네트워크와 지리적 분포와 연관 지어 분석한 결과, 국내 강원도권에 서식하는 멧돼지들간 상호 교류 현황을 보여주고 있으며, 지역 간 활발한 교류가 있어 유전적 다양성이 모든 연구 지역에서 풍부하다고 ASF 바이러스가 특정한 방향성이 없이 여러 방향으로 확산했을 것이다. 이러한 결론을 통해, ASF 발생 이후로 펜스, 퇴치제 등의 다양한 멧돼지 개체수 조절을 위한 관리 방안이 제시되고 실제 적용되었지만, 이들이 멧돼지의 유전적 다양성을 감소시켜 개체수 조절에 영향을 미치는 데에 효과적인 지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

○ 분석모형을 이용한 질병 전파 가능성 규명 연구

(1) 연구 내용

- ASF에 대한 효과적인 차단 방역을 위한 ASF 관련 위해 생태 및 환경 요인 자료를 구축하고, 자료기반 모델을 통해서 ASF 감염에 대한 위해 요인을 규명

(2) 연구 방법

- 연구 수행 과정

- 야생멧돼지 생태 및 ASF 연구진으로부터 관련 자료와 정보를 얻고 모델 시스템 및 주요 변, 모수를 정의하였다.
- 주요 ASF 관련 환경 자료를 전처리하여 자료기반 모델에 입력하고 위해 요인을 파악하였다. 연구 결과에 대해 야생멧돼지 생태 및 질병 연구진과 함께 생태적, 역학적 관점을 분석하였다.
- 추가로 야생멧돼지 자연 생태계 밀도 및 개체 행동 기작 등을 고려한 개체기반 모델을 구현하여 모사를 통해 야생멧돼지 분산, 질병 전파 및 대책법에 대해 예측하였다. 야생멧돼지 생태 및 질병 연구진과 함께 연구 방법론의 실효성 및 결과에 대한 생태성, 역학적 등을 분석하였다.
- 야외 조사한 야생멧돼지 연속적 이동 자료에 대해 기계지능을 통해 공간 유형성을 분석하고 모델 구성의 기초 자료로 하였다.

- 입력자료 구축

1) 기초환경 자료

- 2020년(전년도) 보고에서 제시하였듯이 서식처 조건 등 전국규모 환경 요인의 공간 정보 파일을 구축하였다. 약 450 km X 350 km 크기에서 25 m X 25 m 단위의 디지털 정보로부터 1 km X 1 km 단위의 디지털 정보를 구축하였다(표 2.20)((2020년 보고서 참조). 가까운 도로에 대한 거리(Road distance), 가까운 목축농가에 대한 거리(Dairy farm distance), 가까운 거주지에 대한 거리(Residence distance), 가까운 수원에 대한 거리(Water distance), 산림형(Forest type), 산림연령(Forest age), 경사도(Slope), 사면향(Aspect) 등이 수록되었다.

2) ASF 자료

- 2019년 10월부터 2021년 11월까지 보고된 ASF 감염 멧돼지 시계열 자료를 수집하고, 서식

처 등에 대한 공변량을 구하여 DB 구축하였다.

표 2.21. 남한에서의 ASF 감염 야생멧돼지 시공간 자료 및 공변량 구축 예(2019.10 - 2021.11).

구분	Year	Month	Day	발견일	Calendar day	확진일	Count	Outbreaks	시도	시군구	주소
1	19	10	2	19-10-02	43740.00	19-10-03	1.00	1.00	경기	연천	신서면 도말리 944
2	19	10	11	19-10-11	43749.00	19-10-12	0.00	2.00	경기	연천	왕징면 강서리 986
3	19	10	11	19-10-11	43749.00	19-10-12	0.00	2.00	강원	철원	원남면 전현리 115
4	19	10	12	19-10-12	43750.00	19-10-12	0.00	2.00	강원	철원	원남면 전현리 25
5	19	10	12	19-10-12	43750.00	19-10-12	1.00	2.00	강원	철원	원남면 전현리 21

inter-distanc	D_Residen	D_Dairyfar	water_dis	slope_kor	dis_road_3	korea_frt	korea_agcl	aspect_kor	altitude_k
22.71573	660.6815	6918.822	108.1665	10.28732	6300.286	0	0	169.8753	179
62.93157	1860.242	1895.943	408.0441	12.57811	2202.907	0	0	198.435	101
0.04072	5534.736	6618.587	3408.005	13.55079	5042.321	0	0	171.573	626
0.185482	5527.576	6622.122	3432.74	17.22345	5026.41	0	0	162.5973	613
73.22714	5695.024	6791.208	3583.085	19.66845	5239.275	0	0	206.2587	618

3) 기작모델 입력을 위한 공간 자료

· <그림 2.90>과 같이 기작모델 구성을 위해 전국에 대한 야생멧돼지 밀도, 교통망, 도로망, 인구밀도, 산림, 임상 등에 대한 자료를 수집하였다. 전국 교통량, 도로망, 인구 밀도 및 서식선호도(산림과 물은 1.0; 활엽수는 0.9)는 상기 교차연구의 거시적 모델 적용을 위한 입력 자료로 사용되었다.

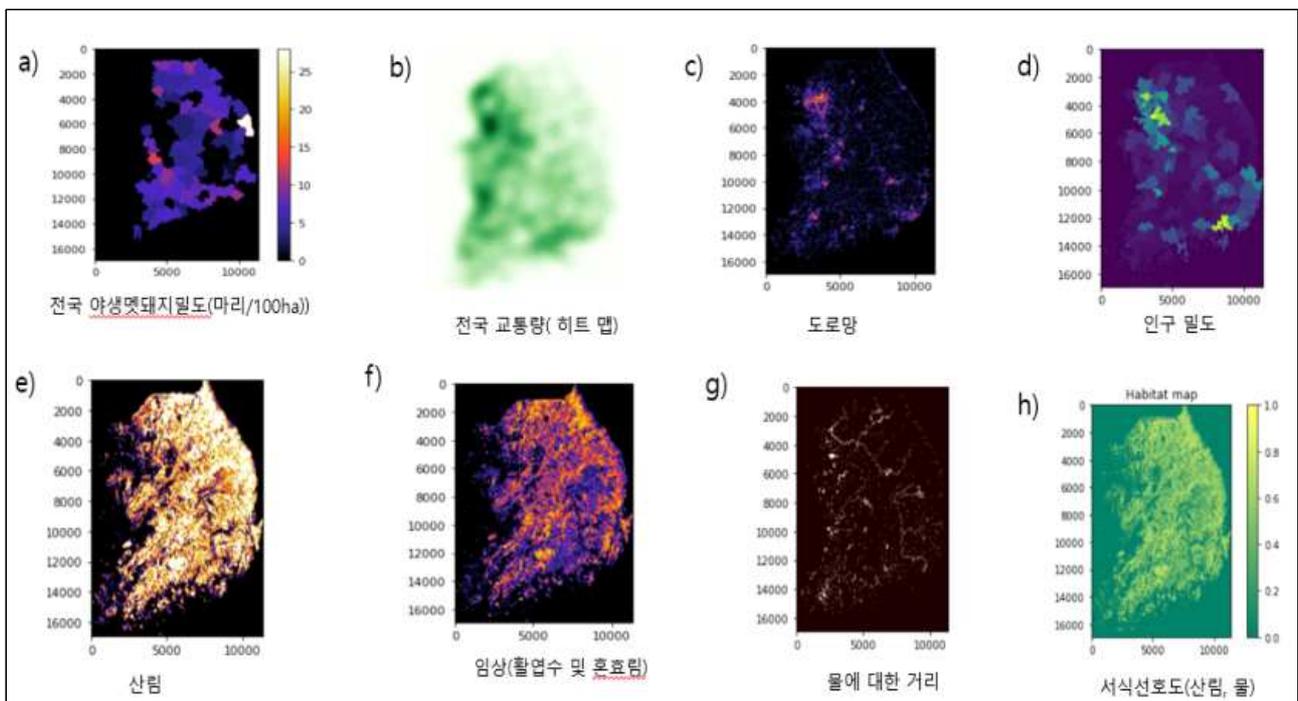


그림 2.90. 한반도 남쪽의 주요 환경 요인에 대한 공간 자료.

4) 자료기반 모델 수행을 위한 공간 자료

- 위해성 평가를 위한 자료기반 모델 대상이 되는 공간에 대해 야생멧돼지 출현, 비출현 DB를 구축하였다.

- ASF 발생 분석

1) ASF 발생 양상

- ASF가 2019년 10월 보고된 이후 누적 개체수는 2020년 1월 9일을 기점으로 일차적으로 150일 경까지 급속히 증가하였다(최초 발견 약 50일 이후; 그림 2.91, 실선 화살표). 이후 250일 경에 재증가하는 경향을 보인다(그림 2.91, 점선 화살표)

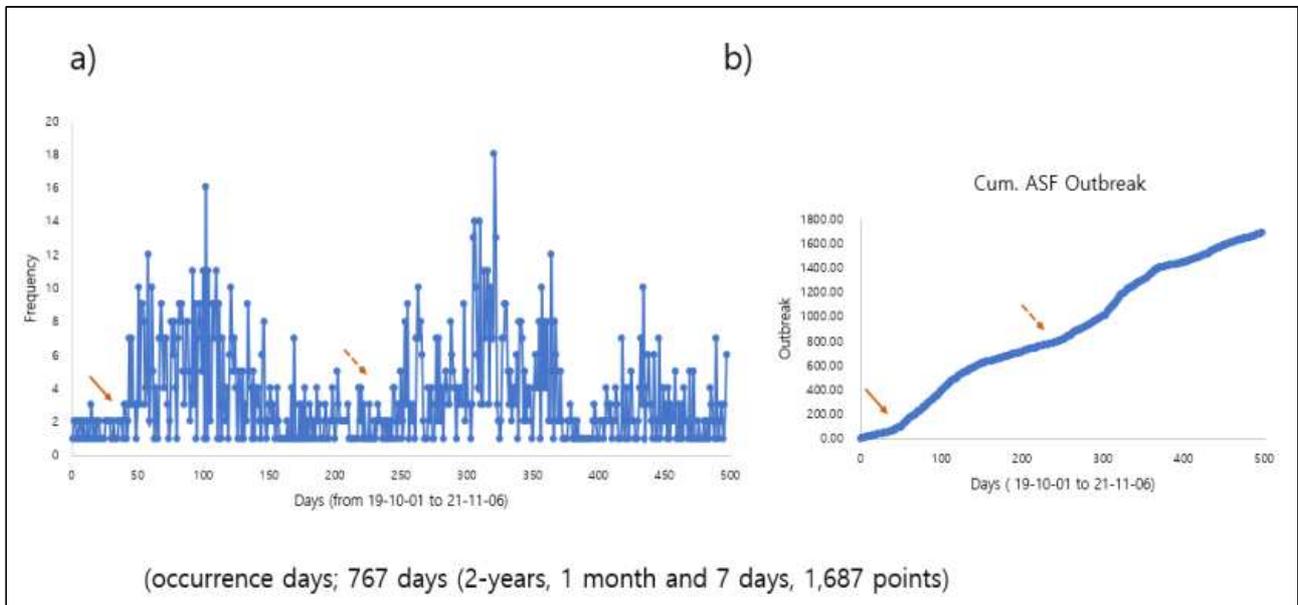


그림 2.91. 남한반도에서의 ASF 발생 추세. a) 일일보고, b) 누적 증가.

- <그림 2.92>는 ASF 출현 개체의 성비 및 지역별 출현 양상을 나타낸다. 암컷이 57%로 43%를 보인 수컷보다 많았다. 강원 지역에서 61% 출현하여 39% 출현한 경기 지역보다 높았는데, 이는 후반부에 강원도 지역에서 많이 출현한 양상을 반영한다. 제일 많이 출현한 지역은 화천(423개체), 연천(417개체) 순이었다.

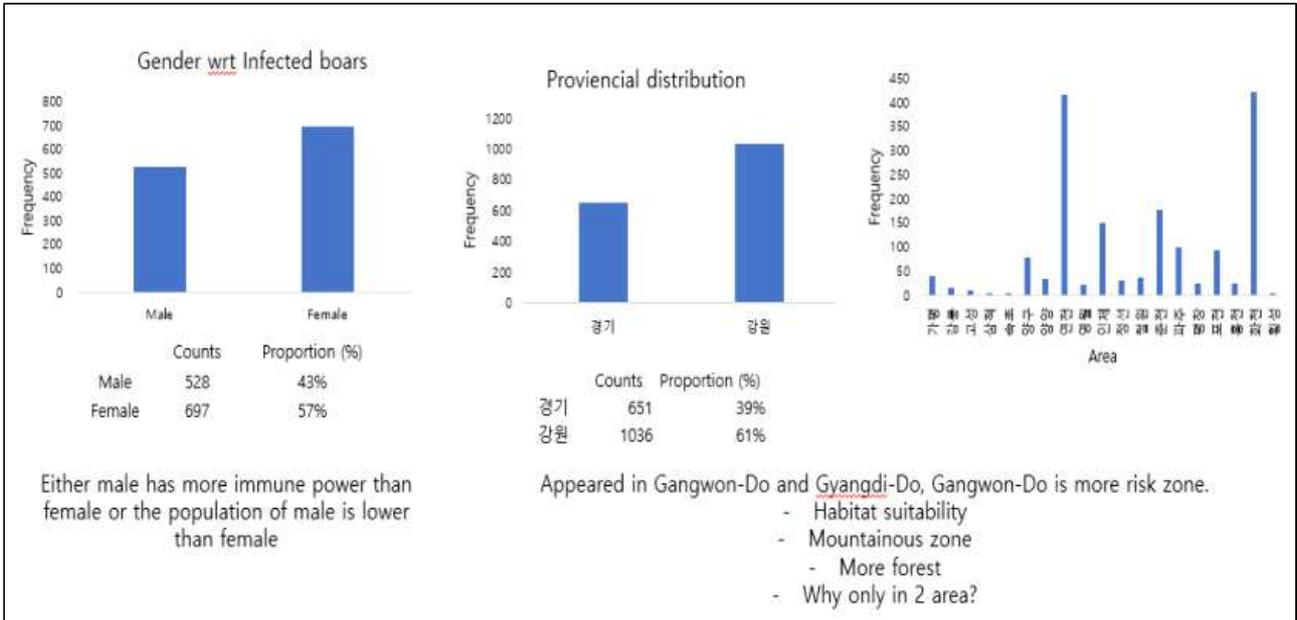


그림 2.92. ASF 출현 개체의 성비 및 지역별 출현 양상.

· <그림 2.93>는 ASF 출현 개체 주요 서식처 환경요인과의 거리를 보이는데, 물과의 거리는 매우 짧게 나타났고 물과의 먼거리에서의 출현 빈도는 급속히 줄어 들었다. 가옥과의 거리나 주도로(Paved road)와도 1,000 m 내외의 짧은 거리에 높은 빈도로 나타났고 거리가 길수록 빈도가 급히 줄어 들었다. 축산가옥과의 거리는 다소 멀어져 1,500 m에서 높은 빈도를 보였고 거리가 멀어질수록 빈도가 급히 낮아졌다. 고도는 300 m에서 최고의 빈도를 보였으나, 전반적으로 300 m 이하에서는 골고루 높았던 반면 300 m이상에서 빈도는 급히 낮아졌다. 이는 야생멧돼지의 서식 습성과도 관계가 있을 수 있으나, 발견 용이도와도 연관이 될 수 있으므로 앞으로 추가적인 연구가 필요하다. 방위는 전체적으로 180도 근처에서 상대적으로 높았는데, 이는 ASF 발견지점의 경사가 동서 방향일 수 있음을 시사하였는데 보다 자세한 검토가 요구된다.

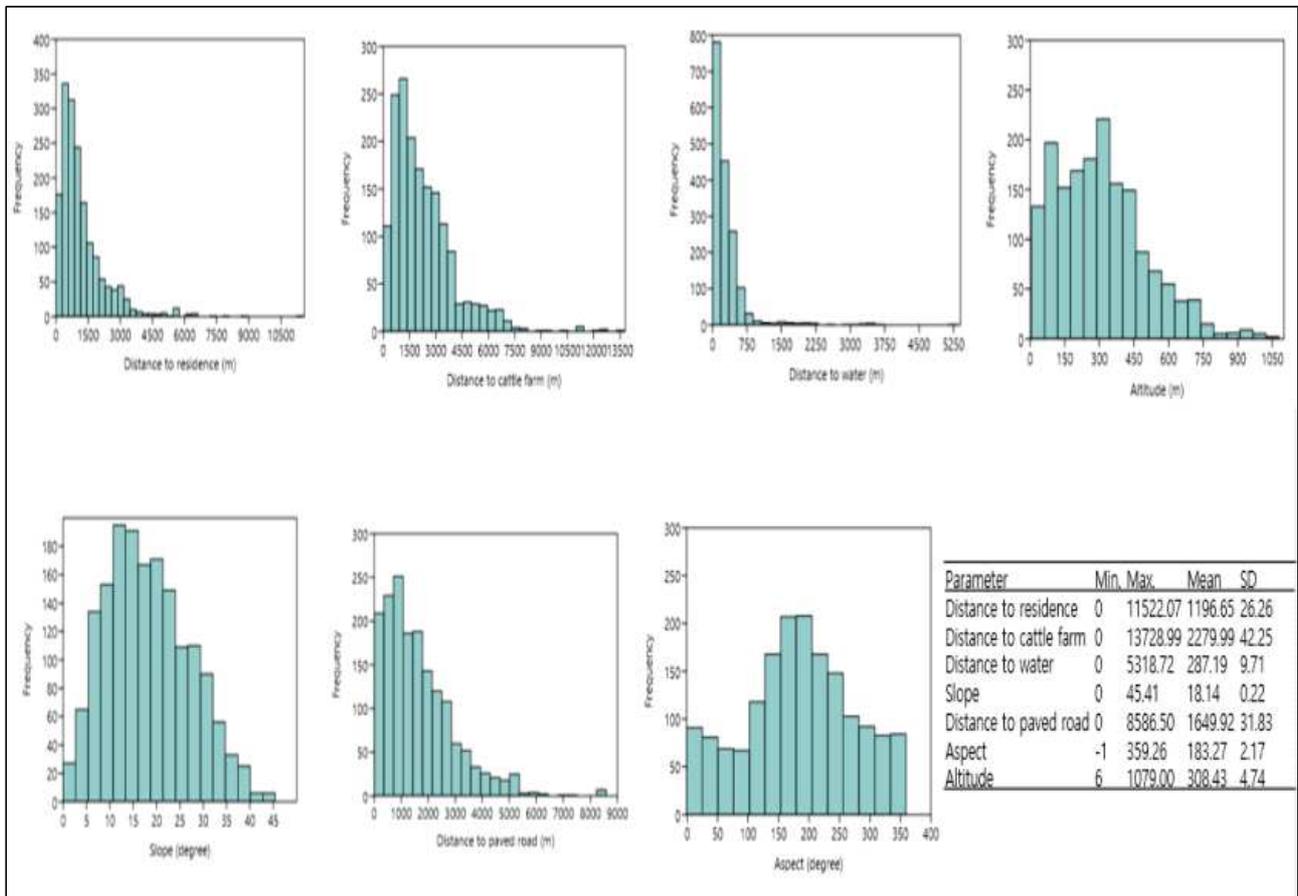


그림 2.93. ASF 출현 장소와 주요 환경요인과의 거리.

- <그림 2.94>의 왼쪽은 시계열 보고에 따른 ASF 현재 및 전 출현지점 간의 거리에 대한 빈도를 나타낸다. 처음 지점과 바로 다음 지점간의 거리는 압도적으로 제일 좁은 거리가 많고 이후 거리가 길어질수록 완만하게 빈도가 감소하였다. 평균은 29.5 km이었으며 최대거리는 152.1 km이었다. 모든 전체 지점 상호 간의 거리는 50 km 인근에서 최대 빈도를 나타내었는데(그림 2.89의 오른쪽) 이는 평균인 59.3 km와 전반적으로 일치하였다. 상기 자료는 개체군 분산과 질병 전파 추정에 기초 자료를 제공하며, 모델 구성에도 유익한 정보가 되었다.

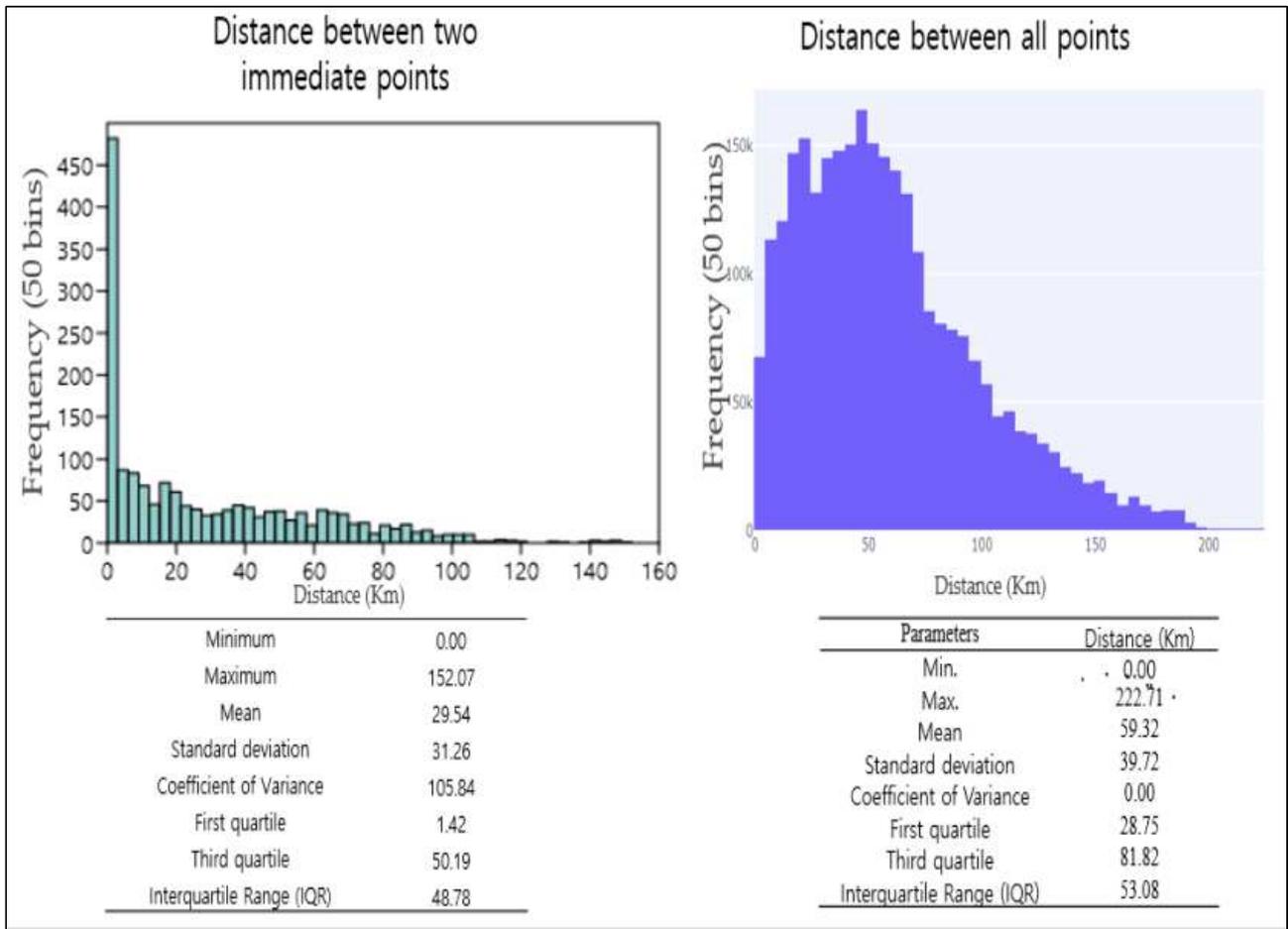


그림 2.94. 시계열 보고에 따른 ASF 출현 인근 지점 간 거리 및 전 출현지점 간 거리.

- <그림 2.95>은 감염기간 차이 동안에 전파된 거리를 나타낸다. ASF 감염기간은 6일로 간주 하였다(Marcon et al, 2020). 25 - 30 km에서 최고 빈도를 보였으나, 전반적으로 15 - 25 km에도 상대적으로 높은 빈도를 보였고 평균은 29.5 km이었다. 50 km 이상이 되는 거리의 빈도는 급속히 낮아졌다. 이와 같은 공간적인 전파 자료는 ASF 모니터링이나 관리대책 수립에 주요 정보를 제공하였다.

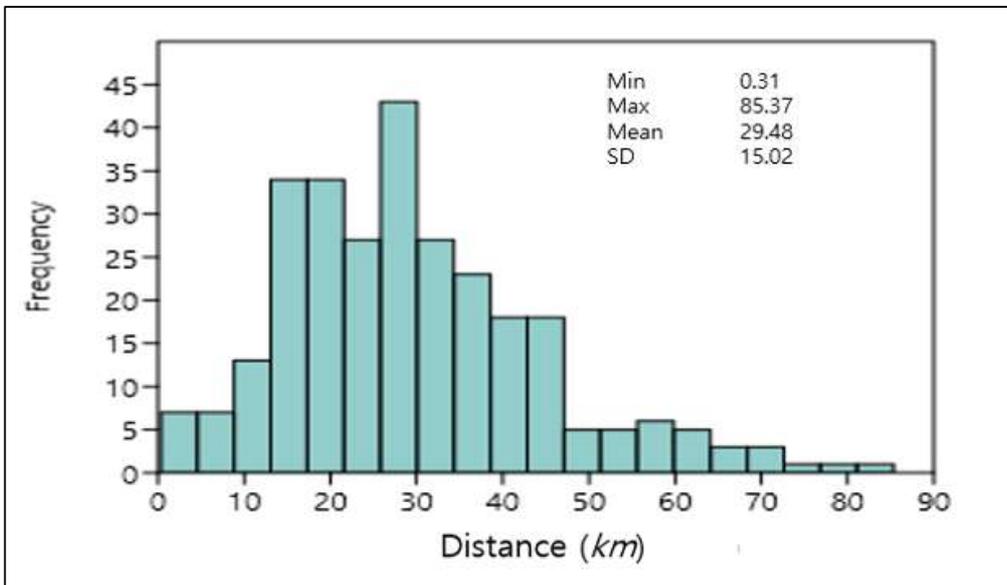


그림 2.95. 감염기간 차이를 고려한 ASF 출현 지점 간 거리에 따른 빈도.

- 자료기반 모델 적용을 통한 위해성 분석

1) 적용 모델

- 동물 질병은 숙주 개체군의 동태, 병원균의 역학적 전파 및 차단을 위한 인위적인 노력 등 수많은 요인이 복잡하게 연관되어 있다. 복잡한 현상의 정보 추출을 위해서 기계지능 등의 수리적 방법이 유효하게 적용된다. 본 연구에서는 생물의 분포 결정에 적용되는 자료 기반 모델을 통하여 위해 요인을 파악하고자 하였다.
- 자료 가용성, 포유 동물 적용성(Hong & Joo 2021, Park & Hong et al., 021)등을 고려하여 아래 6개 모델을 선정하였다.
- Boosted regression trees (BRT) (R 프로그램에서 'BRT'사용)(예, Elith et al 2008)
- Generalized linear model (GLM) (R 프로그램에서 'glm'사용)(예, Nelder & Wedderburn 1972)
- Generalized additive model (GAM) (R 프로그램에서 'gam'사용)(예, Hastie & Tibshirani 1987)
- Maximum entropy (Maxent) (R 프로그램에서 'Maxent'사용)(예, Booth et al 2014, Kramer-Schadt et al 2013)
- Multilayer perceptron (MLP) (R 프로그램에서 'ANN'사용)(예, Park & Lek 2016)
- Random forest (RF) (R 프로그램에서 'randomForest'사용)(예, Liaw & Wiener 2002 & Rodriguez-Galiano et al 2012)

2) 공간 상관성 분석

- ASF는 급속히 확산하면서도 공간적으로 집중되어 발생했다. 이는 특히 서부 지역에서 강하게 나타났다. 공간적으로 집중하여 분포하므로 ASF 발생에 대한 예측 변수를 평가할 때 인근에 있는 지점의 효과가 변량의 효과에 묻혀져 나타날 우려가 있다. 공간 상관성을 제거하기 위해 샘플 수를 950개에서부터 275개, 230개, 180개, 128개, 90개 등으로 줄이어 'spline.correlog'(R)을 적용하였다. <그림 2.96-98>에는 180개, 128개 및 90개의 샘플 수에 대하여 각 변량에 대한 공간 상관성을 보여준다. 거리에 대한 편평도를 고려할 때 모든 샘플 수에서 고도는 다른 변수에 비해 큰 변이를 보였다. 선정 기준인 Y0축 절편값도 0.78 - 0.82로 높았다. 이는 ASF 사체 검출 여건 때문에 도로에 가까우며 보다 낮은 지역에서 많이 보고된 상황과도 연관이 있으리라 여겨지나, 앞으로 더 검토가 필요하다고 여겨진다. 축산농가와의 거리(0.48 - 0.68), 가옥과의 거리(0.29 - 0.46) 및 포장도로(0.22 - 0.42)도 공간 상관성이 높은 것으로 나타났다. 각 변량 간의 상관성 분산도, 편평성 등을 고려하여 128 샘플

플을 분석 대상으로 택했다. 변수는 Y0축 절편값이 0.36 이상인 고도, 축산농가와의 거리 및 가옥과의 거리를 제외하고, 산림, 간선도로(Paved road), 지방도로(Local road), 물과의 거리, 경사도, 방위를 예측 변수로 택했다.

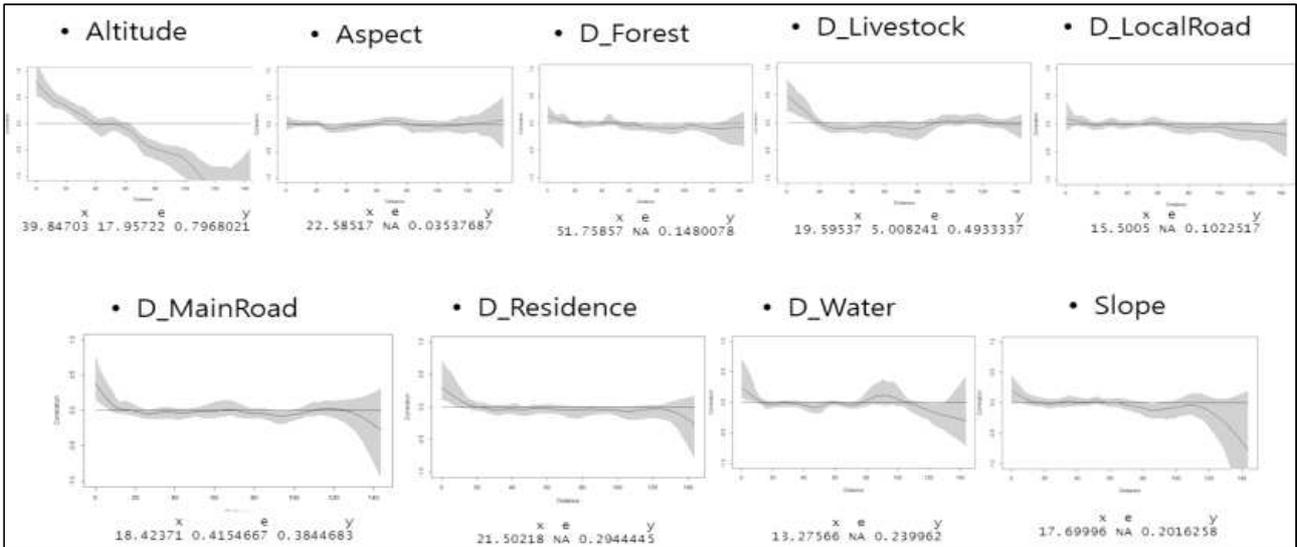


그림 2.96. ASF 공변량에 따른 공간 상관성(180표본).

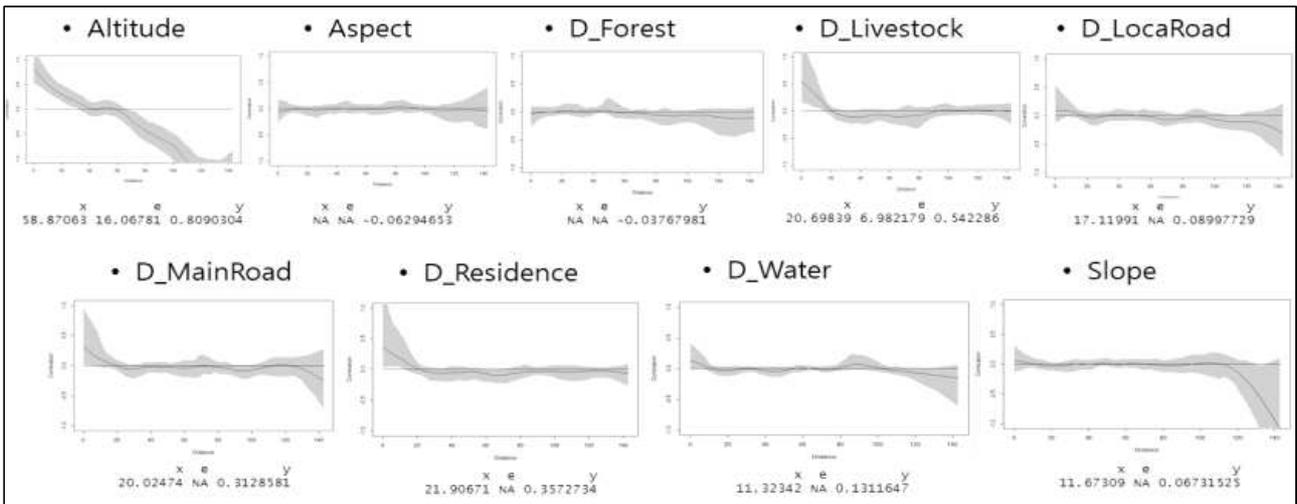


그림 2.97. ASF 공변량에 따른 공간 상관성(128표본).

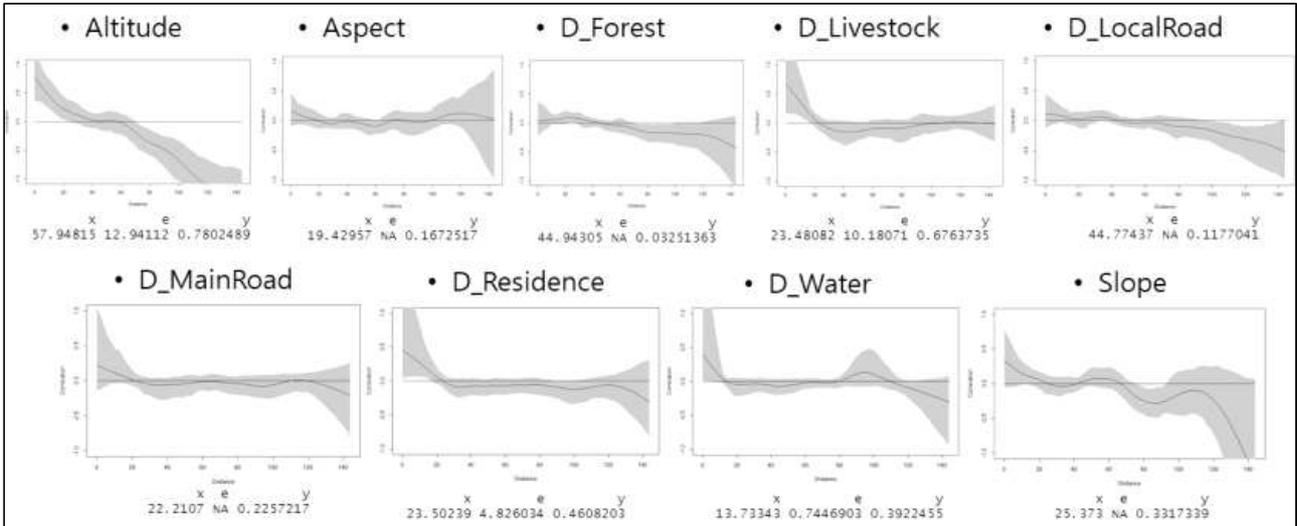


그림 2.98. ASF 공변량에 따른 공간 상관성(90표본).

- 출현 결과에 대응시키기 위해 출현자료 갯수만큼 비출현자료(absence data)를 생성하였다. 비출현자료는 출현된 지점으로부터 1-16, 4-16 및 8 - 16 km의 범위에서 임의로 생성시켰다(그림 2.99).

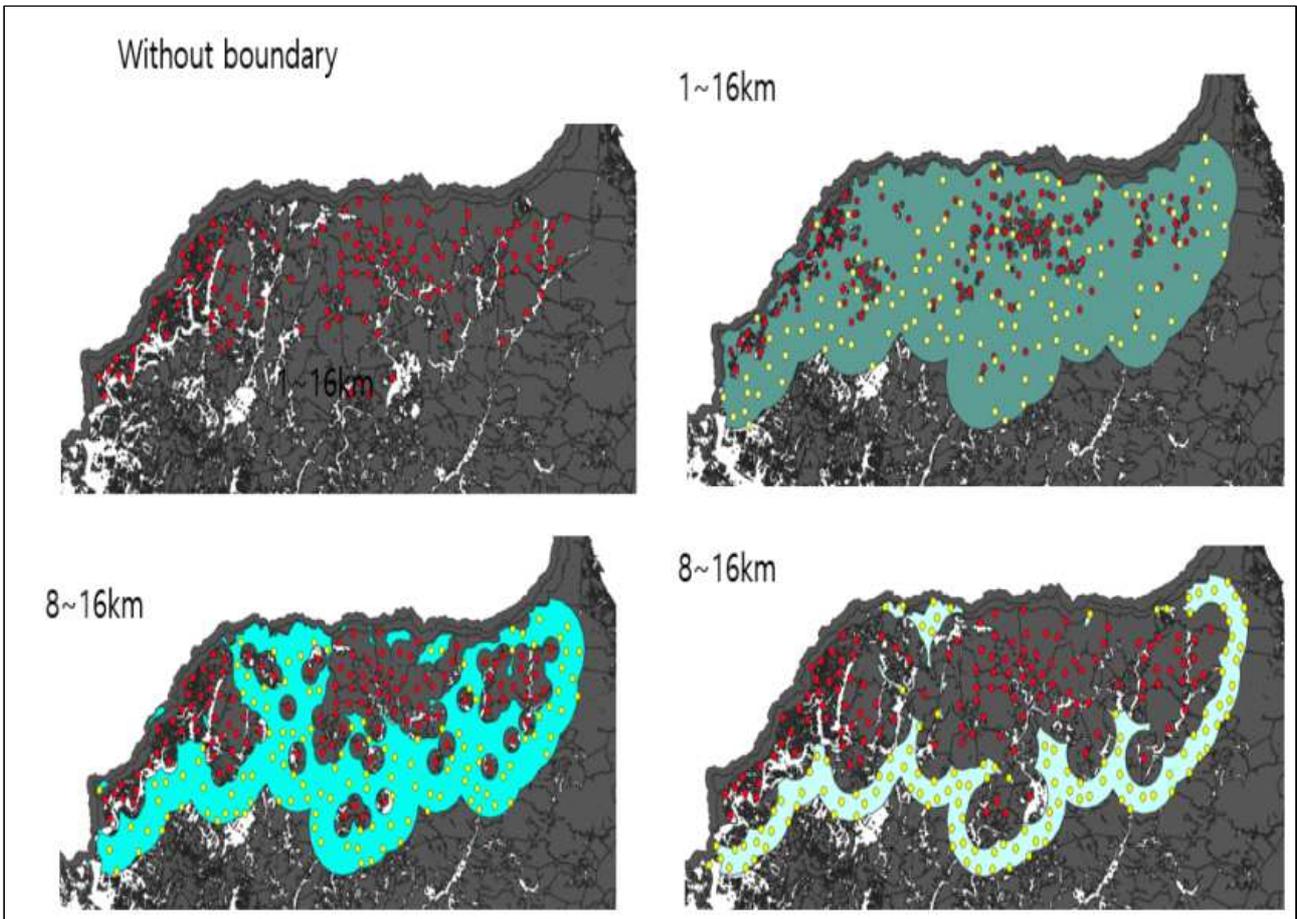


그림 2.99. 거리에 따른 비출현 자료 위치.

3) 변수 선정

공간 상관성 분석 후 선정된 변수가 독립적으로 ASF 출현에 영향을 미칠 수 있는지를 점검하기 위해 공선성을 조사하였다. 환경변량에 대한 다중공선성(Multiple colinearity)을 제시하는 Variance inflation factor (VIF)를 조사하였다(표 2.22). 공선성은 출현, 비출현 자료에서도 전반적으로 같은 경향성을 나타내었다. 전체적으로 상기 공간상관성에서 제외된 변수에서는 높은 VIF 값을 보였다. 축산농가와 거리 3.61 - 6.87로 높은 값을 보였으며, 가옥과의 거리도 3.85 - 5.48로 높았다. 간선도로도 2.35 - 3.08로 상당히 높았으나 공선성 역치로 간주되는 5.0보다는 낮았다. 고도는 1.17 - 1.71로 낮았고, 고도를 제외한 다른 변수도 1.5 이하로 낮았다. 가옥과의 거리와 축산농가와 거리는 공간 상관성도 높았으므로 대상 변수에서 제외하였다. 고도의 VIF는 낮았으나 공간 상관성이 매우 높았으므로 제외하였다. 결과적으로 공간상관성과 공선성이 동시에 낮은 산림, 간선도로, 지방도로, 물과의 거리. 경사도, 방위를 위해도 결정을 위한 피예측변수로 선정하였다.

표 2.22. ASF 관련 공변량간 공선성 분석.

Presence data (128)		1~16km, 1:1	
variables	VIF	variables	VIF
1 Altitude_D	1.170338	1 Altitude	1.717959
2 Aspect_Dat	1.061701	2 Aspect	1.023285
3 D_Forest_D	1.299194	3 D_Forest	1.164116
4 D_Livestoc	4.343694	4 D_Livestock	5.866636
5 D_Localroa	1.099849	5 D_Localroad	1.368793
6 D_Pavedroa	2.565207	6 D_Pavedroad	3.079122
7 D_Residenc	4.078983	7 D_Residence	5.480076
8 D_Water_Da	1.149896	8 D_water	1.191108
9 Slope_Data	1.196413	9 slope	1.387066

4~16km, 1:1		8~16km, 1:1	
variables	VIF	variables	VIF
1 Altitude	1.500765	1 Altitude	1.536854
2 Aspect	1.028128	2 Aspect	1.043226
3 D_Forest	1.199575	3 D_Forest	1.075513
4 D_Livestock	3.801220	4 D_Livestock	3.605692
5 D_Localroad	1.496620	5 D_Localroad	1.264436
6 D_Pavedroad	2.446825	6 D_Pavedroad	2.353780
7 D_Residence	4.005448	7 D_Residence	3.852773
8 D_water	1.090021	8 D_water	1.056590
9 slope	1.345653	9 slope	1.211504

라. 위해성 검정

· 모델 성능을 앞서 언급한 비출현 자료 결정 구간에 대해 <그림 2.100>과 같이 AUC와 TSS를 통해 검정하였다. “10 fold bootstrapping” 총 50회 검정하여 평균을 구하였다. 1- 16 km에서는 RF가 AUC와 TSS가 각각 0.725와 0.355로 높게 나타났다(실선 네모). 아울러 8 - 16 km에서도 높은 정확도를 보인 모델이 있었는데 BRT가 AUC는 0.701, TSS는 0.445로 높게 나타났다(점선 네모). 중요도 검정을 수행한 결과 RF에서는 산림과의 거리와 경사도가 높은 영향을 미치고 이어서 지방도, 방위, 물과의 거리 순으로 나타났다(그림 2.101). BRT에서는 순위가 다르게 나타났는데, 지방도, 방위, 산림과의 거리 및 경사도가 골고루 높게 나타났다고, 물과의 거리가 비교적 낮게 나타났다(그림 2.102). 두 거리에서 공통적으로 산림과의 거리와 경사도가 높은 관계를 나타내었다. 따라서 이 두 요인이 ASF 출현에 연계되어 있음을 시사하였다. 출현지점과의 먼거리(8 - 16 km)에서는 왜 BRT에 의해 네가지 변수가 같은 정도로 높게 나타났고, 반면 가까운 지역을 포함하는 넓은 면적(1- 16 km)에서는 RF에 의해 산림과의 거리와 경사도만 높은 영향을 미쳤는지는 알 수 없었다. 추후 공간 정보를 포함하여 다양한 조건에서 앞으로 보다 면밀한 조사가 필요하다고 여겨진다. 고도의 경우에도 인위적인 표본 채취의 영향이 미쳤는지를 검토할 필요성이 있다고 사료된다.

Dist. (km)	Model	BRT	GAM	GLM	Maxent	MLP	RF
1~16	AUC	0.6333 ± 0.1101	0.6646 ± 0.0634	0.6814 ± 0.0586	0.6364 ± 0.1238	0.7237 ± 0.0704	0.7253 ± 0.0586
	TSS	0.3692 ± 0.1381	0.3008 ± 0.1112	0.3169 ± 0.1067	0.3646 ± 0.1576	0.3185 ± 0.1226	0.3546 ± 0.1137
4~16	AUC	0.6353 ± 0.1155	0.6263 ± 0.0851	0.6363 ± 0.0799	0.6283 ± 0.1212	0.6777 ± 0.0725	0.6777 ± 0.0661
	TSS	0.3692 ± 0.1450	0.2246 ± 0.1338	0.2285 ± 0.1220	0.3631 ± 0.1458	0.2662 ± 0.1413	0.2262 ± 0.1044
8~16	AUC	0.7010 ± 0.0864	0.6102 ± 0.0821	0.6012 ± 0.0700	0.5630 ± 0.0933	0.6742 ± 0.0626	0.6845 ± 0.0674
	TSS	0.4446 ± 0.1187	0.2015 ± 0.1087	0.1838 ± 0.1035	0.2015 ± 0.1845	0.2954 ± 0.1020	0.2992 ± 0.1192

그림 2.100. ASF 위해성 예측 모델 성능 비교.

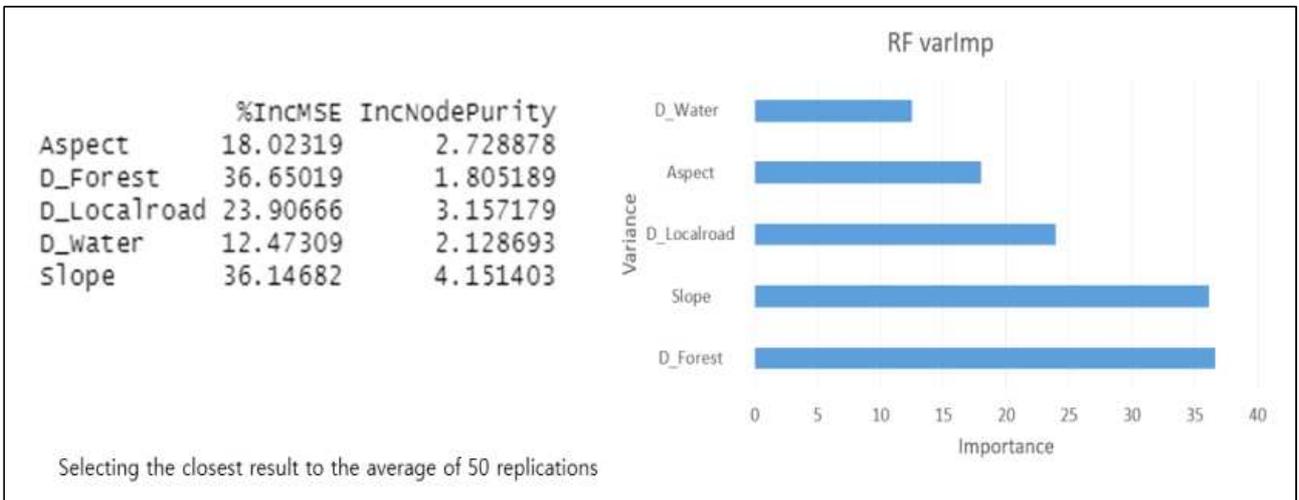


그림 2.101. RF에 따른 변수 중요도.

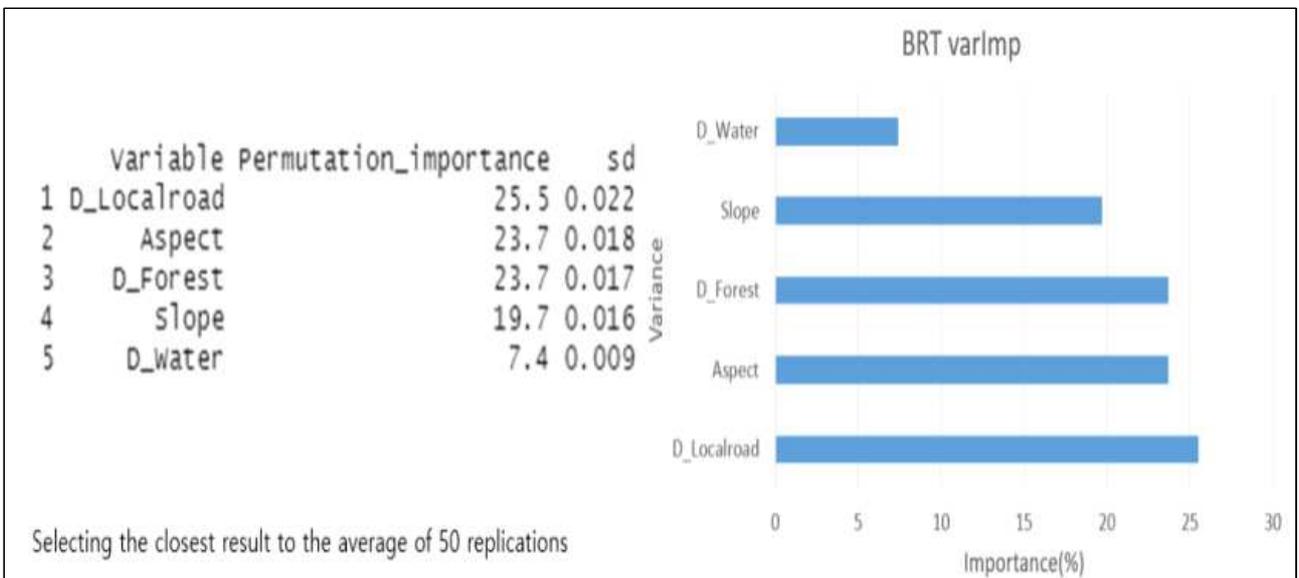


그림 2.102. BRT에 따른 변수 중요도.

- 기작모델 구현을 통한 공간적 전파 및 위해성 분석

- 앞서 언급하였듯이 동물 질병은 숙주 개체군의 동태 및 병원군의 역학적 전파나 차단을 위한 인위적인 노력 등의 많은 요인이 복잡하게 작용한다. 따라서 보다 객관적으로 접근할 필요가 있다. 상기 제시된 자료기반 모델과 함께 생태 기작을 바탕으로 구성되는 기작모델도 유용하게 사용된다. 이론적인 규칙을 근거로 하므로 보다 객관적으로 사상을 전개시키고, 다양한 시나리오에서 모사를 통해 개체군 동태와 질병 전파를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 모사가 가능한 개체기반모델(Individual-based model; IBM)을 구현하고 개체군 생태와 ASF 전파 및 관리 대책 효과에 대하여 모사하였다. 현실적으로 짧은 시간 내에 기작모델을 구현하기 어려우므로 ASF 발생시 효과적인 차단 방역지대 설정 연구 [가축질병대응기술개발사업 (농축 2020-110호)] 연구와 교차 연구를 통해 모델을 구성하였다. 교차연구에서는 공간 규모가 큰 조건(남한반도 대상)에서 거시적 사상을 다루고, 본 연구에서는 조그만 규모에서 미시적 사상을 다루었다. 모수 설정, 규칙 적용 등에서 정보를 교환하였다.

1) 모델 시스템

가) 시스템 규모 및 개괄

- 공간적인 크기는 군 정도의 “30 km X 30 km”로 하고 단위 공간은 30 m X 30 m로 하였다. 본 연구에서는 사례로 홍천군을 대상으로 하였다. 시간 크기는 최대 2,000일이고 단위시간은 1일로 하였다. 교차연구의 거시적 모델에 비해 자연생태계의 야생멧돼지 개체군을 고려하고, 개체 행동을 추가로 모델에 적용시켰다. <그림 2.103>은 모델 흐름도이다. 개체의 생식, 치사 등 시간에 따르는 증감을 모사하고, 은닉마르코프모델(hidden Markov model; HMM)에 의거하여 개체 행동상을 결정하고 서식처를 택하도록 하였다. 개체의 속성으로는 거시적 모델과 같이 위치 및 연령 등이 설정되었다. ASF는 직접 접촉에 의거하여 감염되도록 하였다. 교차연구에서는 별도로 인위적인 효과에 의한 간접 감염도 모사 되도록 하였다. 방지 대책으로 사체제거 등이 고려되었다.

나) 야생멧돼지 자연 밀도 고려

- 거시적 모델에서는 전국을 대상으로 하므로 자연상태의 모든 야생멧돼지를 고려하기에는 계산 시간이 절대적으로 많이 소요되었다. 대신에 작은 지역에서 자연생태계의 야생멧돼지 개체군 밀도를 다루고 보다 섬세한 조건을 주어 모사하도록 하였다. 야생멧돼지 전국의 자연 밀도(야생동물실태조사, 국립생물자원관, 2019)에서 지역별 평균 밀도를 얻고 평균에 따른 임의 분포를 하였다.

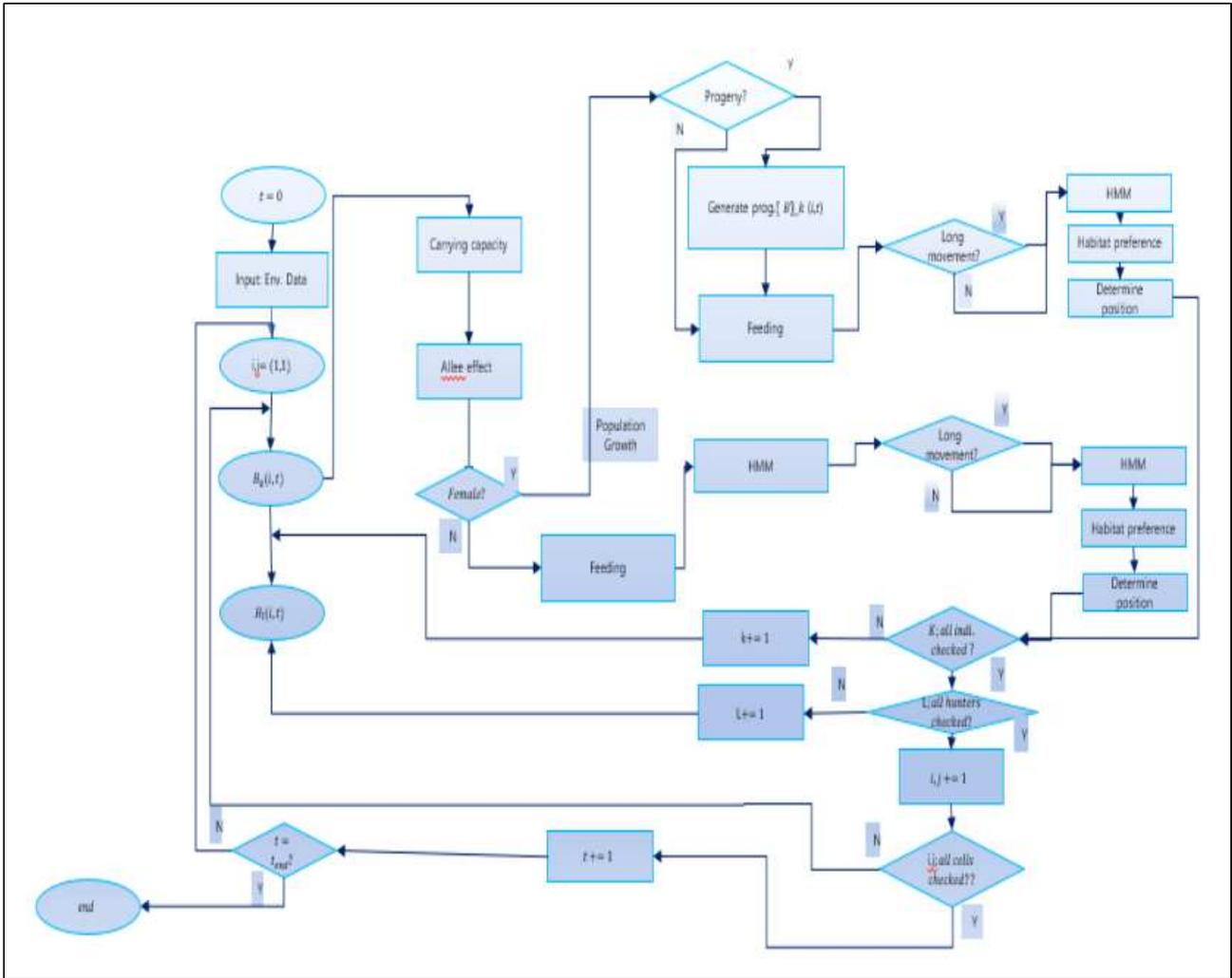


그림 2.103. 개체행동을 고려한 야생멧돼지 증식과 이동에 대한 흐름도.

2) 개체군 분산 및 질병 전파에 관한 알고리즘

가) 생식 및 치사

암컷은 성 성숙(180일) 후 수컷과 교미하여 임신기간(114±5일) 후 <그림 2.104>에 따른 확률로 자손을 생산한다(Lange 2015). 암, 수 컷은 0.55: 0.45 비율로 태어난다. 출산 후 암컷은 일정기간(60일)은 단거리(200 m - 300 m)를 임의로 움직인다. 태어난 후 새끼는 낳아준 암컷과 무리를 지어 다니다가 일정기간(60일)이 지난 후 무리를 떠난다. 죽음은 수명, 수용한도 및 기타 자연적인 요인에 의하여 야기된다. 수명은 14년으로 하였고, 수용한도 이상이 되면 일정기간(5일)이 지난 후 수용한도를 넘는 개체는 임의로 치사된다. 일정한 알리효과 역치(2개체) 이하가 되면 생존이 되지 못하도록 하였다(표 2.23). 기타 관련 모수는 개체의 생식, 사망, 움직임, 감염 등에 대한 모수는 <표 2.23>에 제시되었다. 문헌이 있는 경우, 문헌에 제시된 모수와 본 연구의 모델 및 생태적 여건을 비교하여 결정하였다. 문헌이 없는 경우 실험 자료, 전문가의 경험 및 모델 목적 등을 고려하여 정하였다.

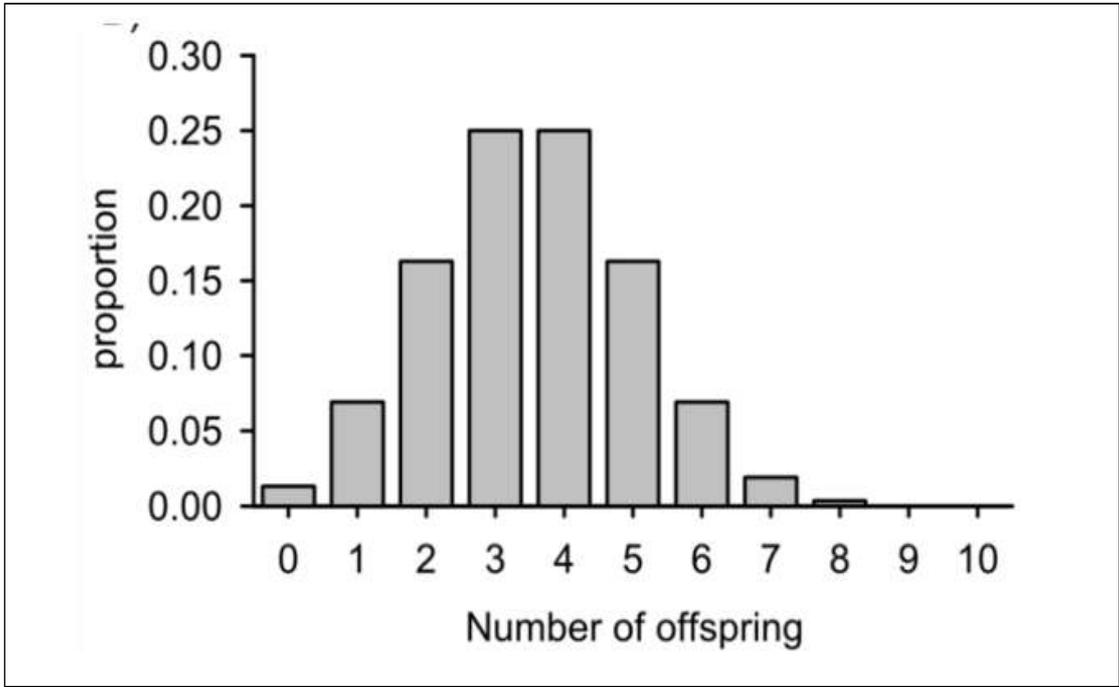


그림 2.104. 야생멧돼지가 생산하는 자손수 확률.

표 2.23. 모델에 사용된 모수.

No.	Parameter	Value	Unit	References
1	Age proportion	{0.50:[1,12], 0.27:[13,24],0.23:[24,170]}	Dml*	Merta et al. (2015)
2	Minimum mating age	180.00	Days	
3	Pregnancy rate	0.0 - 1.0(0.8)	Dml	
4	Gestation period	114±5	Days	Henry et.al. (1968)
5	Postpregnancy period	60	Days	
6	No. of offspring	(1,9)	Indi.	Lange (2014)
7	Prob. deter, offspring no.	[0.012, 0.073, 0.165, 0.242, 0.242, 0.165, 0.073, 0.024, 0.004]	Dml	Lange (2014)
8	Sex ratio [male: female]	0.45 : 0.55	Dml	Merta et al. (2015)
9	Radius of neighbor area	(10 - 20)	Cells	
10	Carrying capacity	30	indi.	
11	Overpopulation holding days	5	Days	
12	Threshold den. for Allee effect	2	Indi.	
13	Long distance movemnt mean	600	m	Data
14	Long distance movement SD	150	m	Data
15	Short distance movement mean	90	m	Data
16	Short distance movement SD	9	m	Data
17	Prob. of short: long movements	[80 : 20]	m	Data
18	Movement of postepregnant boar	200 - 300	m	Guberti et al, (2019)
19	Days of leaving group	60.00	Days	
20	TPM	[[0.84, 0.14, 0.02], [0.05, 0.91,0.04], [0.18,0.39,0.43]]	Dml	Data
21	EPM	[[0.08,0.21,0.61,0.02,0.008], [0.94,0,0.05,0,0,0],[0.29,0,0.04,0,0.66,0]]	Dml	Data
22	Life span	14	Year	Marsan & Mattioli (2013)
23	Initial infection	0.01-1.0 [or 1 - 100]	rate [indi.]	
24	Infection rate	0.0 - 1.0	Dml	
25	Days of death due to disease	6	Day	OIE (2020)
26	Carcass removal	(6, 10, 15, 20, 25)	Day	
27	Dairy farm constant (a2; a3)	(0.1; 0.8)		
28	Traffic load constant (m)	(0.02)		
29	Road distance constant (a1)	(0.10)		
30	Human pop. effect constant (p _i)	(0.1 - 0.9)		

* Dml: dimensionless

나) 이동

- 야생멧돼지는 은닉마르코프모델(hidden Markov model; HMM)에 의거한 개체 행동상 등에 의거하여 공간적으로 움직였다. HMM 관련 자료는 “ASF 발생시 효과적인 차단 방역지대 설정 연구 [가축질병대응기술개발사업 (농축 2020-110호)]”와 교차 연구를 통해 구하였다. <그림 2.105>은 IBM에서 이동행동과 연계된 흐름을 보인다. 실제 자료에 의거하여 확률적으로 장거리(600 ± 150 일) 및 단거리(90 ± 9 일)가 각각 0.2와 0.8이 되게 정한다(표 2.22). 후보거리가 정해진 후 HMM에서 전이확률 매트릭스(transition probability matrix; TPM)에 따라 행동상이 정해지고, 정해진 행동상에 따른 발현확률 매트릭스(emission probability matrix; EPM)에 의거해 적절한 서식처(예, 물이 있는 활엽수, 물이 없는 침엽수, 물과 산림이 없는 곳)가 확률적으로 정해진다. 이후 ASF 감염이 결정된다.

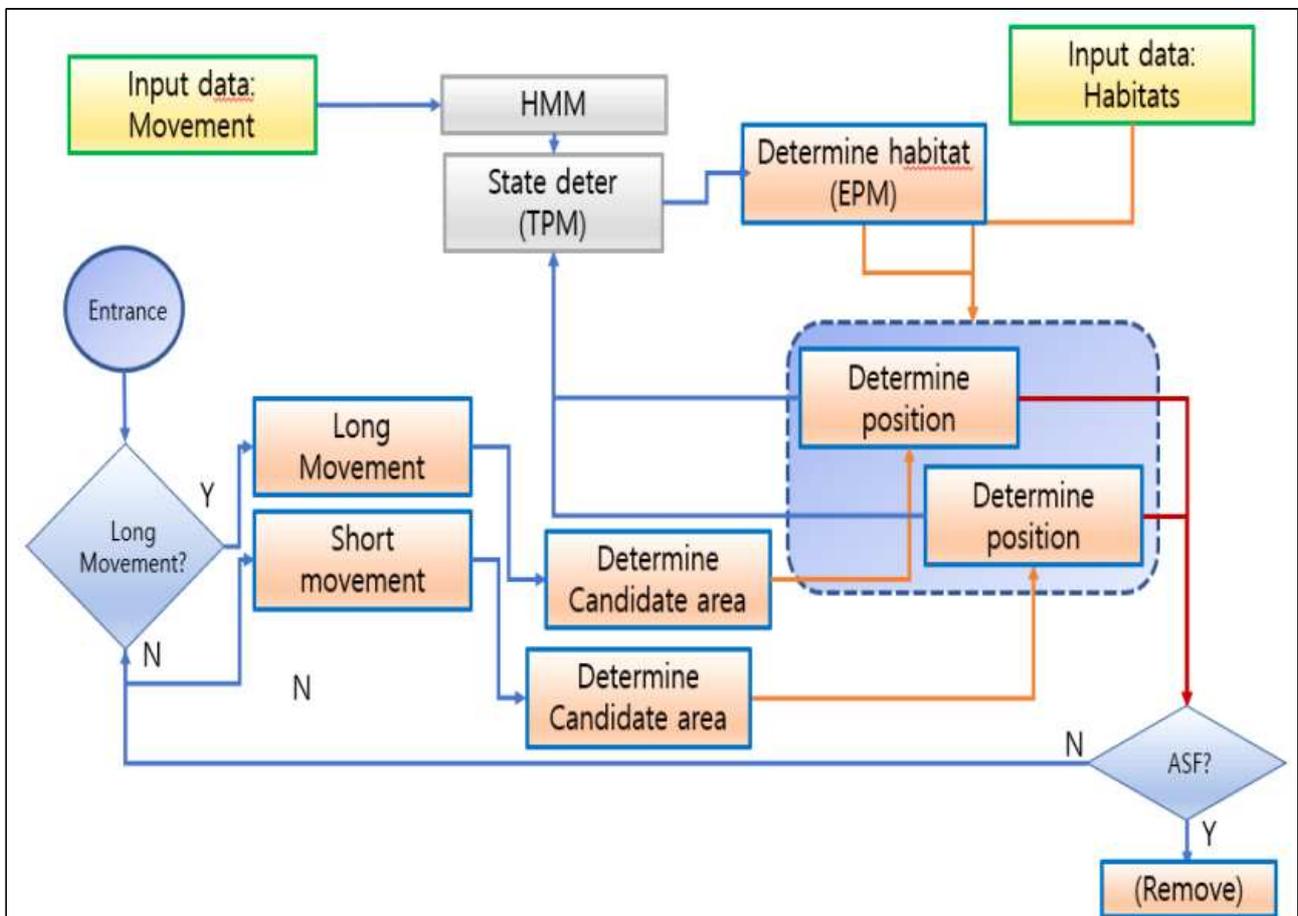


그림 2.105. IBM에서 HMM에 따른 야생멧돼지 개체 이동 및 ASF 전파 모사 흐름도.

다) 질병 감염

- ASF 감염은 감수성 야생멧돼지가 같은 단위 공간에서 감염된 야생멧돼지와 같이 위치할 때 일정한 확률(예, 0.03)로 감염 되었다. 아울러 감염으로 인해 야생멧돼지가 죽었을 때 감염된 사체와 감수성 야생멧돼지가 같은 공간에 있을 때 일정한 확률로 ASF가 감염되도록 하고,

감염 후 일정기간(6일) 후에 죽도록 하였다. 사체는 일정 기간(6 - 25일) 후에 제거되도록 하였다(표 2.22). 추가하여 상기 언급한 교차연구를 통해 별도로 도로와의 거리, 인구밀도, 교통량, 축산농가와의 거리와 연관지은 간접 감염도 모사하여 공유하였다.

2) 모델 운용 및 반응성 검정

· 상기 규칙을 Python으로 작성하고 명칭은 Simulating wildlife dispersal and disease transmission linking with individual behavior (SiWiDi)로 하여 소프트웨어 등록을 하였다. <그림 2.106>는 구현된 SiWiDi 프로그램 예이다. <표 2.24>는 SiWiDi 출력 자료의 예이다. 매 개체의 주요 속성(위치, 성, 나이, 질병 상태 등)이 Excell 파일로 제시 되므로 이 자료를 토대로 시각화 및 후속 분석이 가능하다.

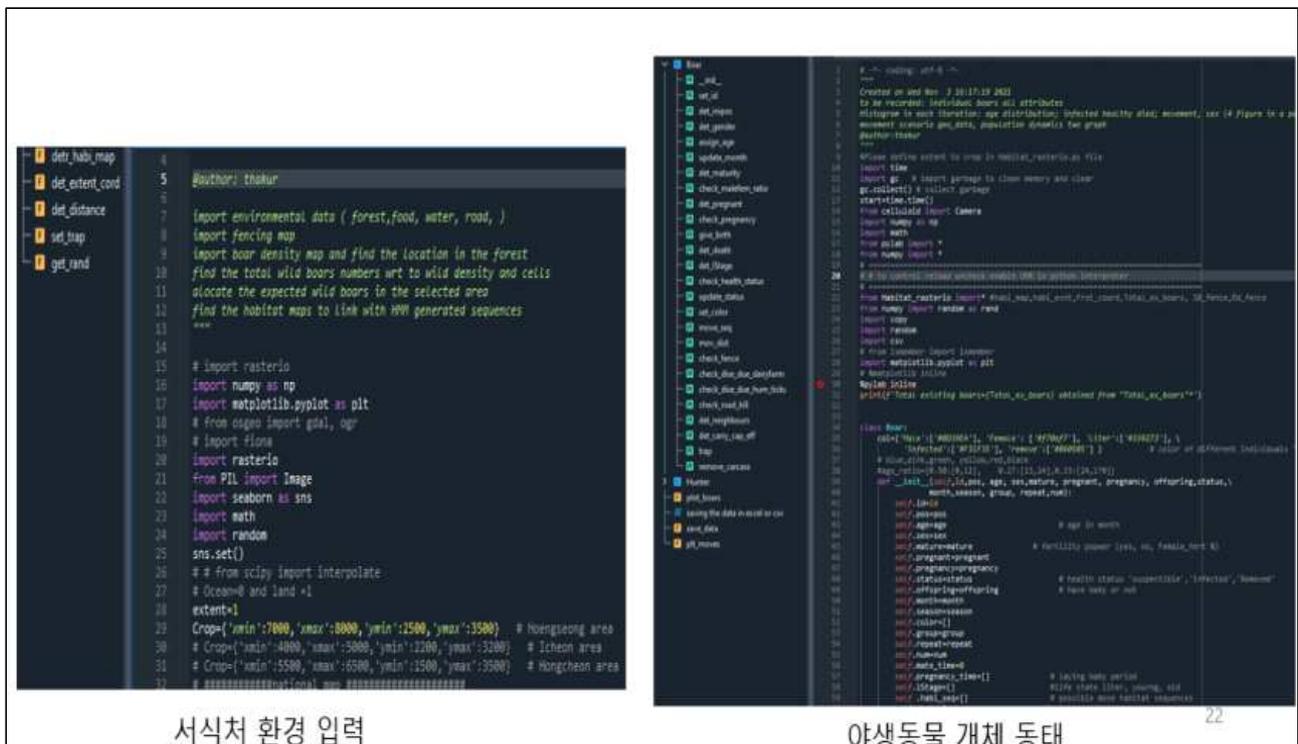


그림 2.106. SiWiDi 프로그램 예.

표 2.24. SiWiDi 출력 자료 (예시).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
pid	moved	offspring	season	group	death	id	repeat	sex	status	hub_seq	color	state	pregnancy_num	mate_time	stage	pregnant	age	pregnancy_month	cata	fertility	h_killme	infect_time	neighbour	neighbour	alien_cousin	mature	is_kill_cousin		
900 207	0		spring		FALSE	1	0	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		[1]	0	Hog		157.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
487 953	0		spring		FALSE	2	0	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		[1]	0	Young		13.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
242 823[833]			spring		FALSE	3	0	Female	Suspect01-P6	[#70a7f]	0		[1]	0	Young		21.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
935 443	0		spring		FALSE	4	0	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		[1]	0	Hog		90.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
323 372	0		spring		FALSE	5	0	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		[1]	0	Hog		135.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
[73 777]	0		spring		FALSE	6	0	Female	Removed-P1	[#06505	0		[1]	0	Young		10.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	1	
968 315[505]			spring		FALSE	7	0	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		[1]	0	Young		6.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
65 907 [1311]			spring		FALSE	8	0	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		[1]	0	Young		19.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
913 445	0		spring		FALSE	9	0	Male	Suspect01-P1	[#00396A	0		[1]	0	Young		5.033		May			0	0	0	0	0	0	0	0
389 941	0		spring		FALSE	10	0	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		[1]	0	Hog		137.033	FALSE	May			0	0	0	0	0	TRUE	0	
212 899[973]			spring		FALSE	1	2	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Hog		157.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	0	
966 479[869]			spring		FALSE	2	2	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Young		13.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	0	
820 243[817]			spring		FALSE	3	2	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Young		21.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	0	
935 443	0		spring		FALSE	4	2	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		10	0	Hog		90.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	0	
323 372	0		spring		FALSE	5	2	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		10	0	Hog		135.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	0	
[73 777]	0		spring		FALSE	6	2	Female	Removed-P1	[#06505	0		10	0	Young		10.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	1	
317 649[484]			spring		FALSE	7	2	Female	Removed-P2	[#06505	1		10	0	Young		6.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	1	
992 35 [1314]			spring		FALSE	8	2	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Young		19.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	0	
439 608[238]			spring		FALSE	9	2	Male	Suspect01-P6	[#00396A	0		10	0	Young		5.066		May			0	0	1	[_main_	0	0	0	0
942 599[498]			spring		FALSE	10	2	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Hog		137.066	FALSE	May			0	0	1	[_main_	0	TRUE	0	
901 206[973]			spring		FALSE	1	3	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	0		10	0	Hog		157.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	0	
960 479	0		spring		FALSE	2	3	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		10	0	Young		13.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	0	
242 813[810]			spring		FALSE	3	3	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Young		21.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	0	
935 443	0		spring		FALSE	4	3	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		10	0	Hog		90.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	0	
323 372	0		spring		FALSE	5	3	Female	Suspect01-P1	[#70a7f]	0		10	0	Hog		135.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	0	
[73 777]	0		spring		FALSE	6	3	Female	Suspect01-P3	[#70a7f]	1		10	0	Young		10.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	1	
317 649	0		spring		FALSE	7	3	Female	Suspect01-P5	[#70a7f]	1		10	0	Young		6.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	1	
57 985 [1318]			spring		FALSE	8	3	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Young		19.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	0	
439 608	0		spring		FALSE	9	3	Male	Suspect01-P3	[#00396A	0		10	0	Young		5.099		May			0	0	2	[_main_	0	0	0	0
593 928[486]			spring		FALSE	10	3	Female	Suspect01-P2	[#70a7f]	1		10	0	Hog		137.099	FALSE	May			0	0	2	[_main_	0	TRUE	0	

가) 개체군 분산 및 질병 전파 반응

- 모델을 운용하여 시간적으로 개체군 밀도가 증가되고, 공간적으로 분산하며, 질병이 전파되는 반응을 확인하여 모델 가용성을 검증하였다. <그림 2.107>는 최초밀도를 10개체로 5월에 모사를 시작하여 감염율이 0.01일 때, 오른쪽 그림에서 보듯이 개체가 움직이고 감수성 개체군이 증가하며(실선화살표), 일정수 감염개체군이 생성됨(점선화살표)을 알 수 있었다. 오른쪽 아래 그림은 개체 속성을 종합한 연령, 감염상태, 움직인 거리 및 성별 개체군을 시각화하여 나타낸다. 이로써 개체군 크기의 증폭과 질병 전파에 대한 모델 반응성을 확인할 수 있었다. 단 그림에서 제시된 개체수 등 수치는 모델 상황에 따라 가정된 값이므로 변동될 수 있다.



그림 2.107. 개체군 움직임을 통한 개체군 분산 및 ASF 전파 반응도 검증.

나) 행동 반응

- 아울러 개체기반 모델은 개체 수준에서의 행동 양상을 모델에 반영시킬 수 있다. <그림 2.108>은 개체가 2개의 행동상을 가지고 있을 때 감수성 개체군과 감염개체군의 행동상을 5반복 모사한 결과를 보인다. 본 사례에서는 E1(활엽수와 물이 있음), E3(침엽수와 물이 있음) 및 E5(산림이 없으나 물은 있음) 사상이 나타나는데 주로 E1, E3에서 많이 나타남을 알 수 있었다. 본 모사모델에서는 물의 경우 수원과 100 m 이내에 있을 때 “Water”로 정의하고 그렇지 않을 경우 “No-water”로 정의하였다. 아울러 그림 오른쪽 아래에서 보이듯이 모델 운용시 시계열로 2개의 행동상(0과 1)이 정해짐을 알 수 있었다. 개체의 감염 상태에 따른 양상도 모델 운용을 통해 제시될 수 있다. 그림 위쪽은 감수성 개체 및 감염 개체에 대한 서식처 방문을 나타낸다. 감수성 개체 및 감염 개체의 서식처 방문은 크게 달라지지 않

음을 알 수 있었다. 공통적으로 E1, E3을 많이 방문하였다. 그러나 실험이 어려워 감염후 개체의 이상행동은 현재로서는 모델에서 반영되지 않았다. 앞으로 추가적인 실험과 함께 더 모델에 반영되어져야 할 필요가 있다고 여겨진다.

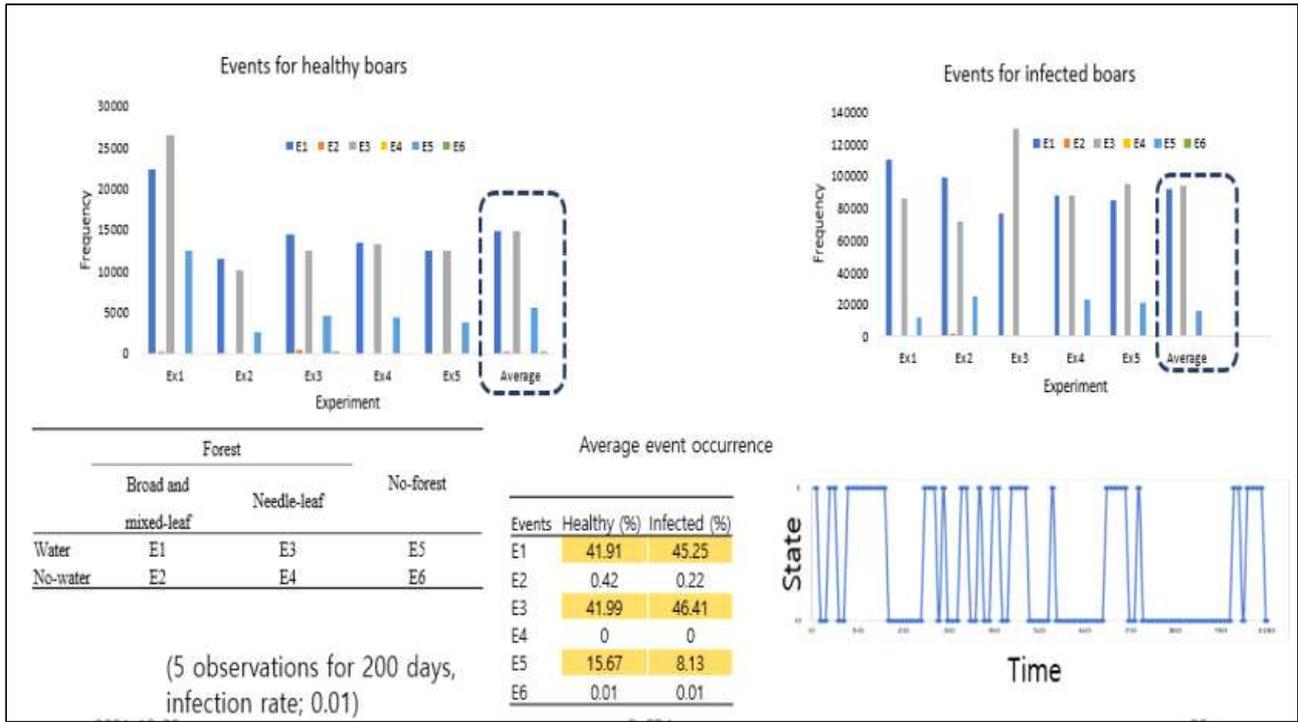


그림 2.108. 모사를 통한 개체 행동상 정의 및 서식처 선택 (예).

다) 질병 감염 양상 및 사체 제거일 검정

· <그림 2.109>은 최초 개체수에 따른 ASF 전파 양상을 보여준다. 최초 개체수와 감염율에 따라 개체군 크기가 달라짐을 알 수 있었다. 감염율이 적을 경우(이 경우 0.1) 최초 개체수가 적거나(100), 많더라도(120) 감염 개체군수가 크게 많아지지 않았다. 반면 최초개체가 증가(120)하고 감염율이 높아질 경우(0.2) 감염개체수가 큰 폭으로 출현함을 알 수 있었다. 이로써 최초 개체수와 감염율의 비선형적 관련성을 알 수 있는데 앞으로 더 연구가 필요하다.

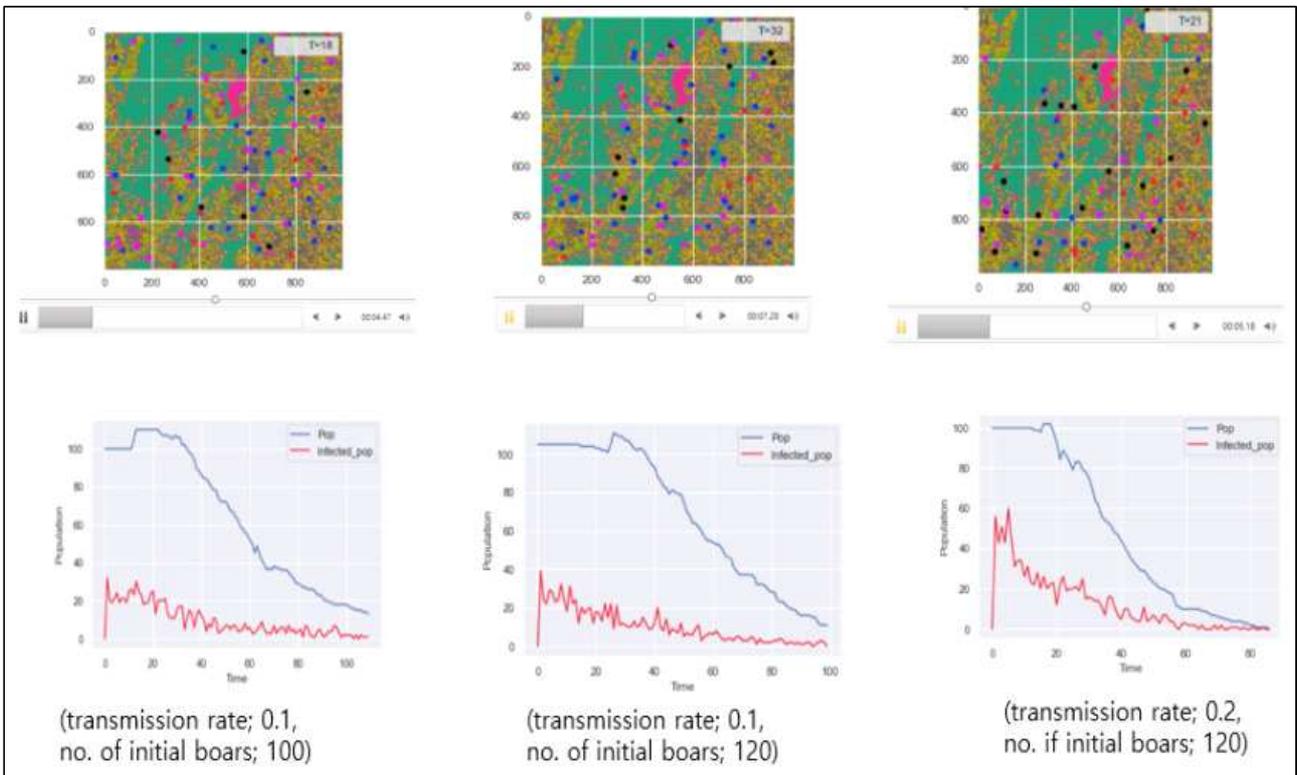


그림 2.109. 최초조건 및 ASF 감염율에 따른 개체군 크기 효과 검정.

- <그림 2.110>은 주요 방역대책 중의 하나인 사체제거일에 따른 전체 및 감염 개체군 크기 변이를 나타낸다. 각 그림에서 수용한도(5 indi.), 감염율(0,03) 등의 주어진 조건에서 사체 제거가 6일과 20일 경우의 전체 및 감염 개체군 크기를 나타낸다. 밀도가 안정된 경우 전체 및 감염개체군의 밀도 차이가 있었는데 사체제거일이 늦어질 경우 사체제거일이 빠를 경우 보다 밀도는 높아져 전체밀도의 경우 사체 제거일이 20일, 6일일 때 각각 3,000 및 1,500개 체이었다(실선), 감염개체군도 차이가 나 각각 3,000 및 1,300개체 이었다(점선). 사체제거가 늦어질 경우 감염개체군의 비율이 상대적으로 높아졌다. 이로써 사체 제거가 늦어지면 질병 전파를 증가시킴을 알 수 있었다.

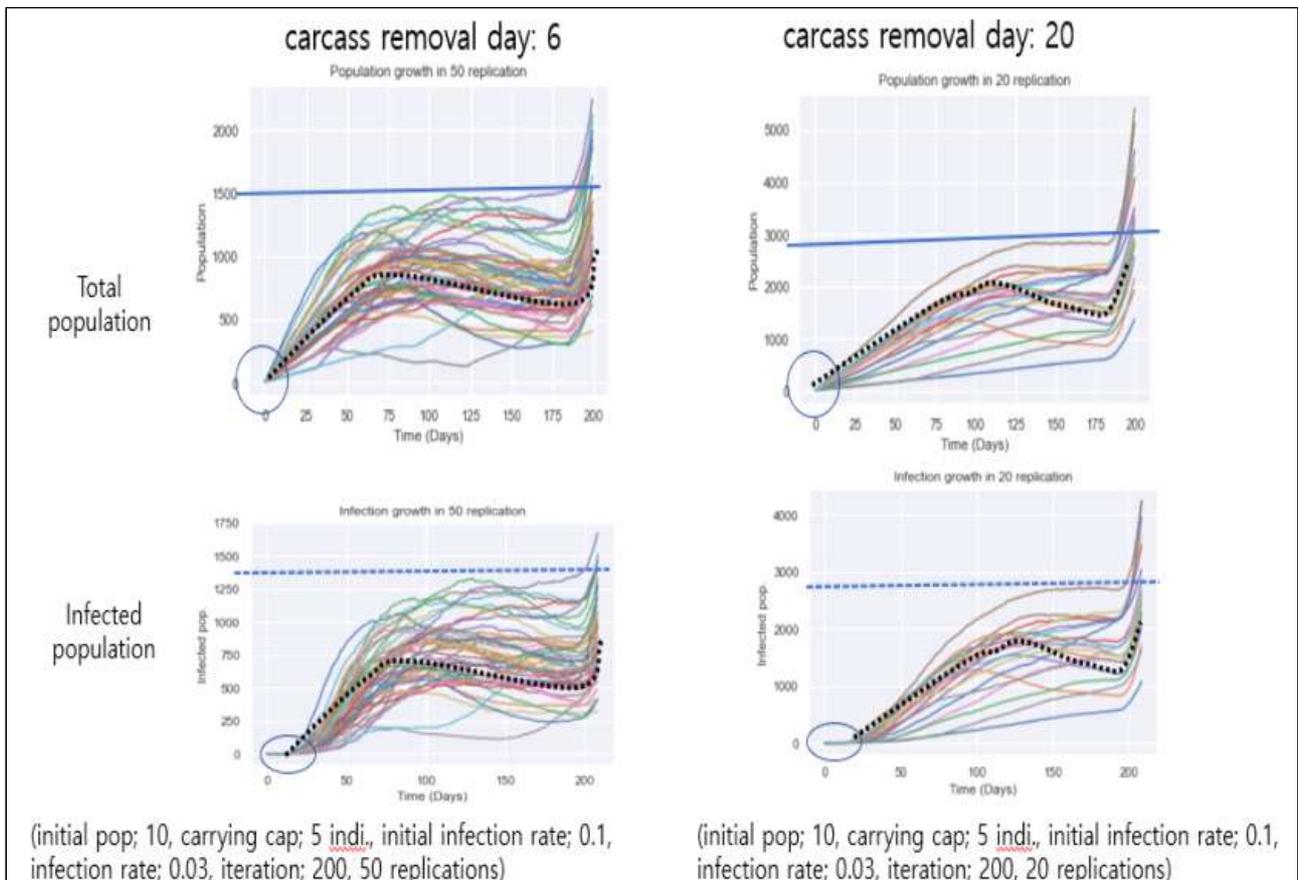


그림 2.110. 사체제거일에 따른 전체 및 감염 개체군 크기 변이에 대한 검정.

- 최초 증가시기가 전체 개체군과 감염 개체군의 차이가 있었다. 전체 개체군의 증가는 즉시 시작되지만, 감염개체군의 경우 보다 늦게 증가 됨을 알 수 있었다(그림 2.107의 실선 타원). 아울러 주목할 점은 각 모사에 따라 개체군 크기의 변이가 심하다는 점이었다. 각 개체군 변이를 효과적으로 보이기 위해 사체제거일이 6일일 경우에는 50 반복, 20일일 경우에는 20 반복을 제시하였다. 각 모사의 반복에 따라 매우 낮은 밀도로부터 매우 높은 밀도까지 다양하게 보였다. 그러나 다양한 가운데서도 빈번히 일어나는 경우가 많아서, 이를 평균적 경향성으로 볼 수 있겠다(그림 2.107의 점으로된 곡선). 각 모사의 변이폭도 모사의 신뢰도를 측정하는데 적용될 수 있다. 190일이 지난 후 밀도가 다시 증가하는데 일정하게 밀도를

안정적으로 유지한 후 밀도가 왜 다시 증가하는지에 대해서는 추후 연구가 필요하다.

- 본 모사모델 연구는 초기 단계이어서 모수 선정이나, 규칙 적용에서 개선해야 될 점이 다수 있으므로, 개체군의 공간 및 시간에 관한 출력 변수를 구체적으로 신뢰하기에는 현단계로서 어려움이 많다. 모사 시간이 많이 소요되나(장시간 일 경우 일회 모사에 PC에서 6시간 - 3일), 모델 개발 시간은 2년 이내로 상대적으로 짧기 때문에 연구 여건상 현실적으로 충분히 모사하기 어려웠다. 다만 모델 구성을 통해 복잡한 병 전파 시스템의 개괄적인 구조성을 밝힌다고 볼 수 있겠다. 현 단계에서는 본 연구에서 예비적으로 모델을 구현하였기 때문에 추후 연구에서 보다 많은 경우에 대해서 모사하고 모델의 세부적인 개선이 필요하다고 여겨진다.

❖ 국내 야생멧돼지 분포 및 병원체 특성을 고려한 차단 방역지대 설정

○ 펜스의 멧돼지 차단 효과 장기 모니터링 연구⁴⁾

(1) 연구 내용

- 펜스가 멧돼지의 이동을 차단하는 효과를 조사하고, 멧돼지의 이동을 제한하는 펜스 효과가 얼마나 지속되는지 모니터링

(2) 연구 결과

- 연구대상지

- 서울과 경기도에 위치하는 북한산 국립공원의 면적은 79.92km²다. 북한산국립공원 동쪽 가장자리 가운데 위치한 우이일교회 인근 인가에 음식물 쓰레기 투기(그림 2.111.A)로 멧돼지가 자주 출몰하고 있다. 이에 2017년 11~12월 북한산국립공원 내림에 서식하는 멧돼지가 우이제일교회 쪽으로 내려오는 것을 막기 위해 길이 300m, 높이 2m의 펜스를 설치했다(그림 2.111.B). A 지역은 북한산국립공원 산림 내에서 펜스로 격리돼 있으며, 면적은 0.035km²로 멧돼지가 서식하기에 매우 좁은 지역이다. 따라서 멧돼지의 임시 체류가 가능하지만, 장기 체류는 적합하지 않을 것으로 보인다. 이 지역으로의 멧돼지 이동도 펜스에 의해 매우 제한될 것으로 보인다. B지역은 북한산국립공원 내 산림과 연결돼 있어 이 지역으로의 멧돼지 이동에 제약이 없을 것으로 보인다.

4) 본 연구는 국립공원연구원의 도움을 받아 수행하였다.



그림 2.111. 북한산국립공원 중심 동쪽부(A) 및 울타리 설치지역(B)의 연구 영역(노란색 원). B에서, A는 펜스와 인간 거주지로 둘러싸여 있고(펜스 설치 지역) B는 국립공원 내 산림(펜스 비설치 지역)과 연결되어 있음. B01과 B02는 펜스(빨간색 선) 근처에 카메라가 설치된 장소를 나타냄.

- 카메라 트랩 데이터 수집과 통계 분석

- 카메라 트랩(Browning BTC-8A; Browning, USA)은 야생동물이 카메라 앞을 지나갈 때 자동으로 포착하는 동작 센서를 특징으로 한다. 카메라는 100cm 높이로 나무에 수직으로 설치됐다. 사진 촬영 간격은 3회 연속 촬영이 가능하도록 설정했으며, 촬영 지연 시간은 1분이었다. 연속된 사진 3장 중 단 1장만 분석에 활용됐다. 한 개체가 촉발한 중복 사진의 영향을 배제하기 위해, 여러 장의 사진이 찍힌 경우, 한 장의 사진만 사용했다(Otis et al. 1978). 같은 종의 여러 개체가 한 사진에 찍혔을 때 사진 수는, 사진 수에 사진 속 개체 수를 곱한 것이다.
- 펜스 설치 전인 2017년 5월 15일 펜스 설치 예정 경로 주변 2곳(B01-B02)에 카메라 트랩을 설치했다. 카메라 트랩 모니터링은 2017년 6월 1일부터 2021년 10월 30일까지 53개월 동안 수행되었다. 펜스 설치 작업이 진행된 2017년 11월과 12월을 제외한 51개월간의 모니터링 자료는 멧돼지 외형 분석에 활용됐다. 분변과 털, 나무 비비기 등 멧돼지 흔적이 자주 발견되는 곳 주변에는 카메라가 설치됐다. 배터리 교환과 데이터 다운로드를 위해 두 달에 한 번씩 카메라 점검을 했다. 카메라 트랩 데이터의 통계 분석은 IBM SPSS Statistics 28.01.0을 사용하여 수행되었다.

(3) 연구 결과

- 멧돼지 출현 빈도

- 2017년 10월과 11월(그림 2.112)을 제외한 51개월간의 카메라 트랩 모니터링 기간 동안 B01에는 365회, B02에는 1,135회 멧돼지가 출현했다. 펜스가 설치되기 전인 2017년 6월 1일부터 10월 30일까지 5개월 동안 B01에서 66회, B02에서 42회 멧돼지가 출현했다. 월평균 출현 횟수는 B01이 13.2 ± 14.6 회($n = 5$, $r = 0-35$)였고 B02가 8.4 ± 6.3 회($n = 5$, $r = 1-18$)였다. 출현 횟수는 B01이 B02보다 1.57배 높았지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Mann-Whitney U test: $n = 5$, $z = -.315$, $p > 0.05$). 그러나 울타리 설치 후 46개월 동안 모니터링을 실시한 결과, B01에서 멧돼지가 총 299회 출현한 반면 B02는 1093회 출현했다. 월평균 출현 횟수는 B01에서 6.5 ± 10.5 ($n = 46$, $r = 0-48$)였으며 B02에서는 23.8 ± 17.7 ($n = 46$, $r = 0-89$)이었다. 출현 횟수는 B02보다 B01에서 유의하게 낮았다(t 검정: $n = 46$, $p < 0.05$). B02에서의 출현 횟수에 비해 B01은 3.66회가 낮아 펜스의 멧돼지 출현 감소 효과가 72.6%로 나타났다.

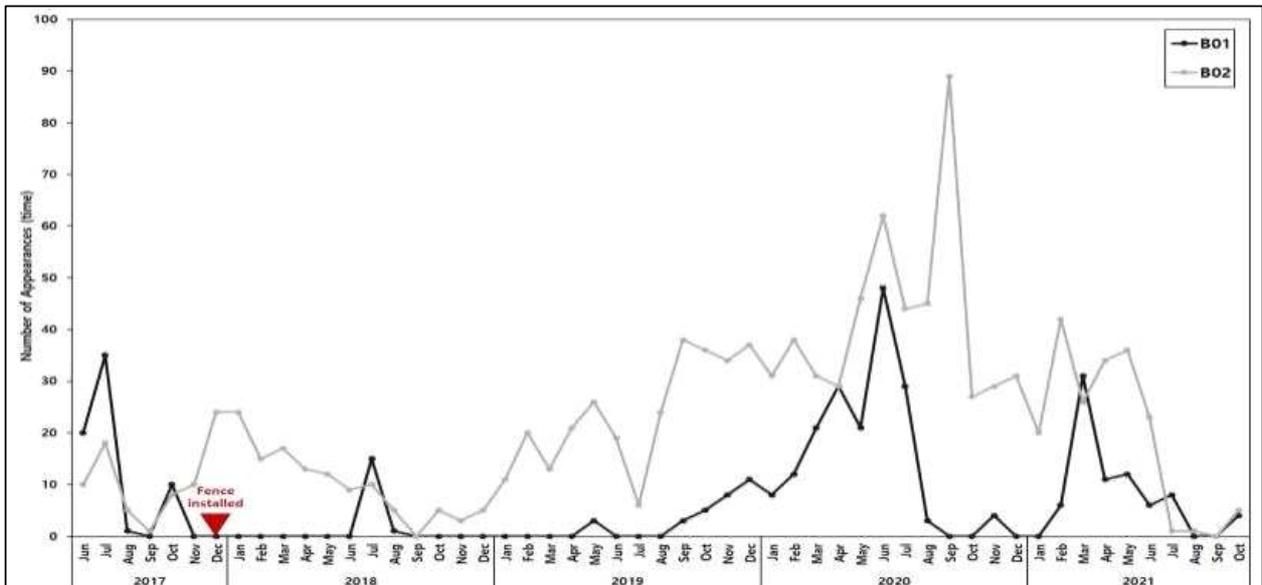


그림 2.112. 2017년 6월 1일부터 2021년 10월 30일까지 B01과 B02의 멧돼지 출현 횟수.

- 펜스 설치 이후 2019년 8월까지(그림 2.109) 20개월 동안 멧돼지는 B01에서 19회(2018년 7월 15회, 8월 1회, 2019년 5월 3회) 출현하는 데 그쳤으나, 이 기간 동안 B02에서는 총 258회 출현했다. 따라서 펜스 설치 후 20개월 동안 멧돼지 출현이 92.6% 줄어들 정도로 펜스 차단 효과가 높았다. 2020년 9월 이후 멧돼지들도 펜스로 고립된 B01에서 증가 추세를 보였다.
- B02(그림 2.113)의 연간 멧돼지 월평균 출현 횟수 변화에는 이전 연구(Choi et al. 2021)에서 북한산국립공원 전역에서 모니터링한 2018~2020년 멧돼지 밀도 변화 추이가 잘 반영되

있으며, B01의 멧돼지 출현 경향도 B02(그림 2.109-110)의 영향을 받을 가능성이 높다. 월 평균 출현 횟수는 펜스 설치 전인 2017년 B02 때보다 B01이 57% 많았지만, 펜스가 설치된 2018년 이후 B01은 훨씬 적었다. 월평균 출현 횟수는 2018년 86.4%, 2019년 89.5%, 2020년 65%, 2021년 59%로 B01이 B02보다 각각 낮았다(그림 2.110).

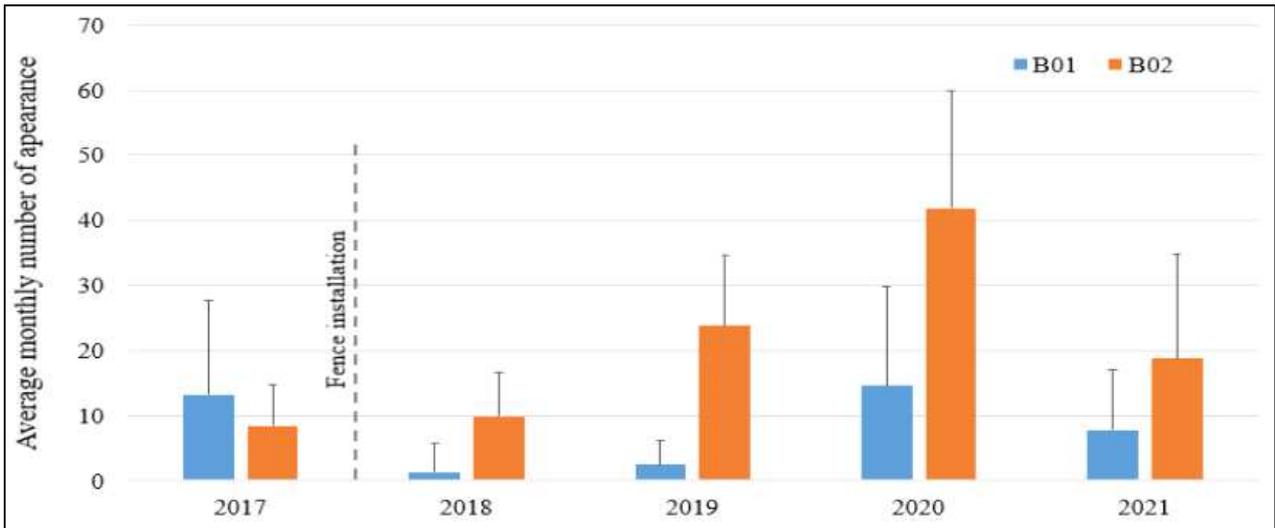


그림 2.113. 2017년부터 2021년까지 B01과 B02의 월평균 멧돼지 출현 횟수(2017년 6월 1일부터 10월 30일까지 5개월, 2021년 1월 1일부터 10월 30일까지 10개월 동안 월평균 출현 횟수).

- **일별 활동**

- 2019년 11월 1일부터 2020년 10월 31일까지 1년간 촬영한 카메라 트랩 데이터(B01에서 272장, B02에서 761장)를 분석해 펜스 인근 멧돼지의 일별 활동을 파악했다. 펜스 인근 두 곳(그림 2.111)에서는 낮 시간(오전 5~6시)에 멧돼지가 출현하지 않았다. 멧돼지는 오후 11시부터 오전 6시까지 B02보다 B02에서, 오후 5~9시에는 B01보다 B02에서 다소 높게 출현했지만, 멧돼지의 일별 출현 패턴은 펜스로 분리된 두 곳에서 비슷한 경향을 보였다(그림 2.114).

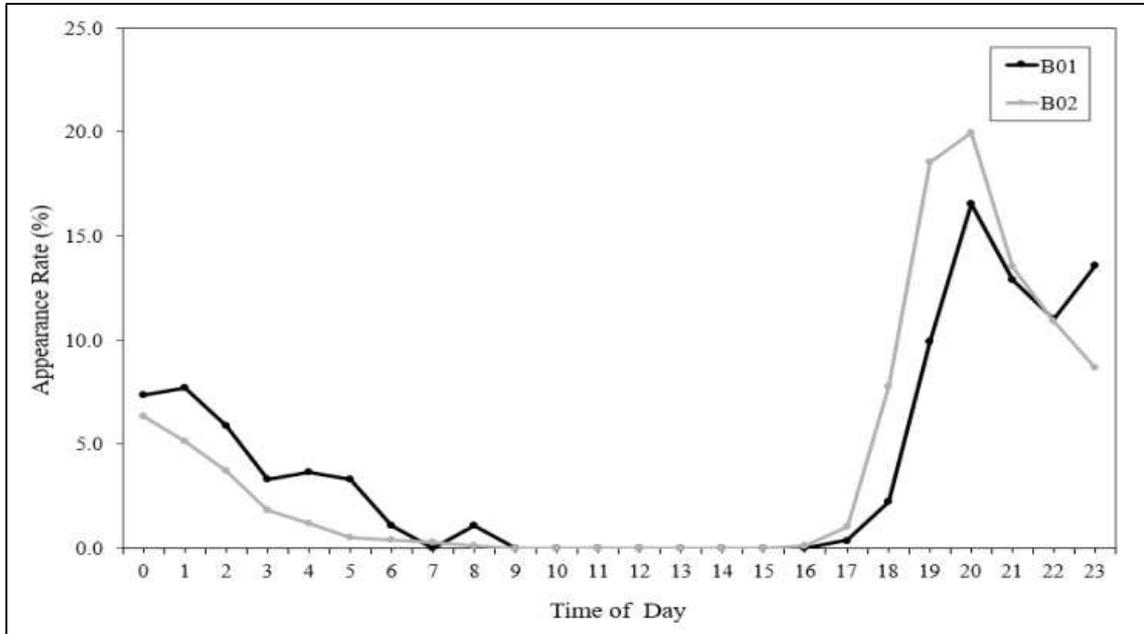


그림 2.114. B01(n=272) 및 B01(n=761)의 일별 멧돼지 출현율 카메라 트랩 데이터는 2019년 11월 1일부터 2020년 10월 31일까지 1년간 촬영되었음.

- 관리 결과

- B02의 경우, 2018년 10월 이후 계속 증가하고 있는 멧돼지 출현 건수가 2020년 10월 급격히 감소했고, 이후 감소 추세가 이어지고 있다. 국내에서는 파주시 국내 양돈농가에서 ASF가 처음 발생한 데 이어 2019년 10월 2일 연천군에서 ASF에 감염된 멧돼지의 사체가 발견됐다. 이후 멧돼지들 사이에 ASFV가 확산하는 것을 막기 위해 전국적으로 멧돼지가 사냥되어 왔다. 이러한 멧돼지 밀도를 줄이기 위한 활동이 2020년 10월 이후 북한산국립공원 내 멧돼지 출현에도 영향을 미쳤을 것으로 보인다.
- 펜스는 야생동물(Hone and Atkinson, 1983)의 이동을 차단하기 때문에 야생동물로 인한 농작물 피해를 줄이는 효과적인 수단이었다. 또한 도심권 국립공원 내 탐방객과 야생동물의 접촉 기회를 줄여 인명피해를 사전에 차단할 수 있다. 특히, 펜스는 ASF 감염 사체 제거 및 멧돼지 밀도 감소와 함께 멧돼지의 이동을 제한함으로써 ASF 감염 지역 멧돼지 간 전염이나 ASFV 감염의 잠재적 위험(EFSA et al. 2014)을 차단하는 강력한 수단이다. 국내에서는 2022년 11월 20일까지 강원도와 경기도, 충청북부에서 총 1,710건의 ASF 감염이 발견됐다. ASF의 남쪽으로의 확산을 막기 위해 3층의 펜스가 설치되었다. 먼저 ASF 감염 사체가 발견된 현장 주변 1~2km 거리에 전기 펜스를 설치하고, 전기 펜스 둘레 약 5~10km 지점에 1.5m 높이의 반강체 펜스를 설치하고, 마지막으로 250km 길이의 펜스를 동서로 가로지르는, 두 번째 펜스로부터 남쪽으로 20~30km 떨어진 지점에 설치했다(Jo and Gortázar 2020).
- 그러나 이렇게 넓은 면적에 펜스가 설치됐음에도 불구하고 설치된 펜스의 효과와 효과 지속 기간에 대한 연구는 상대적으로 미흡했다. 본 연구 결과에 따르면 설치 후 20개월 동안 펜

스가 매우 효과적이었다. 펜스를 오래 유지하면 서식지 파편화로 이어질 가능성이 높다. 이는 또한 멸종 위기에 처한 산양을 포함한 다른 야생동물의 이동을 막을 수 있다. 이번 연구는 시범 연구로, 멧돼지 이동 차단을 위해 설치한 펜스에 대해 20개월의 유지 기간을 제시하고 있다. 펜스의 차단 효과가 얼마나 지속되는지 확인하기 위해서는 펜스의 길이와 높이, 지반면 상태 등을 고려한 추가 연구가 필요하다.

○ 가축전염병 차단 방역지대 설정 연구

(1) 연구 내용

- 야생멧돼지 분포 및 감수성 농가(시설) 분포를 고려한 차단 방역지대 설정
- 국내 야생멧돼지의 주요 이동로 파악
- 야생멧돼지 지역별 질병 발생에 따른 차단 방역대 및 대책 강구

(2) 국내 아프리카돼지열병(ASF) 대응 현황

- 국내 ASF 발생현황 현황

가. 양돈 농가 발생현황

- 2019년 9월 16일 파주 양돈 농가에서 ASF가 발생한 이후 2021년 8월 26일 홍천 농가까지 총 21건 발생하였다. 2019년도에 14건 모두 경기도 양돈 농가에서 발생을 하였으며, 2020년부터는 7건 모두 강원도에서 발생하였다.

표 2.25. 양돈농가 ASF 발생현황(2022.01.31. 농림축산식품부).

구분	경기				강원					계
	파주	연천	김포	강화	화천	영월	고성	인제	홍천	
2019	5	2	2	5	-	-	-			14
2020	-	-	-	-	2	-	-			2
2021	-	-	-	-	-	1	1	2	1	5
계	5	2	2	5	2	1	1	2	1	21

나. 야생멧돼지 발생현황

- 2019년 10월 2일 경기도 연천구 DMZ 내 야생멧돼지에서 최초 발생한 이후 현재 (2020.02.13.) 총 2,120건이 발생하였다. 2019년도와 2020년도에는 경기도와 강원권에서 ASF가 발생하다가 2021년 11월 18일 충북 단양에서 발생하여 강원권을 벗어난 이후 지속적으로 확산을 하고 있으며 2022년 2월에는 경북 상주와 울진에서 ASF확진 개체가 확인되어 빠른속도로 남하하고 있다.

표 2.26. 야생멧돼지 ASF 발생 현황(22.02.13. 환경부).

구분	파주	연천	포천	가평	철원	화천	춘천	양구	인제	고성	영월	양양	강릉	홍천	평창	속초	정선	횡성	삼척	단양	제천	원주	동해	보은	충주	상주	울진	합계
누적건수	100	418	93	45	36	423	195	80	154	11	105	35	49	45	37	1	108	44	20	66	25	6	2	3	2	15	2	2,120

다. 정부의 ASF 방역 추진 현황

- ASF 관리를 위하여 정부에서는 아프리카돼지열병(ASF) 중앙사고수습본부(본부장 농림식품부장관)를 두고 농림식품부(ASF 국내방역반, ASF 종합상황반)에서는 전반적인 ASF 대응 및 사육돼지 중심으로 환경부(ASF 총괄대응팀)는 야생멧돼지 중심의 ASF 발생에 대하여 대응을 하고 있다.



그림 2.115. 아프리카돼지열병 방역대책 추진전략(아프리카돼지열병 중앙사고수습본부, 2021. 2.25).

- 야생멧돼지 관리는 크게 3가지로 멧돼지 집중포획을 통한 서식밀도 저감과 폐사체 수색 및 멧돼지 이동 차단을 위한 전력적 울타리 설치를 통해 ASF 발생에 대응하고 있으며, 사육돼지는 사람/차량/매개체로 인해 오염원이 농장 내부로 유입되지 않도록 선제적 차단 방역으로 대응하고 있으며 이를 위해 강화된 8대 방역시설(외부 울타리, 내부 울타리, 방역실, 전실, 입/출하대, 방조/방충망, 폐사체 보관시설, 물품반입시설)을 양돈농장에 설치를 의무화 하고 있다.



그림 2.116. 양돈 농장 강화된 8대 방역시설 모식도(농식품부).

라. 차단 방역지대 설정

- 아프리카돼지열병이 2019년 9월 국내에서 처음 발생한 이후 양돈 농가 및 야생멧돼지에서 지속적으로 발생하고 있으며, ASF 발생이 2019년과 2020년 경기도와 강원도에서만 발생하다가 2021년 11월 충청북도까지 확산 되었으며 2022년 2월에는 경상북도까지 확산되어 빠르게 남하하고 있다. ASF 대응을 위해서는 야생멧돼지를 전멸시키는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 양돈 농장 중심의 방역 대책 마련이 필요하다. 현시점에서 ASF가 단기간 종식시키기 어렵기 때문에 장기적인 관점에서 관리가 필요하다. 현재 ASF 대응 관리방안으로 양돈농가 방역수준 외 야생멧돼지 ASF 관리를 위해 서식밀도 저감, 폐사체 수색과 울타리 설치 등이 진행되고 있지만, 지속적인 확산으로 관리범위가 넓어지면서 인력과 비용의 한계가 발생하고 있다. 본 연구에서는 효율적인 ASF 대응 관리를 양돈농가 중심의 차단 방역지대 설정을 통해 양돈농가 중심으로 야생멧돼지 관리를 제안하고자 한다.

(3) 연구 방법

- 국내 야생멧돼지 이동로 분석

- 서식지 적합성 분석 결과를 서식지 연결망 분석에 이용하였으며 분석에는 Connectivity Analysis Tool(CAT)을 사용하였다.
- 입력데이터로 사용될 서식지 적합성 분석 파일은 HexSim 4.0.18 프로그램을 이용해 500ha 면적의 육각형 파일로 변환하였다.
- 육각형 파일로 변환 시 육각형 면적 안의 셀의 서식지 적합도 값을 합산하도록 설정하였다.
- 연결 분석은 CAT 기능 중 하나인 Shortest-Path Betweenness Centrality(최단 경로 매개 중심성) 방법을 이용하였고 그 외 값들은 기본값으로 설정하였다.
- 연결경로 값에 따라 0-0.01에 해당하는 지역은 연결 분석에서 제외하였고, 0.01-0.03은 낮은 확률의 이동로, 0.03-0.05는 보통 확률의 이동로, 0.05-0.2는 높은 확률의 이동로로 구분하였다(Carroll et al., 2012).
- 서식지 연결망 지도 제작은 QGIS 3.16.8을 이용하였다.

- 가축 사육농가 및 가축전염병 감수성 농가 분포도 구축

- 농림축산식품부(MAFRA)의 전국 양돈농가 현황 자료를 이용해 국내 야생멧돼지 가축전염병 관련 농가 현황을 파악하였고 QGIS 3.16.8을 이용해 전국 양돈농가 지도를 구축하였다.
- 농가 규모에 맞는 차단 방역대 설정이 필요하므로 등록된 하나의 농가는 한 개 지점이 아닌 규모에 따라 여러 지점으로 나누어 분석하였다(그림 2.117).
- 전국 양돈농가 현황을 본 연구에서 연구된 멧돼지 행동권(MCP100)을 고려하여 반경 5km의 열지도(커널 밀도 추정)로 나타내 지자체별 주요 밀집 지역을 파악하였다.



그림 2.117. 양돈농가 규모에 따른 지점 수 예시.

- 가축전염병 차단 방역대 설정
- 야생멧돼지 차단을 위한 방역대 설정이어서 양돈농장에서 효과적인 차단 방역 거리는 양돈농가 중심으로 야생멧돼지 행동권을 고려하여 반경 5km 주변을 선정하였으며, 양돈농장의 지점별 5km의 방역대를 중첩시켜 중첩도에 따라 차단 방역대 설정지역을 1) 핫스팟 지역 (중점 관리지역), 2) 주요 관리지역, 3) 일반 관리 지역 총 세가지 유형으로 나누어 설정하였다.
- 핫스팟 지역은 양돈농가 열지도(커널 밀도 추정)를 이용해 가축전염병 감수성 농가 상위 세 개 지역을 선정하였다. 핫스팟 지역 주변의 도로, 산맥, 기존에 설치된 울타리 현황과 이동로 분석 결과를 GIS 프로그램 상에서 비교하여 주요 차단 방역대를 설정하였다.
- 주요 관리 지역에 대한 차단 방역대 설정을 위해 GIS프로그램을 이용해 농가당 5km의 차단 방역대를 설정하고 점밀도 분석을 통해 차단 방역대가 중첩되는 지대에 대해 분석하였다.
- 농가 지점 수에 따른 중첩되는 차단 방역대의 면적을 전국 면적과 비교하여 핵심 방역 지대 (1차), 주요 방역 지대(2차), 일반 방역 지대(3차)로 나누었다.
- 아직 확산이 되지 않은 지역을 대상으로 야생멧돼지 주요 이동로와 비교하여 주요 차단 방역대를 제시하였다.

(3) 연구 결과

- 야생멧돼지 서식지 연결 분석
- 서식지 연결망 분석 결과, 서식지 적합도가 높은 지역을 따라 연결망이 생성되었다(그림 2.115). 서식지 연결경로 값이 클수록 더 높은 이동 가능성을 나타내는데 충청북도, 경상북도, 전라북도, 전라남도를 따라 서식지 연결경로 값이 높게 나타났다
- 이동로 분석 결과는 ASF 감염 멧돼지 사체 발견지점으로 생성된 서식지 적합성 결과를 통해 산출되었기 때문에 해당 결과는 앞으로 확산이 될 가능성이 있는 주요 경로를 나타낸다.
- 우리나라 산경표에 근거한 남한의 1대간 9정맥과 서식지 연결망을 중첩하여 확인한 결과,

일부 경로는 산맥을 따라 이어졌으며 월악산국립공원부터 지리산국립공원까지의 백두대간 구간에서는 서식지 이동 경로 값이 높은 것으로 나타났다(그림 2.118).

- 낙동정맥을 따라 강원도부터 경상북도, 부산 지역까지 이동 경로가 생성되었으나 서식지 연결경로 값은 낮은 것으로 확인되었다. 강원 지역에서 타지역으로의 확산 가능성을 고려하였을 때 월악산을 시작점으로 백두대간 줄기에 속해있는 충청북도와 경상북도로 우선 확산될 가능성이 더 높은 것으로 나타났다. 서식지 적합성 결과에 따르면 강원도 다음으로 충청북도와 경상북도에 멧돼지의 주요 서식지가 많으므로 연경 경로 위주의 주요 차단 방역대를 설정해야한다. 2021년 11월에 충청북도 제천시와 단양군에서 ASF 감염 사체가 발견되어 실제 확산 양상이 경상북도보다 충청북도에서 빠른 것으로 확인되었다.
- 2022년 1-2월에 속리산국립공원 경계 밖의 충청북도 보은군과 경상북도 상주시에서 ASF 감염 개체가 발견되어 실제 확산이 이동경로에 따라 진행되고 있음을 확인하였다.
- 백두대간 산맥을 따라 주요 방역 대책을 강구할 필요가 있을 것으로 판단되며 그 외 연결경로에 대해서도 차단대책 마련이 필요하다.

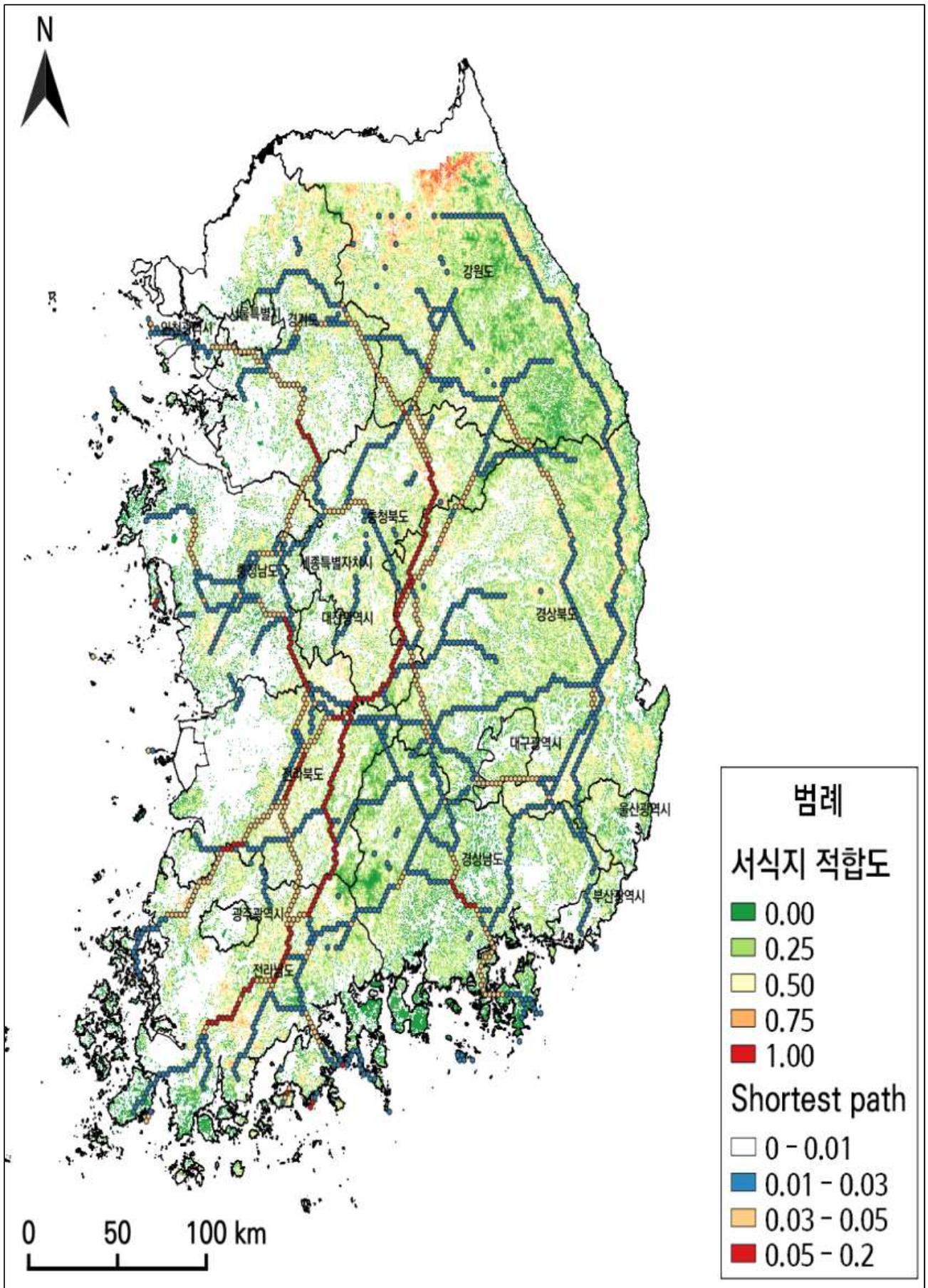


그림 2.118. 서식지 연결 분석 결과(1).

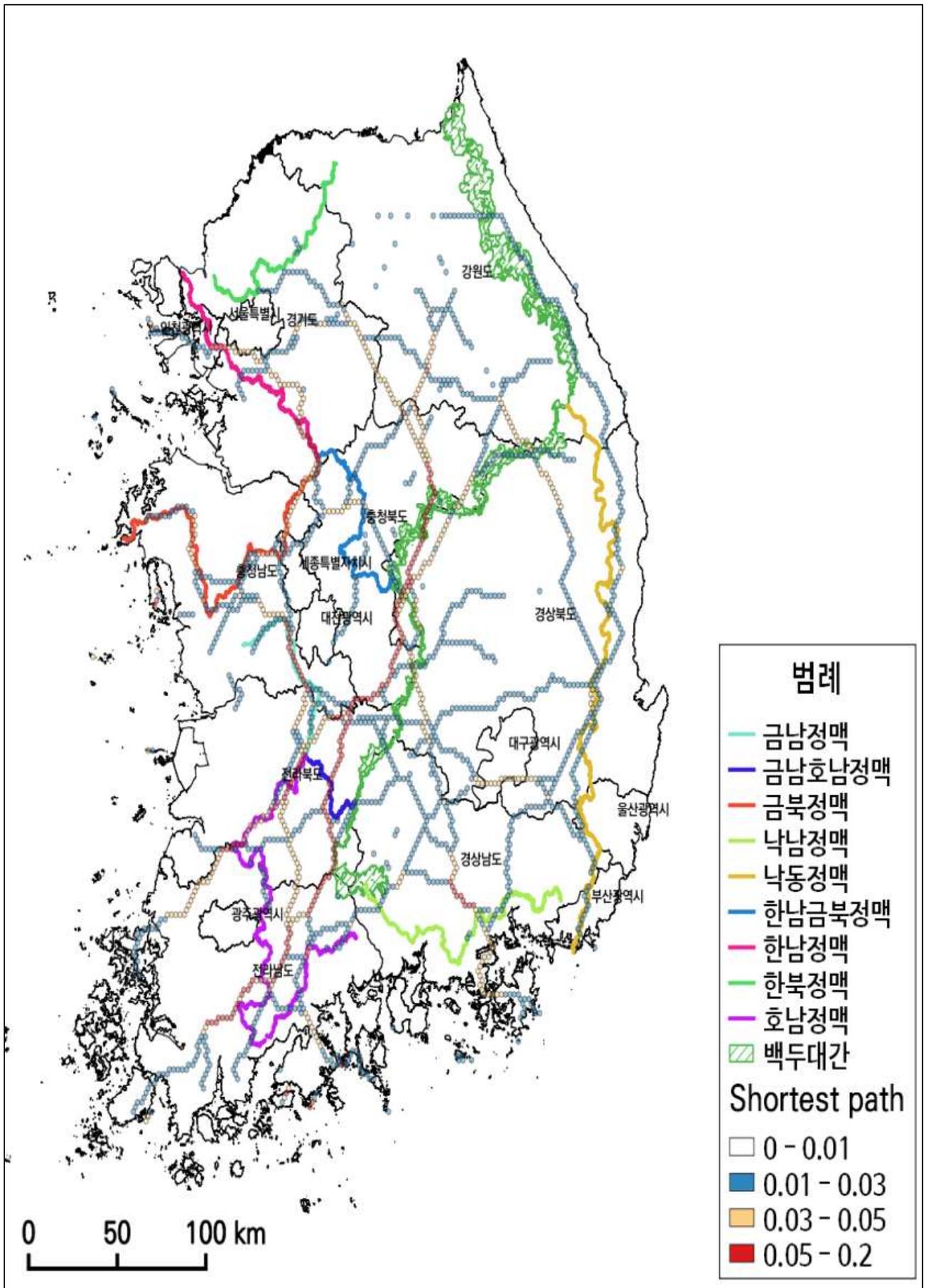


그림 2.119. 서식지 연결 분석 결과(2).

- 가축전염병 차단 방역대 설정

- 제주도를 포함한 전국의 양돈농가 규모에 따른 지점 수를 파악한 결과, 총 5,627개의 지점이 확인되었고 지역별로는 경기도 1,184개, 충청남도 1,108개, 경상북도 776개 순으로 많은 것으로 확인되었다(그림 2.120).
- 양돈농가 지점을 이용해 열지도(커널밀도 추정)로 분석한 결과, 밀도 범위는 2.60-89.24로 나타났고 주요 밀집 지역은 경기도(용인시 처인구, 이천시, 안성시), 충청남도(홍성군), 전라북도(완주군, 김제시)이었다(그림 2.121).

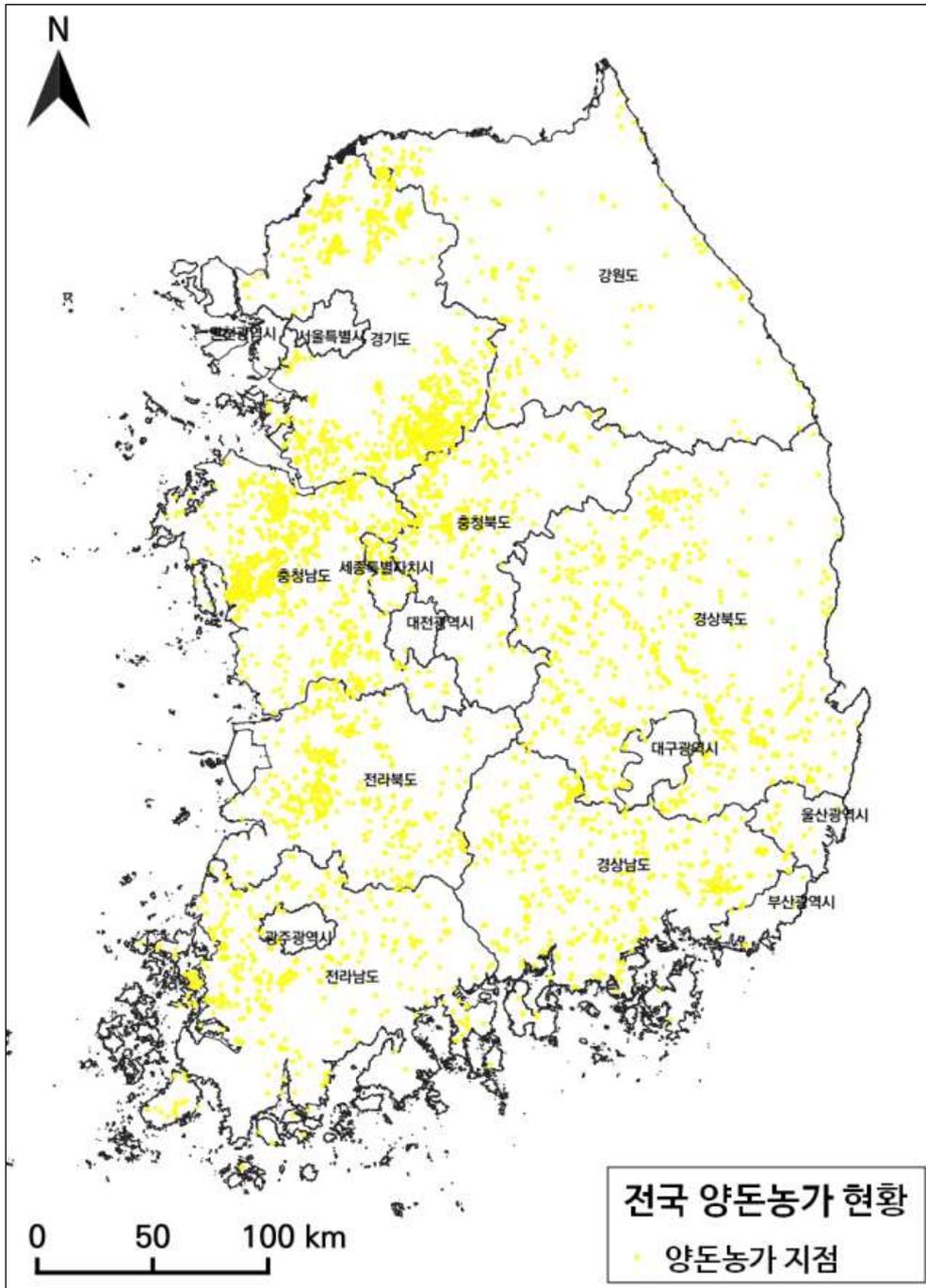


그림 2.120. 전국 양돈농가 규모에 따른 지점 현황.

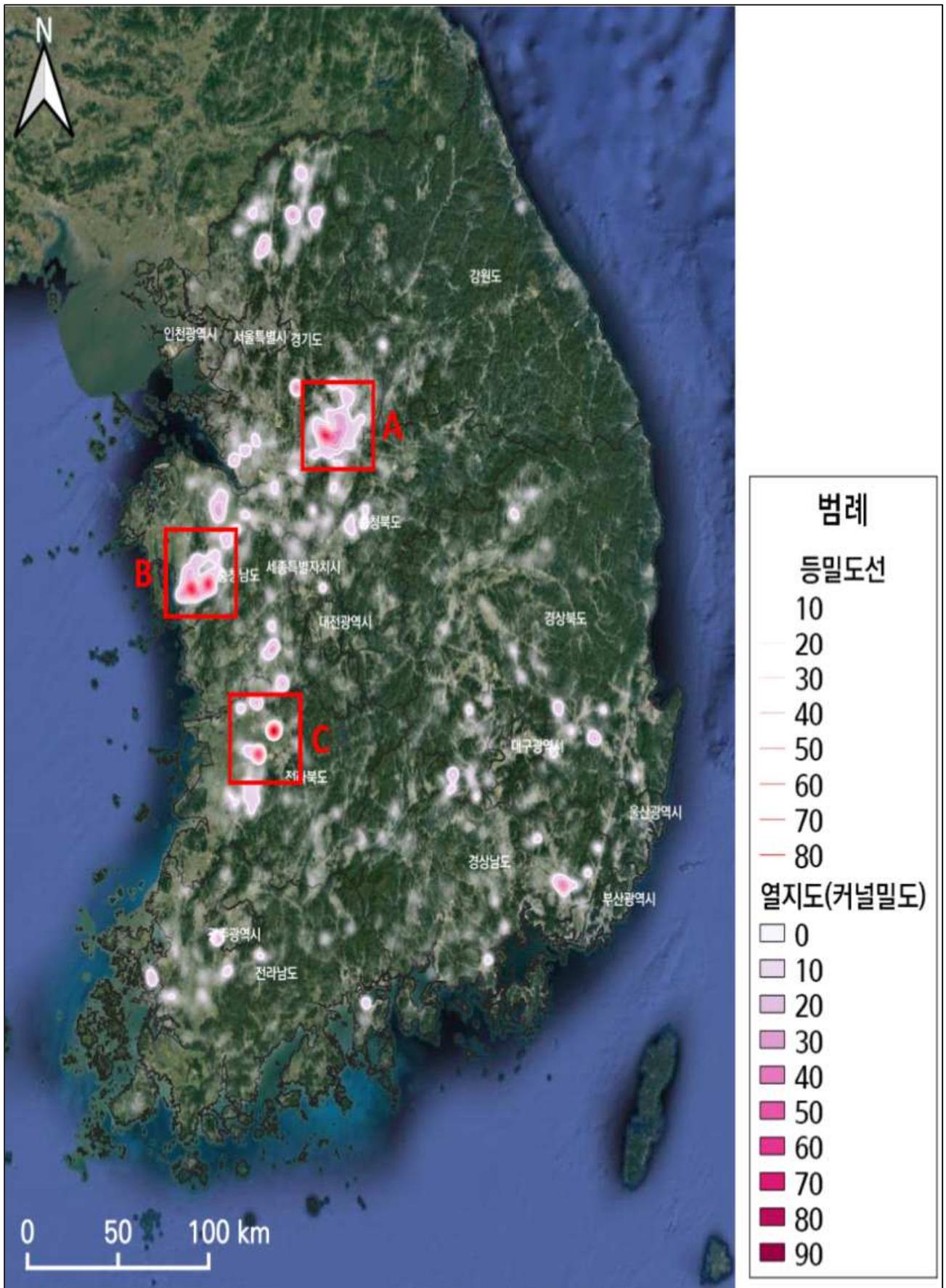


그림 2.121. 전국 양돈농가 주요 밀집 지역(열지도). [A:경기도(용인시 처인구, 이천시, 안성시), B:충청남도(홍성군), C:전라북도(완주군, 김제시)]

· 차단방역대 설정을 위해 전국 양돈농가와 주변 환경요인(멧돼지 이동로, 산맥, 도로, ASF 율 타리)에 대한 주제도를 구축하였다(그림 2.122).

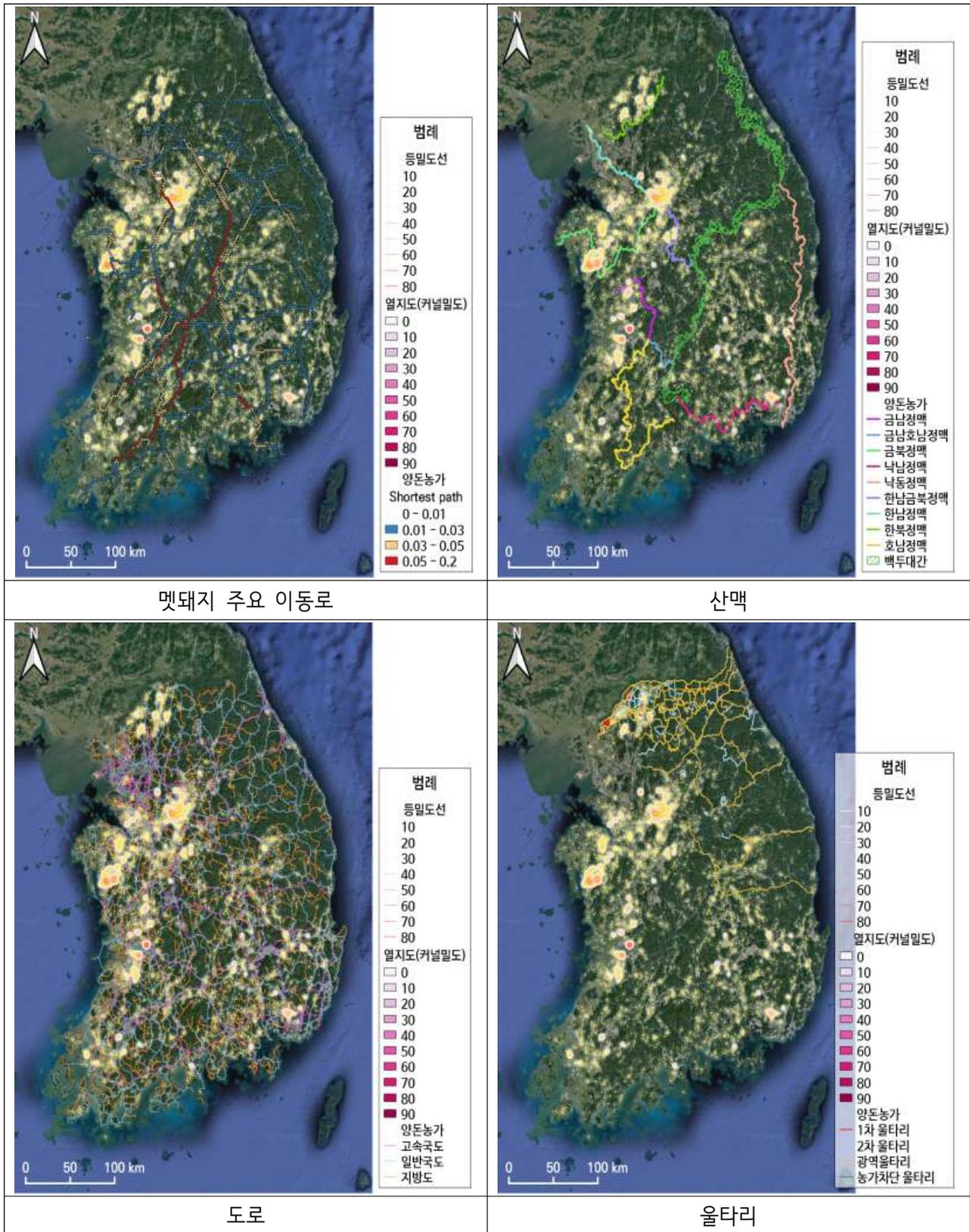


그림 2.122. 차단방역대 설정과 관련된 환경요인.

- 핫스팟 지역 중 경기도(용인시 처인구, 이천시, 안성시) 확산을 차단하기 위해서는 경기북부에서 확산될 수 있는 한남정맥을 따라 차단방역대가 설정되어야한다. 또한, 경기 북부지역에 설치되어있는 광역울타리의 주기적인 관리가 필요할 것으로 보인다(그림 2.123).
- 남쪽에서 확산될 수 있는 경로는 금북정맥과 한남금북정맥을 따라 확산되는 경로이며 산맥을 따라 차단방역대가 설정되어야한다.
- 밀집지역 내에는 주요 이동로가 포함되어있어 확산될 시 양돈농가로의 전파 위험도도 매우 높아질 것으로 판단된다.

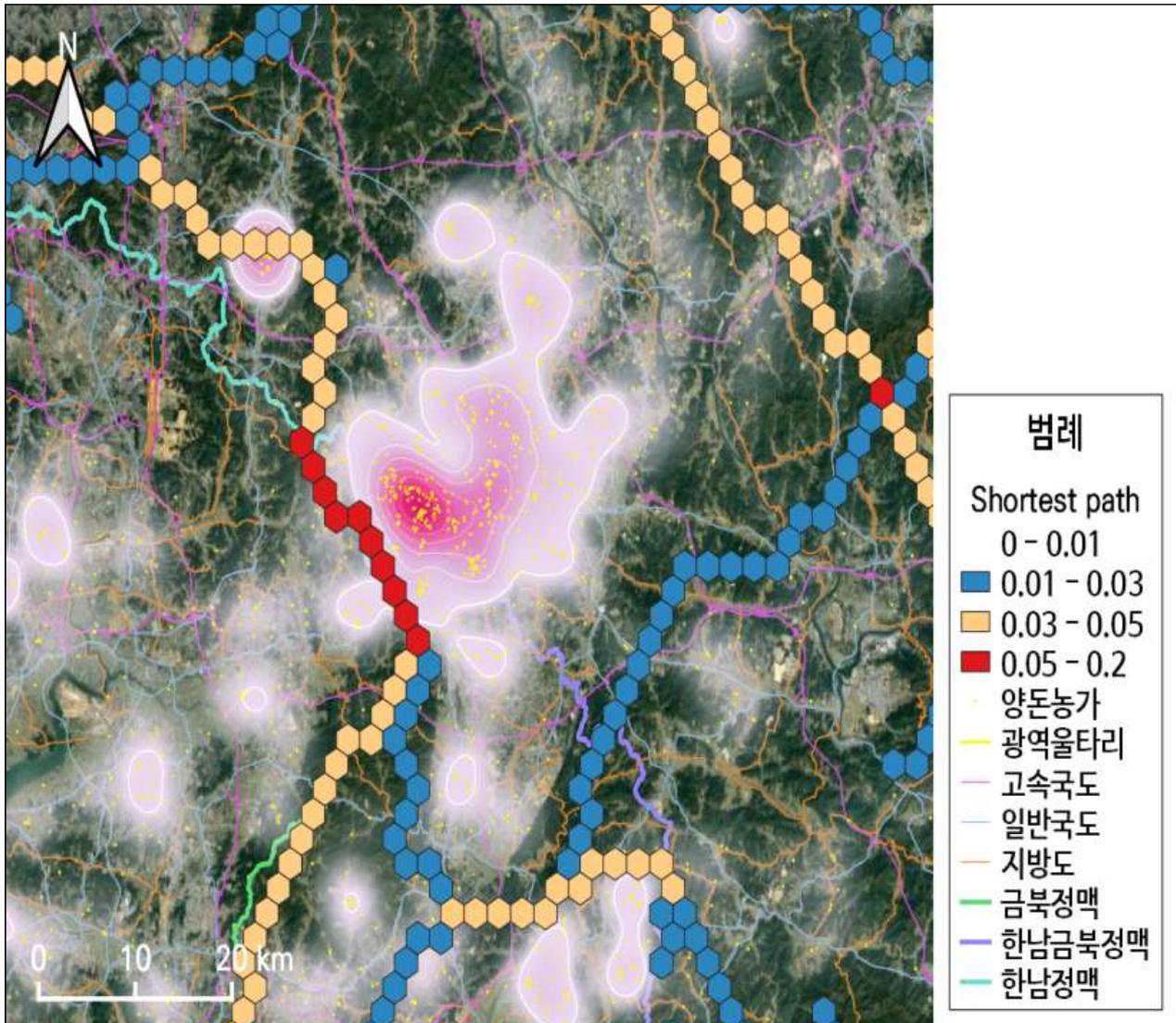


그림 2.123. 경기도 양돈농가 주요 밀집 지역 차단방역대 설정.

- 핫스팟 지역 중 충청남도(홍성군) 확산을 차단하기 위해서는 북쪽의 금북정맥과 남쪽의 금남정맥에서 오는 이동로를 위주로 차단방역대를 설정해야한다(그림 2.124).
- 금남정맥의 경우, 연결경로 값이 높은 이동로가 존재하기 때문에 해당 이동로 부근에 밀도 관리나 울타리 설치가 필요할 것으로 보인다.

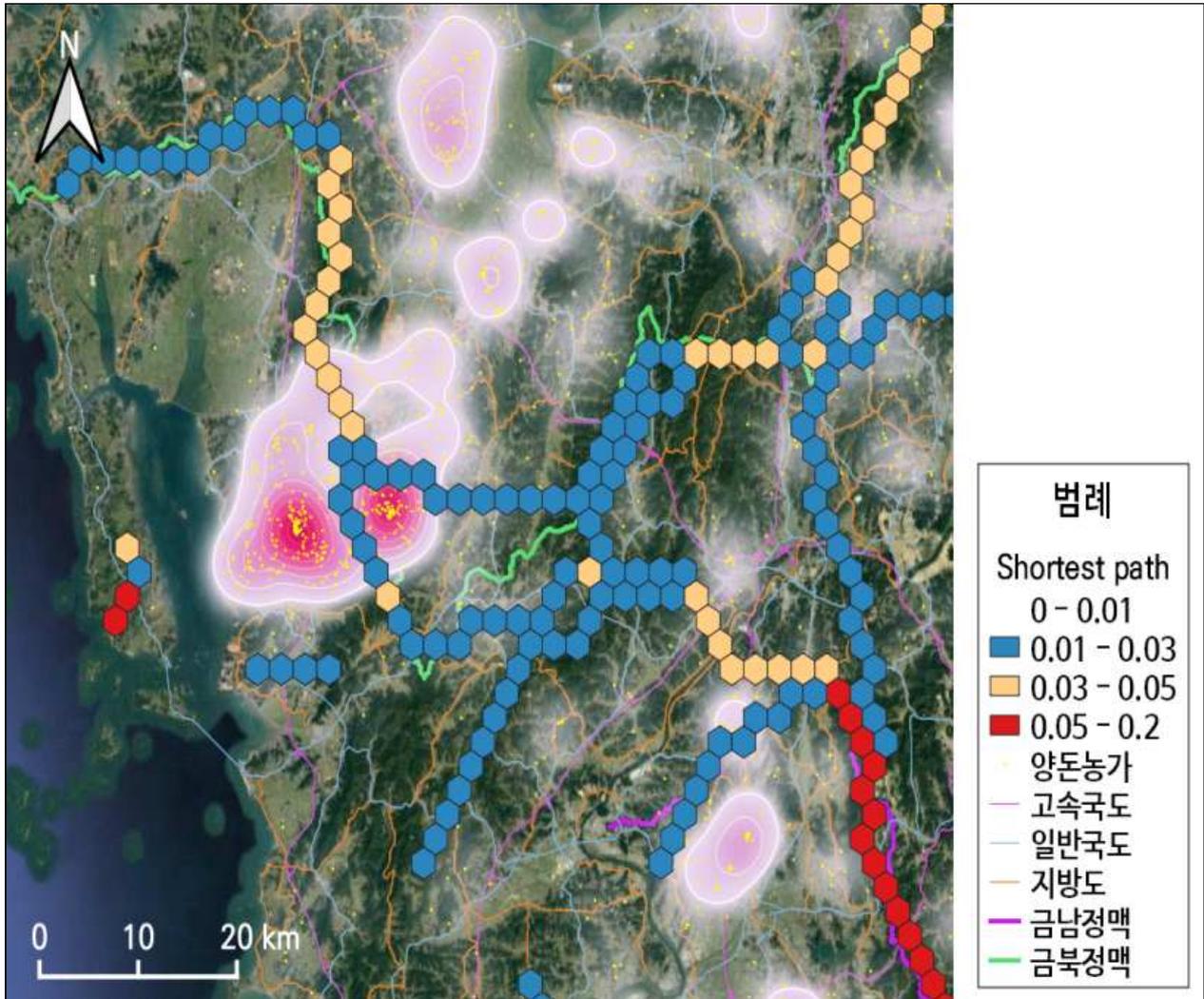


그림 2.124. 충청남도 양돈농가 주요 밀집 지역 차단방역대 설정.

- 핫스팟 지역 중 전라북도(완주군, 김제시)의 경우, 밀집지역으로 직접적으로 이동로가 연결되는 경우는 없지만 동쪽에 금남정맥, 금남호남정맥, 호남정맥 축이 만나는 지역이 있어 이 지역으로부터 타지역으로의 확산을 차단하기 위해 차단방역대 설정이 필요할 것으로 보인다 (그림 2.125).
- 양돈농가 밀집지역이 산림지역과 비교적 떨어져 있어 야생개체로부터 확산될 경우보다 인위적 요인, 다른 생물매개체로부터 ASF가 확산될 가능성이 높을 것으로 판단되며, 농가별 자체 방역체계가 구축되어야한다.

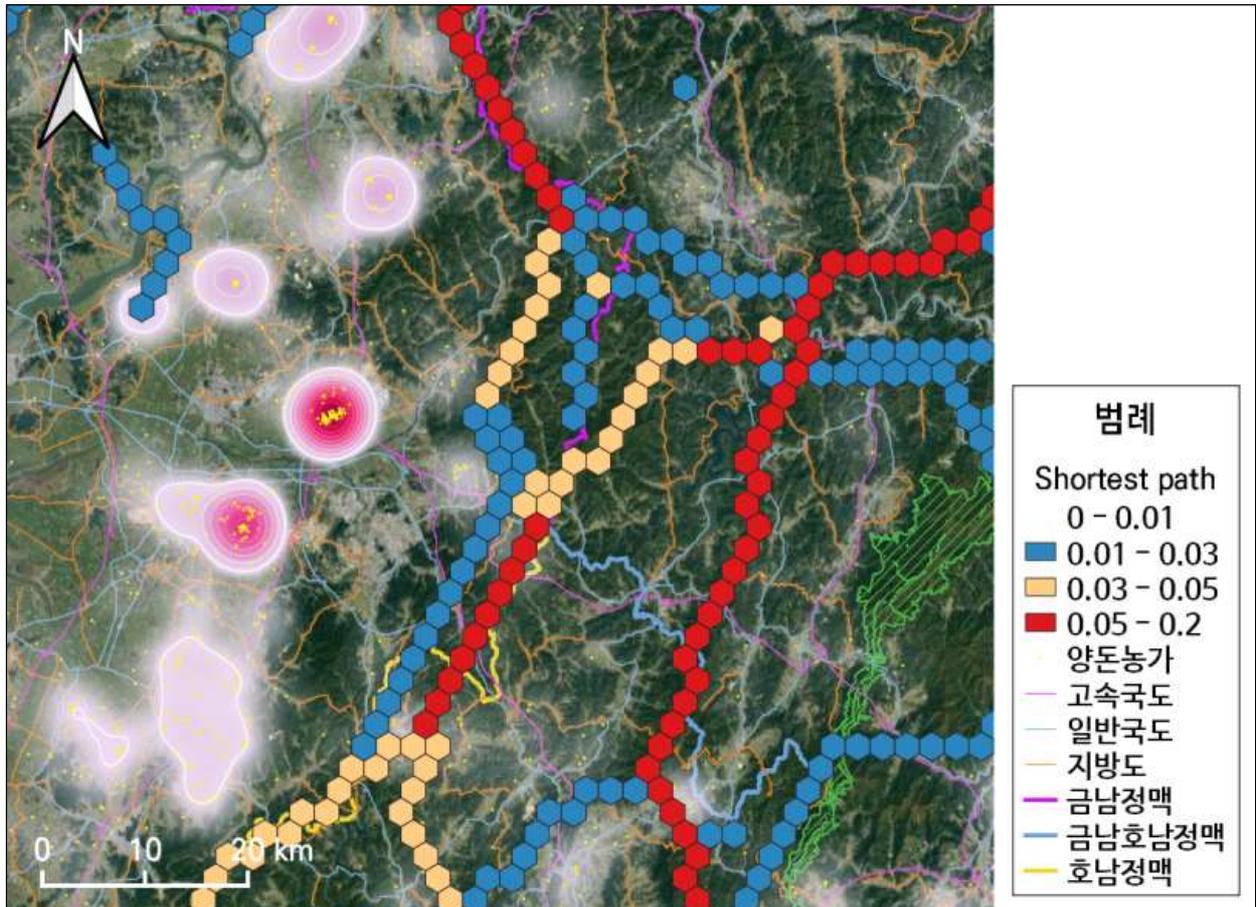


그림 2.125. 전라북도 양돈농가 주요 밀집 지역 차단방역대 설정.

- 양돈 농가 중심의 멧돼지 관리정책을 위해 양돈 농가 방역지역의 면적을 중첩 지역을 제외하여 산출한 결과 65995.98 km² 로 남한 면적의 67%로 분석되었다. 모든 농가 중심의 방역지역 선정 및 관리는 많은 노력과 예산이 들어가기 때문에 양돈 농가 밀집 지역을 중심으로 차단 방역 설정을 위해 농가 간 중첩 방역지역의 면적을 분석한 결과, 전국 면적 대비 경제적으로 효율적인 관리가 이뤄질 농가 지점 수는 20지점(4%), 10지점(11%),5지점(25%)로 판단된다(그림 2.126).
- 지점수에 따라 1차(핵심), 2차(주요), 3차(일반) 방역지대로 나누어 1차 방역지대는 울타리 설치와 주기적 밀도관리, 2차 방역지대는 주기적 밀도관리, 3차 방역지대는 확산 양상에 따른 밀도관리가 필요할 것으로 보인다(그림 2.127).
- 주요 방역지대를 포함한 개별 양돈농가에서는 울타리 설치, 사람 및 장비 소독, 잔반 급여, 방문객 제한 등의 자체적 차단 노력이 필요하다.

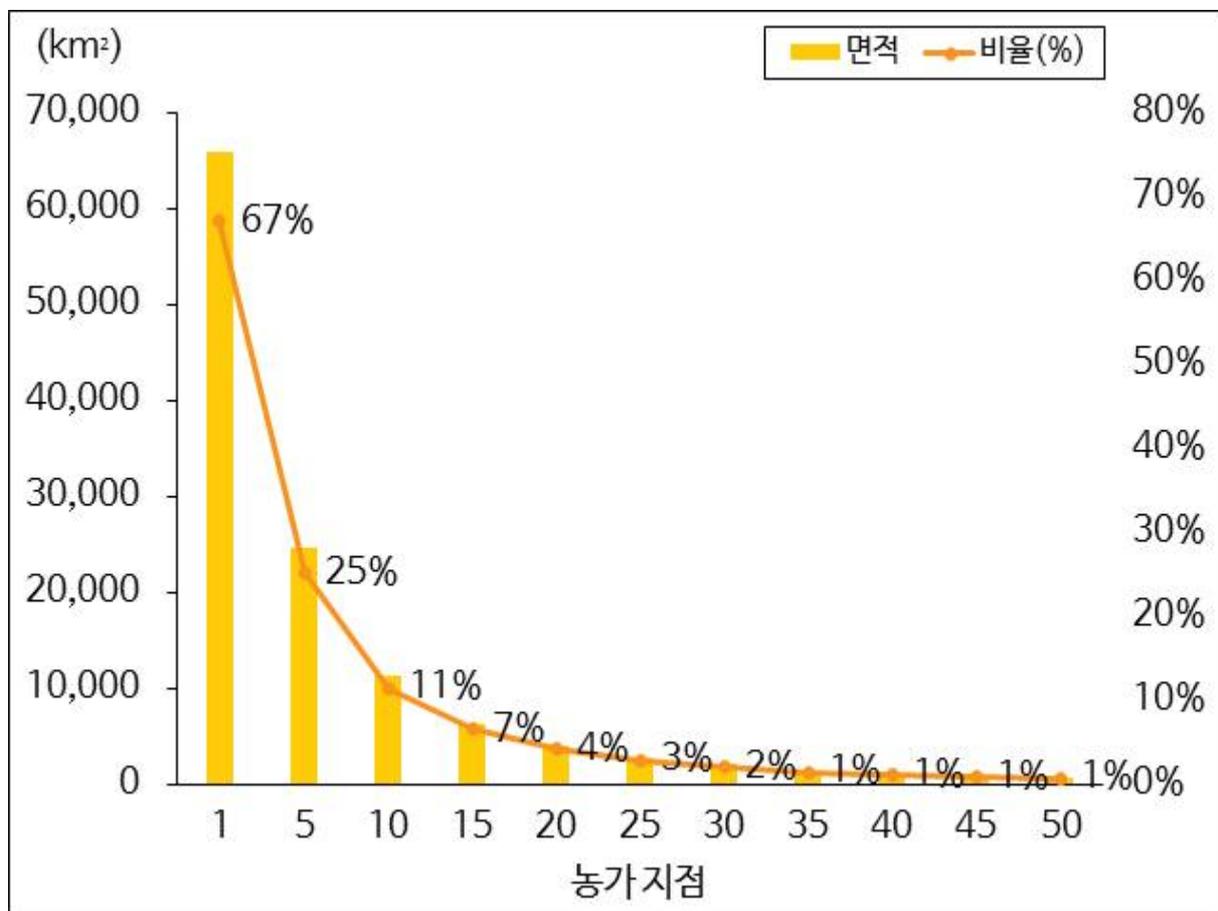
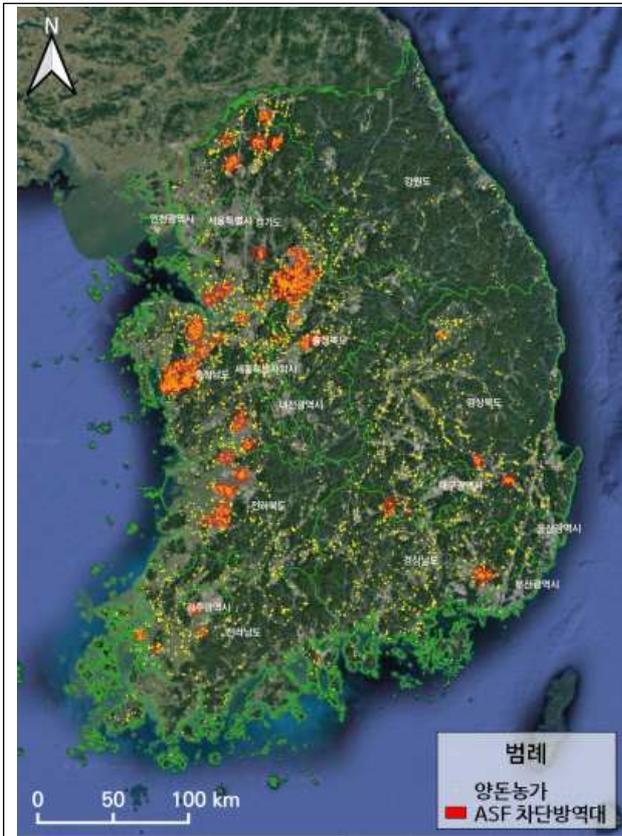
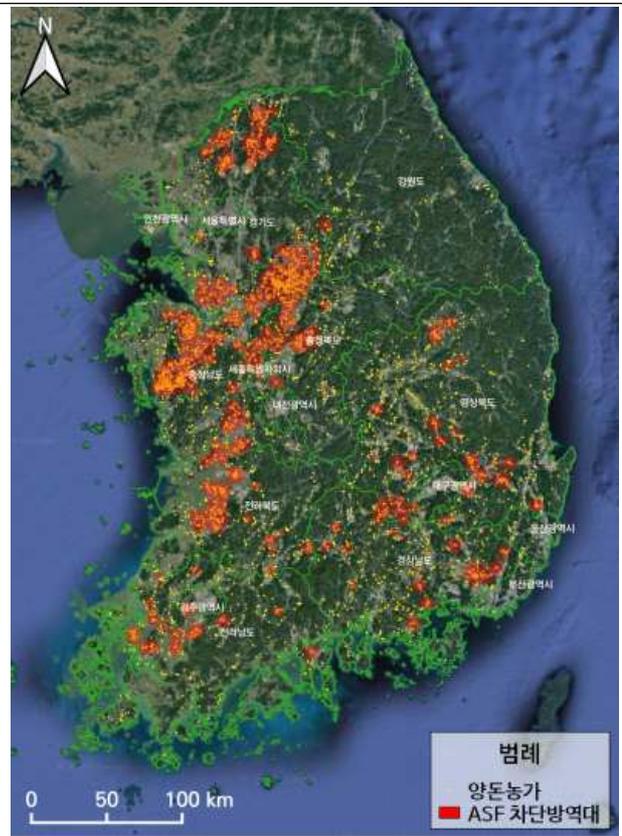


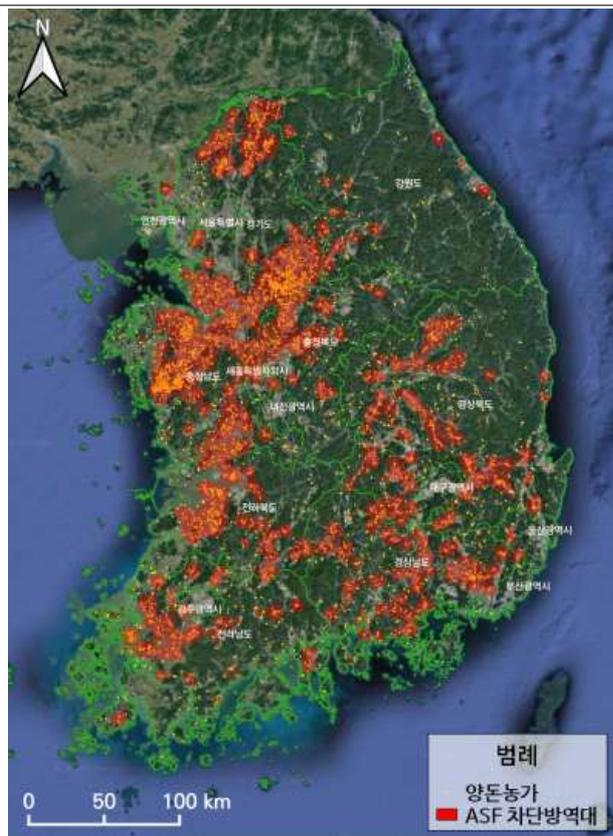
그림 2.126. 농가 지점 수에 따른 차단방역대 중첩 지역의 면적과 전국면적 대비 비율.



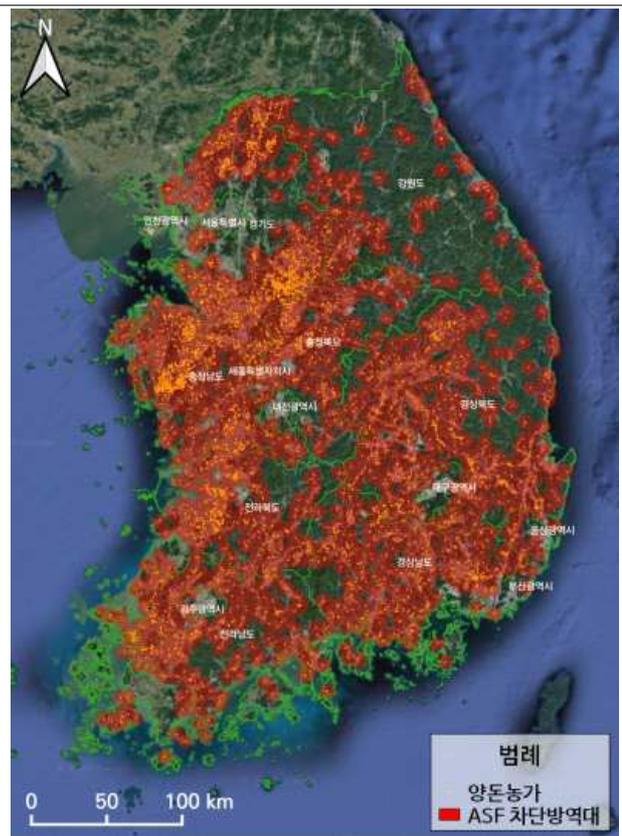
핵심 방역 지대(1차)



중점 방역지대(2차)



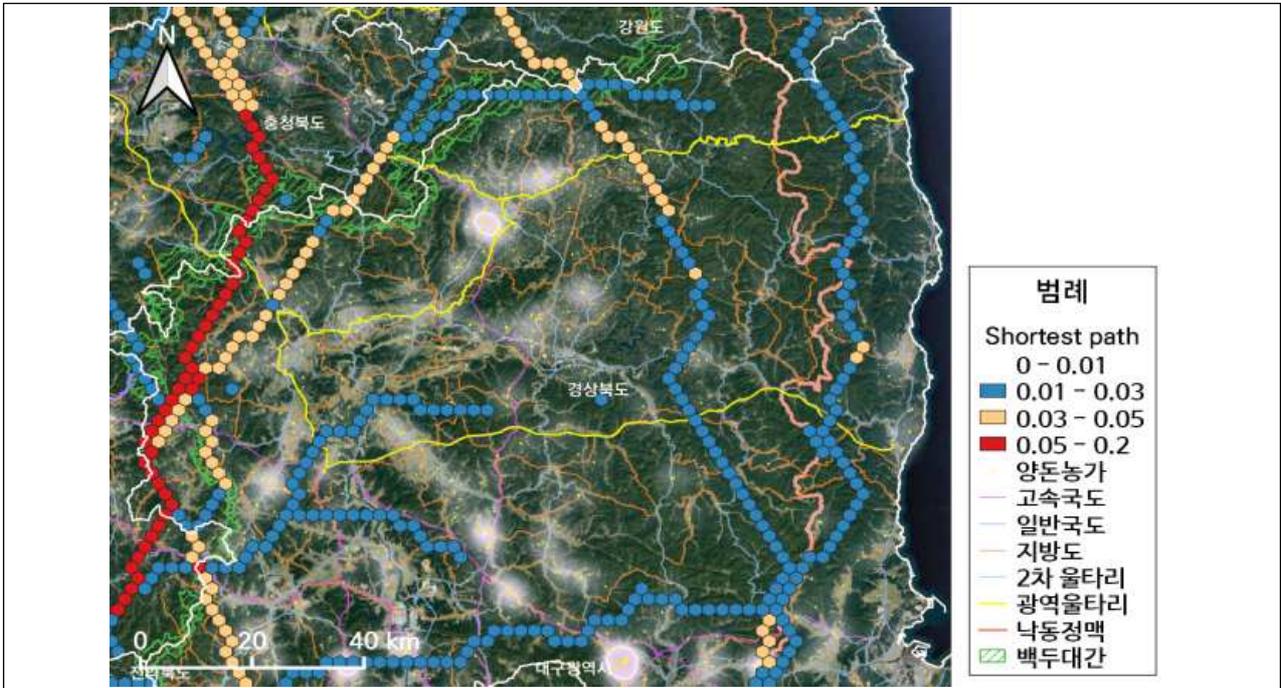
일반 방역 지대(3차)



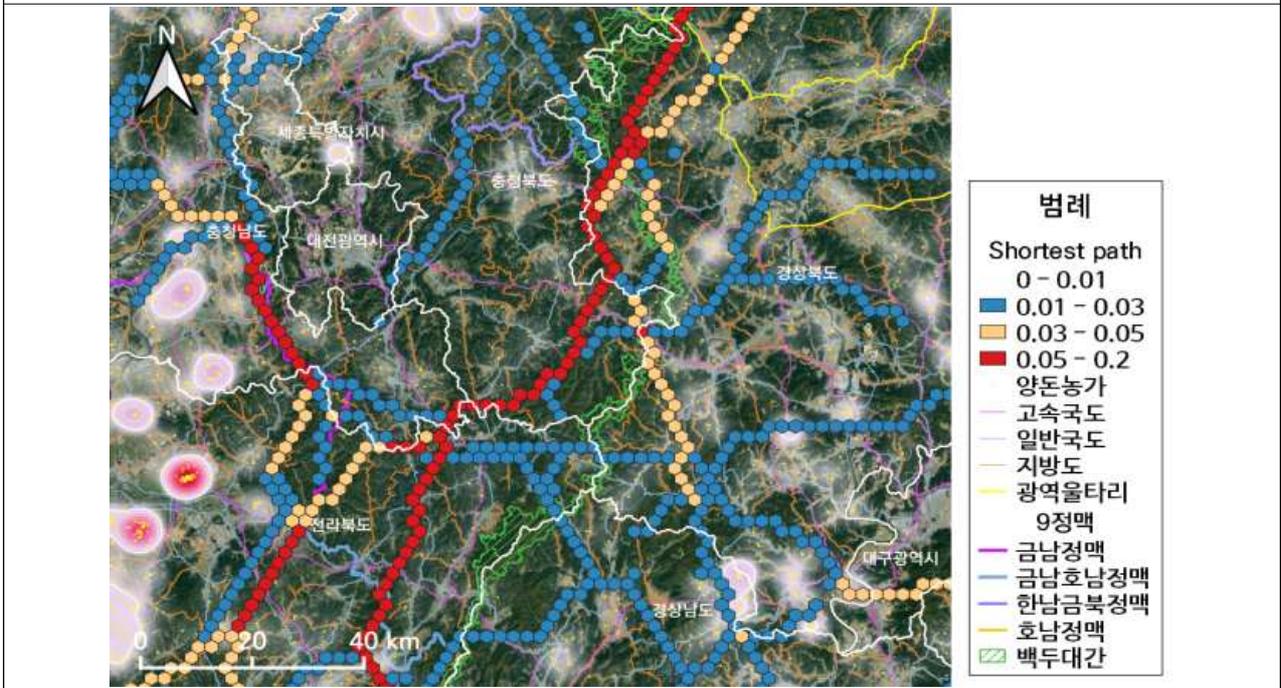
전국 방역 지대

그림 2.127. 양돈농가 지점 수에 따른 주요 방역지대 설정.

- 경상북도 지역엔 5차 광역울타리가 설치되어있지만 농가 밀집 지역으로 확산 차단을 위해서는 효과적으로 설치되어있지 않다. 확산은 백두대간을 따라 주로 이뤄지고 그 지역으로부터 타지역으로 확산될 가능성이 높기 때문에 백두대간으로부터 연결되는 이동로를 중심으로 차단 방역대를 설정해야한다(그림 2.128).
- 백두대간(소맥산맥)의 경우, 주요 이동로가 존재하고 있고 여러 시·도가 접하고 있어 전국적으로 확산될 주요 지점이라고 할 수 있다. 소맥산맥을 따라 주요 차단 방역대를 설정해야한다.



경상북도



백두대간(소백산맥)

그림 2.128. 비감염지역 확산 차단을 위한 주요 차단방역대 설정.

○ 야생멧돼지 방역지침(안) 개선안 제안

(1) 연구 내용

- 야생멧돼지 ASF 등 가축전염병 방역시설에 대한 개선방안 검토

가축전염병예방방법 시행규칙 [별표1의2] 내용 요약	
① 외부 울타리	<ul style="list-style-type: none"> · 사람, 차량, 동물의 출입을 통제, 차량의 경우 내부울타리가 설치된 때에만 외부울타리를 통해 출입 가능 · 높이 지상 1.5m 이상, 지면 아래로 50cm 이상의 깊이로 콘크리트 등으로 매립
② 내부 울타리	<ul style="list-style-type: none"> · 차량이 외부울타리의 내부로 진입하는 경우 사육시설, 사료빈 등 외곽을 둘러싸는 내부울타리 설치 · 사육시설이 견고하게 설치된 외벽(예 : 무창돈사)으로 밀폐되어 외부와 완벽히 차단된 경우에는 내부울타리 설치 예외 · 사육시설과 1.2m 이상 이격, 사료보관통과 접촉없어야 함 · 액비자원화시설은 내부울타리 바깥쪽에 위치
③ 입출하대	<ul style="list-style-type: none"> · 견고한 자재 사용, 배수시설 구비 및 일방통행 이동 가능 · 차량이 외부울타리 내로 진입하지 않는 경우는 외부울타리에 진입하는 경우에는 내부울타리에 연결하여 설치
④ 방역실	<ul style="list-style-type: none"> · 출입자가 바꾸어 착용할 수 있는 작업복 · 신발 · 장갑 구비 · 기상여건에 관계없이 대인, 신발소독 가능 설비 구비 · 외부울타리의 경계에 설치하되, 외부울타리 내로 차량이 진입하는 경우에는 내부울타리에 방역실 설치
⑤ 전실	<ul style="list-style-type: none"> · 손씻기, 장화 갈아신기 등을 위한 전실을 돼지를 사육하는 각각의 사육시설 입구에 설치 · * 다만, 사육시설이 1동만 있어 방역실을 설치한 경우는 예외 · 출입시 반드시 장화를 갈아신도록 높이 60cm 이상의 차단벽 또는 가로 · 세로의 길이가 각각 60cm 이상의 발판 등을 전실 내부에 설치
⑥ 물품반입시설	<ul style="list-style-type: none"> · 약품, 소형 기자재, 소모품 등 소독 후 반입 시설 설치 · 사육시설 규모가 1천 제곱미터 이하는 방역실에 물품반입 장소를 갖춘 경우 인정
⑦ 방조 · 방충망	<ul style="list-style-type: none"> · 돼지 사육시설에는 방조망, 방충망 설치 · 퇴비사에는 방조망 설치
⑧ 축산 관련 폐기물 관리시설	<ul style="list-style-type: none"> · 가축의 폐사체, 태반 등 축산폐기물 관리 시설(냉장 또는 냉동 기능을 갖춘 컨테이너 또는 조립식 가설건축물)

그림 2.129. 한돈 농가 설치 의무 방역시설(한돈 농장 의무시설 설치 가이드북, 2021.12).

(2) 연구 결과

- 양돈 농가 방역 시설

- 우리나라 양돈 농가 경우 대부분 약취로 인해 마을 외부 지역의 산림 경계부에 위치하고 있는 경우가 대부분이다. 산림 경계부에는 멧돼지 등 야생동물의 접근이 쉽기 때문에 외부 울

타리 경우 멧돼지 뿐만아니라 다양한 야생동물의 접근을 차단할 수 있어야 한다. 본 연구진의 연구결과 농가 주변 무인센서카메라에서 너구리, 삥, 담비, 멧토끼, 고양이 등 다양한 동물이 촬영되었으며, 멧돼지 사체를 이용한 감수성 야생동물 연구에서도 담비, 다람쥐, 삥, 족제비 등 포유동물과 독수리, 까마귀, 되지빠귀, 흰배지빠귀, 쇠박새 등 다양한 조류가 촬영되었다. 멧돼지뿐만 아니라 다양한 야생동물이 ASFV를 전파할 수 있고, 특히 집쥐 등 설치류들이 농장에 침입할 수 있기 때문에 외부 울타리는 강판 같이 외부를 완전히 차단할 수 있는 소재를 이용 지면과 빈틈이 없이 설치하는 것이 필요하다.



그림 2.130. 지면에 틈이 발생 되게 설치한 양돈 농가 외부울타리 모습(위)과 집쥐 등 야생동물 침입을 막기위해 바루를 고무패드로 막은 외부 울타리 모습(아래, 한돈농장 의무시설 설치 가이드북).

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 야생멧돼지 서식(분포) 생태자료 수집 및 D/B 구축을 위하여 Camera trap 및 흔적조사를 통한 야생멧돼지 개체수, 서식밀도 및 활동패턴 연구, GPS collar를 이용한 멧돼지 행동권 연구, MaxEnt 모델을 이용한 서식지 적합성 및 서식지 이용특성 연구, 해외 야생멧돼지 차단 방역 선진 사례 연구를 수행 하였다.
- 야생멧돼지 관련 주요 가축전염병 병원체 특성 파악을 위하여 ASF 병원체 특성 연구, 야생 멧돼지 가축 전염병 감수성 야생동물 연구, 멧돼지의 유전지도 및 지리적 분포 규명 연구, 분석모형을 이용한 질병 전파 가능성 규명 연구를 수행하였다.
- 국내 야생멧돼지 분포 및 병원체 특성을 고려한 차단 방역지대 설정을 위하여 펜스의 멧돼지 차단 효과 장기 모니터링 연구, 가축전염병 차단 방역지대 설정 연구, 야생멧돼지 방역지침 개선안 제안을 수행하였다.

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

< 정량적 연구개발성과표(예시) >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명	연도	1단계 (YYYY~YYYY)		n단계 (YYYY~YYYY)		계	가중치 (%)
		목표(단계별)	실적(누적)	목표(단계별)	실적(누적)		
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾		목표(단계별)					
		실적(누적)					
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾		목표(단계별)					
		실적(누적)					
		목표(단계별)					
		실적(누적)					
계							

* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.

* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ² (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	
1								
2								

* 1」 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.

* 2」 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Mycobacterium genavense induced mycobacteriosis in an Indian peafowl (Pavo cristatus)	Korean Journal of Veterinary Service	오연수	44권2호	대한민국	한국동물위생학회	비SCIE	2021-06-26	1225-6552	100
2	Bibliometric analysis on the evolution of knowledge structure of African swine fever	Korean Journal of Veterinary Service	오지선	44권4호	대한민국	한국동물위생학회	비SCIE	2021-12-25	1225-6552	100
3	Long-Term Monitoring of the Barrier Effect of the Wild Boar Fence	Journal of Forest and Environmental Science	임상진	38권 1호	대한민국	산림과학연구소	비SCIE	in press	2288-9744	50
4	Wildlife as Potential Vectors of African Swine Fever Virus	Journal of Forest and Environmental Science	임상진	38권 1호	대한민국	산림과학연구소	비SCIE	2022-03-31	2288-9744	50
5	Prediction of potential spread areas of African swine fever virus through wild boars using Maxent model	Journal of Ecology and Environment	임상진	46권 1호	대한민국	한국생태학회	비SCIE (SCOPUS)	2022-03-31	2288-1220	100
6	Network Analysis Using Markov Chain Applied to Wildlife Habitat Selection	Diversity	타쿠르 다칼	14	스위스	MDPI	SCIE	2022-03-29	1424-2818	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	75회 한국생물과학협회 정기학술대회	임상진	2020-10-23	서울여자대학교	대한민국
2	제33차 한국수의병리학회 추계학술대회	Krisdianti	2021-11-05	e-Conference	대한민국
3	제33차 한국수의병리학회	이상준	2021-11-05	e-Conference	대한민국
4	제33차 한국수의병리학회	Sulhi Aufa	2021-11-05	e-Conference	대한민국
5	제33차 한국수의병리학회	김태연	2021-11-05	e-Conference	대한민국
6	2021 대한수의학회 춘계학술대회	Krisdianti	2021-05-27	충남대학교 정심화국제회관	대한민국
7	2021 대한수의학회 춘계학술대회	김태연	2021-05-27	충남대학교 정심화국제회관 백마홀	대한민국
8	2021년 한국생태환경과학협회의 학술발표대회	한소현	2021-12-09	서울여자대학교	대한민국
9	2021년 한국통합생물학회 정기학술대회	남궁현	2021-12-21	강원도 용평리조트 그린피아콘도	대한민국
10	2021년 한국통합생물학회 정기학술대회	한소현	2021-12-21	강원도 용평리조트 그린피아콘도	대한민국
11	2021년 한국통합생물학회 정기학술대회	최주희	2021-12-21	강원도 용평리조트 그린피아콘도	대한민국
12	2021년 한국통합생물학회 정기학술대회	권지현	2021-12-21	강원도 용평리조트 그린피아콘도	대한민국
13	2021 International Symposium of Institute of Forest Science	Thakur Dhakal	2021-10-22	강원대학교 산림환경과학대학	대한민국
14	2021 International Symposium of Institute of Forest Science	임상진	2021-10-22	강원대학교 산림환경과학대학	대한민국
15	2021 International Symposium of Institute of Forest Science	오연수	2021-10-22	강원대학교 산림환경과학대학	대한민국

□ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	야생 동물 케이지	야생 동물 케이지	강원대학교 산학협력단	2021-11-05	30-2021-0052789					100	
2	야생 동물 케이지	야생 동물 케이지	강원대학교 산학협력단	2021-11-05	10-2021-0151602					100	

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	개체행동이 연계된 야생동물 분산 및 질병 전파 모사 모델	2021-12-29	생태와 미래 지식인 협동조합	2022-01-14	C-2022-005187	생태와 미래 지식인 협동조합	100

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	노하우	동물 조직 면역염색 슬라이드 제작	우당네트웍	2020-08-03	5,000,000	5,000,000
2	노하우	동물 실험 및 평가 관련 기술	(주)제노포커스	2020-08-25	30,000,000	15,000,000

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2020년	2021년	
1	야생 멧돼지 생태적 특징을 이용한 가축 전염병 차단 연구	강원대학교 산학협력단		1	1
합계					

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	야생멧돼지 이동행동 판별	국립공원연구원 생태보전실 생태조사부	2021	

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	김한울	2020		1			1						1
2	솔히 아우파	2021		1				1					1

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	지방TV방송	KBS	강원 야생 멧돼지 10분의 1로 감소..."방역 체계 바꿔야"	2021-11-05
2	지방일간지	강원일보	돼지열병 발생지 주변 정밀 방역체계 시금	2021-11-08

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 야생멧돼지 서식(분포) 생태자료 등 수집 및 DB 구축	○ Camera trap 및 흔적조사를 통한 야생멧돼지 개체수, 서식밀도 및 활동패턴 연구 ○ GPS collar를 이용한 멧돼지 행동권 연구 ○ MaxEnt 모델을 이용한 서식지 적합성 및 서식지 이용특성 연구 ○ 해외 야생멧돼지 차단 방역 선진 사례 연구	100
○ 야생멧돼지 관련 주요 가축전염병 병원체 특성 분석	○ ASF 병원체 특성 연구 ○ 야생멧돼지 가축 전염병 감수성 야생동물 연구 ○ 멧돼지의 유전지도 및 지리적 분포 규명 연구 ○ 분석모형을 이용한 질병 전파 가능성 규명 연구	
○ 국내 야생멧돼지 분포 및 병원체 특성을 고려한 차단 방역지대 설정	○ 펜스의 멧돼지 차단 효과 장기 모니터링 연구 ○ 가축전염병 차단 방역지대 설정 연구 ○ 야생멧돼지 방역지침 개선안 제안	

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 본 과제는 중요 가축전염병인 아프리카 돼지열병, 구제역 및 돼지열병에 대해 야생 멧돼지가 중요한 위험요소로 작용함에 따라 야생 멧돼지간 질병의 전파, 사육돼지로의 전파 경로를 파악하고 선제적으로 차단 방역모델을 제시할 수 있는 기반이 될 것임.
- 본 과제의 연구진은 수의학질병전문가, 야생동물 및 생태전문가, 질병전파 및 확산 모델링 전문가로 구성되어 집단으로 감염되고 전파되는 전염성 질병에 대해 포괄적인 연구를 진행하였음.
- 야생 멧돼지는 산악지역에 거주하기도 하나 상위 포식자가 없어 개체수 증가가 지속되었고 이에 따라 먹이의 부족 등으로 주거 근린지역에서 자주 출몰해 가축과 공유하는 질병의 전파 및 농작물 훼손 등 인간의 경제활동에 매우 연관이 높음.
- 따라서 야생 멧돼지의 서식 생태에 대한 깊은 이해를 바탕으로 활동반경, 서식 생태 특징을 수치화하여 양돈장 변수들과 분석하여 질병확산에 대한 모델링을 통해 전파방지를 위한 방역대 설정에 과학적인 근거를 제시하고 있음.

6. 연구개발 성과의 관리 및 활용 계획

- 현재 ASF 중점방역관리지구 제도개선 방향에 과학적인 근거를 제시할 수 있을 것임. ASF 중점방역관리지구를 지정하였던 기준은 가장 큰 ASF 위험요인인 야생 멧돼지의 출몰 정도와 농장 밀집 정도로 결정하였음. 지정 후 이에 강화된 방역시설기준을 적용하여 위험요인을 관리하고자 하였는데 ASF 양성 야생 멧돼지가 강원도의 산악지역을 벗어나 남하하고 있는 상황에서 ASF 중점방역관리지구 제도를 개선하고자 함에 있어 본 연구개발성과가 과학적 근거로 활용될 수 있겠음.
 - 본 연구는 국내 야생멧돼지 이동로 분석을 위해 서식지 적합성 분석결과를 서식지 연결망 분석에 이용하였고 그 결과 강원 제역에서 타지역으로의 확산 가능성은 백두대간을 통해 충청북도와 경상북도로 우선 확산될 가능성이 높아 멧돼지 주요 서식지가 많은 충북/경북에 연경 경로위주의 주요 차단방역대를 설정해야하는 결과가 나왔음.
 - 이와 같이 야생 멧돼지의 서식지 연결 분석을 통해 가장 큰 ASF 위험 요인인 야생 멧돼지에 대한 주요 방역 대책을 강구함에 있어 과학적 근거를 제시함.
 - 또한 제주도를 포함한 전국의 양돈 농가 규모에 따른 지점 수를 파악하여 열지도(커널밀도 추정)으로 분석하여 주요 밀집지역을 계산하여 나타내었고, 차단방역대 설정을 위해 전국 양돈농가와 주변 환경요인(멧돼지 이동로, 산맥, 도로, ASF 차단 울타리)에 대한 주제도를 구축하였음. 방역대 설정에 근거로 활용할 수 있음.
 - 양돈 농가 중심의 야생 멧돼지 관리 정책을 위해 양돈 농가 방역지역의 면적을 중첩 지역을 제외하여 산출한 결과 남한 면적의 67%로 분석되었고 모든 농가 중심의 방역지역 선정 및 관리는 많은 예산과 노력이 요구되므로 양돈 농가 밀집지역을 중심으로 차단 방역설정을 위해 농가간 중첩 방역지역의 면적을 분석하였고, 전국 면적 대비 경제적으로 효율적인 관리가 이루어질 수 있는 농가 지점수를 산출하였고 이는 방역예산 절감에 활용될 수 있을 것임.
 - 국내 양돈 농가는 근린주거지역 외부 및 산림 경계부에 위치하고 있는 경우가 대부분으로 이러한 지정학적 위치는 야생 멧돼지 등 근린 야생동물의 접근이 쉬워 외부 울타리의 경우 야생 멧돼지 뿐만 아니라 다양한 야생 동물의 접근을 차단할 수 있어야 함.
 - 본 연구진의 연구 결과, 농가 주변 무인 센서카메라에서 너구리, 삵, 담비, 멧토끼, 고양이 등 다양한 동물이 촬영되었으며, 멧돼지 사체를 이용한 감수성 야생동물 연구에서도 담비, 다람쥐, 삵, 족제비 등 포유동물과 독수리, 까마귀, 되지빠귀, 흰배지빠귀, 쇠박새 등 다양한 조류가 촬영되었음.
 - 이러한 결과는 환경저항성이 높아 환경내 잔존 가능성이 높은 ASF 바이러스를 멧돼지 뿐만 아니라 다양한 야생동물이 전파 매개체로 작용할 수 있다는 결론에 이르게 하며, 특히 집쥐 등 설치류들이 농장에 침입할 수 있어 외부 울타리는 강판과 같은 외부를 완전히 차단할 수 있는 소재를 이용하여 지면과 빈틈이 없이 설치하는 것이 필요함.
-

7. 참고문헌

- Awise JC. 1994. Molecular markers, natural history and evolution. Chapman & Hall, London
- APQA (Animal and Plant Quarantine Agency). 2021. Disclosure of information on African swine fever (ASF) outbreaks in 2019 (1st to 14th rounds), and African swine fever (ASF) outbreaks in 2020 (15th to 16th rounds). https://www.qia.go.kr/viewwebQiaCom.do?id=52678&type=2_42. (2021.05.25.).
- Arroyo-Arce, S., Thomson, I., Fernández, C., & Salom-Pérez, R. 2017. Relative abundance and activity patterns of terrestrial mammals in Pacuare Nature Reserve, Costa Rica, Cuadernos de Investigación UNED 9.1, 15-21.
- Barasona, J. A., Gallardo, C., Cadenas-Fernández, E., Jurado, C., Rivera, B., Rodríguez-Bertos, A., Sánchez-Vizcaíno, J. M. 2019. First oral vaccination of Eurasian wild boar against African swine fever virus genotype II. *Frontiers in veterinary science*, 6, 137.
- Booth, Trevor H., Henry A. Nix, John R. Busby and Michael F., Hutchinson. 2014. BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. *Diversity and Distributions*, (Diversity Distrib.) 20, 1-9
- Bosch, J., Mardones, F., Pérez, A., De la Torre, A., & Muñoz, M. J. 2014. A maximum entropy model for predicting wild boar distribution in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research : SJAR*, 12(4), 984-999. doi:10.5424/sjar/2014124-5717
- Brooks JW. 2016. Postmortem Changes in Animal Carcasses and Estimation of the Postmortem Interval. *Veterinary Pathology*. 53(5): 929-940.
- Brownlow, M. J. C. 1994. Towards a framework of understanding for the integration of forestry with domestic pig (*Sus scrofa domestica*) and European wild boar (*Sus scrofa scrofa*) husbandry in the United Kingdom. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 67(3), 189-218.
- Campbell, T. A., Long, D. B. 2009. Feral swine damage and damage management in forested ecosystems. *Forest Ecology and management*, 257(12), 2319-2326.
- Carrasco-García R, Barroso P, Pérez-Olivares J, Montoro V, Vicente J. 2018. Consumption of Big Game Remains by Scavengers: A Potential Risk as Regards Disease Transmission in Central Spain. *Front Vet Sci*. 5:4.
- Carroll, C., McRAE, B. H., & Brookes, A. 2012. Use of linkage mapping and centrality analysis across habitat gradients to conserve connectivity of gray wolf populations in western North America. *Conservation Biology*, 26(1), 78-87.
- Carter DO, Yellowlees D, Tibbett M. 2010. Moisture can be the dominant environmental

- parameter governing cadaver decomposition in soil. *Forensic Sci Int.* 200(1): 60-66.
- CFSPH (The Centre for Food Security and Public Health). 2015. African Swine Fever. <http://www.cfsph.iastate.edu/DiseaseInfo/disease.php?name=african-swine-fever&lang=en>. (2004-2021).
- Choquenot, D., Lukins, B. 1996. Effect of pasture availability on bait uptake by feral pigs in Australia's semi-arid rangelands. *Wildlife Research*, 23(4), 421-428.
- Choi SK, Lee JE, Kim YJ, Min MS et al. 2014. Genetic structure of wild boar (*Sus scrofa*) populations from East Asia based on microsatellite loci analyses. *BMC Genetics*. 15: 85.
- Choi SW, Oh JG, Kwon HG, Kim EK, Park YC et al. 2021. A study on the habitat of wild boars in national parks in urban areas. *NPRI (2020-32)*: 32-39.
- EFSA (The European Food Safety Authority). 2014. Evaluation of possible mitigation measures to prevent introduction and spread of African swine fever through wild boar. *EFSA Journal* 12(3): 3616, 23pp.
- EFSA (The European Food Safety Authority). 2017. Epidemiological analyses on African swine fever in the Baltic countries and Poland. *EFSA Journal* 15(3): e04732.
- EFSA (European Food Safety Authority), Desmecht D, Gerbier G, Schmidt CG, Grigaliuniene V et al. 2021. Epidemiological analysis of African swine fever in the European Union (September 2019 to August 2020). *EFSA J.* 19(5):6572.
- Elith, J., J. R. Leathwick and T. Hastie. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 2008, 77, 802-813
- Geisser H, Reyer HU. 2004. Efficacy of hunting, feeding, and fencing to reduce crop damage by wild boars. *J Wildl Manage.* 68(4): 939-946.
- Führer, E., Fischer, P. 1991. Towards integrated control of *Cephalcia abietis*, a defoliator of Norway spruce in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 39, 87-95.
- Guo, W., Cao, G., Quan, R. C. 2017. Population dynamics and space use of wild boar in a tropical forest, Southwest China. *Global ecology and conservation*, 11, 115-124.
- Honda, T., Kubota, Y., & Ishizawa, Y. 2020. Ungulates-exclusion grates as an adjoining facility to crop damage prevention fences. *European Journal of Wildlife Research*, 66(1), 1-7.
- Hastie, Trevor and Robert Tibshirani. 1987. Generalized Additive Models: Some Applications. *Journal of the American Statistical Association.* 82 (398), 371-386
- Han SW, Park HC, Kim JH, Suh JH, Lee H, Min MS. 2021. Population Genetic Structure of Wild Boar And Dispersal Performance Based On Kinship Analysis In The Northern Region of South Korea. *Research Square.* 1: 1-16.

- Henry Y. 1968. Ad libitum intake of energy-yielding and nitrogenous constituents by rats and swine according to the nature and the amounts of the nitrogen source in the diet and the form in which it is presented. *Annales de la Nutrition et de L'alimentation*. 22(3), 121-140
- Herrero J, García-Serrano A, Couto S, Ortuño VM, García-González R. 2006. Diet of wild boar *Sus scrofa* L. and crop damage in an intensive agroecosystem. *Eur J Wildl Res*. 52: 245-250.
- Hone, J., & Atkinson, B. 1983. Evaluation of fencing to control feral pig movement. *Wildlife Research*, 10(3), 499-505.
- Hong, Sungwon, Gea-Jae Joo. 2021. Secondary forest development during urbanization sustains apex carnivore populations of Eurasian otters (*Lutra lutra*). *Landscape and Urban Planning*. 208, 104021
- Hofer SR, Van D B RA. 2001. Phylogenetic relationships of plecotine bats and allies based on mitochondrial sequences. *Journal of Mammalogy*. 82: 131-137.
- Howe, T. D., Bratton, S. P. 1976. Winter rooting activity of the European wild boar in the Great Smoky Mountains National Park. *Castanea*, 256-264.
- Jo YS, Gortázar C. 2020. African swine fever in wild boar, South Korea, 2019. *Transbound Emerg Dis*. 67(5): 1776-1780.
- Jo YS, Gortázar C. 2020. African swine fever in wild boar, South Korea, 2019, *Transboundary and emerging diseases*. 67(5): 1776-1780.
- Jo YS, Gortázar C. 2021, African Swine Fever in wild boar: Assessing interventions in South Korea, *Transboundary and emerging diseases*. 68(5): 2878-2889.
- Johann, F., Handschuh, M., Linderoth, P., Heurich, M., Dormann, C. F., Arnold, J. 2020. Variability of daily space use in wild boar *Sus scrofa*. *Wildlife Biology*, 2020(1).
- Jones AL. 2011. Animal scavengers as agents of decomposition: the postmortem succession of Louisiana wildlife. America. LSU Master's Theses. 2217.
- Jones, P. F., Jakes, A. F., MacDonald, A. M., Hanlon, J. A., Eacker, D. R., Martin, B. H., Hebblewhite, M. 2020. Evaluating responses by sympatric ungulates to fence modifications across the northern Great Plains. *Wildlife Society Bulletin*, 44(1), 130-141.
- Jori, F., Massei, G., Licoppe, A., Ruiz-Fons, F., Linden, A., Václavík, P., Rosell, C. I. E. P. 2021. Management of wild boar populations in the European Union before and during the ASF crisis. In *Understanding and combatting African Swine Fever: A European perspective*. Wageningen Academic Publishers, 263-271.
- Kawai K, AL ET. 2002. Intra- and interfamily relationships of Vespertilionidae inferred by various molecular markers including SINE insertion data. *Journal of Molecular Evolution*. 55: 284-301.

- Keough N, Myburgh J, Steyn M. 2017. Scoring of Decomposition: A Proposed Amendment to the Method When Using a Pig Model for Human Studies. *J. Forensic Sci.* 62(4): 986-993.
- Kim SO, Kwon KI, Kim TS, Go HS, Jang GS. 2014. An analysis on aspects of farm lands damaged by the wild boar (*Sus scrofa*) in Gyeongnam province, *J Korean Soc Envi Restoration Tech.* 17(6): 17-27. (In Korean)
- Kose MA, Prasad ES, Taylor AD. 2011. Thresholds in the process of international financial integration. *J Int Money Finance.* 30(1): 147-179.
- Kramer-Schadt, Stephanie, Jurgen Niedballa, John D. Pilgrim, Boris Schroder, Jana Lindenborn, Vanessa Reinfelder, Milena Stillfried, Ilja Heckmann, Anne K. Scharf, Dave M. Augeri, Susan M. Cheyne, Andrew J. Hearn, Joanna Ross, David W. Macdonald, John Mathai, James Eaton, Andrew J. Marshall, Gono Semiadi, Rustam Rustam, Henry Bernard, Raymond Alfred, Hiromitsu Samejima, J. W. Duckworth, Christine Breitenmoser-Wuersten, Jerrold L. Belant, Heribert Hofer and Andreas Wilting. 2013. The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. *Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.)* (2013) 19, 1366-1379
- KFS. 2013, 1:5000 forest type map,
www.forest.go.kr/newkfsweb/kfs/idx/SubIndex.do?orgId=fgis&mn=KFS_03_08_01 (accessed on 24, 11, 2021)
- Kim, Y. J., Park, B., Kang, H. E. 2021. Control measures to African swine fever outbreak: active response in South Korea, preparation for the future, and cooperation. *Journal of Veterinary Science*, 22(1).
- Lange, M., H.Siemena, S.Blomec, H.-H. Thulke. 2014. Analysis of spatio-temporal patterns of African swine fever cases in Russian wild boar does not reveal an endemic situation *Preventive Veterinary Medicine.* 117(2), 317-325
- Lavelle MJ, Vercauteren KC, Hefley TJ, Phillips GE, Hygnstrom SE et al. 2011. Evaluation of fences for containing feral swine under simulated depopulation conditions. *J Wildl Manage.* 75(5): 1200-1208.
- Lee SM, Lee WS. 2014. Selection of the Rubbing Trees by Wild Boar (*Sus scrofa*) and its Ecological Role in a Mixed Forest, Korea. *Journal Of Korean Forest Society.* 103(3): 510-518.
- Lee SM, Lee EJ, Park HB, Seo CW. 2018. Factors affecting crop damage by the wild boar (*Sus scrofa*) :A case study in Geochang county, Gyeongnam province, Korea. *Korean J. Ecol.* 32(2): 140-146. (In Korean).

- Liaw, Andy and Matthew Wiener. 2002. Classification and Regression by randomForest. R News. Vol. 2/3, December 2002 18.
- Lee, K. L., Choi, Y., Yoo, J., Hwang, J., Jeong, H. G., Jheong, W. H., Kim, S. H. 2021. Identification of African swine fever virus genomic DNAs in wild boar habitats within outbreak regions in South Korea. *Journal of Veterinary Science*, 22(2).
- Lu, S., Li, F., Chen, Q., Wu, J., Duan, J., Lei, X., Yin, H. 2020. Rapid detection of African swine fever virus using Cas12a-based portable paper diagnostics. *Cell discovery*, 6(1), 1-10.
- MAFRA 2021. African swine fever (ASF). Ministry of Agriculture, Food and Rural affairs. <https://www.mafra.go.kr/FMD-AI2/2145/subview.do>. (accessed on 1 December 2021).
- Marcon, A., Linden, A., Satran, P., Gervasi, V., Licoppe, A., & Guberti, V. 2020. R0 estimation for the African swine fever epidemics in wild boar of Czech Republic and Belgium. *Veterinary sciences*, 7(1), 2.
- Marsan, A. and Mattioli, S. 2013. Il Cinghiale (in Italian). Il Piviere (collana Fauna selvatica. *Biologia e gestione*).
- Massei, G., Genov, P. 1995. Observations of black-billed magpie (*Pica pica*) and carrion crow (*Corvus corone comix*) grooming wild boar (*Sus scrofa*). *Journal of Zoology*, 236, 338-341.
- Massei, G., Genov, P. V. 2004. The environmental impact of wild boar. *Galemys*, 16(1), 135-145.
- Matuszewski S, Konwerski S, Frątczak K, Szafałowicz M. 2014. Effect of body mass and clothing on decomposition of pig carcasses. *Int J Legal Med*. 128(6): 1039-1048.
- ME, 2020, 2020 subdivision land cover map, <http://egis.me.go.kr/map/map.do?type=land>, (accessed on 25, 11, 2021)
- Meng XJ, Lindsay DS, Sriranganathan N. 2009. Wild boars as sources for infectious diseases in livestock and humans. *Phil Trans R Soc. B*: 2697-2707.
- Merta, Dorota, Bogusław Bobek, Marzena Albrycht & Jakub Furtek. 2015. The age structure and sex ratio in wild boar (*Sus scrofa*) populations as determined by observations of free-roaming populations and by harvests of collective hunts in southern Poland. *European Journal of Wildlife Research*. 61, 167-170
- Meriggi, A., Lovari, S. 1996. A review of wolf predation in southern Europe: does the wolf prefer wild prey to livestock?. *Journal of applied ecology*, 1561-1571.
- Meyer J, Anderson B, Carter DO. 2013. Seasonal variation of carcass decomposition and gravesoil chemistry in a cold (Dfa) climate. *J. Forensic Sci*. 58(5):1175-82.
- ML, 2021, road map of korea, <http://data.nsd.go.kr/dataset/12969>, (accessed on 21, 11, 2021)
- Myburgh J, L'Abbé EN, Steyn M, Becker PJ. 2013. Estimating the postmortem interval

- (PMI) using accumulated degree-days (ADD) in a temperate region of South Africa. *Forensic Sci Int.* 229(1-3): 165.e1-6.
- Mysterud A, Rolandsen CM. 2018. Fencing for wildlife disease control. *J Appl Ecol.* 56(3): 519-525.
- Nelder, A. and R. W. M. Wedderburn. 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General).* 135 (3), 370-384
- NGII, 2020, digital elevation model, <http://data.nsd.go.kr/dataset/20001>, (accessed on 5, 11, 2021)
- Okarma, H. 1995. TheStoen and Wegge, 1996 trophic ecology of wolves and their predatory role in ungulate communities of forest ecosystems in Europe. *Acta theriologica*, 40(4), 335-386.
- (OIE 2020) Guberti, Vittorio;Khomenko, Sergei;Masiulis, Marius;Kerba, Suzanne. 2019. African swine fever in wild boar ecology and biosecurity. *Lutheran Univ. of Health Science*, 108 pp.
- Otis DL, Burnham KP, White GC, Anderson DR. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildl Monogr.* 62: 3-135.
- Pandey P, Shaner P, Sharma HP. 2015. The wild boar as a driver of human-wildlife conflict in the protected park lands of Nepal. *J Appl Ecol.* 62: 103-108.
- Park, Hee-Bok and Sungwon Hong, 2021. Habitat Characteristics Coincidence of Dead and Living Long-Tailed Gorals (*Naemorhedus caudatus*) According to Extreme snowfall. *Animals.* 11, 997. 1 - 13. <https://doi.org/10.3390/ani11040997>
- Park, Y.-S. and S. Lek. 2016. Artificial Neural Networks: Multilayer Perceptron for Ecological Modeling (Ch. 7). *Developments in environmental modelling*, Elsevier. Volume 28, pp 123-140
- Parsons HR. 2009. The Postmortem Interval: A Systematic Study of Pig Decomposition in West Central Montana. *Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers.* 1058.
- Probst C, Globig A, Knoll B, Conraths FJ, Depner K. 2017. Behaviour of free ranging wild boar towards their dead fellows: potential implications for the transmission of African swine fever. *Royal society open science* 4(5):170054.
- Probst C, Gethmann J, Amler S, Globig A, Knoll B, Conraths FJ. 2019. The potential role of scavengers in spreading African swine fever among wild boar. *Scientific Reports* 9:11450.
- Probst C, Gethmann J, Amendt J, Lutz L, Teifke JP, Conraths FJ. 2020. Estimating the Postmortem Interval of Wild Boar Carcasses. *Vet. Sci.* 7(1) 10.3390/vetsci7010006

- Podgórski T, Borowik T, Łyjak M and Woźniakowski G. 2020. Spatial epidemiology of African swine fever: Host, landscape and anthropogenic drivers of disease occurrence in wild boar - Preventive veterinary medicine. 177:104691.
- Rodriguez-Galiano V. F., B. Ghimire, J. Rogan, M. Chica-Olmo, J. P. Rigol-Sanchez. 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 67, 93-104
- Sanchez-Vizcaino JM, Martinez-Lopez B, Martinez-Aviles M, Martins C, Boinas F, Vial L, Roger F. 2009. Scientific reviews on Classical Swine Fever (CSF), African Swine Fever (ASF) and African Horse Sickness (AHS), and evaluation of the distribution of arthropod vectors and their potential for transmitting exotic or emerging vector-borne animal diseases and zoonoses. <http://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/sp.efsa.2009.EN-5>.
- Santilli F, Stella RMD. 2006. Electrical fencing of large farmland area to reduce crops damages by wild boars *Sus scrofa*. Agricultura Mediterranea 136: 00-00.
- Saunders, G., McLeod, S. 1999. Predicting home range size from the body mass or population densities of feral pigs, *Sus scrofa* (Artiodactyla: Suidae). Australian Journal of Ecology, 24(5), 538-543.
- Schlageter, A., Haag-Wackernagel, D. 2012. Evaluation of an odor repellent for protecting crops from wild boar damage. Journal of pest science, 85(2), 209-215.
- Schley L, Dufrene M, Krier A, Frantz AC. 2008. Patterns of crop damage by wild boar (*Sus scrofa*) in Luxembourg over a 10-year period. Eur J Wildl Res. 54:589-599.
- Schultz JJ, Mitchell AT. 2018. Avian Scavenging of Small-Sized Pig Carcasses in Central Florida: Utilizing GIS to Analyze Site Variables Affecting Skeletal Dispersal. J Forensic Sci. 63(4): 1021-1032.
- Silva, L. C., Pádua, M. B., Ogusuku, L. M., Keese Albertini, M., Pimentel, R., Backes, A. R. 2021. Wild boar recognition using convolutional neural networks. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 33(22), e6010
- Simmons T, Adlam RE, Moffatt C. 2010. Debugging decomposition data--comparative taphonomic studies and the influence of insects and carcass size on decomposition rate. J Forensic Sci. 55(1): 8-13.
- Singer, F. J., Swank, W. T., Clebsch, E. E. 1984. Effects of wild pig rooting in a deciduous forest. The Journal of wildlife management, 464-473.
- Sjarmidi, A., & Gerard, J. F. 1988. Autour de la systematique et la distribution des suidés. Monitore Zoologico Italiano-Italian Journal of Zoology, 22(4), 415-448.
- Spradley MK, Hamilton MD, Giordano A. 2012. Spatial patterning of vulture scavenged

- human remains. *Forensic Sci Int.* 219: 57-63.
- Støen, O. G., Wegge, P. 1996. Prey selection and prey removal by tiger (*Panthera tigris*) during the dry season in lowland Nepal. *Mammalia*, 60(3), 363-374.
- Sunnucks P. 2000. Efficient genetic markers for population biology. *Trends in Ecology and Evolution.* 15: 199-203.
- Sutherland A, Myburgh J, Steyn M, Becker PJ. 2013. The effect of body size on the rate of decomposition in a temperate region of South Africa. *Forensic Sci Int.* 231(1): 257-262.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.
- Thurfjell, H., Spong, G., Ericsson, G. 2013. Effects of hunting on wild boar *Sus scrofa* behaviour. *Wildlife Biology*, 19(1), 87-93.
- Vetter, S. G., Puskas, Z., Bieber, C., & Ruf, T. 2020. How climate change and wildlife management affect population structure in wild boars. *Scientific Reports*, 10(1), 1-10.
- White, G.C. and Garrott, R.A. 1990 *Analysis of Wildlife Radio Tracking Data*. Harcourt Brace Jovanovich, New York.
- Wilkinson, C. E., McInturff, A., Kelly, M., & Brashares, J. S. 2021. Quantifying wildlife responses to conservation fencing in East Africa. *Biological Conservation*, 256, 109071.
- Won BH. 1967. *Illustrated Encyclopedia Of Fauna & Flora Of Korea*. Vol.7. Mammals. Mungyobu. Seoul.
- WRMIS, 2012, stream order map,
<http://www.wamis.go.kr:8081/watermap2013/watermap.aspx?paramTab=watermap>, (accessed on 23, 11, 2021)
- Yoon MH, Won BO, Park JK. 2002. *Mammals Of Korea*. DONGBANG MEDIA. Seoul.
- Yoon SI, 2007. Crop loss survey by wildlife in national parks of Korea. *Korean J Environ Biol.* 25(3): 223-227. (In Korean)

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 가축질병대응기술개발사업 야생멧돼지 가축전염병 중요 질병 전파방지 기술개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림축산기술기획평원)에서 시행한 가축질병대응 기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.