R 959 연구자료-1 | 2022. 12. |

KREI

데이터 기반 고병원성 AI 발생 확률 및 확산 위험 분석

박문수 · 조재성 · 최진용

한국농촌경제연구원

R 959 연구자료-1 | 2022. 12. |

KREI

데이터 기반 고병원성 AI 발생 확률 및 확산 위험 분석

박문수·조재성·최진용

한국농촌경제연구원

연구 담당

박문수 | 산업연구원 연구위원 | 제2장, 제4장, 부록 집필
조재성 | 충남대학교 교수 | 제3장, 제4장, 부록 집필
최진용 | 한국농촌경제연구원 연구원 | 제1장, 부록 집필

R959 연구자료-1
데이터 기반 고병원성 AI 발생 확률 및 확산 위험 분석

등　　록 | 제6-0007호(1979. 5. 25.)
발　　행 | 2022. 12.
발 행 인 | 김홍상
발 행 처 | 한국농촌경제연구원
우) 58321 전라남도 나주시 빛가람로 601
대표전화 1833-5500
인 쇄 처 | 지아이지인
I S B N | 979-11-6149-601-6 95520

차 례

표 차례

제1장

제2장

제3장

부록

그림 차례

제1장

제2장

제3장

제1장

서론

1 서론

1. 연구 배경

❍ 우리나라는 가축전염병 전파력과 사회 경제에 미치는 영향을 고려하여 법정 가축전염병을 제3종으로 구분하여 관리하고 있음. 고병원성 조류인플루엔자(HPAI), 구제역(FMD), 아프리카돼지열병(ASF)은 제1종 법정가축전염병으로 분류하여 발병 차단을 위해 정부가 중점 관리하는 가축전염병임. 2000년 이후 HPAI, FMD가 빈번하게 발생하였으며, 2019년에는 ASF가 국내에서 최초 발생한 이후 매년 발생하고 있음.

- HPAI는 2003년부터 5개년을 제외하고 매년 발생하고 있음. HPAI는 2018년 3월 이후 미발생하다가 2020년 11월 재발하여 2021년 4월까지 109건이 발생하였고, 2021년 11월부터 2022년 4월까지 47건이 발생함.

❍ 가축전염병과 관련된 사회적 이슈 파악을 위해 검색 키워드 및 관련 키워드 빈도수에 따른 워드 클라우드 방식으로 도식화한 결과는 〈그림 1-1〉과 같음.

인터넷 뉴스에 가축전염병과 관련되어 '아프리카돼지열병', '조류인플루엔자', '고병원성', '철새도래지', '농식품부', 'ASF', '야생멧돼지', '축산농가', '살처분' 등과 같은 키워드도 주로 등장함.

- 2019년 ASF가 국내 최초 발생하였고, 축산농가와 야생멧돼지에서 3년 동안 지속적으로 발생하면서 ASF 및 관련 키워드 빈도가 높은 것을 알 수 있음. 아울러 2020년부터 고병원성 조류인플루엔자가 발생함에 따라 관련 키워드인 '조류인플루엔자', '살처분', '철새도래지'가 키워드로 자주 등장하고 있으며, 방역 주관부처인 농식품부와 가축사육 주체인 축산농가도 빈도가 높게 나타났음.

〈그림 1-1〉 가축전염병과 관련된 키워드 분석

		
순위: 아프리카돼지열병, 조류인플루엔자, 가축전염병, 철새도래지, 야생멧돼지, 고병원, 축산농가, 코로나, 농식품부, ASF 등	순위: 아프리카돼지열병, 조류인플루엔자, 가축전염병, 철새도래지, 고병원성, 농식품부, 축산농가, 야생멧돼지, ASF, 코로나	순위: 아프리카돼지열병, 조류인플루엔자, 가축전염병, 농식품부, ASF, 축산농가, 살처분, 축산물, 차단방역, 예방법
〈2021년〉	〈2020년〉	〈2019년〉

주: 키워드 분석은 한국농촌경제연구원 연구기획평가팀 박혜진 선임주무원이 수행함.
자료: 저자 작성.

❍ HPAI, FMD, ASF 등 가축전염병이 발생하면 살처분보상금, 농가 생계안정자금, 방역초소 운영, 소독활동 등 방역조치로 인해 막대한 재정이 투입됨.

- 2003~2018년 발생한 HPAI로 살처분보상금을 비롯한 방역조치로 인해

1조 1,649억 원의 재정이 투입되었으며, 2020년 11월~2022년 2월 HPAI 발생으로 투입된 재정을 포함하면 재정 소요액은 큰 폭으로 증가할 것으로 보임. 지금까지 HPAI 발생 규모가 가장 컸던 2016/17년(421건)의 경우 살처분보상금, 생계 및 소득안정 자금, 입식 융자 및 수매 자금, 소독활동 등으로 3,621억 원의 재정이 소요됨.

- 2000년부터 2019년까지 발생한 FMD 방역조치를 위해 소요된 재정은 3조 3,436억 원이었음. 2010/11년 대규모 구제역 발생 시 방역조치에 따른 재정은 2조 7,383억 원이었으며, 이후 전국적인 구제역 백신접종으로 재정 소요액은 크게 감소하였음.
- 한편 2019~2020년 ASF 발생에 따른 살처분보상금은 1,352억 원이 지급되었고, 2021년 살처분보상금은 약 26억 원으로 추정됨. 살처분보상금 이외에 방역조치로 인한 재정 소요액을 고려하면 2,000억 원을 초과할 것으로 예상됨.

❍ 가축전염병 발생은 축산물 수급 불균형 및 가격 급등락, 매몰지 환경오염, 방역으로 인한 국민 불편 등 다양한 사회·경제적 피해를 유발함. 예방적 살처분의 시행에도 불구하고 가축전염병 발생이 장기화되면서 축산물 수급 문제가 발생하고 있으며, 살처분 마릿수가 증가하면서 예방적 살처분 범위에 대한 문제도 제기되고 있음.

- 2020년 말에 발생한 HPAI가 장기화되면서 계란 수급 문제가 발생함. 이에 따라 2021년 2월 15일부터 발생농장 반경 3km 내 전 축종 가금에 대해 실시하던 예방적 살처분 대상을 반경 1km 내 발생 축종과 동일 축종으로 '예방적 살처분 대상 축소' 조치를 시행한 바 있음(농림축산식품부 보도자료, 2021. 2. 26.).

〈표 1-1〉 우리나라 고병원성 AI 발생 현황

구분	2003/2004년	2006/2007년	2008년	2010/2011년
시기	102일 (03. 12. 10.~04. 3. 20.)	104일 (06. 11. 22.~07. 3. 6.)	42일 (08. 4. 1.~5. 12.)	139일 (10. 12. 29.~11. 5. 16.)
지역 및 건수	10개 시·군 19건 (닭10, 오리9)	5개 시·군 13건(닭5, 오리6, 메추리1, 기타1)	19개 시·군 98건(닭79, 오리18, 기타1)	25개 시·군 91건(닭34, 오리54, 메추리2, 꿩1)
살처분/청정국 선언	농가: 392호 마리: 528만 5천 수 ※ 04. 9. 21.(6개월 후)	농가: 460호 마리: 280만 수 ※ 07. 6. 18.(3개월 후)	농가: 1,500호 마리: 1,020만 4천 수 ※08. 8. 15.(3개월 후)	농가: 286호 마리: 647만 3천 수 ※11. 9. 5.(3개월 후)
혈청형	H5N1형	H5N1형	H5N1형	H5N1형
재정 소요액*)	874억 원 ·살처분보상금 458 ·기타 416	339억 원 ·살처분보상금 253 ·기타 86	1,817억 원 ·살처분보상금 683 ·기타 1,134	807억 원 ·살처분보상금 670 ·기타 137

구분	2014/2015년	2016/2017년	2017/2018년	2020/2021년	2021/2022년
시기	①195일 (14. 1. 16.~7. 29.) ②260일 (14. 9. 24.~15. 6. 10.) ③62일 (15. 9. 14.~11. 15.)	①14일 (16. 3. 23.~4. 5.) ②140일 (16. 11. 16.~17. 4. 4.) ③17일 (17. 6. 2.~6. 19.)	121일 (17. 11. 17.~18. 3. 17.)	132일 (20. 11. 26.~21. 4. 6.)	151일 (21. 11. 8.~22. 4. 7.)
지역 및 건수	①41개 시·군 212건 (닭44, 오리159, 기타9) ②34개 시·군 162건 (닭40, 오리115, 기타7) ③6개 시·군·구 17건 (오리13, 기타4) ※전체 391건 양성	①2개 시·군·구 2건 (오리1, 기타1) ②50개 시·군 383건 (닭215, 오리159, 기타9) ③14개시·군·구36건 (닭 34, 오리1, 기타1) ※전체 421건 양성	15개 시·군 22건 (닭8, 오리14)	48개시·군 109건 (닭55, 오리48, 기타6)	23개시·군47건 (닭22, 오리23, 기타2)
살처분/청정국 선언	①농가: 548호 마리: 1,936.1만 수 ②농가: 234호 마리: 511만 수 ③농가: 27호 마리: 30.1만 수 ※전체 809호, 2,477.2만 수 ※16. 2. 28.(3개월 후)	①농가: 2호 마리: 1.2만 수 ②농가: 946호 마리: 3,787만 수 ③농가: 185호 마리: 19.4만 수 ※전체 1,133호, 3,807.6만 수 ※17. 10. 13.(3개월 후)	농가: 140호 마리: 653.9만 수 ※18. 7. 12. (4개월 후)	농가: 484호 마리: 2,993.4만 수	농가: 83호 마리: 730.7만수
혈청형	H5N8형	① ③H5N8형 ②H5N6형, H5N8형	H5N6형	H5N8형	H5N1형
재정 소요액*)	3,364억 원 ·살처분보상금 1,772 ·기타 1,592	3,621억 원 ·살처분보상금 2,744 ·기타 877	827억 원 ·살처분보상금 637(국비 509) ·기타 190	1,918억 원(잠정) ·살처분보상금 1,905(국비 1,524) ·기타 13	398억 원(잠정)

주: *기타는 생계소득 안정, 입식 융자, 수매, 소독 등에 소요된 금액임.
자료: 허덕 외(2020, p.39); 농림축산식품부 내부자료.

2. 연구 필요성 및 목적

2.1. 연구 필요성

❍ HPAI, ASF 등 1종 법정가축전염병의 빈번한 발생으로 국가 전반에 큰 피해를 초래하고 있음. 축산업의 지속가능성을 확보하고 국민에게 안정적인 단백질 공급을 위해 가축전염병을 예방하고 발생 시 확산을 최소화하도록 가축방역 체계 개선이 필요함.

- 농림축산식품부의 2022년 업무계획의 핵심과제 중 하나인 '포스트코로나 시대에도 지속가능한 농업·농촌'의 세부 과제로 '가축방역 시스템 개선'이 포함됨. 방역 주체의 책임성 강화를 위해 질병관리등급제 적용 대상 축종 확대, 양돈농장 중요 방역시설 설치, 계열화사업자 자율방역 프로그램 마련을 추진하고, 방역관리의 전문성 제고를 위해 가축처리업 등의 업종 신설을 추진한다는 내용임(농림축산식품부, 2021).

❍ 가축전염병 특성, 발생유형, 지역별 가축사육 현황을 고려해 차별화된 방역 활동을 추진할 필요가 있음. 예방적 살처분의 효과와 가축전염병 확산 등을 고려하여 살처분 범위 조정 등으로 재정지출을 줄이고 축산물 시장에 미치는 영향을 완화할 필요가 있음.

- 가축사육은 지역에 따라 축종별 사육밀도에 차이를 나타내고 있음. 한육우 등 FMD 감수성 우제류는 경기도, 경상도, 전라도에 사육밀도가 높음. FMD와 ASF 감수성 동물인 돼지는 경기지역에 사육밀도가 높으며, HPAI 감수성 동물인 산란계, 육계, 오리 등 가금은 경기, 전라지역에 사육밀도가 높음.

❍ 사회가 발전할수록 정책 현안이 늘어나고 정책 수립과 의사결정, 실행방안 수

립이 어렵고 복잡해지면서 정책 수립 및 의사결정에 있어서 객관적인 정보와 지표에 근거한 데이터 기반 정책[1]의 중요성이 부각되고 있음(박준기 외, 2018, p.25).

❍ 정부는 신산업 육성, 과학적인 행정을 위해 관련 법을 제·개정하여 데이터 이용 활성화를 위한 제도적 기반을 마련하였고, 국가 경제 전반에 걸친 디지털 전환을 위해 대규모 투자를 계획하는 등 국가 차원에서 데이터 기반 정책 추진을 위한 여건을 조성 중임.

- 정부는 데이터 이용 활성화를 통한 신산업 육성을 위해 2020년 2월 데이터 3법[2]을 개정하였고, '데이터기반행정 활성화에 관한 법률(2020년 6월 제정)'과 '공공데이터의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률(2013년 7월 제정)'을 통해 데이터 기반의 과학적 행정과 공공데이터의 제공 및 활용도 제고를 위한 제도적 기반을 마련하였음.

❍ 또한 정부가 2020년 7월 발표한 한국판 뉴딜의 한 축인 디지털 뉴딜은 국가 경쟁력을 결정짓는 핵심 요소이자 코로나19 이후 가속화되고 있는 디지털 전환에 대응하고 변화를 선도해 나가기 위한 대규모 투자임(박지연 외, 2021, p.165).

❍ 가축질병 분야에서도 ICT 등 과학기술의 발달로 공공 및 민간에서 생성된 다양한 데이터의 활용이 점차 확대되는 추세임. 대표적인 활용 사례로 KAHIS (국가가축방역통합시스템)의 빅데이터 분석, 한국축산데이터 팜스플랜의 가

---

1) 데이터 기반 정책은 증거 기반 정책(evidenced-based policy making), 빅데이터 기반 정책, 과학적 정책 결정(scientific policy making)이라고도 불리며, 정책을 만들 때 투명성과 과학성을 위해 엄밀한 정책 분석에 바탕을 두어야 한다는 점을 강조하고 있음(고길곤 외, 2019, p.8).

2) '개인정보보호법', '정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률', '신용 정보의 이용 및 보호에 관한 법률'을 말함.

축 헬스케어 서비스, ICT 적용 농가의 실시간 데이터 모니터링을 통한 HPAI 조기진단 활용 가능성 등이 있음.

- 농림축산검역본부는 KAHIS의 축산차량의 축사시설 출입 기록, 농장 사육환경, 과거 발생 정보, 야생조류 항원검출 정보, 철새도래지, 야생철새 이동경로 등의 빅데이터를 분석하여 HPAI 발생 시 지역별·농장별 가금농장의 위험도 정보를 방역 담당기관에 제공하고 있음(농림축산검역본부, 2018, pp.161-166).
- 한국축산데이터에서 제공하는 팜스플랜은 바이오 데이터 기반의 질병 조기 대응과 농가 생산성 향상을 위해 인공지능, 수의, 면역학 전문가 등이 참여하여 개발한 가축 헬스케어 서비스임(박지연 외, 2021, p.178).
- 허덕 외(2020)는 HPAI 조기 진단과 살처분 범위 결정을 위해 ICT 적용 농가의 실시간 데이터를 활용할 것을 제안한 바 있음. ICT를 적용한 양계농가의 경우 농장 내 사육환경(온도, 습도, 암모니아, 사료급이량, 음수량 등) 데이터를 실시간으로 수집할 수 있음(허덕 외, 2020, p.403). HPAI가 발생하면 농장 내 온도가 변화하고, 사료와 음수 섭취량이 평소와 달리 현저하게 차이가 날 수 있음.

❍ KAHIS 등의 축적된 데이터를 적극적으로 활용 및 분석하여 가축전염병의 효율적인 대응 방안을 마련할 필요가 있음.

- KAHIS는 가축질병의 사전예방 및 질병 발생 시 확산 방지를 위해 ICT를 활용하여 동물질병 및 가축방역 정보를 통합 관리할 목적으로 운영되는 시스템임. 이 시스템에는 축산농장 및 시설, 축산차량 출입 정보, 가축전염병 발생 현황 등 방역 관련 정보들이 축적되어 있음.[3] 또한 '축산분야 ICT 융

3) 국가가축방역통합시스템(https://home.kahis.go.kr/home/intrcn/intrcn_m1_01.do). 검색일 2022. 2. 4.

복합 확산사업'을 통해 ICT 도입 농가들이 점차 늘어나고 있어, 농장 내 사육환경 데이터 활용 여건이 조성되고 있음.

2.2. 연구 목적

❍ 본 보고서에서는 1종 법정가축전염병 중 HPAI를 대상으로 함. 가축질병 관련 기관에서 수집한 데이터를 활용하여 지역별 HPAI의 발생 확률과 확산 위험을 분석하여 효율적 방역체계 구축을 위한 기초자료 제공을 목적으로 함.

- 'HPAI 발생 확률 분석'은 머신러닝 기법 중 랜덤 포레스트 모형을 적용하여 지역별 HPAI 발생 확률 추정 및 지역별 가축질병 예방 및 효율적인 방역체계 구축을 위한 기초자료 제공을 목적으로 함.
- 'HPAI 확산 위험 분석'은 HPAI 국내 발생 자료와 전염병 확산 모델을 이용하여 지역별 HPAI 기초감염재생산수[4])를 산출한 후 이를 토대로 지역별 HPAI 확산 위험을 추정하고, 지역별 HPAI 확산에 영향을 주는 요인[5]) 등 효율적인 방역체계 구축을 위한 기초자료 제공을 목적으로 함.

4) 우리나라는 HPAI 발생 즉시 감염 개체가 발견된 농장 및 인근 농장의 가금류 전체 또는 동일 축종 전체를 살처분하고 인근 지역에 대한 대대적인 소독 및 통제 조치를 하기 때문에, 지역별 HPAI 확산 위험의 차이는 지역 간 방역 상황의 이질성이 가장 적은 HPAI 발생 초기의 감염재생산수, 즉 기초감염재생산수를 토대로 비교하는 것이 적절함.

5) 가금농장 수가 많은 지역 또는 사육두수가 많은 지역이 적은 지역에 비해 상대적으로 HPAI 전파 위험이 높을 수 있으며, 논과 밭 등은 HPAI를 옮길 수 있는 야생조류의 먹이가 되는 낟알, 먹이 식물, 먹이 곤충 등이 도시에 비해 많기 때문에 지역별 논밭 면적의 차이 등은 HPAI 전파 위험에 영향을 줄 수 있음.

3. 연구 내용 및 방법

3.1. HPAI 발생 확률 분석

❍ HPAI 발생 확률 분석에서는 머신러닝을 기반으로 가축질병을 예측한 국내외 선행연구를 검토하여 랜덤 포레스트(Random Forest) 모형을 적용하였음.

❍ 분석 자료의 연도는 HPAI가 발생한 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년이며, 전국 가금 농가를 대상으로 하였음.

- 농가의 기본 정보는 가축위생방역지원본부의 FAMS 자료를 사용하였으며, HPAI 관련 정보는 농림축산식품부의 자료를 활용하였음.
- 분석 자료는 가금 농가의 기본 정보 이외에도 정책 효과 여부를 판단하기 위해 정책 더미 변수를 추가하였음.
- 변수가 연도별로 다르게 구성됨에 따라 각각 구분하여 분석하였음.

❍ 분석 모형을 통해 연도별로 HPAI 발생에 가장 큰 영향을 미치는 변수가 무엇인지, 핵심 요인변수가 HPAI 발생 확률에 어떠한 방향으로 영향을 미치는지 분석하고, 분석 결과를 통해 지역별(시도별·시군구별) HPAI 발생 확률을 제시하였음.

3.2. HPAI 확산 위험 분석

❍ HPAI 확산 위험 분석에서는 대표적인 전염병 확산 모델과 각 모델의 기초감염재생산수를 검토하고 국내 방역 정책을 감안하여 SIR 모델을 적용하였음.

❍ 분석 자료의 연도는 HPAI가 발생한 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년이며, 전국 가금 농가를 대상으로 하였음.

- 분석 자료는 HPAI 관련 정보와 농장 기본 정보를 통합하여 구축하였음. 농장 기본 정보는 HPAI가 발생하기 직전인 9월을 기준으로 하였음.
- 지역특성이 HPAI 확산에 미치는 영향을 분석하기 위해 지역별 통계자료를 추가하였음.

❍ 구축한 분석 모형을 통해 연도별·지역별 HPAI 전파력 및 기초감염재생산수를 추정하고, 이를 통해 지역특성이 HPAI 확산에 미치는 영향을 분석하였음.

제2장

고병원성 AI 발생 확률 분석

2 고병원성 AI 발생 확률 분석

1. 서론

1.1. 연구의 필요성 및 목적

❍ 컴퓨터 연산처리능력의 향상과 가용한 데이터가 풍부해 짐에 따라 머신러닝(Machine Learning)을 기반으로 한 축약형(reduced-form) 모델링이 최근 경제학 분야에서 각광받고 있음.

- 기존의 회귀분석 모형에 기반한 축약형 모델링은 샘플 길이보다 변수의 수가 많은 경우 다중공선성(multi-collinearity)이나 과적합(over-fitting) 문제로 모형 사용에 제약이 따름.
- 또한 경제이론 혹은 모형 설계자의 직관에 따라 설명변수를 선택할 가능성이 높아 자의적 선택 문제에 직면하게 됨.

❍ 머신러닝 기법은 전통적인 계량모형이 가지고 있는 한계점에서 자유롭고, 여

러 결정요인 중 어떤 변수가 더 중요한 변수인지에 대해 객관적 방법을 통해 변수의 중요성 수준을 확인할 수 있음.

- 기존 계량모형이 종속변수와 설명변수의 인과관계 분석을 위한 계수 추정에 집중하고 있다면, 머신러닝은 종속변수 예측값과 실제값 사이의 차이를 줄이는 것에 주된 관심이 있기에 정책 예측에 있어 탁월한 역량을 발휘하는 것으로 알려져 있음(이경희, 한창용, 2022).[6]

❍ 이에 본 연구는 시도 혹은 시군구 단위의 지자체 수준에서 현재 가용한 가축질병 관련 통계 자료를 바탕으로 머신러닝 기법을 적용하여 가축질병 발생 확률을 계산함으로써, 지자체 단위로 펼쳐지는 가축질병 예방 및 대응 정책 수행에 있어 효율적이고 정확한 기초 정보를 제공하는 것을 목적으로 함.

1.2. 관련 선행연구 검토

❍ Mullainathan & Spiess(2017)는 머신러닝 기법을 통해 활용 가능한 여러 방안을 제시하고 있음.

- 첫째, 머신러닝은 수많은 정량 데이터 혹은 이미지나 텍스트 같은 비정형 형태를 갖는 빅데이터를 처리하는 데 특화되어 있음. 둘째, 기존 모수추정을 통한 예측 과정에서 발생하는 내생성 또는 도구변수 선정 문제를 제거하는 데 유용하게 사용됨. 셋째, 정책 시행의 효과를 예측하고 가장 적합한 정책 대상자는 누가 되어야 하는가를 다루는 문제 해결에 있어 머신러닝 기법은 탁월함.

---

6) Gürkaynak et al.(2013)은 수학적 가정을 통해 도출된 이론적 모델이나 중요한 변수들을 선별하여 회귀 분석한(parsimonious) 축약형 모델과 가능한 많은 변수를 포함한 규모가 큰 축약형 모델의 예측력을 비교할 때 후자의 예측력이 우위에 있다는 결과를 제시하고 있음.

❍ 정재현(2019)은 머신러닝 기법을 적용할 수 있는 예로 ‘어떤 교사를 고용해야 하는가에 대한 문제’, ‘어떤 피고인에게 보석을 허가해야 하는가의 문제’, ‘어떤 청소년을 대상으로 비행 예방 프로그램을 전개해야 하는가의 문제’ 등을 제시하고 있음.

❍ 가축질병 예측에 머신러닝 기법을 적용한 사례는 그리 많지 않으며, 최근 이러한 기법을 통해 가축질병 예측 모델을 개발하고자 하는 시도가 시작되고 있으나, 아직은 관련 연구가 그리 많지 않은 상황임.

❍ 본 연구와 관련된 국내 선행연구로 이응섭(2015), 김성현 외(2018)를 들 수 있음.

- 이응섭(2015)은 가축의 실시간 생체 데이터를 활용한 머신러닝 기법을 적용하여 이상 개체의 조기 탐지 방안을 제시하였음. 특히 기댓값 최대화(Expectation Maximization) 알고리즘을 사용하여 개별의 개체에 대한 실시간 생체 데이터를 2개의 클러스터로 나누고 각 클러스터 크기의 변화로 이상 개체를 조기에 탐지할 수 있는 방안을 고안함.
- 김성현 외(2018)는 조류인플루엔자와 구제역 같은 동물 감염병 발생 예측을 위한 머신러닝 모형의 진화 및 분석 과정에 대한 정보를 제공하고 있음.

❍ 국외 연구로는 Wan & Bao(2010), Garg & Garg(2016), Suresh et al.(2019), Niu et al.(2020), Ashar et al.(2021), Stanski et al.(2021) 등이 있음.

- Wan & Bao(2010)는 질병 판단에 있어 원인의 복잡성과 다양성으로 인해 진단의 어려움에 봉착하고 있는 소의 질병에 대해 그 어려움을 해결하는 데 있어 SVM 모형의 유용성이 높다는 것을 제시하고 있음.
- Garg & Garg(2016)는 머신러닝 사용이 어떻게 소의 질병을 예측할 수 있는지에 대한 방법을 제시하면서, 가축질병 관련 의료시설이 부족한 지역에

서 머신러닝을 통한 질병 발생 예측 시스템이 해당 지역의 경제적·의학적 문제를 해결할 수 있는 효율적 방안임을 보여주고 있음.

- Suresh et al.(2019)은 특정 지역의 환경적 매개변수에 기반한 인공지능(Artificial Intelligence) 방법론을 통해 심각하거나 특이한 동물질병 발생에 대한 조기 예측이 질병 발생을 방지하는 데 있어 가장 중요한 요소 중 하나임을 보여주고 있음.
- Niu et al.(2020)은 많은 수의 전자 의료 기록의 데이터를 분석하고, 기계학습에서 SVM 알고리즘을 사용하여 텍스트를 분류하는 방법을 제시하고 있음. 이를 바탕으로 데이터 마이닝 연관 알고리즘인 Apriori 알고리즘을 통해 증상에 따라 소의 질병을 파악하여 적절한 진단 및 치료 제안을 적시에 제공할 수 있음을 보여줌.
- Ashar et al.(2021)은 SVC(Support Vector Classifier) 다중 클래스 분류 알고리즘을 사용하여 가축(소, 양 및 염소) 질병을 예측하고 예측된 질병을 기반으로 예방조치 방안에 대한 정보를 제공하였음.
- Stanski et al.(2021)은 수십 년 동안 반복적으로 발생하고 있는 영국의 소 결핵(bTB)을 대상으로 질병 발생에 대한 예측 능력을 제고시키고 질병 통제를 위한 주요 요인이 무엇인지를 확인하기 위해 머신러닝 기법을 이용하여 분석하였음.

2. 머신러닝 분석 방법

2.1. 랜덤 포레스트 모형

2.1.1. 머신러닝 모형(Machine Learning Model)[7)]

❍ 머신러닝에 대한 개념은 다양한 관점에서 진화되고 있으나, 일치된 사항은 '명시적인 프로그래밍이나 지시가 없이' 데이터 내부의 패턴을 자동으로 인식하는 방법론으로 이해할 수 있음. 따라서 머신러닝 훈련을 위해서는 데이터의 양이 많을수록, 컴퓨터 연산 능력이 우월할수록 훈련의 성과가 뛰어나다 할 수 있음.

❍ 머신러닝의 종류에는 크게 지도 학습(Supervised Learning), 비지도 학습(Unsupervised Learning)으로 나눌 수 있음.

- 지도 학습은 라벨(label)이 붙어 있는 데이터(labeled data)를 바탕으로 머신러닝 알고리즘에 대입하는 훈련 데이터에 하나 이상의 특성과 함께 각각의 샘플에 대응하는 반응변수가 포함되며, 새롭게 부여된 데이터 특성을 기반으로 훈련된 지도 학습기를 통해 반응변수를 예측함. 비지도 학습은 지도 학습과 달리 라벨이 없는 데이터를 군집화(clustering)하거나 차원 축소(dimensionality reduction)를 할 때 사용함.

❍ Mullainathan & Spiess(2017)는 머신러닝 기법의 활용 방안을 세 가지로 정리하여 제시하고 있음.

- 첫째, 머신러닝은 수많은 정량 데이터 혹은 이미지나 텍스트와 같은 비정

7) 머신러닝 방법론에 대한 보다 구체적인 사항은 박기영, 고정원(2019) 및 정재현(2019)을 참고할 수 있음.

형 형태를 갖는 빅데이터 처리에 특화되어 있음.

- 둘째, 기존 모수추정을 통한 예측 과정에서 발생하는 내생성 또는 도구변수 선정 문제를 제거하는 데 유용하게 사용됨.
- 셋째, 정책 시행 효과를 예측하고 '누가' 가장 적절한 대상자인지를 다루는 정책 예측의 문제를 해결하는 데 머신러닝 기법이 탁월함.

❍ 경제학에서는 특성변수를 바탕으로 변수의 특성을 분류하거나 연속변수의 예측에 머신러닝을 활용하고 있으며, 특히 지도 학습을 기반으로 한 모형을 주로 사용하고 있음.[8)]

❍ 지도 학습형 머신러닝 모형을 이용한 예측을 위해서는 설명변수(descriptive features)와 반응변수(target feature)로 구성된 훈련 데이터(training data) 구축이 필수적이며, 이러한 데이터를 기반으로 머신러닝 알고리즘을 활용하여 예측모형을 만들게 됨. 이렇게 만들어진 예측모형을 새로운 테스트 데이터(test data)에 적용하여 새로운 데이터의 예측값을 추정할 수 있음(오미애 외, 2017).

2.1.2. 랜덤 포레스트 모형(Random Forest Model)[9)]

❍ 본 연구에서는 가축질병 관련 발생 확률 및 정책의 효과에 대한 예측을 위해 머신러닝 기법 중 랜덤 포레스트(Random Forest) 모형을 적용해 분석하였음.[10)]

8) 기존의 회귀분석 모형에 대응해 예측모형으로 활용할 수 있는 지도 학습 기반 머신러닝 기법들은 Neural Network뿐만 아니라 Logistic Regression, 의사결정 트리(Decision Tree), 랜덤 포레스트(Random Forest), Support Vector Machines(SVM), Regression Shrinkage method, Deep Learning과 같이 매우 다양하게 개발되어 있음.

9) 랜덤 포레스트 모형 설명은 이경희 외(2019)를 주로 참고함.

10) 랜덤 포레스트 모형의 구체적인 내용은 최필선, 민인식(2018)을 참고할 수 있음.

○ 랜덤 포레스트 모형은 분류(classification)와 회귀(regression) 등의 분석에 사용되는 모형으로 의사결정 트리(Decision Tree) 모형을 확장한 것임. 의사결정 트리란 분류와 회귀 문제에 널리 사용되는 머신러닝 방법의 하나로, 특성변수에 조건을 주고 '예'와 '아니요'의 구분을 통해 데이터를 나누는 알고리즘을 의미함(정재현, 이환웅, 2021).

○ 따라서 의사결정 트리 모형은 최종 결정에 도달하기 위해 '예' 또는 '아니오'의 질문으로 데이터를 분할하여 학습을 진행함. 더불어 의사결정 트리 구성을 위해서는 질문의 종류와 순서를 정해야 함.

○ 이는 의사결정 트리 알고리즘에서 모형의 예측 정확도를 향상시키기 위해서는 특성변수의 선정 및 트리의 하위노드 설정이 매우 중요하다는 것을 시사함.[11)]

- 그러나 특성변수의 선정 및 하위 노드의 확장 정도에 대한 결정이 객관적 기준이 아닌 연구자의 자의적 판단에 따라 좌우되기에 분석 결과의 신뢰성 혹은 안정성이 떨어지는 단점이 있음.

○ 랜덤 포레스트 모형은 의사결정 트리 모형의 이러한 단점을 극복하면서 예측 성과를 높이기 위해 앙상블 학습(Ensemble Learning) 방법을 통해 의사결정 트리를 생성하고 구축한 후 여러 의사결정 트리 중 가중 투표를 통해 최종 의사결정 트리를 결정함(이경희 외, 2019).

○ 이때 앙상블 학습기법은 주어진 무작위 복원추출(boostrapping) 방식을 통해 훈련 데이터 일부를 대상으로 훈련 데이터와 특성변수의 반복 추출을 통해 각각의 의사결정 트리를 만드는 과정을 기반으로 진행됨. 이를 통해 랜덤 포

11) Gini 지수(Gini Index)와 엔트로피 값은 이에 관한 판단 기준을 제공함.

레스트 모형에서는 각 의사결정 노드에서 훈련 데이터에 포함되지 않은 데이터는 각각 다르게 추출되어 모형 예측력 검증에 사용됨.[12]

❍ 이처럼 랜덤 포레스트는 표본뿐만 아니라 설명변수 역시 무작위로 일부만을 뽑는 등 모형 전반의 무작위성을 높임으로써 상호 독립적인 트리를 반복적으로 구축하고, 이를 통해 예측 정확성을 높이는 방법이라 할 수 있음(Breiman, 2001).[13]

❍ 랜덤 포레스트 모형에서 각 특성변수의 중요도 평가는 해당 변수를 사용한 노드가 랜덤 포레스트 내 모든 트리에 걸쳐 평균적으로 불순도(impurity)를 얼마나 감소시켰는지를 확인함으로써 측정할 수 있음(이경희 외, 2019).

- 따라서 특성 중요도가 높은 변수는 중요도가 낮은 변수 대비 반응변수의 예측력 향상에 영향력이 높다는 것을 의미함. 변수의 상대적 중요성을 측정하는 기준으로 평균 MSE 감소율(Mean Decrease in Mean Squared Error)과 평균 지니 감소율(Mean Decrease in Gini)을 사용함.

❍ 한편, 앞에서 살펴본 특성변수의 상대적 중요성은 종속변수(본 연구에서는 '가축질병')의 특징을 결정하는 주요 특성변수에 대한 정보를 제공하나, 개별 요인이 어떤 방향으로 반응변수에 영향을 미치는지는 파악하지 못함. 이때 부분 의존성 그래프(Partial Dependence Plot: PDP)를 통해 반응변수와 특성변수 간의 구체적인 관계를 보여주는 역할을 함. 부분 의존성 함수(partial dependence function)는 다음 식을 통해 계산할 수 있음.

12) 이를 OOB(Out-Of-Bag) 분석이라 함.

13) 일반적으로 종속변수가 범주형이면 설명변수 개수가 p일 때 각 노드에서 $\sqrt{p}$개의 설명변수를 뽑아 트리를 만들며, 연속변수일 경우는 $p/3$개의 설명변수를 사용함.

$$\hat{f}_{x_S}(x_S) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\hat{f}(x_{S,}\ x_C^{(i)})$$

- 위 식에서 x_S는 관심 특성변수를, $x_C^{(i)}$는 기타 특성변수를 의미함. 부분 의존성 함수는 주어진 x_S 값에 대해서 가능한 모든 경우의 종속변수 예측값을 계산한 후 평균을 낸 것으로서, 관심 특성변수와 종속변수 예측값 간의 관계를 파악한 함수라 할 수 있음(이경희 외, 2019).

❍ 부분 의존성 그래프는 부분 의존성 함수를 그래프로 도식화한 것으로 1~2개의 변수가 모델 예측 결과에 영향을 미치는 한계효과(marginal effect)를 보여줌. 또한 부분 의존성 그래프는 종속변수와 특성변수 간 관계가 단조적(monotonic) 관계인지 혹은 더 복잡한 모습인지에 대한 정보를 제공함.[14] 부분 의존성 그래프에서 x축은 관심 특성변수의 값을, y축은 특성변수 값에서의 예측된 종속변수 값을 의미함.

2.2. 분석 자료

2.2.1. 분석 자료 특성

❍ 본 연구의 분석 대상 연도는 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년이며, 분석 대상 지역은 우리나라 전국을 대상으로 함.

- 자료는 HPAI 발생에 대한 분석을 수행할 수 있도록 ① 발생 여부, 살처분 여부 등 HPAI에 대한 정보, ② 주소, 축종, 사육두수, 위도, 경도, 해발고도 등 농장 기본 정보, ③ 발생농장 거리, 도계장 및 사료공장 거리, 항원검출

14) 예를 들어 선형회귀 모델의 부분 의존성은 항상 선형 관계를 보임.

거리, 특정 반경(500m, 1,000m, 1,500m 등) 내 농장 수 및 사육두수 합 등 농장 간 거리 기반 정보, ④ 중점방역관리지구 포함 여부, 일평균 축산차량 방문횟수, 오리사육휴지기제 참여 여부 등 기타 정보를 포함함.

〈표 2-1〉 가용자료 및 내용

자료	내용
농장 세부 주소	지번 단위(자료 매칭용 Keyp 값으로 이용)
위도 경도(동경)	동경, 북위 GIS 정보
행정구역 시도	시도/시군구/읍면동
축종분류1	닭, 오리, 기타
사육두수	단위: 마리
거리별 사육두수	반경 500m, 1~5km, 10km, 15km, 20km 이내, 단위: 마리
행정구역별 가금류 사육두수	시도/시군구/읍면동, 단위: 마리
행정구역별 축종별 사육두수	시도/시군구/읍면동, 단위: 마리
거리별 농장수	반경 500m, 1~5km, 10km, 15km, 20km 이내, 단위: 개
최근접 농장과의 거리(m)	단위: 미터
농장의 해발고도(m)	단위: 미터
사료공장과의 거리(m)	단위: 미터
도계(압)장과의 거리(m)	단위: 미터
축산차량 방문횟수	일일 평균 축산차량 방문횟수
연도별 HPAI 발생 여부	1=발생, 0=미발생
연도별 HPAI 발생 순서	발생 순서
연도별 농장운영 현황	정상운영, 폐업, 휴업 등
발생연도	발생연도
발생월	발생월
발생차수	연도별로 2차례 발생차수가 있으면 동일차수 내 발생 순서
오리사육휴지기제 포함 여부	1=포함, 0=미포함
중점방역관리지구 포함 여부	1=포함, 0=미포함

자료: 저자 작성.

- 연도별로 데이터 세트를 구성하는 변수가 연도별로 상이하여 분석은 연도별로 구분하여 수행하였음.

- 분석 대상 변수 중 특정 반경 이내 사육두수 합의 경우 원 데이터에는 500m와 1km부터 15km까지 매 1km마다 변수가 존재하지만, 1km, 5km, 10km, 15km만 활용하였을 때와 비교하여 변수 추가에 따른 예측력 상승이 높지 않았기에 실제 분석에서는 1km, 5km, 10km, 15km만 활용하였음.
- 또한 원 데이터에는 특정 반경 이내의 농장수 변수가 존재하지만 위의 사육두수 합에 비해서 변수의 중요도가 낮게 나타났으며, 변수 추가에 따른 예측력 상승이 높지 않았기에 실제 분석에서는 제외하였음.

❍ 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년의 실제 활용 데이터의 기본 특성은 〈표 2-2〉~〈표 2-4〉에 각각 제시되어 있음.

〈표 2-2〉 2016/17년 활용 데이터 기본 특성

변수명	관측수	특성
발생 여부	48,216	더미변수, 발생=383개
사육두수	48,216	평균=4,625(마리), 표준편차=24,131(마리)
위도	48,216	평균=36.2(도), 표준편차=1.0(도)
경도	48,216	평균=127.7(도), 표준편차=0.8(도)
해발고도	48,216	평균=132(m), 표준편차=125(m)
축산차량 방문횟수	48,069	평균=0.2(건), 표준편차=0.6(건)
발생농장 거리	48,216	평균=30.5(km), 표준편차=26.8(km)
도계장 거리	48,216	평균=28.6(km), 표준편차=20.6(km)
사료공장 거리	48,216	평균=25.7(km), 표준편차=19.4(km)
항원검출 거리	48,216	평균=31.8(km), 표준편차=23.2(km)
가장 가까운 농장까지의 거리	48,216	평균=0.4(km), 표준편차=0.5(km)
1km 이내의 사육두수 합	48,216	평균=21,049(마리), 표준편차=69,805(마리)
5km 이내의 사육두수 합	48,216	평균=257,532(마리), 표준편차=401,889(마리)
10km 이내의 사육두수 합	48,216	평균=883,985(마리), 표준편차=1,080,612(마리)
15km 이내의 사육두수 합	48,216	평균=1,830,105(마리), 표준편차=1,926,954(마리)
살처분 반경 500m 이내 여부	48,216	더미변수, 포함 = 503개

(계속)

변수명	관측수	특성
시도	48,216	각 시도별 더미변수 경남=7,590개, 경북=7,030개, 강원=6,502개, 전남=6,478개, 전북=6,034개, 충남=5,245개, 충북=4,272개, 경기=2,715개, 울산=600개, 대구=398개, 대전=298개, 세종=289개, 인천=269개, 부산=190개, 제주=182개, 광주=83개, 서울=41개
시군구	48,216	각 시군구별 더미변수
광역권	48,216	각 광역권 더미변수 (시도 정보를 바탕으로 수도권, 충청도, 전라도, 경상도, 기타 시도로 구분)
광역시·특별시 등 더미	48,216	광역시·특별시(서울, 대전, 대구, 부산, 인천, 광주, 울산, 제주, 세종) 더미변수

자료: 저자 작성.

〈표 2-3〉 2020/21년 활용 데이터 기본 특성

변수명	관측수	특성
발생 여부	69,045	더미변수, 발생=109개
사육두수	69,045	평균=3,214(마리), 표준편차=20,495(마리)
위도	69,045	평균=36.2(도), 표준편차=1.0(도)
경도	69,045	평균=127.8(도), 표준편차=0.8(도)
해발고도	69,045	평균=129(m), 표준편차=121(m)
축산차량 방문횟수	68,989	평균=0.3(건), 표준편차=4.4(건)
발생농장 거리	69,045	평균=25.8(km), 표준편차=21.6(km)
도계장 거리	69,045	평균=29.2(km), 표준편차=21.1(km)
사료공장 거리	69,045	평균=25.2(km), 표준편차=19.1(km)
항원검출 거리	69,045	평균=20.3(km), 표준편차=15.8(km)
가장 가까운 농장까지의 거리	69,045	평균=0.4(km), 표준편차=0.7(km)
1km 이내의 사육두수 합	69,045	평균=17,010(마리), 표준편차=62,865(마리)
5km 이내의 사육두수 합	69,045	평균=242,015(마리), 표준편차=386,403(마리)
10km 이내의 사육두수 합	69,045	평균=852,218(마리), 표준편차=1,061,367(마리)
15km 이내의 사육두수 합	69,045	평균=1,806,742(마리), 표준편차=1,942,275(마리)

(계속)

변수명	관측수	특성
살처분 반경 3km 이내 여부	69,045	더미변수, 포함=2,913개
오리사육휴지기제 여부	69,045	더미변수, 포함=150개
중점방역관리지구 여부	69,045	더미변수, 포함=17,022개
시도	69,045	각 시도별 더미변수 경북=12,068개, 경남=10,149개, 강원=8,408개, 전남=8,210개, 전북=7,204개, 충남=7,160개, 충북=6,791개, 경기=4,617개, 울산=1,297개, 인천=827, 대구=707개, 부산=286개, 제주=277개, 대전=235개, 세종=234개, 광주=136개, 서울=34개
시군구	69,045	각 시군구별 더미변수
광역권	69,045	각 광역권 더미변수 (시도 정보를 바탕으로 수도권, 충청도, 전라도, 경상도, 기타 시도로 구분)
광역시·특별시 등 더미	69,045	광역시·특별시(서울, 대전, 대구, 부산, 인천, 광주, 울산, 제주, 세종) 더미변수

자료: 저자 작성.

〈표 2-4〉 2021/22년 활용 데이터 기본 특성

변수명	관측수	특성
발생 여부	67,592	더미변수, 발생=44개
사육두수	67,592	평균=3,223(마리), 표준편차=21,513(마리)
위도	67,592	평균=36.3(도), 표준편차=1.0(도)
경도	67,592	평균=127.8(도), 표준편차=0.8(도)
해발고도	67,592	평균=130(m), 표준편차=122(m)
축산차량 방문횟수	67,587	평균=0.2(건), 표준편차=0.8(건)
발생농장 거리	67,592	평균=48.2(km), 표준편차=36.5(km)
도계장 거리	67,592	평균=29.7(km), 표준편차=21.6(km)
사료공장 거리	67,592	평균=25.2(km), 표준편차=19.4(km)
항원검출 거리	67,592	평균=35.6(km), 표준편차=19.0(km)
가장 가까운 농장까지의 거리	67,592	평균=0.4(km), 표준편차=0.7(km)
1km 이내의 사육두수 합	67,592	평균=16,725(마리), 표준편차=66,219(마리)

(계속)

변수명	관측수	특성
5km 이내의 사육두수 합	67,592	평균=233,237(마리), 표준편차=371,987(마리)
10km 이내의 사육두수 합	67,592	평균=822,329(마리), 표준편차=994,196(마리)
15km 이내의 사육두수 합	67,592	평균=1,740,351(마리), 표준편차=1,804,696(마리)
살처분 반경 500m 이내 여부	67,592	더미변수, 포함=77개
오리사육휴지기제 여부	67,592	더미변수, 포함=117개
중점방역 관리지구 여부	67,592	더미변수, 포함=20,371개
시·도	67,592	각 시도별 더미변수 경북=12,068개, 경남=10,149개, 강원=8,408개, 전남=8,210개, 전북=7,204개, 충남=7,160개, 충북=6,791개, 경기=4,617개, 울산=1,297개, 인천=827, 대구=707개, 부산=286개, 제주=277개, 대전=235개, 세종=234개, 광주=136개, 서울=34개
시군구	67,592	각 시군구별 더미변수
광역권	67,592	각 광역권 더미변수 (시도 정보를 바탕으로 수도권, 충청도, 전라도, 경상도, 기타 시도로 구분)
광역시·특별시 등 더미	67,592	광역시·특별시(서울, 대전, 대구, 부산, 인천, 광주, 울산, 제주, 세종) 더미변수

자료: 저자 작성.

2.2.2. 불균형 자료 처리

○ 본 연구의 분석에 사용하고 있는 연도별 데이터를 보면, 2016/17년 데이터는 48,216개 관측치 중 383개, 2020/21년 데이터는 69,045개 관측치 중 109개, 2021/22년 데이터는 67,592개 관측치 중 47개만이 HPAI가 발생한 관측값으로 나타나 HPAI 발생과 비발생 사이에 매우 큰 격차가 존재하고 있어 '불균형 데이터'의 특징이 나타나고 있음.

- 불균형 데이터란 정상 범위와 이상 범위의 관측치 수가 현저한 차이를 보이는 데이터를 의미함. 불균형 데이터의 대표적인 사례로는 신용카드 거래에

있어 정상 거래와 사기 거래의 경우, 암 발생 환자와 정상인 수의 차이 등을 들 수 있음.

❍ 머신러닝 모형을 이용하여 분석할 때 불균형 데이터를 그대로 예측에 활용하게 되면 과적합(over-fitting) 문제로 인해 분석 데이터에서는 높은 정확도를 보이지만 일반적인 데이터에서는 예측 정확도가 낮은 결과로 이어질 가능성이 있음. 이에 불균형한 데이터 분석의 경우에는 사전에 데이터의 불균형성에 대한 처리를 수행한 이후 분석을 진행하는 것이 일반적임.

❍ 불균형한 데이터 처리는 ① 비중이 큰 관측값을 줄이거나(under sampling), ② 비중이 작은 관측값을 늘리는 방법(over sampling) 등을 활용함.

- Under sampling 방법은 비중이 큰 관측값 중에서 일부의 데이터만 활용하거나 다수의 데이터를 활용하여 데이터를 생성해 활용하는 것으로서, 데이터의 불균형성을 보완한다는 장점이 있으나 정보 손실이 발생한다는 단점이 존재함. Under sampling 방법으로는 무작위 추출(random) 언더샘플링, 토멕링크(Tomek's link) 언더샘플링, CNN(Condensed Nearest Neighbour), ENN(Edited Nearest Neighbour), IHT(Instance Hardness Threshold) 등이 있음.
- Over sampling 방법은 비중이 작은 관측값 중에서 데이터를 복제하거나 데이터를 활용한 신규 데이터를 생성하여 활용하는 것으로서, 정보의 손실을 막을 수 있으나 관측치가 추가됨으로써 해당 관측치에 따른 과적합이 발생할 위험성이 존재함. Over sampling 방법으로는 무작위 추출(random) 오버샘플링, ADASYN(Adaptive Synthetic Sampling), SMOTE(Synthetic Minority Oversampling Technique) 등이 개발되어 활용되고 있음.

❍ 이와 같은 다양한 불균형 데이터 처리 방법 중에서 본 연구에서는 IHT (Instance Hardness Threshold) 방법을 이용할 때 분석의 정확도가 가장 높았기에 이를 불균형 데이터 분석에 활용하였음. IHT는 Smith, Martinez, & Giraud-Carrier(2014),[15] Verdikha, Adji, & Permanasari(2018)[16] 등에서 연구된 것으로, 분류가 잘못될 가능성(instance hardness)이 높은 관측치를 제외하여 예측의 정확도를 높이는 기법으로 알려져 있음. 본 연구에서는 자료를 5분할하여 랜덤 포레스트 분류기로 각 관측값을 예측하였으며, 관측값의 예측 정확도가 사전에 정의된 임계치보다 낮은 관측값은 분석에서 제외하였음.

3. HPAI 발생 확률 분석 결과

3.1. 요인별 중요 및 부분 의존도

❍ 분석에 고려한 요인변수 중 중요도가 상위 10개 이내에 포함된 요인변수를 〈그림 2-1〉을 통해 살펴보면, 연도별 순위에 차이는 있지만 HPAI 발생 예측에 '해당 농장 사육두수', 'HPAI 발생농장까지의 거리'가 가장 중요도가 높은 요인변수로 확인되고 있음.

❍ 2016/17년의 경우 HPAI 발생 예측에 발생농장과의 거리가 가장 큰 영향을

15) Smith, Michael R., T. Martinez, & C. Giraud-Carrier. (2014). "An instance level analysis of data complexity." Machine Learning. 95.

16) Verdikha, N. A., T. B. Adji, & A. E. Permanasari. (2018). "Study of undersampling method: Instance hardness threshold with various estimators for hate speech classification." International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2(2).

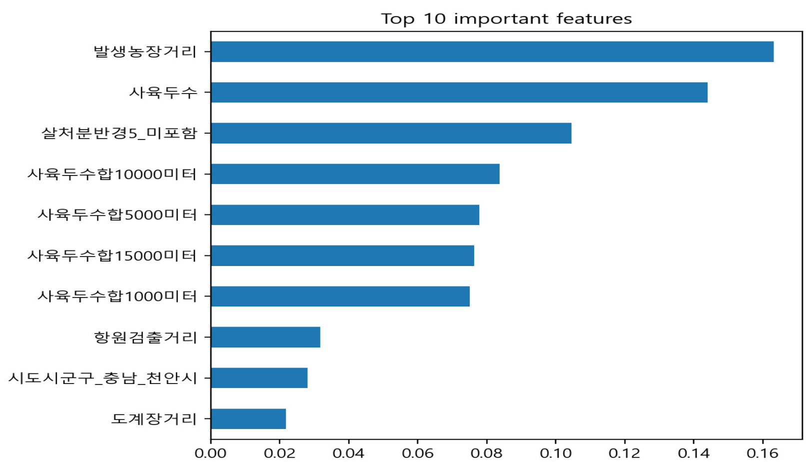
미치는 것으로 나타났으며, 해당 농장의 사육두수가 두 번째로 높은 중요도를 보였음. 이어서 살처분 반경 500m 이내에 포함 여부가 높은 중요도를 차지하였으며, 특정 반경(1km, 5km, 10km, 15km 등) 내 사육두수 총합 역시 높은 중요도를 보였음.

❍ 2020/21년에는 해당 농장 사육두수에 이어 축산차량 방문횟수가 발생 확률에 큰 영향을 미치는 요인으로 확인되고 있으며, 특정 반경(1km, 5km, 10km, 15km 등) 내 사육두수 총합, 도계장과의 거리, 발생농장과의 거리, 사료공장 거리, 항원검출 거리 등의 순으로 영향력이 높았음.

❍ 2021/22년은 2020/21년과 마찬가지로 해당 농장 사육두수, 축산차량 방문횟수가 질병 발생에 영향을 미치는 주요 요인으로 나타나고 있으며, 여타 분석연도와는 달리 ‘중점방역관리지구 여부’가 발생 확률에 영향을 미치고 있는 것으로 확인되었음.

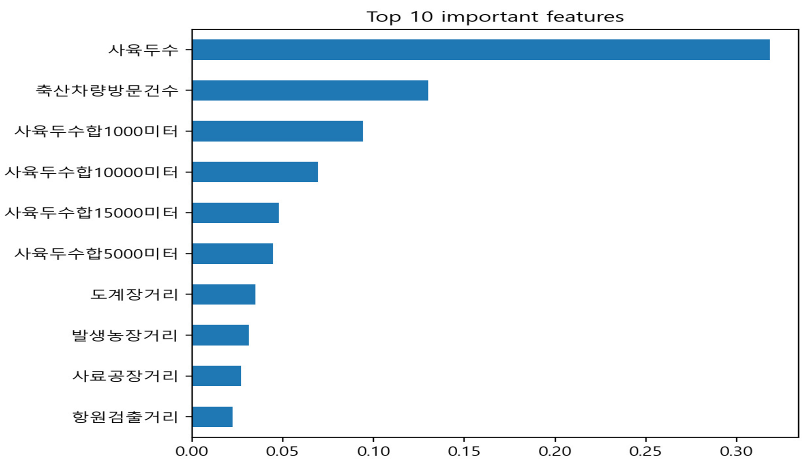
〈그림 2-1〉 상위 10개 요인 중요도

〈2016/17년〉

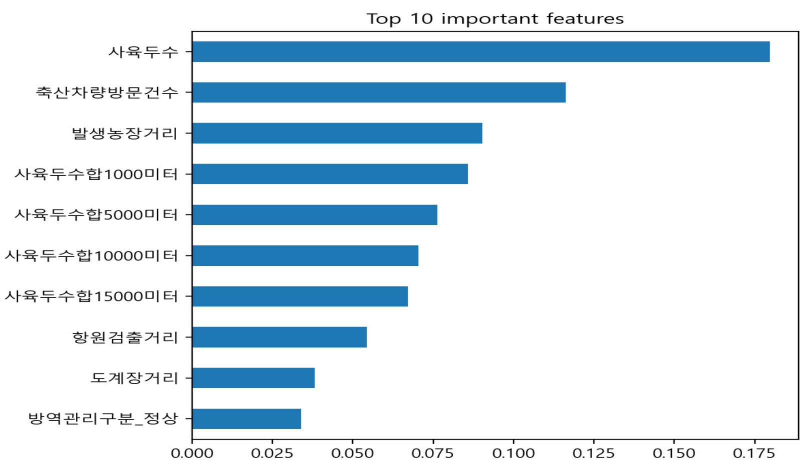


(계속)

〈2020/21년〉



〈2021/22년 〉



자료: 저자 작성.

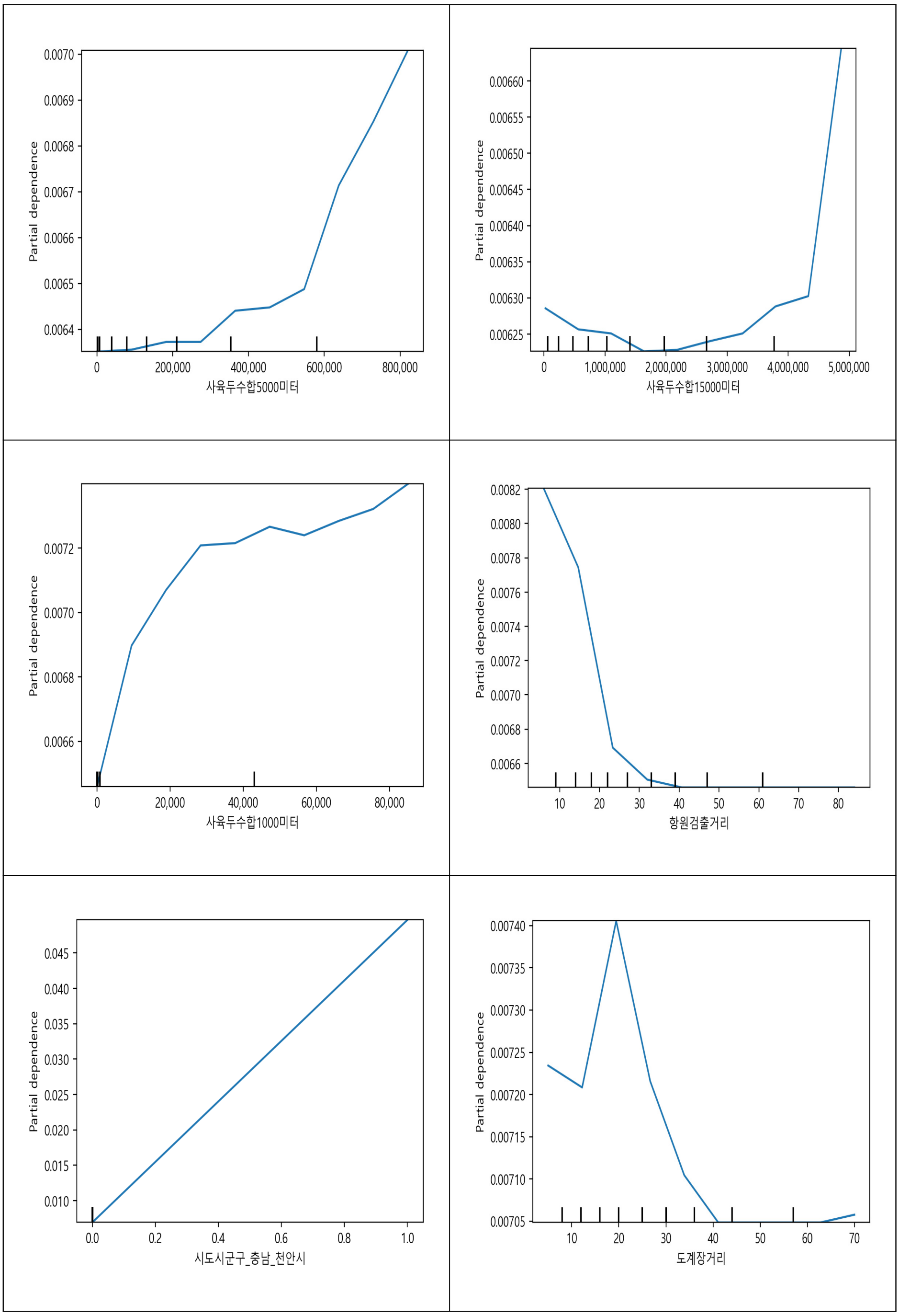
○ 〈그림 2-2〉에 제시된 2016/17년 상위 10개 요인의 부분 의존도 그래프를 바탕으로 핵심 요인변수가 HPAI 발생 확률에 어떠한 방향으로 영향을 미치는지를 살펴보면 다음과 같음.

- HPAI 발생농장까지의 거리가 10km 이내에서 발생 확률이 지속적으로 감소하였고 이후에는 뚜렷한 변화를 보이지 않은 것으로 나타났음. 또한 농장의 사육두수가 많을수록 HPAI 발생 확률을 높인다는 것이 확인되었음. 살처분농장 반경 500m 이내에 포함된 농장에서 HPAI 발생 확률이 크게 증가하였음. 더불어 특정 거리까지의 사육두수 합이 증가할수록 HPAI 발생 확률 또한 비례적으로 증가하는 모습이 관찰되었음. 마지막으로 최근접 항원 검출원까지의 거리가 멀수록 발생 확률이 낮아지는 경향이 나타났는데 30km를 넘어서면 영향력이 없는 것으로 나타났으며, 도계장까지의 거리는 20km에서 가장 높은 발생 확률을 보인 후 낮아졌는데 40km를 넘어서면 영향은 사라졌음.

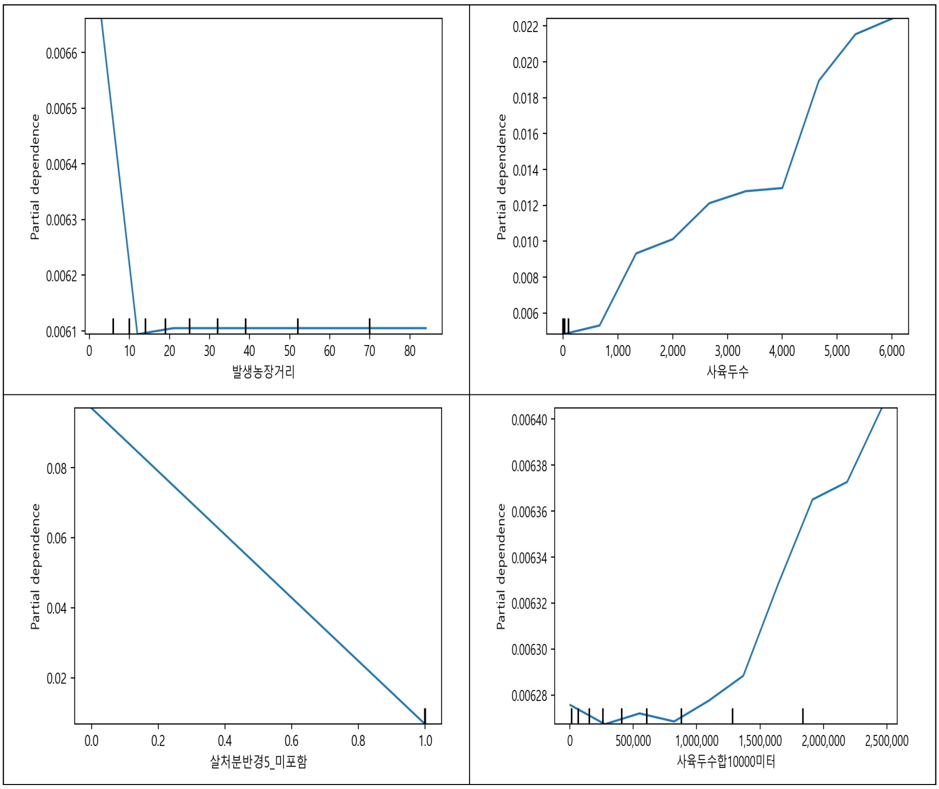
○ 〈그림 2-3〉에 제시된 2020/21년 부분 의존도 결과를 보면, 우선 농장의 사육두수가 많을수록 HPAI 발생 확률 또한 높아지는 경향을 보였음. 또한 하루 평균 축산차량 방문횟수가 많은 경우 HPAI 발생 확률이 증가하였으며, 1.25건을 기준으로 그 확률은 급격히 증가하였음. 특정 거리까지의 사육두수 합이 많은 경우에는 HPAI 발생 확률과 정(+)의 관계를 보이고 있음을 알 수 있음. 도계장까지의 거리, 발생농장까지의 거리, 사료공장 거리, 항원검출 거리 변수는 거리가 멀수록 발생 확률이 줄어드는 경향성을 보였음.

○ 〈그림 2-4〉에 제시된 2021/22년 부분 의존도 결과를 보면, 사육두수, 축산차량 방문횟수, 발생농장 거리, 사육두수 합이 늘어나면 HPAI 발생 확률 역시 증가하였으며, 항원검출 거리가 멀수록 발생 확률은 줄어들었음.

〈그림 2-2〉 2016/17년 10개 요인별 부분 의존도

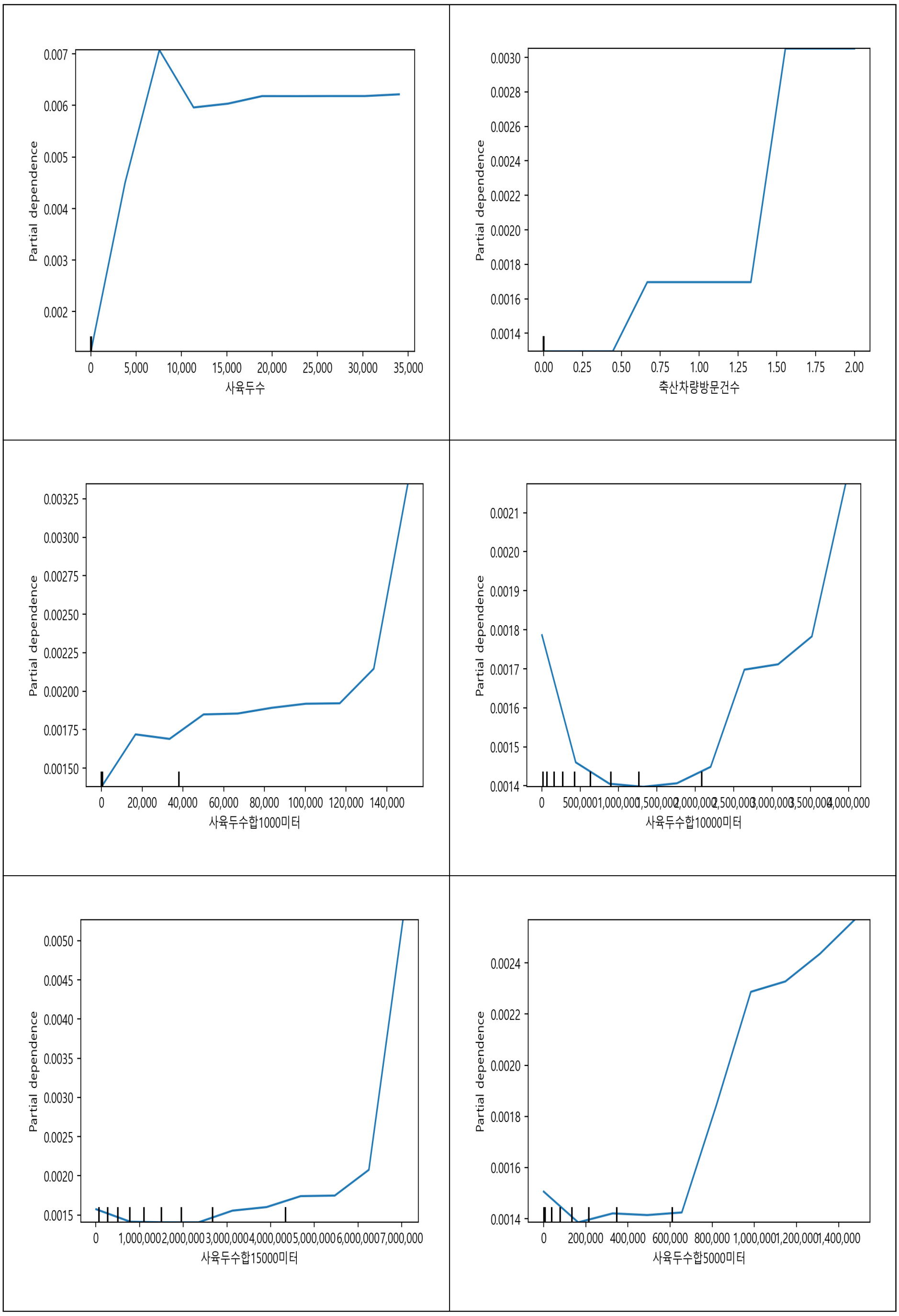


(계속)

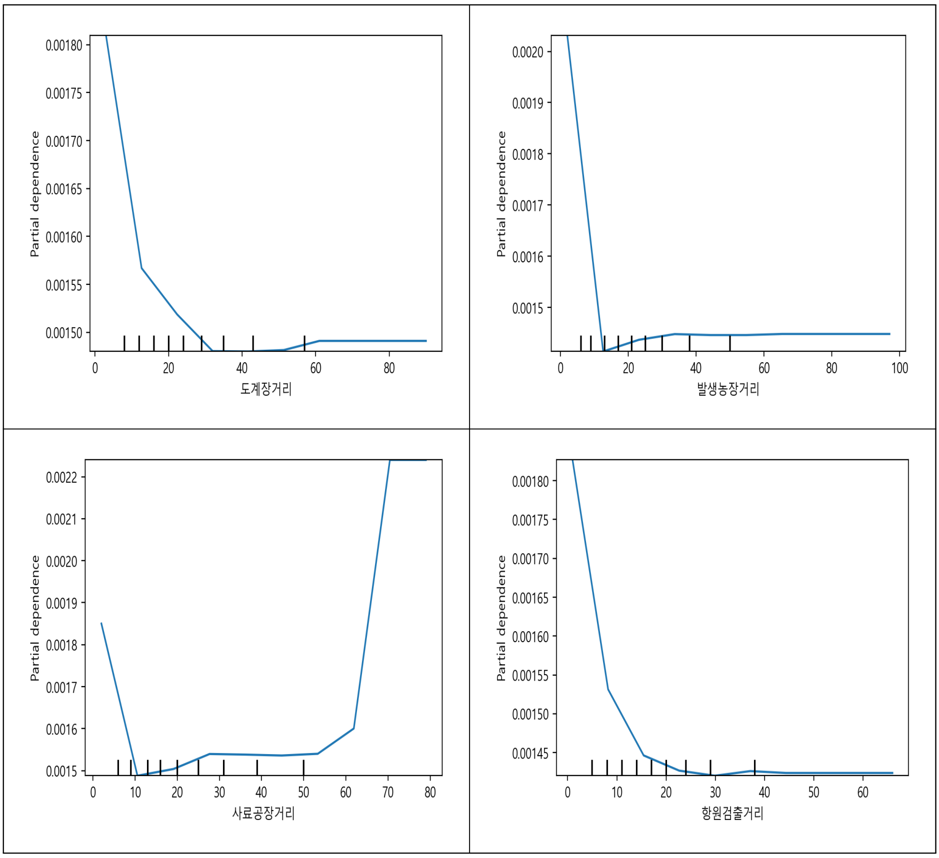

Partial dependence
0.0066
0.0065
0.0064
0.0063
0.0062
0.0061
0
10
20
30
40
50
60
70
80
발생농장거리
Partial dependence
0.022
0.020
0.018
0.016
0.014
0.012
0.010
0.008
0.006
0
1,000
2,000
3,000
4,000
5,000
6,000
사육두수
Partial dependence
0.08
0.06
0.04
0.02
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
살처분반경5_미포함
Partial dependence
0.00640
0.00638
0.00636
0.00634
0.00632
0.00630
0.00628
0
500,000
1,000,000
1,500,000
2,000,000
2,500,000
사육두수합10000미터

자료: 저자 작성.

〈그림 2-3〉 2020/21년 10개 요인별 부분 의존도

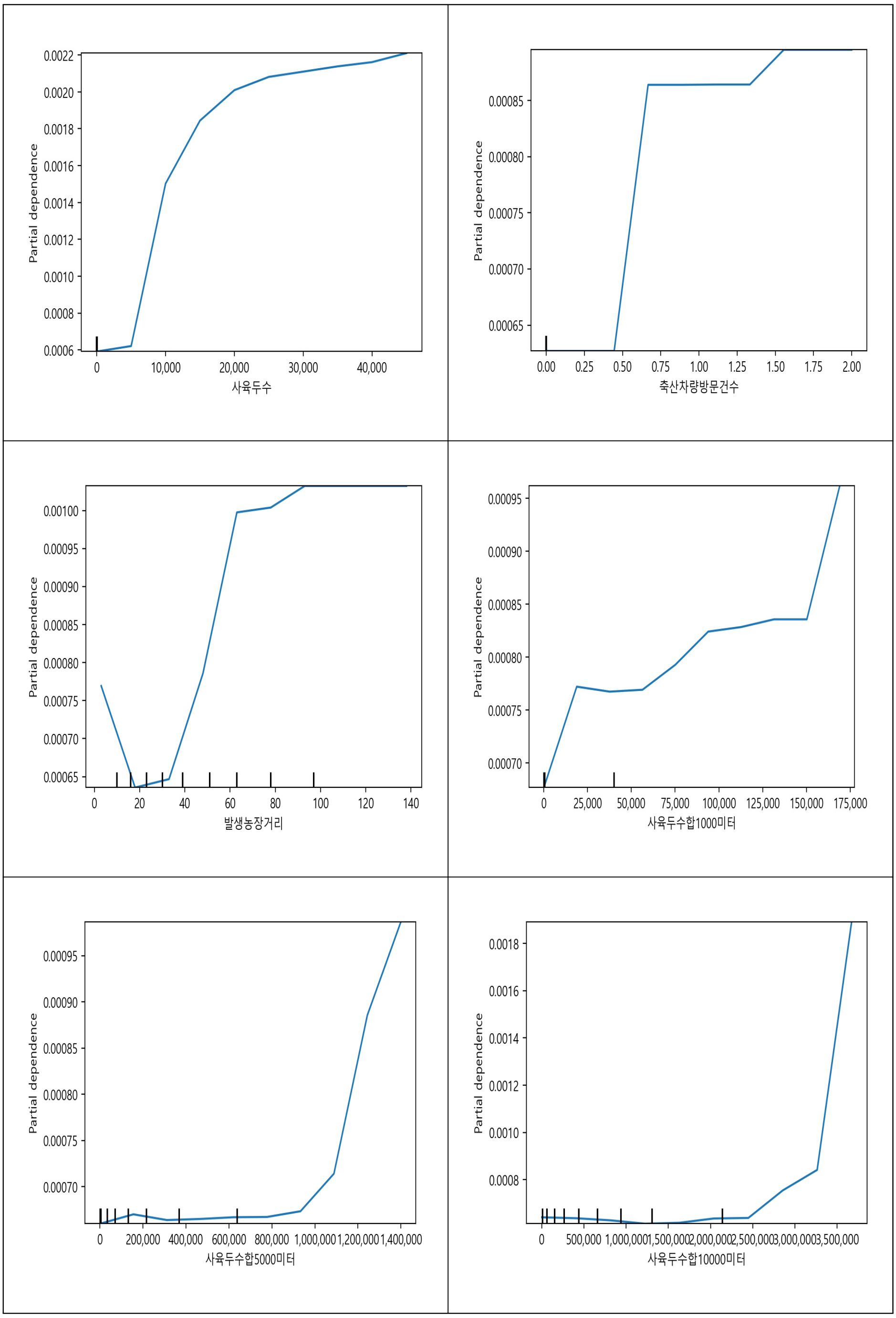


(계속)

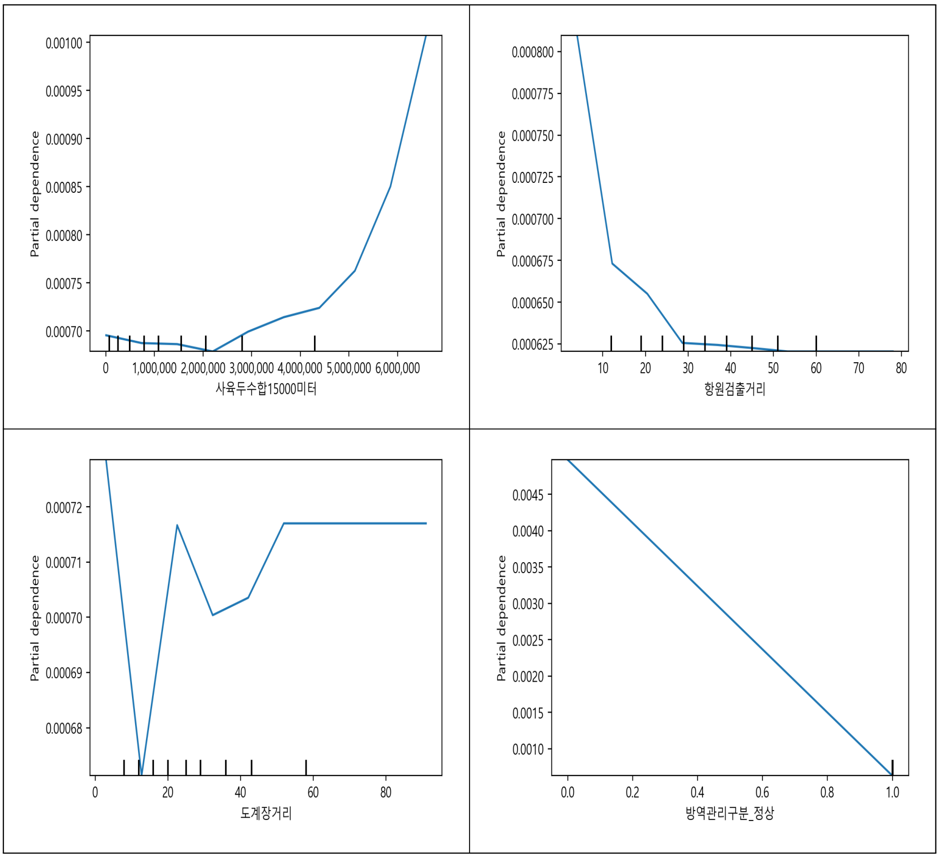

Partial dependence
도계장거리
Partial dependence
발생농장거리
Partial dependence
사료공장거리
Partial dependence
항원검출거리

자료: 저자 작성.

〈그림 2-4〉 2021/22년 10개 요인별 부분 의존도



(계속)


0.00100
0.00095
0.00090
0.00085
0.00080
0.00075
0.00070
Partial dependence
0
1,000,000
2,000,000
3,000,000
4,000,000
5,000,000
6,000,000
사육두수합15000미터
0.000800
0.000775
0.000750
0.000725
0.000700
0.000675
0.000650
0.000625
Partial dependence
10
20
30
40
50
60
70
80
항원검출거리
0.00072
0.00071
0.00070
0.00069
0.00068
Partial dependence
0
20
40
60
80
도계장거리
0.0045
0.0040
0.0035
0.0030
0.0025
0.0020
0.0015
0.0010
Partial dependence
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
방역관리구분_정상

자료: 저자 작성.

3.2. 지역별 HAPI 발생 확률[17)]

3.2.1. 시도 기준

❍ 앞의 분석 결과를 바탕으로 시도별 HPAI 발생 확률을 계산한 결과를 보면, 2016/17년과 2020/21년은 경기, 2021/22년에는 세종이 가장 발생 확률이 높은 지역으로 나타나고 있음. 2021/22년의 결과를 보면 세종과 타 지역의 차이가 상대적으로 크게 나타나고 있는데, 이는 발생 확률에 실질적으로 영향을 미치는 변수의 관측치 수가 상대적으로 적어 나타난 결과로 판단됨〈그림 2-5〉.

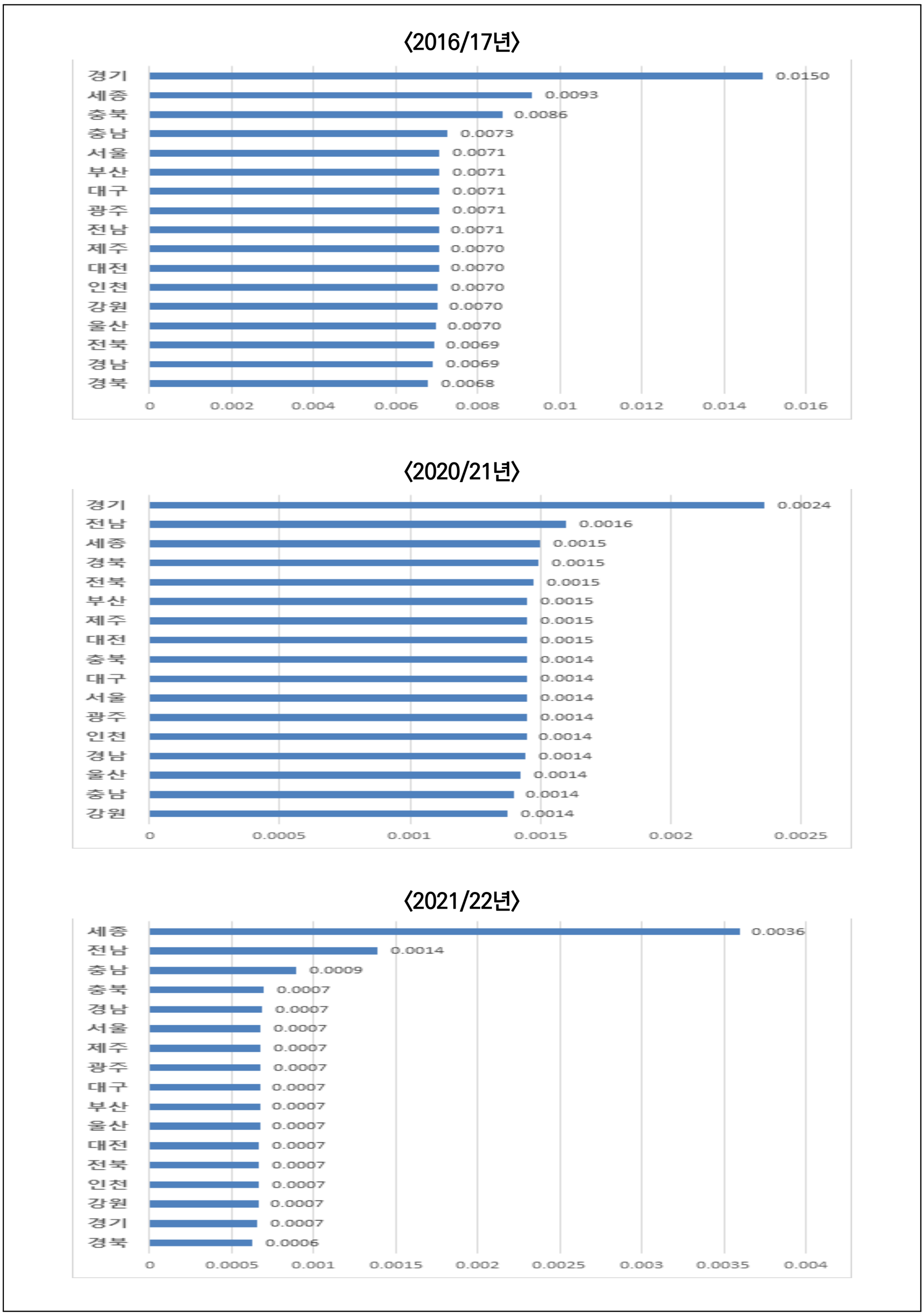
❍ 시도별 HPAI 발생 확률에 영향을 미치는 주요 요인 평균을 보면, 2016/17년의 경우 발생 확률 1위를 기록한 경기도는 농장당 평균 사육두수가 다른 지역 대비 가장 많은 것으로 나타났으며, 발생농장까지의 거리, 살처분 반경 500 m 이내의 농장 비율, 10km 이내 사육두수 합 등은 전체 시도 중 2위를 차지하는 것으로 나타났음. 발생 확률 2위인 세종시는 평균 사육두수를 제외한 나머지 3개 요인에서 가장 높은 순위를 보였음〈표 2-5〉.

❍ 2020/21년 발생 확률이 가장 높았던 경기는 반경 10km 이내의 사육두수 합이 가장 많았으며, 농가당 사육두수, 축산차량 방문횟수도 타 지역 대비 상대적으로 높게 나타났음〈표 2-6〉.

❍ 2021/22년 발생 확률이 가장 높았던 세종은 사육두수 평균, 1km 이내 사육두수 합이 가장 많았으며, 축산차량 방문횟수 역시 높은 것으로 나타났음〈표 2-7〉.

17) 지역별 발생 확률의 차이는 발생 확률에 영향을 미치는 변수의 중요도와 부분 의존성 방향에 의해 결정됨.

〈그림 2-5〉 시도별 HPAI 발생 확률



자료: 저자 작성.

〈표 2-5〉 2016/17년 시도별 4대 주요 발생 요인 평균

지역	발생농장과 거리 (km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합계 (마리)
경기	8.41	16,111	3.98	1,591,797
세종	4.69	13,300	8.30	2,133,693
충북	18.37	4,337	2.79	1,002,365
충남	13.07	6,856	1.47	1,401,185
광주	9.15	3,630	0.00	623,448
부산	17.41	179	0.53	21,668
서울	14.06	15	0.00	28,369
대구	64.96	850	0.00	383,550
전남	16.46	4,925	0.83	902,645
제주	118.38	10,692	0.00	356,995
대전	13.32	223	0.00	99,611
인천	20.42	3,741	0.74	679,757
강원	38.87	957	0.02	208,924
울산	23.43	733	0.00	271,317
전북	19.71	5,861	1.72	1,694,848
경남	32.68	1,770	0.17	405,610
경북	70.88	4,250	0.00	695,971

자료: 저자 작성.

〈표 2-6〉 2020/21년 시도별 4대 주요 발생 요인 평균

지역	사육두수 (마리)	축산차량 방문횟수 (회/일)	1km 이내 사육두수 합계 (마리)	10km 이내 사육두수 합계 (마리)
경기	9,732	0.55	41,152	1,629,485
전남	3,439	0.29	17,169	808,521
세종	12,544	1.26	49,836	1,451,484
경북	2,278	0.40	12,401	660,331
전북	5,635	0.26	35,752	1,806,689
부산	141	0.08	702	20,639
대전	62	0.15	248	82,088
제주	8,290	0.64	29,398	338,849
충북	2,746	0.23	18,687	1,007,925
대구	456	0.14	3,297	295,660
서울	26	0.00	96	13,916
광주	1,385	0.2	3,552	489,435
인천	1,132	0.12	9,199	642,247
경남	1,331	0.21	7,690	403,037
울산	335	0.13	3,644	228,994
충남	4,702	0.41	21,449	1,303,521
강원	854	0.19	4,282	195,585

자료: 저자 작성.

〈표 2-7〉 2021/22년 시도별 4대 주요 발생 요인 평균

지역	사육두수 평균 (마리)	축산차량 방문횟수 (회/일)	발생농장과 거리 (km)	1km 이내 사육두수 합계 (마리)
세종	14,761	0.64	7.05	48,570
전남	3,644	0.26	21.74	16,391
충남	4,646	0.29	19.43	20,529
충북	2,934	0.2	22.44	20,656
경남	1,338	0.18	37.94	7,938
제주	11,150	0.65	122.72	32,168
광주	1,522	0.28	19.65	5,386
서울	27	1.61	41.89	109
대구	598	0.13	66.88	3,231
부산	170	0.04	27.07	1,484
울산	296	0.14	48.00	3,537
대전	37	0.11	20.90	144
전북	5,652	0.26	26.20	34,081
인천	1,248	0.13	62.52	12,444
강원	1,009	0.18	100.30	6,455
경기	9,876	0.48	45.74	37,650
경북	2,489	0.19	79.63	13,365

자료: 저자 작성.

❍ 시도를 기준으로 한 분석 결과를 종합적으로 살펴보면, HPAI 발생 확률은 농장 사이 거리, 사육두수 등이 핵심적인 요인인 것으로 나타났음. 이는 농장 사이 거리가 짧고 사육두수가 많을수록 HPAI 발생이 쉬운 환경이 조성되기 때문으로 이해할 수 있음.

❍ 연도별 차이는 있으나 발생농장까지 거리 10km까지는 상대적으로 높은 발생 확률이 예측되고 그 이후에는 뚜렷한 차이를 보이지 않기 때문에, HPAI가 발생한 경우 10km까지 관리하는 것이 확산 예방에 유용할 것으로 판단됨. 축산차량 방문횟수는 HPAI 발생 확률을 높이는 요인이며, 영향력 또한 해당 농가의 사육두수 및 특정 반경 이내의 사육두수에 비해서 큰 것으로 나타나고 있어 발생 지역 및 인근 지역의 축산차량 이동경로에 대한 체계적인 관리가 HPAI 발생 및 전파 가능성을 낮추는 데 중요하다는 것을 보여줌.

❍ 지역별 발생 확률 분석 결과를 살펴보면, 경기와 세종 지역의 HPAI 발생 확률이 상대적으로 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었음. 이는 두 지역 모두 농장의 밀집도 정도가 상대적으로 높고 사육두수 또한 적지 않기 때문으로 판단됨. 이러한 결과는 지역별 사육 밀집도에 따른 차별적 방역관리가 필요하다는 것을 시사함.

3.2.2. 시군구 기준

❍ 사육농장이 있는 전체 시군구를 대상으로 한 HPAI 발생 확률 분석 결과에서 HPAI가 실제로 발생한 지역만을 선별하여 연도별로 정리한 사항은 〈그림 2-6〉~〈그림 2-8〉에 제시되어 있음.[18)]

❍ 2016/17년의 분석 결과를 보면, 경기 평택의 발생 확률이 5.6%로 가장 높게 나타났으며, 충남 천안(4.9%), 전남 무안(4.4%), 경기 이천(3.9%), 경기 안성(3.0%) 등이 발생 확률이 높은 상위 5개 지역으로 확인되고 있음. 또한 충북 진천, 충남 아산, 충북 음성, 전남 나주, 경기 양주, 세종시, 경기 포천의 경우 HPAI 발생 확률이 1% 이상인 지역으로 나타나고 있음.

- 이들 지역의 공통적인 발생 요인을 보면 반경 10km 이내 사육두수 및 농장당 평균 사육두수가 많으며, 발생농장과의 거리도 다른 지역에 비해 상대적으로 가까운 지역임을 알 수 있음.

❍ 2020/21년의 경우는 2016/17년에 비해 전반적인 발생 확률은 상대적으로 줄었음을 확인할 수 있음. 발생 확률이 가장 높은 지역인 전남 무안의 경우 그 확률이 1.1%에 그치고 있으며, 상위 5개 지역에 포함된 경기 이천(0.97%),

18) 〈부표 1-1〉~〈부표 1-3〉에는 사육 농가가 위치에 있는 전체 시군구의 HPAI 발생 확률 분석 결과가 제시되어 있음.

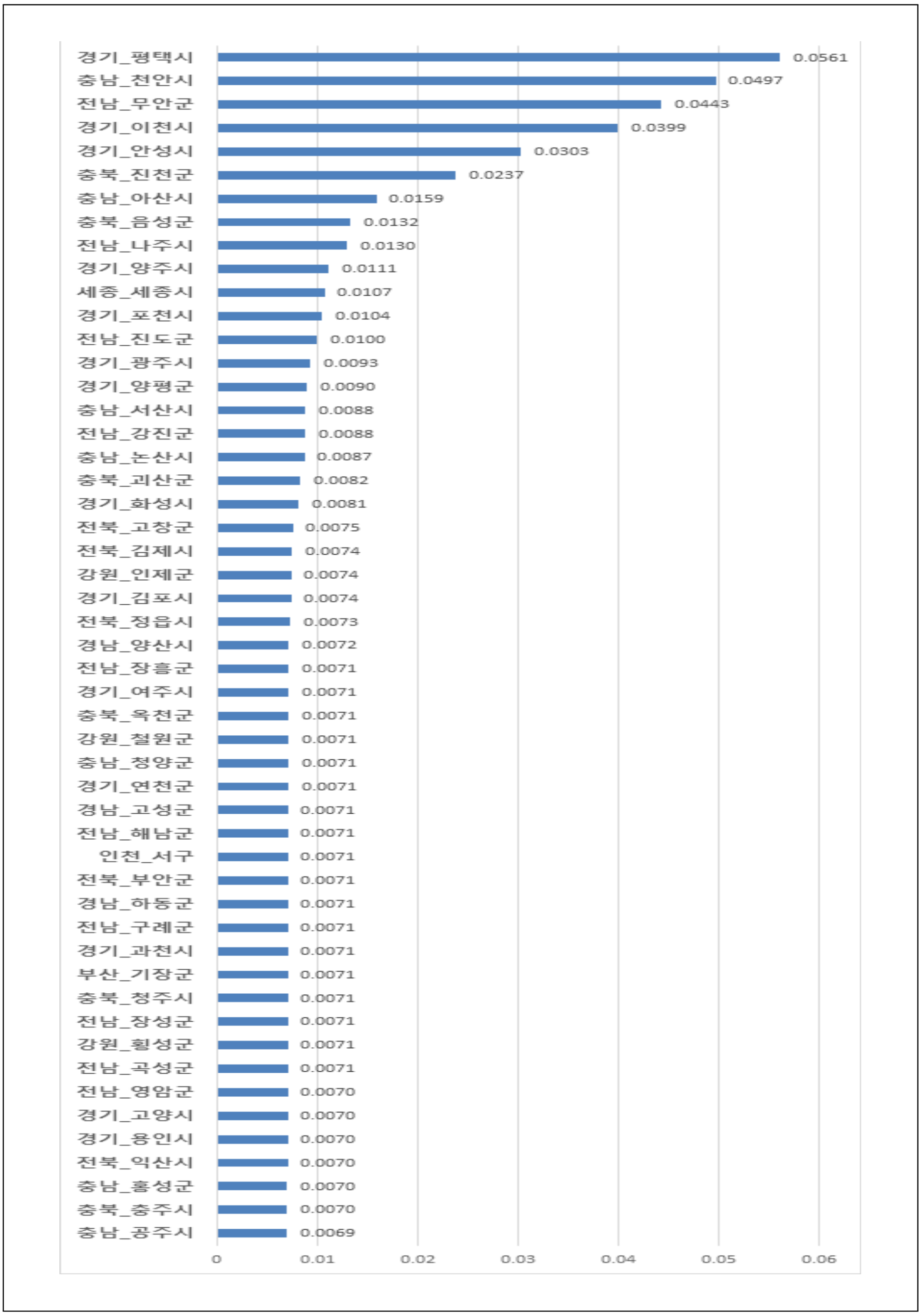
충북 음성(0.55%), 충남 천안(0.54%), 경기 남양주(0.52%) 등은 1% 미만의 발생 확률을 보였음.

- 이 지역의 공통 발생 요인으로는 특정 반경(1km, 10km) 이내 평균 사육두수 및 평균 축산차량 방문횟수로 파악되고 있음.

❍ 2021/22년은 전남 영암의 발생 확률이 1.29%로 가장 높았으며, 그 뒤를 전남 무안(0.52%), 세종시(0.46%), 전북 김제(0.35%), 경남 김해(0.2%) 지역이 따르고 있음.

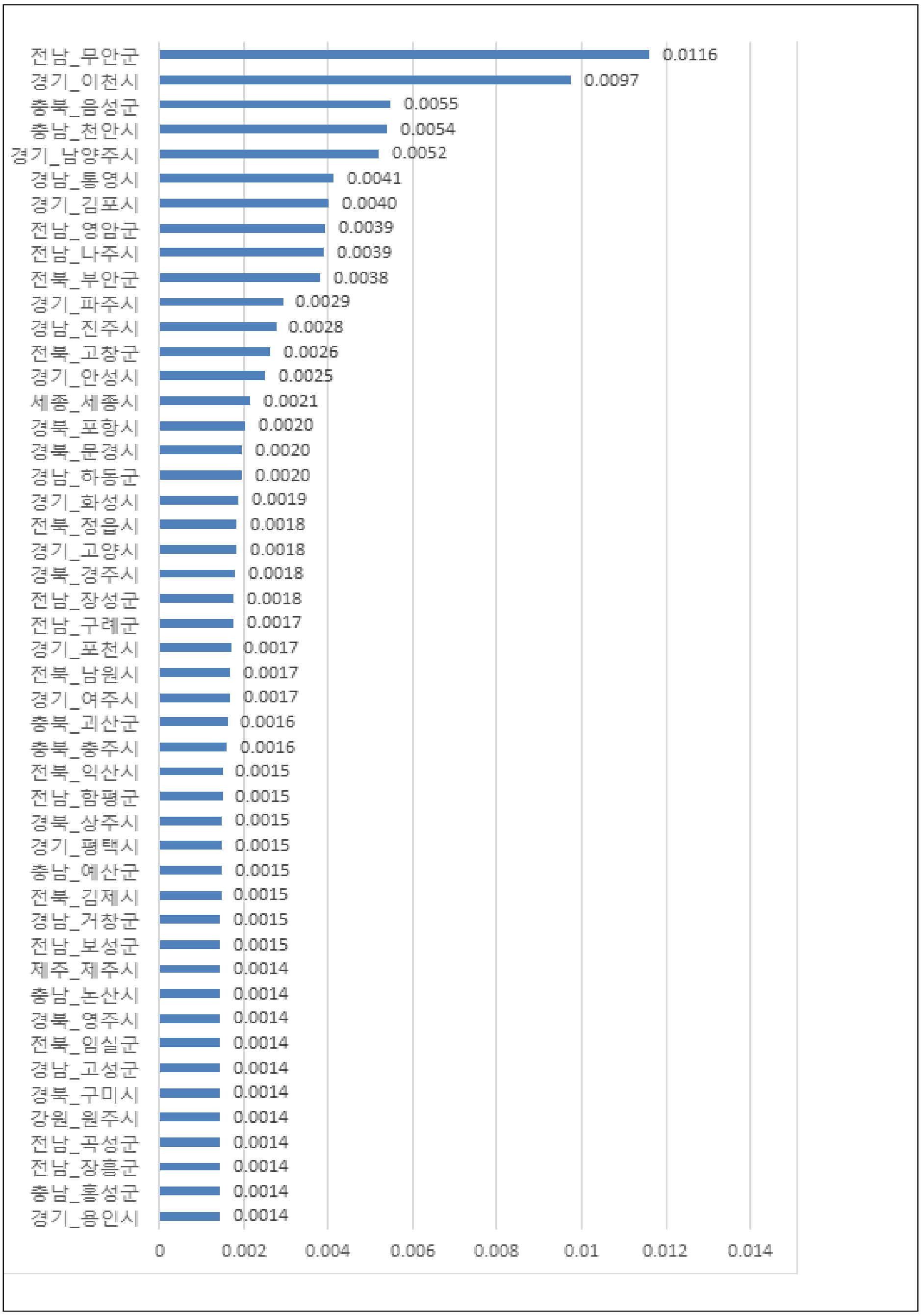
- 이들 지역의 경우 농장 평균 사육두수 및 평균 축산차량 방문횟수 등의 변수가 HPAI 발생 확률에 영향을 미치는 요인으로는 확인되고 있음.

〈그림 2-6〉 2016/17년 시군구별 HPAI 발생 확률



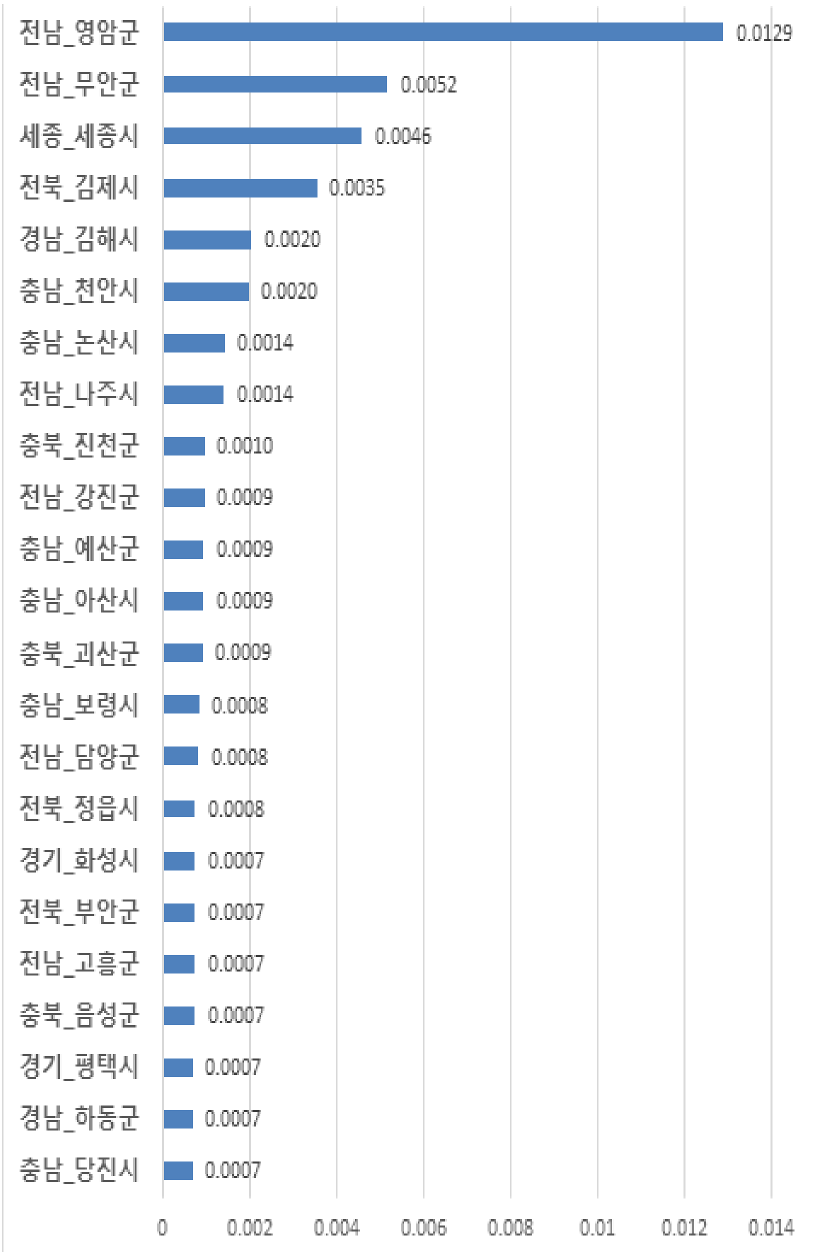
자료: 저자 작성.

〈그림 2-7〉 2020/21년 시군구별 HPAI 발생 확률



자료: 저자 작성.

〈그림 2-8〉 2021/22년 시군구별 HPAI 발생 확률



자료: 저자 작성.

〈표 2-8〉 2016/17년 HPAI 발생 시군구별 4대 주요 발생 요인 평균

지역	발생농장과 거리 (km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합(마리)
경기_평택시	2.61	39,922.97	0.95	3,280,967.11
충남_천안시	1.92	23,155.61	0.83	3,266,507.01
전남_무안군	4.93	27,565.65	0.93	1,747,582.15
경기_이천시	4.51	24,835.58	0.90	3,173,068.67
경기_안성시	2.23	26,182.13	0.91	3,468,358.93
충북_진천군	2.69	7,398.53	0.87	2,243,632.86
충남_아산시	3.44	13,453.22	0.96	2,232,110.65
충북_음성군	2.82	12,670.23	0.85	3,546,713.55
전남_나주시	4.05	25,119.81	0.96	4,056,737.65
경기_양주시	3.33	12,663.05	0.93	1,350,262.51
세종_세종시	4.69	13,299.87	0.92	2,133,692.96
경기_포천시	5.32	31,552.57	0.89	2,662,910.57
전남_진도군	8.29	2,451.24	0.99	147,504.55
경기_광주시	8.03	7,777.32	0.98	507,262.15
경기_양평군	12.44	10,611.68	0.99	793,725.74
충남_서산시	11.21	2,593.01	1.00	806,024.09
전남_강진군	6.41	5,267.28	0.97	567,478.26
충남_논산시	7.15	12,694.09	0.99	2,288,356.00
충북_괴산군	10.95	6,269.81	0.99	756,991.22
경기_화성시	5.35	14,619.13	0.95	1,773,211.71
전북_고창군	4.74	15,531.48	0.99	2,456,947.40
전북_김제시	5.26	8,174.74	0.93	2,465,120.99
강원_인제군	16.02	1,345.22	1.00	36,763.28
경기_김포시	4.41	14,463.46	0.99	1,792,589.45
전북_정읍시	6.46	6,790.98	0.95	2,408,123.95
경남_양산시	8.28	6,218.17	0.98	817,275.38
전남_장흥군	6.19	4,847.32	0.92	453,786.47
경기_여주시	5.92	37,195.32	0.92	2,459,669.72
충북_옥천군	8.93	6,877.14	0.99	621,439.00
강원_철원군	10.48	8,130.54	0.99	1,140,960.49
충남_청양군	9.99	6,099.63	0.98	1,106,066.79
경기_연천군	8.74	11,716.30	0.99	1,420,619.45
경남_고성군	10.12	943.31	0.98	271,481.62
경기_과천시	4.09	135.16	1.00	18,338.79

(계속)

지역	발생농장과 거리 (km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합(마리)
전남_구례군	7.32	1,346.77	0.98	556,059.22
경남_하동군	14.54	224.78	1.00	62,843.06
전북_부안군	6.63	15,336.80	0.99	2,218,798.03
인천_서구	4.42	56.00	0.93	629,972.75
전남_해남군	7.66	5,615.46	0.99	326,068.93
부산_기장군	7.05	175.80	0.99	26,501.86
충북_청주시	8.01	3,314.16	0.99	677,825.30
전남_장성군	9.91	1,582.01	1.00	558,308.73
강원_횡성군	12.93	1,633.97	1.00	415,398.87
전남_곡성군	10.06	2,601.08	1.00	1,344,273.95
전남_영암군	6.45	22,892.90	1.00	3,187,622.90
경기_고양시	6.83	5,947.23	0.98	616,736.70
경기_용인시	9.54	27,930.87	0.96	1,785,959.77
전북_익산시	4.97	9,758.54	0.96	3,682,276.50
충남_홍성군	7.50	3,663.41	1.00	1,483,304.06
충북_충주시	10.71	3,512.26	1.00	898,030.49
충남_공주시	12.48	6,175.79	1.00	1,195,164.82

자료: 저자 작성.

〈표 2-9〉 2020/21년 HPAI 발생 시군구별 4대 주요 발생 요인 평균

지역	사육두수 (마리)	축산차량 방문횟수 (회/일)	1km 이내 사육두수 합계 (마리)	10km 이내 사육두수 합계 (마리)
전남_무안군	15,342.75	1.06	44,720.81	1,514,547.68
경기_이천시	15,873.70	0.58	50,092.27	3,149,244.91
충북_음성군	7,229.37	0.41	62,238.78	3,294,622.78
충남_천안시	15,308.36	0.57	75,434.77	2,712,432.47
경기_남양주시	1,020.94	0.24	2,987.35	127,756.06
경남_통영시	38.10	0.05	288.12	103,648.07
경기_김포시	15,729.27	0.57	69,192.94	2,000,151.80
전남_영암군	16,838.22	0.56	72,744.47	3,108,047.48
전남_나주시	14,310.42	0.68	88,148.80	3,419,529.33
전북_부안군	12,846.31	0.41	86,400.96	3,482,300.75
경기_파주시	5,427.88	0.37	18,981.91	923,331.09
경남_진주시	1,347.58	0.16	7,719.40	441,498.70
전북_고창군	18,374.65	0.60	75,041.53	2,733,249.11
경기_안성시	15,811.01	1.88	58,757.26	3,208,537.05
세종_세종시	12,544.41	1.26	49,836.08	1,451,484.11
경북_포항시	1,753.20	0.69	5,052.32	201,694.85
경북_문경시	2,040.62	0.32	9,326.47	518,906.13
경남_하동군	354.08	0.12	1,348.19	109,679.37
경기_화성시	8,756.66	0.37	42,666.07	1,823,309.01
전북_정읍시	8,782.86	0.44	61,029.21	3,266,422.76
경기_고양시	1,648.76	0.21	9,163.38	494,353.11
경북_경주시	1,344.73	0.21	9,955.43	293,853.59
전남_장성군	891.01	0.42	3,694.50	412,726.87
전남_구례군	1,348.01	0.12	12,265.51	514,025.88
경기_포천시	26,415.38	1.04	107,888.72	2,754,984.89
전북_남원시	8,441.90	0.31	41,257.25	2,259,243.11
경기_여주시	13,432.92	0.54	55,158.79	2,526,769.81
충북_괴산군	1,898.38	0.17	9,106.09	640,320.93
충북_충주시	1,774.94	0.20	13,843.65	799,205.60
전북_익산시	7,852.20	0.29	53,096.35	3,053,213.20
전남_함평군	8,409.08	0.39	40,487.59	1,784,900.31
경북_상주시	3,838.60	0.33	15,978.46	835,533.82
경기_평택시	10,763.52	0.55	61,201.08	2,686,537.62
충남_예산군	5,893.18	0.75	21,228.99	1,625,154.58

(계속)

지역	사육두수 (마리)	축산차량 방문횟수 (회/일)	1km 이내 사육두수 합계 (마리)	10km 이내 사육두수 합계 (마리)
전북_김제시	8,942.01	0.40	84,450.99	2,869,350.63
경남_거창군	1,831.19	0.21	13,651.81	806,737.70
전남_보성군	1,057.71	0.13	3,570.47	307,680.57
제주_제주시	10,497.54	0.76	37,944.73	420,232.59
충남_논산시	8,022.83	0.34	31,718.93	2,188,431.64
경북_영주시	4,025.68	0.23	30,846.11	2,770,679.83
전북_임실군	3,256.11	0.25	17,300.57	1,312,107.55
경남_고성군	1,125.15	0.18	8,407.34	333,629.20
경북_구미시	650.57	1.19	5,350.27	543,154.12
강원_원주시	1,985.00	0.15	10,279.43	626,802.38
전남_곡성군	2,786.80	0.20	23,475.21	1,381,633.64
전남_장흥군	4,100.82	0.38	14,111.54	555,989.44
충남_홍성군	2,285.03	0.66	18,505.33	1,429,383.32
경기_용인시	9,539.71	0.50	46,481.51	1,457,285.28

자료: 저자 작성.

〈표 2-10〉 2021/22년 HPAI 발생 시군구별 4대 주요 발생 요인 평균

지역	사육두수 (마리)	축산차량 방문횟수 (회/일)	발생농장과 거리 (km)	1km 이내 사육두수 합계 (마리)
전남_영암군	15,960.37	0.58	5.68	58,260.62
전남_무안군	14,526.28	0.80	14.36	29,692.50
세종_세종시	14,761.36	0.64	7.05	48,570.19
전북_김제시	11,568.66	0.43	10.72	102,989.82
경남_김해시	948.21	0.22	7.88	9,017.66
충남_천안시	16,479.12	0.53	6.97	78,581.93
충남_논산시	7,715.83	0.34	13.58	28,984.04
전남_나주시	17,461.87	0.77	9.24	78,299.28
충북_진천군	6,434.28	0.29	5.05	58,320.22
전남_강진군	3,900.87	0.41	13.90	8,757.45
충남_예산군	9,337.79	0.49	11.75	23,705.89
충남_아산시	7,806.66	0.33	5.32	30,207.29
충북_괴산군	2,035.75	0.14	15.45	8,509.11
충남_보령시	3,351.07	0.25	14.60	20,433.14
전남_담양군	1,382.10	0.15	8.30	11,183.31
전북_정읍시	8,463.64	0.43	7.27	50,636.22
경기_화성시	8,165.65	0.38	7.80	41,477.14
전북_부안군	12,385.91	0.41	6.13	76,035.21
전남_고흥군	1,404.90	0.23	14.66	5,127.89
충북_음성군	7,645.97	0.26	8.08	68,773.25
경남_하동군	316.30	0.14	13.99	966.99
경기_평택시	12,487.50	0.56	8.24	51,419.96
충남_당진시	4,013.73	0.31	17.90	18,809.89

자료: 저자 작성.

제3장

고병원성 AI 확산 위험 분석

3 고병원성 AI 확산 위험 분석

1. 서론

1.1. 연구 배경과 필요성

❍ 전염병 확산 모델(Epidemic Model)은 전염병의 확산 과정 및 조건 등을 수식으로 표현한 수학 모델을 통칭함.

- 전염병 확산 모델은 1766년 다니엘 베르누이(Daniel Bernoulli)가 확률 이론을 천연두 연구에 적용하면서 시작되었으며, 체계적인 연구는 20세기 초부터 이루어졌음(이상구 외, 2010).

- 특히 1927년 커맥(Kermack)과 맥캔드릭(McKendrick)이 제시한 SIR 모델은 모집단을 감염 가능성이 있는 집단인 민감군(S), 감염된 집단인 감염군(I), 회복된 집단인 회복군(R)으로 구분하고, 감염에 따른 집단 간 이동 및 전염병 유행 조건을 수식화한 모델로, 이후 감염 단계 및 모집단 구분에 기반한 다양한 전염병 확산 모델들의 등장에 기여하였음.

❍ 대표적인 전염병 확산 모델에는 SIR, SIS, SIRS, SEIR, SEIHR 모델 등이 있으며, 이들 모델 간 핵심적인 차이점은 각 모델이 가정하는 전염병의 감염 단계 또는 모집단의 구분에 있음.

- SIR 모델은 민감군 → 감염군 → 회복군, SIS 모델은 민감군 → 감염군 → 민감군, SIRS 모델은 민감군 → 감염군 → 회복군 → 민감군, SEIR 모델은 민감군 → 접촉군 →감염군 → 회복군, SEIHR 모델은 민감군 → 접촉군 → 감염군 → 치료군 → 회복군으로 구성됨.

❍ 전염병 확산 모델은 주로 보건의료 분야의 연구에 사용되어 왔으나, 코로나19 대유행에 따라 전염병 확산 모델에 대한 관심이 증가함에 따라 최근에는 가축전염병 분야에서의 활용도 증가하는 추세임.

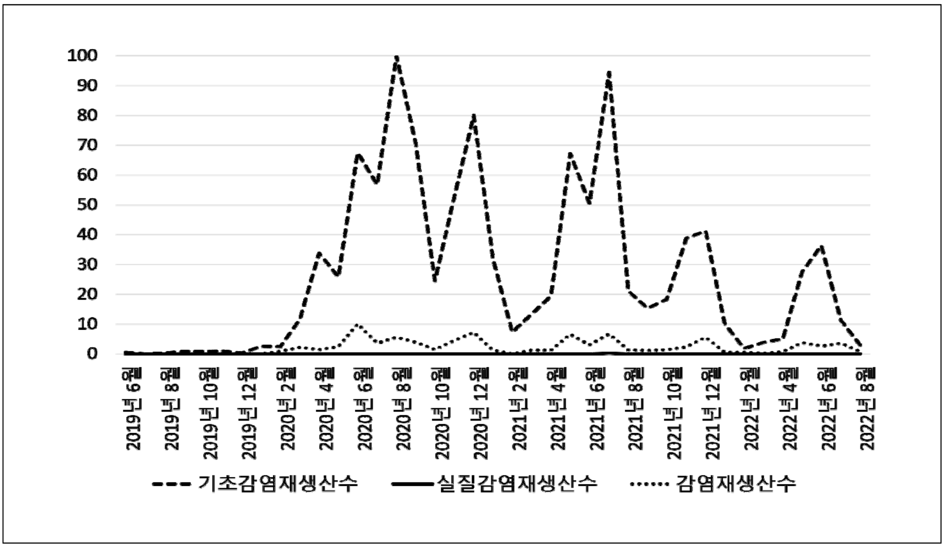
- 우선 의료보건 분야의 국내 선행연구를 살펴보면, 황난아 외(2007)는 한국의 말라리아, 신증후군출혈열, 홍역 자료를 SIR 모델에 적용하여 질병별 유행 주기 등을 분석하였으며, 이정희 외(2009)는 SIRS 모델을 이용하여 국내 쯔쯔가무시증의 감염 주기를 추정하고 미래 발병자 수를 예측하였음.
- 이상구 외(2010)는 SEIR-BD 모델을 이용하여 신종인플루엔자의 확산과 사망자 수를 추정하고 정부 정책의 효과를 분석하였으며, 김은경 외(2013)는 SIR 모델을 활용하여 신종인플루엔자 A의 감염 경로 추정 및 예측을 위한 통합정보 시스템을 구축하였음.
- 류수락 외(2015)는 결정적 SIR 모델과 확률적 SIR 모델을 이용하여 국내 말라리아 확산 과정을 분석하였으며, Choi & Ki(2020)는 SEIHR 모델을 이용하여 코로나19의 감염재생산지수를 도출하고, 이를 바탕으로 코로나19 방역조치의 효과를 분석하였음.
- 다음으로 가축전염병 분야의 국내 선행연구를 살펴보면, 손승혜(2013)와 황지현(2014)은 2010~2011년 발생한 구제역 자료와 SIR 모델을 이용하

여 구제역 확산 시뮬레이션을 실시하였고, Lee et al.(2019)은 2016~2017년 충청북도 진천군과 음성군에서 발생한 HPAI 자료와 SIR 모델을 이용하여 해당 지역의 최적 살처분 범위를 분석하였으며, Kim & Cho(2021)는 2003년부터 2017년까지 발생한 HPAI 자료와 SIR 모델을 이용하여 HPAI 아형(H5N1, H5N8, N5N6)별 전파력을 분석하였음.

❍ 전염병 확산 모델에 대한 관심은 코로나19 이후 급격히 증가하였는데, 그 이유는 전염병 확산 모델이 전염병의 확산 가능성을 알려주는 감염재생산수(Reproduction Number) 도출에 유용하기 때문임.

- 〈그림 3-1〉은 2019년 6월부터 2022년 8월까지의 감염재생산수 관련 월별 검색량을 표준화(최대 100, 최소 0)한 그래프로, 코로나19의 확산이 본격화된 2020년 2월(대구 신천지 교회 관련 코로나 확산) 이후 감염재생산수 관련 검색량이 급증했음을 보여줌(네이버데이터랩).

〈그림 3-1〉 감염재생산수 관련 검색 추세(네이버데이터랩)



자료: 네이버데이터랩(https://datalab.naver.com). 검색일: 2022. 9. 17.

○ 감염재생산수는 크게 기초감염재생산수(Basic Reproduction Number: R_0) 와 실질감염재생산수(Effective Reproduction Number: R_t)로 구분됨.

- 기초감염재생산수는 감염이 없는 집단에서 감염된 개체 하나가 감염 전파 가능 기간 동안 감염시키는 평균 개체수를 의미하고, 실질감염재생산수는 일부 면역이 있는 집단이나 방제가 이뤄지는 상황에서 시점별로 감염된 개체 하나가 감염 전파 가능 기간 동안 감염시키는 평균 개체수를 의미함(정재웅 외, 2020; 기초과학연구원, 2021).
- 따라서 기초감염재생산수 또는 실질감염재생산수가 1보다 크면 감염된 개체수가 점차 증가하여 전염병이 확산하고, 1보다 작으면 감염된 개체수가 점차 감소하여 전염병이 종식되며, 1이면 감염된 개체수가 유지되기 때문에 전염병이 풍토병으로 자리잡게 됨.

○ 감염재생산수는 앞서 살펴본 선행연구들 및 코로나19 사태에서 경험한 것과 같이 주로 국가 단위의 전염병 확산 가능성 및 방역 대책의 효과를 평가하는 데 활용되고 있으나, 감염재생산수를 지역별로 산출·비교한다면 지역별 전염병의 확산 위험 분석에도 유용하게 활용할 수 있음.

- 감염재생산수는 감염된 개체 하나가 감염시키는 평균 개체수를 의미하므로 특정 지역의 감염재생산수가 다른 지역보다 높다는 것은 그 지역의 확산 위험이 높다는 것을 의미하기 때문임.
- 다만, 아직까지 전염병의 지역별 확산 위험, 특히 국내에서 발생한 가축전염병을 대상으로 수행된 지역별 확산 위험의 차이를 분석한 연구는 없는 상황임.

○ 따라서 본 연구는 HPAI 국내 발생 자료와 전염병 확산 모델을 이용하여 지역별 HPAI 기초감염재생산수를 산출한 후 이를 토대로 지역별 HPAI 확산 위험

을 비교하고, 지역별 HPAI 확산 위험의 차이에 영향을 주는 지역특성들을 파악하려고 함.

1.2. 연구 목적

❍ 본 연구의 목적은 크게 두 가지임.

- 첫째, 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 국내 전파 과정 및 확산 조건을 분석할 수 있는 HPAI 확산 모델을 설정하고 지역별 기초감염재생산수를 도출하여 지역별 HPAI 확산 위험의 차이를 분석하는 것임.
- 둘째, 지역별 기초감염재생산수와 지역특성과의 관계 분석을 통해 지역특성이 HPAI 확산 위험에 미치는 영향을 분석하는 것임.

1.3. 선행연구 검토

❍ 가축전염병 확산 모형 구축을 위해 보건의료 분야의 질병 확산 모형을 검토하였고, 관련 주요 연구로는 Choi & Ki(2020), 류수락, 최보승(2015), 김은경 외(2013), 이상구 외(2010), 이정희 외(2009), 황난아 외(2007) 등이 있음.

❍ Choi & Ki(2020)는 SEIHR 모형을 이용하여 코로나19의 감염재생산지수를 도출하고, 이를 바탕으로 코로나19 방역조치의 효과를 분석하였으며, 류수락 외(2015)는 결정적 SIR 모형과 확률적 SIR 모형을 이용하여 국내 말라리아 확산 과정을 분석하였음.

❍ 김은경 외(2013)는 SIR 모형을 활용하여 신종인플루엔자 A의 감염 경로 추정 및 예측을 위한 통합정보 시스템을 구축하였으며, 이상구 외(2010)는 SEIR-BD 모형을 이용하여 신종인플루엔자 확산과 사망자 수를 추정하고 정책 효과를 분석하였음.

❍ 이정희 외(2009)는 SIRS 모형을 이용하여 국내 쯔쯔가무시증의 감염 주기를 추정하고 미래 발병자 수를 예측하였고, 황난아 외(2007)는 한국의 말라리아, 신증후군출혈열, 홍역 자료를 SIR 모형에 적용하여 질병별 유행 주기 등을 분석하였음.

2. 주요 전염병 확산 모델과 기초감염재생산수

2.1. 주요 전염병 확산 모델

❍ 대표적인 전염병 확산 모델인 SIR, SIRS, SIS, SEIR, SEHIR 모델과 모델별 기초감염재생산수를 살펴봄.

2.1.1. SIR 모델

❍ SIR 모델은 가장 대표적인 전염병 확산 모델로, 전염병 진행에 따른 모집단을 민감군(Susceptible), 감염군(Infectious), 회복군(Recovered)으로 분류함.

- 민감군은 면역이 없어 감염이 가능한 개체 집단, 감염군은 감염되어 타 개체를 감염시킬 수 있는 개체 집단, 회복군은 회복되어 영구적인 면역력을 가진 개체 집단을 의미함.
- 모델에서 질병 감수성을 가진 민감군에 속한 개체는 감염군과의 접촉을 통해 감염되며, 감염군에 속한 개체는 일정한 시간이 지난 후 질병에서 회복되고 영구적인 면역력을 갖음.

❍ 기본 형태의 SIR 모델은 다음의 상미분 방정식(Ordinary Differential Equation: ODE)으로 표현할 수 있음.

식(1)

$$\frac{ds(t)}{dt} = -\beta s(t)i(t)$$
$$\frac{di(t)}{dt} = \beta s(t)i(t) - \gamma i(t)$$
$$\frac{dr(t)}{dt} = \gamma i(t)$$

- 여기서 $s(t)$는 시점 t에 민감군에 속한 개체수($S(t)$)가 전체 모집단(N)에서 차지하는 비율($s(t)=S(t)/N$), $i(t)$는 시점 t에 감염군에 속한 개체수($I(t)$)가 전체 모집단에서 차지하는 비율($i(t)=I(t)/N$)), $r(t)$는 시점 t에 회복군에 속한 개체수($R(t)$)가 전체 모집단에서 차지하는 비율($r(t)=R(t)/N$), β는 전파력, γ는 회복률을 나타내며, 전염률과 회복률은 모두 양수(β, γ〉0), 모집단은 변하지 않는 상수($1=s(t)+i(t)+r(t)$)로 가정함.

2.1.2. SIRS 모델

○ SIRS 모델은 SIR 모델의 회복군을 영구적 면역력이 아닌 일시적 면역력을 갖는 집단으로 가정한 모델로, SIRS 모델의 회복군에 속한 개체는 시간이 흐름에 따라 다시 민감군으로 이동함.

○ 기본 형태의 SIRS 모델은 다음의 ODE로 표현할 수 있음.

식(2)

$$\frac{ds(t)}{dt} = \delta r(t) - \beta s(t)i(t)$$
$$\frac{di(t)}{dt} = \beta s(t)i(t) - \gamma i(t)$$
$$\frac{dr(t)}{dt} = \gamma i(t) - \delta r(t)$$

- 여기서 $s(t)$, $i(t)$, $r(t)$, β, γ는 SIR 모델과 동일한 의미를 가지며, δ는 면역력 상실률을 나타냄.

2.1.3. SIS 모델

○ SIS 모델은 SIR과 SIRS 모델과 달리 질병에서 회복된 개체가 면역력을 획득하지 못해 다시 민감군으로 이동한다고 가정한 모델로, 다음의 ODE로 표현할 수 있음.

식(3)

$$\frac{ds(t)}{dt} = -\beta s(t)i(t) + ri(t)$$
$$\frac{di(t)}{dt} = \beta s(t)i(t) - \gamma i(t)$$

○ SIS 모델의 변수 및 계수의 의미는 앞의 모델들과 동일함.

2.1.4. SEIR 모델

❍ SEIR 모델은 SIR 모델에 접촉군(Exposed: E)을 추가한 모델로, 접촉군이란 이미 질병에 감염되었으나 아직까지 병을 전염시키지 않는 단계에 있는 개체군을 의미하며, 접촉군에 속한 개체는 시간이 흐름에 따라 감염군으로 이동하여 민감군에 속한 개체에게 질병을 전파하게 됨.

❍ 기본 형태의 SEIR 모델은 다음의 ODE로 표현할 수 있음.

식(4)

$$\frac{ds(t)}{dt} = -\beta s(t)i(t)$$
$$\frac{de(t)}{dt} = \beta s(t)i(t) - \sigma e(t)$$
$$\frac{di(t)}{dt} = \sigma e(t) - \gamma i(t)$$
$$\frac{dr(t)}{dt} = \gamma i(t)$$

- 여기서 $e(t)$는 시점 t에 접촉군에 속한 개체수($E(t)$)가 전체 모집단(N)에서 차지하는 비율($e(t)$=$E(t)/N$), σ는 증상 발현 진행률을 나타내며, 나머지 변수와 계수의 의미는 앞의 모델들과 동일함.

2.1.5. SEIHR 모델

❍ SEIHR 모델은 SEIR 모델에 치료군(Hospitalized: H) 또는 격리군(Quarantine: Q)을 추가한 모델로 SEIQR 모델이라고도 함.

❍ 기본 형태의 SEIHR 모델의 가정은 크게 세 가지로 첫째, 감염군에 속한 개체는 진단 검사 등을 통해 식별된 후 치료 및 격리 기간을 거치면서 회복된다고 가정하며, 둘째, 치료 및 격리 중인 개체는 해당 기간 동안 질병을 전파하지

않는다고 가정하며, 셋째, 회복된 개체는 면역력을 획득해 재감염되지 않는다고 가정함.

❍ 기본 형태의 SEIHR 모델은 다음의 ODE로 표현할 수 있음.

식(5)
$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta\frac{1}{N}S(t)$$
$$\frac{dE(t)}{dt} = \beta\frac{1}{N}S(t) - \sigma E(t)$$
$$\frac{dI(t)}{dt} = \sigma E(t) - \alpha I(t)$$
$$\frac{dH(t)}{dt} = \alpha I(t) - \gamma H(t)$$
$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma H(t)$$

- 여기서 $S(t)$, $E(t)$ $I(t)$, $H(t)$, $R(t)$는 시점 t에 각각 감염 대상군, 잠복군, 감염군, 격리군, 회복군에 속한 개체수, N은 전체 모집단의 크기, α는 격리율로 증상 발현 후 확진되어 격리되는 속도, β, γ, σ는 전파력, 회복률, 증상 발현 진행률을 나타내며, α, β, γ, σ는 모두 양수(〉0)로 가정하고, 모집단은 변하지 않는 상수로 가정함(N=$S(t)$+$E(t)$+$I(t)$+$H(t)$+$R(t)$).

2.2. 주요 모델별 기초감염재생산수

❍ SIR, SIRS, SIS, SEIR 모델에서 전염병의 확산 조건은 감염군의 증가($di(t)/dt$〉0))이므로 다음과 같이 표현할 수 있음.

식(6)
$$\frac{di(t)}{dt} > 0 \;\Rightarrow\; \beta s(t)i(t) - \gamma i(t) > 0 \;\Rightarrow\; \frac{\beta s(t)}{\gamma} > 1$$

- 전염병 발생 초기 단계에서 대다수의 개체는 민감군($s(t) \approx 1$)에 속하기 때문에 위 식에 $s(t)$=1을 대입하면 β/γ〉1일 때 질병이 확산할 것임을 알 수 있음.

- 따라서 SIR, SIRS, SIS, SEIR 모델의 R_0은 β/γ로 정의됨.

❍ SEIHR 모델에서 R_0은 감염된 개체와 접촉할 때 감염될 확률(p), 감염된 개체와의 접촉 수준(c), 감염된 개체가 질병을 전파시킬 수 있는 기간(d)에 의해 결정(R_0=pcd)됨(Choi & Ki, 2020).

- 이 중 감염된 개체와 접촉할 때 감염될 확률과 감염된 개체와의 접촉 수준을 곱한 것이 SEIHR 방정식의 전파력(β)이며, 감염된 개체가 질병을 전파할 수 있는 기간은 증상 발현 이후 확진까지의 기간으로 SEIHR 방정식의 격리율(α)의 역수($1/\alpha$)임.

- 따라서 SEIHR 모델의 R_0은 pcd 또는 β/α로 나타낼 수 있음.

❍ 종합하면 SIR, SIRS, SIS, SEIR 모델의 R_0=β/γ이고, SEIHR 기본 모델의 R_0=pcd=β/α임.

3. HPAI 확산 위험 분석 방법

3.1. HPAI 확산 모델

❍ 방역조치는 크게 질병 발생 이전의 사전적 조치와 이후의 사후적 조치로 구분됨.

- 사전적 조치는 백신 접종, 예찰, 소독, 교육, 수입 검역 등 질병 발생 확률을 낮추기 위한 조치들로 구성되며, 사후적 조치는 치료, 살처분, 역학조사, 통제 초소 운영, 소독 등 질병의 전파 속도를 늦추고 질병을 종식시키기 위한 조치들로 구성됨.
- 따라서 전염병 발생 확률에는 사전적 조치의 영향이 상대적으로 크고, 전염병 확산 확률에는 사후적 조치의 영향이 상대적으로 큼.

❍ 특히 사후적 조치 중 살처분 여부는 전염병 확산 모델의 기본 틀인 전염병 전파 단계 또는 모집단의 구분을 결정하는 데 중요한 역할을 함.

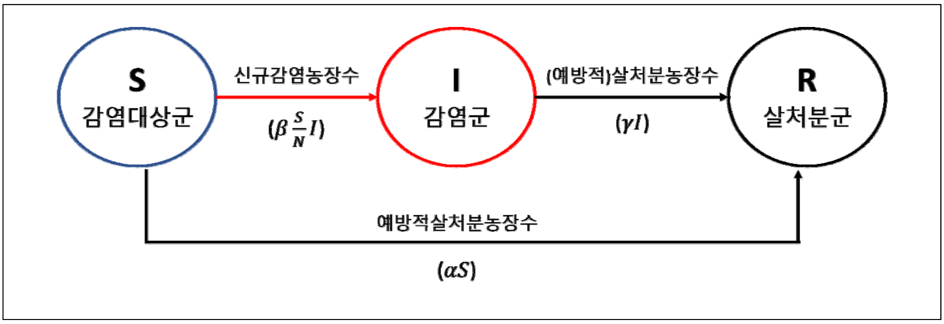
- 모든 감염축을 살처분한다면 전염병의 전파 단계는 ‘감염대상군 → 감염군 → 살처분군’ 또는 ‘감염대상군 → 감염군 → 격리군 → 살처분군’ 등 살처분에 따른 가축의 죽음으로 끝남.
- 반면 감염축을 살처분하지 않거나 일부만 살처분한다면 모집단 구분에 회복군 등 다른 집단이 포함되어야 함.

❍ 우리나라는 HPAI 발생농장 및 주변 농장의 모든 가금류 또는 동일 가금류를 최단 시간 내에 살처분하는 강력한 차단방역 조치를 시행하고 있기 때문에 HPAI 국내 확산 모델은 감염대상군(Susceptible), 감염군(Infectious), 살처분군(Removed)으로 구성된 SIR 모델로 설정할 수 있음(Kim & Cho, 2021).

- 다만, 예방적 살처분 조치로 살처분되는 가금류 중 일부는 HPAI에 감염되지 않았다는 점에서 기본형 SIR 모델 및 Kim & Cho(2021)의 모델에 추가적인 경로를 포함해야 함.

❍ 본 연구는 감염대상군 중 일부가 예방적 살처분 조치에 따라 살처분군으로 이동하는 경로를 포함한 다음의 SIR 모델을 HPAI 국내 확산 모델로 설정하였음.

〈그림 3-2〉 HPAI 국내 확산 모델



자료: 저자 작성.

❍ HPAI 국내 확산 모델을 구체적으로 설명하면, 우선 감염대상군(S)은 HPAI에 감수성을 가진 가금류를 사육하는 농장수, 감염군(I)은 HPAI에 감염된 개체가 있는 농장수, 살처분군(R)은 (예방적) 살처분 조치가 취해진 농장수를 의미하며, 전체 농장수는 불변($N = S + I + R$)으로 가정함.

- 감염대상군 중 일부는 감염군과의 접촉 등으로 감염되어 감염군으로 이동하거나, 예방적 살처분 조치에 따라 살처분군으로 이동하며, 감염군은 감염 확인에 따른 살처분 조치 또는 예방적 살처분 조치에 따라 살처분군으로 이동함.

- 감염군에 속한 농장은 크게 두 종류로, 하나는 농장주의 신고 및 방역당국의 예찰 등에 따라 감염이 확인된 농장이고, 다른 하나는 예방적 살처분 이

후 시료 검사를 통해 감염이 확인된 농장임.

- 이와 유사하게 살처분군에 속한 농장도 크게 신고·예찰 등에 따라 감염이 확인된 후 살처분 조치가 취해진 농장과 예방적 살처분 조치에 따라 감염 여부와 무관하게 살처분 조치가 취해진 농장으로 구분할 수 있음.

❍ 다음으로 모델의 모수를 살펴보면, β는 감염 확산 속도, 즉 전파력을 결정하는 모수로 감염 농장 하나가 단위 기간(일 기준) 동안 감염시키는 농장수를 의미하고, α는 감염대상군 중 예방적 살처분 조치에 의해 살처분되는 농장의 비율을 의미하며, γ는 감염군의 살처분 비율을 결정하는 모수로 감염 확인 후 살처분까지 걸리는 기간의 역수임.[19)]

- 따라서 HPAI 확산 모델의 $\beta\frac{S}{N}I$는 I개의 감염 농장에 의해 새롭게 감염된 농장수를 의미하고, αS는 S개의 감염대상 농장 중 새롭게 예방적 살처분 조치가 취해진 농장수를 의미하며, γI는 I개의 감염 농장 중 새롭게 살처분 조치가 취해진 농장수를 의미함.

❍ 마지막으로 HPAI 확산 조건을 살펴보면, HPAI는 신규 감염 농장수($\beta\frac{S}{N}I$)가 기존 감염 농장들 중 새롭게 살처분되는 농장수(γI)보다 많을 경우($\frac{\beta S}{\gamma N}\rangle 1$)에 확산함.

- 즉, HPAI 확산 모델의 실질감염재생산수(R_t)는 $\frac{\beta S}{\gamma N}$, 기초감염재상산수(R_0)는 $\frac{\beta}{\gamma}$임.[20)]

19) HPAI 감염 확인 후 살처분까지 걸리는 기간이 2일이고 HPAI 확산 모델의 단위 기간이 1일이라면 감염군에 속한 농장들 중 절반은 다음날 살처분군으로 이동하므로 살처분 비율은 1/2, 즉 HPAI 감염 확인 후 살처분까지 걸리는 기간의 역수가 됨.

3.2. 분석 방법 및 자료

3.2.1. 기초감염재생산수

❍ 지역별 기초감염재상산수(R_{0i}) 산출을 위한 지역별 HPAI 확산 모델은 오일러 방법을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있음.

식(7)
$$
\begin{aligned}
&S_i(t+1) - S(t) = -\beta_i \frac{S_i(t)}{N_i(t)} I_i(t) - \alpha_i S_i(t) \\
&I_i(t+1) - I_i(t) = \beta_i \frac{S_i(t)}{N_i(t)} I_i(t) - \gamma_i I_i(t) \\
&R_i(t+1) - R_i(t) = \gamma_i I_i(t) + \alpha_i S_i(t) \\
&N_i(t) = S_i(t) + I_i(t) + R_i(t)
\end{aligned}
$$

❍ 위 식에서 i는 지역, t는 시점을 의미하고, R_{0i} 산출을 위해 추정해야 할 모수는 β_i임.

- R_{0i}(=$\frac{\beta_i}{\gamma_i}$) 산출을 위해 필요한 β_i와 γ_i 중 γ_i는 앞서 설명한 것처럼 감염 확인 후 살처분까지 걸리는 기간의 역수이기 때문에 데이터의 지역별 발생일과 살처분일을 토대로 계산이 가능함.

❍ 다만, β_i를 추정하는 데 필요한 감염군과 감염대상군은 데이터를 통해 직접 확인할 수 없음.

- 감염군은 감염이 확인된 농장(양성 판정을 받은 농장)의 수와 감염되었으나 확인되지 않은 농장의 수의 합인 반면, 데이터에서 확인이 가능한 정보

20) HPAI 발생 초기에는 대부분의 농장이 감염대상군에 속하기 때문에 $\frac{S}{N} \approx 1$이 성립함.

는 양성 농장 수에 국한되기 때문임.

○ 따라서 본 연구는 우선 양성농장 중 살처분 조치가 취해진 농장의 수, 즉 $\gamma_i I_i(t)$와 γ_i 값을 이용하여 감염군을 산출한 후 모집단에서 감염군과 살처분군을 차감하여 감염대상군을 산출하였음($S_i(t) = N_i(t) - I_i(t) - R_i(t)$).

○ 그리고 지역 기준을 시도 및 시군구 단위로 나누어 각 지역의 β_i를 식(7)의 두 번째 식(추정식)과 Stata 17을 이용하여 추정하고,[21] 지역별 기초감염재생산수인 R_{0i}를 산출하였음.

- 단, HPAI 잠복기가 14일인 점을 고려하여 데이터에 포함된 시도 및 시군구 중 유행기간(최초 발생일과 마지막 살처분일과의 차이)이 15일 이상인 지역만을 대상으로 추정을 실시하였음.
- 최초 감염농장으로부터 감염된 농장의 증상 발현까지 걸리는 최대 기간을 HPAI 잠복기인 14일로 가정할 경우 최초 발생일 14일 이후 추가적인 발생농장이 없다는 것은 HPAI 확산 위험이 없다는 의미로 해석할 수 있기 때문임.

3.2.2. 지역특성의 영향

○ 지역특성을 반영하는 요인은 인구, 토지 및 기후, 산업여건, 삶의 질 등 다양하나, 이 중 지역 내 HPAI 확산 위험에 영향을 미치는 요인은 주로 자연환경

21) 추정식의 $\gamma_i I_i(t)$는 데이터에서 주어지는 값이므로, $\gamma_i I_i(t)$의 계수는 −1로 고정되어야 함. 이를 위해 제약 조건($\gamma_i I_i(t)$의 계수를 −1로 고정)하에서 최소제곱법을 사용할 수 있는 Stata 17의 nl 명령어(비선형최소제곱법 명령어)를 사용하여 추정식을 추정함. 또한 데이터의 성격이 시계열임을 고려하여 β_i 추정치에 대한 통계적 유의성은 HAC(Heteroscedasticity and Autocorrelation Consistent) 표준오차를 이용하여 검정함.

및 축산환경과 관련된 요인들임.

❍ 특히 철새 등 야생조류 및 HPAI에 감염된 가금류에 의해 전파되는 HPAI의 특성상 지역의 철새도래지 수, 야생조류 수, 가금류 사육두수, 가금류 사육농장 수, 야생조류의 먹이가 되는 낟알, 곤충 등이 다른 지목에 비해 상대적으로 많은 논·밭 면적 등이 HPAI 확산 위험에 영향을 미칠 수 있는 유력한 축산·환경적 요인들임.

❍ 따라서 본 연구는 지역의 축산·환경적 요인들이 기초감염재생산수를 구성하는 두 가지 요인(β와 γ) 중 HPAI 전파력을 반영하는 β에 미치는 영향을 살펴보았으며, HPAI 발생 지역 중 HPAI 발생 사례가 적거나 발생이 산발적으로 일어난 지역은 전파력이 0이거나 전파력을 추정할 수 없기 때문에 분석 모형으로 중도절단회귀모형인 토빗 모형을 사용하였음.[22]

- 토빗 모형의 하한으로는 추정된 지역별 전파력의 최솟값을 이용하였으며, Stata 17로 추정하였음.

3.2.3. 분석 자료

❍ 지역별 HPAI 확산 모델 추정에 이용한 자료의 대상 연도는 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년이며, 대상 지역은 우리나라 전국의 시도 및 시군구임.

- 분석 자료는 발생 여부, 살처분 여부, 확진일, 살처분일 등 HPAI 관련 정보와 주소, 축종, 사육두수 등 농장 기본 정보를 통합하여 구축하였음.

22) γ는 감염 확인 후 살처분까지 걸리는 기간의 역수로 계산되기 때문에 지역적 특성에 영향을 받기보다는 살처분 가용 인력 등 방역 여건 및 노력에 의해 결정됨.

- HPAI 관련 정보는 농림축산식품부의 연도별 “HPAI 발생 현황” 자료, 농장 기본 정보는 가축위생방역지원본부의 FAHMS(축산농가 방역정보 시스템) 자료로부터 수집하였음.

❍ HPAI는 주로 10~12월에 발생해서 이듬해 1~4월쯤 종식되고, 다시 10~12월에 발생하는 불연속적인 발생 및 확산 패턴을 보이기 때문에 연도별 가금류 사육농장 수 등 농장 기본 정보는 HPAI 발생 직전인 9월 기준으로 구축하였으며, HPAI 확산 위험은 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년으로 구분하여 분석하였음.

❍ 분석 자료에 포함된 연도별·시군구별 가금류 사육현황을 살펴보면, 우선 2016/17년 분석 자료에 포함된 전체 가금류 농장수는 47,844개, 기타 가금류 농장수는 925개, 닭 농장수는 45,476개, 오리 농장수는 1,443개임.

- 가금류 전체 사육두수는 222,281,859마리로, 농장의 평균 사육두수는 4,646마리, 시군구의 평균 사육두수는 1,068,663마리임.
- 2016/17년 각 시군구별 가금류 사육현황 통계는 〈부록 2〉에 수록하였음.

〈표 3-1〉 2016/17년 시군구 기준 가금류 사육현황 기초통계

단위: 개, 마리

구분	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수
합계	47,844	925	45,476	1,443	222,281,859
평균	230	4	219	7	1,068,663
최대	1,057	23	1,040	102	7,862,499
최소	1	0	1	0	4
표준편차	223	5	216	12	1,515,567

주: 전체 시군구는 208개임.
자료: 가축위생방역지원본부 FAHMS(축산농가 방역정보 시스템) 내부자료.

❍ 2020/21년 분석 자료에 포함된 전체 가금류 농장수는 51,662개, 기타 가금

류 농장수는 909개, 닭 농장수는 49,791개, 오리 농장수는 962개임.

- 가금류 전체 사육두수는 192,215,105마리로, 농장의 평균 사육두수는 3,721마리, 시도별 평균 사육두수는 1,098,372마리임.
- 2020/21년 각 시군구별 가금류 사육현황 통계는 〈부록 2〉에 수록하였음.

〈표 3-2〉 2020/21년 시군구 기준 가금류 사육현황 기초통계

단위: 개, 마리

구분	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수
합계	51,662	909	49,791	962	192,215,105
평균	295	5	285	5	1,098,372
최대	1,361	22	1,328	80	7,792,537
최소	1	0	1	0	38
표준편차	274	5	267	10	1,570,865

주: 전체 시군구는 175개임.
자료: 가축위생방역지원본부 FAHMS(축산농가 방역정보 시스템) 내부자료.

○ 2021/22년 분석 자료에 포함된 전체 가금류 농장수는 49,876개, 기타 가금류 농장수는 1,136개, 닭 농장수는 48,335개, 오리 농장수는 405개임.

- 가금류 전체 사육두수는 183,415,125마리로, 농장의 평균 사육두수는 3,677마리, 시도별 평균 사육두수는 1,054,110마리임.
- 2021/22년 각 시군구별 가금류 사육현황 통계는 〈부록 2〉에 수록하였음.

〈표 3-3〉 2021/22년 시군구 기준 가금류 사육현황 기초통계

단위: 개, 마리

구분	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수
합계	49,876	1,136	48,335	405	183,415,125
평균	287	7	278	2	1,054,110
최대	1,381	34	1,354	29	7,528,381
최소	1	0	1	0	30
표준편차	271	6	264	5	1,473,748

주: 전체 시군구는 174개임.
자료: 가축위생방역지원본부 FAHMS(축산농가 방역정보 시스템) 내부자료.

❍ 다음으로 지역특성이 지역별 HPAI 전파력에 미치는 영향을 분석하기 위해 사용한 자료는 시군구별 전체 가금류 사육농장 수, 전체 가금류 사육농장 중 오리, 닭, 기타 가금류 사육농장의 비율, 평균 가금류 사육두수, 지역 면적, 전(밭) 면적, 답(논) 면적이며, 이 중 시군구별 지역 면적, 밭 면적, 논 면적의 가용 기간이 2020년까지로 제한됨에 따라 지역특성의 영향 분석은 2016/17년과 2020/21년을 대상으로 수행하였음.

- 이 밖에 HPAI가 주로 발생하는 11월 및 12월의 시군구별 평균 기온, 평균 최고 온도, 평균 최저 온도, 평균 일교차, 평균 강수량, 평균 상대습도 등을 수집하여 지역특성 변수로 활용해 보았으나, 이들 변수는 분석 모델의 적합도를 현저히 낮추는 것으로 나타나 지역특성 변수에서 제외하였음.

❍ 분석 자료에 포함된 연도별·시군구별 전체 가금류 사육농장 수, 전체 가금류 사육농장 중 오리, 닭, 기타 가금류 사육농장의 비율, 평균 가금류 사육두수는 앞서 설명한 연도별·시군구별 가금류 사육현황 자료를 가공하여 산출하였으며, 지역 면적, 논 면적, 밭 면적은 각 시군구에서 매년 발행하는 지역별·연도별 통계연보로부터 수집하였음.

❍ 시군구 기준 연도별 면적현황을 살펴보면, 분석 대상 지역 중 가금류 사육농장이 한 곳이라도 있는 시군구는 2016년 208개로, 이들 시군구의 평균 토지 면적은 47,269만 제곱미터, 평균 밭 면적은 3,634만 제곱미터, 평균 논 면적은 5,402만 제곱미터로 나타났음〈표 3-4〉.

〈표 3-4〉 2016년 시군구 기준 면적현황 기초통계

단위: 만㎡

구분	전체 토지면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
합계	9,831,865	755,771	1,123,678
평균	47,269	3,634	5,402
최대	182,000	20,700	22,800
최소	705	0	0
표준편차	36,792	3,244	5,186

주: 전체 시군구는 208개임.
자료: 시군구별 연도별 통계연보.

〈표 3-5〉 2020년 시군구 기준 면적현황 기초통계

단위: 만㎡

구분	전체 토지면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
합계	6,830,736	554,082	905,223
평균	39,257	3,184	5,202
최대	119,000	20,300	22,600
최소	706	0	0
표준편차	29,996	3,089	5,221

주: 전체 시군구는 175개임.
자료: 시군구별 연도별 통계연보.

❍ 2020년 분석 대상 지역 중 가금류 사육농장이 한 곳이라도 있는 시군구는 175개로 2016년보다 33개가 줄었으며, 이들 시군구의 평균 토지 면적, 평균 밭 면적, 평균 논 면적도 각각 39,257만 제곱미터, 3,184만 제곱미터, 5,202만 제곱미터로 2016년보다 작게 나타났음〈표 3-5〉.

❍ 2016년과 2020년 면적현황은 각각 2016/17년과 2020/21년 HPAI 확산 위험에 영향을 주는 지역특성 분석에 활용하였으며, 연도별·시군구별 면적현황 통계는 〈부록 3〉에 수록하였음.

4. HPAI 확산 위험 분석 결과

4.1. 지역별 기초감염재생산수

4.1.1. 2016/17년 지역별 HPAI 확산 위험

❍ 2016/17년 HPAI 유행기간이 15일 이상이었던 시도 및 시군은 총 36개 지역으로, 이 중 32개 지역의 HPAI 전파력이 통계적으로 유의하게 추정되었음.[23)]

- 지역별 HPAI 전파력은 시도 단위에서는 충남에서 1.00109로 가장 높게, 경기에서 0.64513으로 가장 낮게 추정되었으며, 시군구 단위에서는 충북 청주시 흥덕구에서 1.04882로 가장 높게, 경기 용인시 처인구에서 0.52602로 가장 낮게 추정되었음.

<표 3-6> 2016/17년 시도 및 시군구 단위의 지역별 HPAI 전파력

구분	지역	전파력 (β_i)	표준오차 (S.E.)	평균제곱근오차 (RMSE)
시도	강원	1.00023 ***	0.05481	0.16440
	경기	0.64513 ***	0.03178	1.24329
	경남	1.00066 ***	0.00015	0.00007
	세종	0.99157 ***	0.02260	0.36936
	전남	0.99549 ***	0.00323	0.06567
	전북	1.00080 ***	0.00011	0.00035
	충남	1.00109 ***	0.00013	0.00049
	충북	0.79381 ***	0.03240	1.19227

23) HPAI 발생 사례가 적고 발생이 산발적으로 일어난 경기 김포시, 전남 영암군, 충남 논산시, 충북 청주시 청원구의 HPAI 전파력은 추정할 수 없거나 추정치의 통계적 유의성이 없었음.

(계속)

구분	지역	전파력 (β_i)	표준오차 (S.E.)	평균제곱근오차 (RMSE)
시군구	경기 안성시	0.83446 ***	0.03842	0.93108
	경기 양주시	1.02192 ***	0.00350	0.09043
	경기 여주시	0.93231 ***	0.03280	0.18008
	경기 용인시 처인구	0.52602 ***	0.19779	0.87836
	경기 이천시	0.83203 ***	0.04656	0.82373
	경기 평택시	0.85477 ***	0.06579	0.50021
	경기 포천시	0.84087 ***	0.09279	1.06459
	경기 화성시	1.00596 ***	0.00092	0.00083
	세종 세종시	0.99157 ***	0.02260	0.36936
	전남 나주시	1.01067 ***	0.00227	0.03840
	전남 무안군	1.01073 ***	0.01557	0.04134
	전남 장흥군	1.01182 ***	0.00157	0.00163
	전남 해남군	1.01204 ***	0.00201	0.06251
	전북 고창군	1.00900 ***	0.00159	0.00114
	전북 김제시	1.00489 ***	0.00178	0.00112
	전북 부안군	1.01015 ***	0.00444	0.00160
	전북 익산시	1.00315 ***	0.00039	0.00074
	전북 정읍시	1.00679 ***	0.00189	0.00388
	충남 아산시	1.00799 ***	0.00155	0.00201
	충남 천안시 동남구	1.01715 ***	0.00221	0.00815
	충남 천안시 서북구	1.04267 ***	0.00649	0.00678
	충북 음성군	0.76228 ***	0.06202	0.78387
	충북 진천군	0.90729 ***	0.03752	0.42884
	충북 청주시 흥덕구	1.04882 ***	0.00864	1.03794

주: ***는 유의수준 0.01, **는 유의수준 0.05, *는 유의수준 0.1에서 통계적으로 유의함을 나타냄. 강원과 전남 무안군을 제외한 모든 지역의 표준오차는 HAC 표준오차이나, 두 지역의 경우 HAC 표준오차가 산출되지 않아 통상적인 표준오차를 이용해 통계적 유의성을 검정함.

자료: 저자 작성.

❍ 2016/17년 지역별 기초감염재생산수는 HPAI 전파력이 추정된 전 지역에서 1 이상인 것으로 나타났음.

- 지역별 기초감염재생산수는 시도 단위에서는 강원에서 1.50035로 가장 높게, 경남에서 1.00066으로 가장 낮게 산출되었으며, 시군구 단위에서는

충북 청주시 흥덕구에서 3.14645로 가장 높게, 전북 익산시에서 1.00315로 가장 낮게 산출되었음.

〈표 3-7〉 2016/17년 시도 및 시군구 단위의 지역별 기초감염재생산수

구분	지역	전파력 (β_i)	양성농장 살처분율 (γ_i)	기초감염재생산수 ($R_{0i}=\beta_i/\gamma_i$)
시도	강원	1.00023	0.66667	1.50035
	경기	0.64513	0.52340	1.23256
	경남	1.00066	1.00000	1.00066
	세종	0.99157	0.73913	1.34153
	전남	0.99549	0.92500	1.07621
	전북	1.00080	1.00000	1.00080
	충남	1.00109	1.00000	1.00109
	충북	0.79381	0.63433	1.25142
시군구	경기 안성시	0.83446	0.45455	1.83582
	경기 양주시	1.02192	0.77778	1.31389
	경기 여주시	0.93231	0.76923	1.21200
	경기 용인시 처인구	0.52602	0.25000	2.10409
	경기 이천시	0.83203	0.53659	1.55059
	경기 평택시	0.85477	0.50000	1.70955
	경기 포천시	0.84087	0.42857	1.96202
	경기 화성시	1.00596	1.00000	1.00596
	세종 세종시	0.99157	0.73913	1.34153
	전남 나주시	1.01067	0.91667	1.10254
	전남 무안군	1.01073	0.83333	1.21288
	전남 장흥군	1.01182	1.00000	1.01182
	전남 해남군	1.01204	0.80000	1.26505
	전북 고창군	1.00900	1.00000	1.00900
	전북 김제시	1.00489	1.00000	1.00489
	전북 부안군	1.01015	1.00000	1.01015
	전북 익산시	1.00315	1.00000	1.00315
	전북 정읍시	1.00679	1.00000	1.00679
	충남 아산시	1.00799	1.00000	1.00799
	충남 천안시 동남구	1.01715	1.00000	1.01715
	충남 천안시 서북구	1.04267	1.00000	1.04267
	충북 음성군	0.76228	0.61039	1.24884
	충북 진천군	0.90729	0.74286	1.22135
	충북 청주시 흥덕구	1.04882	0.33333	3.14645

주: 전파력은 추정치이며, 양성농장 살처분율은 지역별 양성농장의 평균 살처분 소요 시간(발생일과 살처분일과의 차이)의 역수임.

자료: 저자 작성.

4.1.2. 2020/21년 지역별 HPAI 확산 위험

❍ 2020/21년 HPAI 유행기간이 15일 이상이었던 시도 및 시군구는 총 29개 지역으로, 이 중 17개 지역의 HPAI 전파력이 통계적으로 유의하게 추정되었음.[24)]

- 지역별 HPAI 전파력은 시도 단위에서는 경남에서 1.00276으로 가장 높게, 충남에서 0.98230으로 가장 낮게 추정되었으며, 시군구 단위에서는 경기 안성시에서 1.01630으로 가장 높게, 전남 영암군에서 0.97144로 가장 낮게 추정되었음.

<표 3-8> 2020/21년 시도 및 시군구 단위의 지역별 HPAI 전파력

구분	지역	전파력 (β_i)	표준오차 (S.E.)	평균제곱근오차 (RMSE)
시도	경기	1.00193 ***	0.00047	0.00245
	경남	1.00276 ***	0.00186	0.00114
	전남	0.99291 ***	0.00397	0.02017
	전북	0.98596 ***	0.00562	0.02782
	충남	0.98230 ***	0.01768	0.09181
	충북	1.00034 ***	0.00014	0.00014
시군구	경기 김포시	1.01023 ***	0.00280	0.00181
	경기 안성시	1.01630 ***	0.00688	0.00700
	경기 여주시	1.00371 ***	0.00076	0.00027
	경기 이천시	1.00574 ***	0.00109	0.00086
	전남 나주시	1.00312 ***	0.00054	0.00021
	전남 영암군	0.97144 ***	0.03102	0.05242
	전북 정읍시	1.00163 ***	0.02891	0.07217
	충남 천안시 동남구	1.00539 ***	0.13145	0.19612
	충남 천안시 서북구	1.01241 ***	0.02659	0.05686
	충북 음성군	1.00184 ***	0.00028	0.00017
	충북 충주시	1.00442 ***	0.00266	0.00084

주: ***는 유의수준 0.01, **는 유의수준 0.05, *는 유의수준 0.1에서 통계적으로 유의함을 나타냄. 전북 정읍시, 충남 천안시 동남구, 충남 천안시 서북구를 제외한 모든 지역의 표준오차는 HAC 표준오차이나, 세 지역의 경우 HAC 표준오차가 산출되지 않아 통상적인 표준오차를 이용해 통계적 유의성을 검정함.
자료: 저자 작성.

24) HPAI 발생 사례가 적고 발생이 산발적으로 일어난 12개 지역(강원, 경북, 강원 원주시, 경기 용인시 처인구, 경기 평택시, 경기 포천시, 경기 화성시, 전남 무안군, 전남 장흥군, 전북 고창군, 전북 부안군, 충북 괴산군)의 HPAI 전파력은 추정할 수 없거나 추정치의 통계적 유의성이 없었음.

❍ 2020/21년 지역별 기초감염재생산수는 HPAI 전파력이 추정된 전 지역에서 1 이상인 것으로 나타났음.

- 지역별 기초감염재생산수는 시도 단위에서는 충남에서 1.20059로 가장 높게, 충북에서 1.00034로 가장 낮게 산출되었으며, 시군구 단위에서는 충남 천안시 동남구에서 1.50808로 가장 높게, 충북 음성군에서 1.00184로 가장 낮게 산출되었음.

<표 3-9> 2020/21년 시도 및 시군구 단위의 지역별 기초감염재생산수

구분	지역	전파력 (β_i)	양성농장 살처분율 (γ_i)	기초감염재생산수 ($R_{0i}=\beta_i/\gamma_i$)
시도	경기	1.00193	1.00000	1.00193
	경남	1.00276	1.00000	1.00276
	전남	0.99291	0.95455	1.04020
	전북	0.98596	0.94118	1.04759
	충남	0.98230	0.81818	1.20059
	충북	1.00034	1.00000	1.00034
시군구	경기 김포시	1.01023	1.00000	1.01023
	경기 안성시	1.01630	1.00000	1.01630
	경기 여주시	1.00371	1.00000	1.00371
	경기 이천시	1.00574	1.00000	1.00574
	전남 나주시	1.00312	1.00000	1.00312
	전남 영암군	0.97144	0.83333	1.16573
	전북 정읍시	1.00163	0.80000	1.25204
	충남 천안시 동남구	1.00539	0.66667	1.50808
	충남 천안시 서북구	1.01241	0.80000	1.26551
	충북 음성군	1.00184	1.00000	1.00184
	충북 충주시	1.00442	1.00000	1.00442

주: 전파력은 추정치이며, 양성농장 살처분율은 지역별 양성농장의 평균 살처분 소요 시간(발생일과 살처분일과의 차이)의 역수임.

자료: 저자 작성.

4.1.3. 2021/22년 지역별 HPAI 확산 위험

❍ 2021/22년 HPAI 유행기간이 15일 이상이었던 시도 및 시군구는 총 14개 지역으로, 이 중 8개 지역의 HPAI 전파력이 통계적으로 유의하게 추정되었음.[25)]

- 지역별 HPAI 전파력은 시도 단위에서는 충남에서 1.00023으로 가장 높게, 충북에서 0.94466으로 가장 낮게 추정되었으며, 시군구 단위에서는 전남 무안군에서 1.01132로 가장 높게, 충북 음성군에서 0.89123으로 가장 낮게 추정되었음.

〈표 3-10〉 2021/22년 시도 및 시군구 단위의 지역별 HPAI 전파력

구분	지역	전파력 (β_i)	표준오차 (S.E.)	평균제곱근오차 (RMSE)
시도	전남	0.99185 ***	0.00752	0.02836
	전북	1.00020 ***	0.00003	0.00003
	충남	1.00023 ***	0.00003	0.00004
	충북	0.94466 ***	0.02320	0.06091
시군구	전남 무안군	1.01132 ***	0.11563	0.17150
	전북 정읍시	1.00218 ***	0.00052	0.00018
	충북 음성군	0.89123 ***	0.09399	0.26537
	충북 진천군	1.00233 ***	0.00036	0.00034

주: ***는 유의수준 0.01, **는 유의수준 0.05, *는 유의수준 0.1에서 통계적으로 유의함을 나타냄. 전남 무안군을 제외한 모든 지역의 표준오차는 HAC 표준오차이나, 전남 무안군의 경우 HAC 표준오차가 산출되지 않아 통상적인 표준오차를 이용해 통계적 유의성을 검정함.
자료: 저자 작성.

❍ 2021/22년 지역별 기초감염재생산수는 HPAI 전파력이 추정된 전 지역에서 1 이상인 것으로 나타났음.

- 지역별 기초감염재생산수는 시도 단위에서는 충북에서 1.13359로 가장 높게, 전북에서 1.00020으로 가장 낮게 산출되었으며, 시군구 단위에서는

---

25) HPAI 발생 사례가 적고 발생이 산발적으로 일어난 6개 지역(경기, 경남, 전남 영암군, 전북 부안군, 충남 아산시, 충남 천안시)의 HPAI 전파력은 추정할 수 없거나 추정치의 통계적 유의성이 없었음.

전남 무안군에서 1.51698로 가장 높게, 전북 정읍시에서 1.00218로 가장 낮게 산출되었음.

〈표 3-11〉 2021/22년 시도 및 시군구 단위의 지역별 기초감염재생산수

구분	지역	전파력 (β_i)	양성농장 살처분율 (γ_i)	기초감염재생산수 ($R_{0i}=\beta_i/\gamma_i$)
시도	전남	0.99185	0.91667	1.08202
	전북	1.00020	1.00000	1.00020
	충남	1.00023	1.00000	1.00023
	충북	0.94466	0.83333	1.13359
시군구	전남 무안군	1.01132	0.66667	1.51698
	전북 정읍시	1.00218	1.00000	1.00218
	충북 음성군	0.89123	0.66667	1.33684
	충북 진천군	1.00233	1.00000	1.00233

주: 전파력은 추정치이며, 양성농장 살처분율은 지역별 양성농장의 평균 살처분 소요 시간(발생일과 살처분일과의 차이)의 역수임.
자료: 저자 작성.

4.2. 지역특성의 영향

❍ 분석에 사용한 축산·환경적 요인 중 HPAI 전파력에 통계적으로 유의한 영향을 주는 요인을 살펴보면, 전체 가금류 사육농장 중 오리 사육농장의 비율, 가금류 평균 사육두수, 지역 면적, 답(논) 면적으로 확인되었음.

❍ 이 중 오리, 닭, 기타 가금류 사육농장의 비율을 더하면 1이라는 점에서 오리 사육농장 비율의 추정계수 값은 닭 사육농장 비율에 대한 상대적인 효과를 나타냄. 결국 지역 면적이 작고, 오리 사육농장이 많고, 평균 사육두수가 많고, 논이 많은 지역일수록 HPAI 발생 시 확산 위험이 높은 것으로 나타났음.

〈표 3-12〉 지역특성이 HPAI 전파력에 미치는 영향

변수	추정계수	표준오차	t값
전체 가금류 농장수	2.31E-04	2.37E-04	0.970
오리농장 비율	1.210 *	0.675	1.790
기타 가금류 농장 비율	-0.318	2.711	-0.120
평균 사육두수	2.19E-05 ***	5.42E-06	4.050
지역 면적	-7.05E-10 *	3.80E-10	-1.860
전(밭) 면적	3.14E-09	2.45E-09	1.280
답(논) 면적	1.99E-09 **	9.51E-10	2.090
연도(2020년)	-0.014	0.099	-0.140
상수	0.218	0.174	1.250

주: ***는 유의수준 0.01, **는 유의수준, 0.05 *는 유의수준 0.1에서 통계적으로 유의함을 나타냄. 관측치는 83개(중도절단관측치 48개)이고, 모델의 유사결정계수(pseudo R-squared)는 0.4251임.
자료: 저자 작성.

제4장

분석결과의 종합

4 분석결과의 종합

1. 고병원성 AI 발생 확률 분석

❍ 발생 확률 예측 분석은 전국 시도 및 시군구 단위를 대상으로 2016/17년, 2020/21년 그리고 2021/22년에 발생한 HPAI 발생 확률을 머신러닝 기법의 일종인 랜덤 포레스트 모형을 사용하여 계산하였음.

❍ 분석 결과를 정리해 보면, 먼저 HPAI 발생에 영향을 미치는 주요 요인으로는 연도별 순위는 다르지만 대체로 농장당 사육두수, 축산차량 방문횟수, 발생농장과의 거리, 특정 반경 내 총 사육두수 등으로 확인되었음.

❍ 주요 요인이 발생 확률에 미치는 방향성에 대한 정보를 제공하는 부분 의존도 결과에서는, 농장 사육두수와 특정 반경 내 총 사육두수는 HPAI 발생과 비례적 관계를 보여 농장 사이 거리가 짧고 사육두수가 많을수록 HPAI 발생이 쉬운 환경이라는 것을 확인할 수 있었음. 축산차량 방문횟수의 경우 일정 횟수까지는 발생 확률과 정(+)의 관계가 확인되었으나, 발생농장까지의 거리는

가까울수록 발생 확률과 반비례적 모습이 나타났음. 따라서 HPAI 발생에 따른 인근 지역으로의 확산 방지를 위해서는 축산차량 이동에 대한 철저한 방역과 감독이 필요하다는 것을 데이터를 통해 확인할 수 있었음.

❍ 지역별 HPAI 발생 확률을 보면, 시도 기준으로는 대체로 경기와 세종 지역에서의 발생 확률이 타 시도에 비해 높은 것으로 나타났으며, 시군구를 기준으로 보면 2016/17년에는 경기도 평택, 2020/21년에는 전남 무안의 발생 확률이 가장 높은 것으로 확인되었음.

2. 고병원성 AI 확산 위험 분석

❍ 본 연구는 HPAI 국내 발생 자료와 전염병 확산 모델을 이용하여 지역별 HPAI 기초감염재생산수를 산출한 후 이를 토대로 지역별 HPAI 확산 위험을 비교하고, 지역별 HPAI 확산 위험의 차이에 영향을 주는 지역특성들을 살펴보기 위해 수행되었음.

❍ 연구 목적 달성을 위해 기존의 SIR 모델에 감염대상군 중 일부가 예방적 살처분 조치에 따라 살처분군으로 이동하는 경로를 추가하여 HPAI 확산 위험 분석을 위한 모델로 구성하였음.

❍ HPAI 확산 모델의 지역별 HPAI 전파력은 오일러 방법과 Stata 17을 이용하여 추정하였으며, 전파력 추정 결과를 토대로 지역별 기초감염재생산수를 산출하고, 지역특성이 전파력에 미치는 영향을 중도절단회귀모형인 토빗 모형을 이용하여 분석하였음.

❍ 분석결과를 종합하면, 지역별 기초감염재생산수는 HPAI 전파력이 추정된 전 지역에서 1 이상인 것으로 나타나 감염 확산 조건(기초감염재생산수 1 이상)을 만족하는 것으로 나타났으며, 지역 면적 및 사육 축종 등이 HPAI 전파력에 통계적으로 유의한 영향을 주는 것으로 나타났음.

❍ 시군구를 기준으로 연도별·지역별 기초감염재생산수 산출 결과를 살펴보면, 2016/17년 발생 사례에서는 24개 시군구에서 통계적으로 유의하게 HPAI 전파력이 추정되었으며, 기초감염재생산수는 충북 청주시 흥덕구, 경기 용인시 처인구, 경기 포천시, 경기 안성시, 경기 평택시 등의 순으로 높게 나타났음.

❍ 2020/21년 사례의 경우 11개 시군구에서 전파력이 추정되었으며, 충남 천안시의 동남구와 서북구, 전북 정읍시, 전남 영암군, 경기 안성시 순으로 기초감염재생산수가 높게 산출되었음.

❍ HPAI 발생 사례가 많지 않았던 2021/22년 사례에서는 4개 시군에서 전파력이 추정되었으며, 전남 무안군, 충북 음성군, 충북 진천군, 전북 정읍시 순으로 기초감염재생산수가 높게 나타났음.

❍ 또한 HPAI 전파력에 통계적으로 유의한 영향을 주는 요인으로는 지역의 면적, 가금류 사육농장 중 오리농장 비율, 평균 사육두수, 논 면적 등으로 분석되었음.

❍ 분석결과를 토대로 시사점을 제시하면 다음과 같음.

❍ 첫째, HPAI 확산 위험이 높은 지역은 방역활동을 강화하고, 확산 위험이 매우 낮거나 산발적으로 발생하는 지역은 차단방역 수준을 유지하되 차별화된 방역조치를 취할 필요가 있음.

- 기초감염재생산수와 HPAI 전파력이 모두 높게 나타난 충북 청주시, 전남 무안군, 충남 천안시, 경기 양주시, 전남 해남군, 전북 정읍시, 전남 무안군 등은 HPAI 확산 방지를 위한 강화된 방역조치를 취할 필요가 있고, HPAI 전파력을 추정할 수 없거나 전파력이 통계적으로 유의하게 나타나지 않은 지역은 HPAI 발생에 따른 살처분 대상을 발생농장으로 한정하는 등 방역 조치를 차별화할 필요가 있음.

○ 둘째, HPAI 확산 위험을 낮추기 위해 감염농장 확인 후 살처분까지 걸리는 시간을 단축할 필요가 있음.

- 기초감염재생산수(=HPAI 전파력/감염농장 살처분율)를 낮추기 위해서는 지역별 HPAI 전파력을 낮추거나 감염농장 살처분율을 높여야 함.
- 이 중 HPAI 전파력을 낮추는 것은 감염농장 살처분율을 높이는 것보다 상대적으로 많은 노력과 비용이 필요함.
- 따라서 감염농장 확인 후 살처분까지 걸리는 시간, 즉 감염된 개체가 다른 개체를 감염시킬 수 있는 시간을 단축하여, 해당 시간의 역수로 계산되는 감염농장 살처분율을 낮추는 것이 비용효율적인 HPAI 확산 위험 저감 방안일 것임.

○ 셋째, HPAI 확산 위험이 상대적으로 높은 지역은 면적이 좁고, 오리 사육농장과 평균 사육두수가 많으며, 논이 많은 지역이라는 점을 고려해서 이러한 지역에 대한 차단 방역을 보다 강화할 필요가 있음.

- 즉, 서로 다른 지역에서 HPAI가 발생할 경우 위의 조건에 해당되는 지역에 방역 역량을 집중할 필요가 있음.

부 록 1

시군구별 사육농가 HPAI 발생 확률 및 발생 요인

〈부표 1-1〉 2016/17년 시군구별 사육농가 HPAI 발생 확률 및 4대 발생 요인

지역	발생 확률	발생농장과 거리(km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
경기 평택시	0.0561	2.61	39,922.97	0.95	3,280,967.11
충남 천안시	0.0497	1.92	23,155.61	0.83	3,266,507.01
전남 무안군	0.0443	4.93	27,565.65	0.93	1,747,582.15
경기 이천시	0.0399	4.51	24,835.58	0.90	3,173,068.67
경기 안성시	0.0303	2.23	26,182.13	0.91	3,468,358.93
충북 진천군	0.0237	2.69	7,398.53	0.87	2,243,632.86
충남 아산시	0.0159	3.44	13,453.22	0.96	2,232,110.65
충북 음성군	0.0132	2.82	12,670.23	0.85	3,546,713.55
전남 나주시	0.0130	4.05	25,119.81	0.96	4,056,737.65
경기 양주시	0.0111	3.33	12,663.05	0.93	1,350,262.51
세종 세종시	0.0107	4.69	13,299.87	0.92	2,133,692.96
경기 포천시	0.0104	5.32	31,552.57	0.89	2,662,910.57
전남 진도군	0.0100	8.29	2,451.24	0.99	147,504.55
경기 광주시	0.0093	8.03	7,777.32	0.98	507,262.15
경기 양평군	0.0090	12.44	10,611.68	0.99	793,725.74
충남 서산시	0.0088	11.21	2,593.01	1.00	806,024.09
전남 강진군	0.0088	6.41	5,267.28	0.97	567,478.26
충남 논산시	0.0087	7.15	12,694.09	0.99	2,288,356.00
충북 괴산군	0.0082	10.95	6,269.81	0.99	756,991.22
경기 화성시	0.0081	5.35	14,619.13	0.95	1,773,211.71
전북 고창군	0.0075	4.74	15,531.48	0.99	2,456,947.40
전북 김제시	0.0074	5.26	8,174.74	0.93	2,465,120.99
강원 인제군	0.0074	16.02	1,345.22	1.00	36,763.28
경기 김포시	0.0074	4.41	14,463.46	0.99	1,792,589.45
전북 정읍시	0.0073	6.46	6,790.98	0.95	2,408,123.95
경남 양산시	0.0072	8.28	6,218.17	0.98	817,275.38
전남 장흥군	0.0071	6.19	4,847.32	0.92	453,786.47
경기 여주시	0.0071	5.92	37,195.32	0.92	2,459,669.72
충북 옥천군	0.0071	8.93	6,877.14	0.99	621,439.00
강원 철원군	0.0071	10.48	8,130.54	0.99	1,140,960.49
충남 청양군	0.0071	9.99	6,099.63	0.98	1,106,066.79
경기 연천군	0.0071	8.74	11,716.30	0.99	1,420,619.45
경남 고성군	0.0071	10.12	943.31	0.98	271,481.62
강원 화천군	0.0071	32.74	1,059.64	1.00	217,946.61

(계속)

지역	발생 확률	발생농장과 거리(km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
광주 동구	0.0071	14.65	40.00	1.00	21,892.00
부산 북구	0.0071	19.27	30.33	1.00	8,611.33
서울 도봉구	0.0071	14.39	27.00	1.00	12,839.67
부산 서구	0.0071	24.21	375.00	1.00	6,898.00
경기 구리시	0.0071	21.45	79.75	1.00	46,583.75
서울 서대문구	0.0071	14.41	10.25	1.00	1,044.25
부산 동래구	0.0071	16.15	5.00	1.00	4,009.00
울산 남구	0.0071	25.96	50.40	1.00	16,283.65
서울 성북구	0.0071	16.06	7.00	1.00	520.00
서울 노원구	0.0071	15.94	15.00	1.00	39,069.00
강원 삼척시	0.0071	102.12	2,557.16	1.00	153,733.83
강원 평창군	0.0071	42.43	96.68	1.00	14,748.81
제주 제주시	0.0071	114.26	12,703.57	1.00	439,763.13
서울 은평구	0.0071	11.30	6.33	1.00	145,420.67
서울 동작구	0.0071	10.12	6.50	1.00	4,615.50
서울 관악구	0.0071	9.27	12.00	1.00	8,953.00
서울 서초구	0.0071	4.91	28.38	1.00	20,723.75
경남 함안군	0.0071	30.47	2,184.33	1.00	495,077.26
서울 중랑구	0.0071	22.11	11.13	1.00	44,735.50
강원 영월군	0.0071	54.84	275.66	1.00	70,819.45
강원 양양군	0.0071	26.86	80.13	1.00	10,969.70
인천 남동구	0.0071	14.34	489.19	1.00	17,093.56
부산 해운대구	0.0071	8.53	23.25	1.00	4,700.50
부산 사하구	0.0071	28.92	35.00	1.00	6,590.00
대전 서구	0.0071	15.23	58.30	1.00	45,931.69
광주 북구	0.0071	13.00	361.05	1.00	188,812.24
경기 성남시	0.0071	8.43	1,762.38	1.00	50,793.38
인천 부평구	0.0071	6.72	175.67	1.00	56,552.00
대구 달서구	0.0071	63.00	6.60	1.00	4,924.80
대구 북구	0.0071	71.19	38.79	1.00	733,700.29
서울 구로구	0.0071	14.82	5.00	1.00	11,650.00
울산 동구	0.0071	35.71	26.73	1.00	3,864.09
울산 중구	0.0071	28.29	86.26	1.00	60,873.84
대전 대덕구	0.0071	11.87	60.34	1.00	218,893.04
강원 동해시	0.0071	86.07	41.92	1.00	116,093.65
경기 군포시	0.0071	14.21	22.67	1.00	73,452.89
제주 서귀포시	0.0071	128.97	5,524.31	1.00	144,393.02
경기 의정부시	0.0071	9.93	137.00	1.00	377,065.56
경남 거제시	0.0071	29.08	76.24	1.00	9,168.98
강원 양구군	0.0071	34.45	1,542.67	1.00	80,212.72
강원 속초시	0.0071	27.71	145.69	1.00	27,562.10
부산 강서구	0.0071	31.32	243.38	1.00	20,450.80

(계속)

지역	발생 확률	발생농장과 거리(km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
인천 남구	0.0071	12.92	48.00	1.00	10,865.33
경기 과천시	0.0071	4.09	135.16	1.00	18,338.79
충남 계룡시	0.0071	8.99	28.59	1.00	395,806.82
강원 고성군	0.0071	41.64	206.32	1.00	18,233.26
인천 옹진군	0.0071	91.58	90.43	1.00	9,618.48
대전 중구	0.0071	17.58	50.84	1.00	50,612.68
대구 수성구	0.0071	56.57	75.64	1.00	40,415.73
부산 금정구	0.0071	12.76	40.20	1.00	26,929.90
경북 울릉군	0.0071	228.51	84.29	1.00	590.00
대구 동구	0.0071	66.59	251.22	1.00	148,191.64
전남 목포시	0.0071	9.39	1,312.63	1.00	367,018.38
경기 동두천시	0.0071	6.13	6,334.56	1.00	1,508,406.88
강원 태백시	0.0071	99.31	480.68	1.00	369,265.15
부산 연제구	0.0071	17.23	70.00	1.00	3,894.00
경남 진주시	0.0071	23.43	1,361.65	1.00	323,072.12
전남 보성군	0.0071	22.91	2,432.17	1.00	437,314.36
전남 담양군	0.0071	19.62	6,958.79	1.00	628,065.61
광주 남구	0.0071	6.75	158.25	1.00	654,579.33
전남 구례군	0.0071	7.32	1,346.77	0.98	556,059.22
광주 광산구	0.0071	7.91	6,516.35	1.00	868,004.07
전북 전주시	0.0071	11.96	38.91	1.00	347,106.91
경남 하동군	0.0071	14.54	224.78	1.00	62,843.06
전북 임실군	0.0071	29.44	3,010.75	1.00	905,866.33
전북 순창군	0.0071	25.45	4,867.91	1.00	1,634,773.40
전북 부안군	0.0071	6.63	15,336.80	0.99	2,218,798.03
전북 무주군	0.0071	39.72	648.87	1.00	191,075.13
충남 예산군	0.0071	14.71	5,512.97	1.00	1,347,118.91
대전 유성구	0.0071	11.13	630.73	1.00	146,955.96
충남 서천군	0.0071	22.40	3,832.34	1.00	984,457.13
대전 동구	0.0071	13.75	19.04	1.00	26,318.05
인천 강화군	0.0071	15.03	5,848.85	1.00	1,041,216.44
인천 중구	0.0071	21.51	291.68	1.00	3,756.72
인천 서구	0.0071	4.42	56.00	0.93	629,972.75
경기 남양주시	0.0071	22.20	1,256.61	1.00	90,525.03
인천 계양구	0.0071	5.55	5,277.79	1.00	141,597.57
경기 가평군	0.0071	22.03	6,952.99	1.00	206,126.44
광주 서구	0.0071	8.40	1,921.17	1.00	430,018.17
전남 완도군	0.0071	24.16	15.87	1.00	16,371.95
전북 장수군	0.0071	42.63	1,063.89	1.00	547,902.75
경북 울진군	0.0071	133.79	37.27	1.00	3,702.92
경북 경산시	0.0071	48.79	1,250.78	1.00	245,852.86
경북 청송군	0.0071	102.50	8,134.06	1.00	95,807.97

(계속)

지역	발생 확률	발생농장과 거리(km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
경북 영양군	0.0071	116.23	127.68	1.00	28,116.85
서울 강동구	0.0071	17.69	14.00	1.00	11,655.57
경북 영덕군	0.0071	118.86	279.05	1.00	24,328.26
경북 포항시	0.0071	77.41	2,290.91	1.00	275,054.46
경북 칠곡군	0.0071	76.46	11,288.18	1.00	838,641.34
경북 군위군	0.0071	84.10	6,980.64	1.00	647,964.52
경북 구미시	0.0071	66.99	2,462.91	1.00	618,992.69
경북 청도군	0.0071	38.13	867.53	1.00	82,789.99
경북 영천시	0.0071	63.43	10,341.72	1.00	801,798.04
경북 성주군	0.0071	72.77	3,392.06	1.00	553,728.15
경남 남해군	0.0071	25.02	112.83	1.00	28,224.90
전남 해남군	0.0071	7.66	5,615.46	0.99	326,068.93
경남 사천시	0.0071	12.38	123.40	1.00	62,085.89
전남 화순군	0.0071	12.91	4,008.86	1.00	481,148.89
부산 기장군	0.0071	7.05	175.80	0.99	26,501.86
경북 고령군	0.0071	74.80	1,248.06	1.00	266,412.54
경남 창원시	0.0071	27.61	62.78	1.00	186,030.97
경남 함양군	0.0071	43.70	940.18	1.00	283,104.94
전남 고흥군	0.0071	31.70	1,498.30	1.00	126,172.14
전남 신안군	0.0071	25.47	575.86	1.00	127,764.19
대구 달성군	0.0071	63.53	1,270.88	1.00	410,001.81
울산 북구	0.0071	36.17	47.38	1.00	164,989.43
경북 상주시	0.0071	46.55	7,720.85	1.00	1,027,191.48
강원 강릉시	0.0071	55.20	427.17	1.00	41,943.18
울산 울주군	0.0071	20.60	924.99	1.00	315,675.84
경남 산청군	0.0071	35.54	2,196.99	1.00	356,677.59
경남 합천군	0.0071	59.56	1,398.39	1.00	371,738.36
강원 홍천군	0.0071	24.81	572.38	1.00	174,221.77
경북 의성군	0.0071	86.50	6,139.78	1.00	896,835.22
경남 통영시	0.0071	20.90	20.29	1.00	40,747.81
충남 당진시	0.0071	16.24	7,840.37	1.00	1,448,488.42
충북 청주시	0.0071	8.01	3,314.16	0.99	677,825.30
충남 보령시	0.0071	18.87	4,446.28	1.00	1,294,077.38
전남 장성군	0.0071	9.91	1,582.01	1.00	558,308.73
충남 태안군	0.0071	17.16	1,434.37	1.00	214,512.62
강원 횡성군	0.0071	12.93	1,633.97	1.00	415,398.87
전남 곡성군	0.0071	10.06	2,601.08	1.00	1,344,273.95
전남 광양시	0.0071	25.78	31.45	1.00	24,916.20
전남 여수시	0.0071	42.32	888.42	1.00	184,364.70
경기 부천시	0.0071	13.05	51.00	1.00	37,257.91
전북 완주군	0.0071	18.42	3,323.10	1.00	811,441.01
경남 김해시	0.0071	25.97	2,300.13	1.00	536,210.99
전남 영암군	0.0070	6.45	22,892.90	1.00	3,187,622.90
경북 봉화군	0.0070	86.41	3,415.85	1.00	841,456.34

(계속)

지역	발생 확률	발생농장과 거리(km)	사육두수 (마리)	살처분 반경 500m 포함 농장 비율(%)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
충북 보은군	0.0070	23.36	5,329.61	1.00	705,093.76
경기 광명시	0.0070	14.96	136.18	1.00	18,186.96
경북 문경시	0.0070	43.13	2,304.07	1.00	509,688.06
경기 안산시	0.0070	16.68	172.88	1.00	61,610.59
전남 순천시	0.0070	24.90	969.71	1.00	262,664.88
경기 고양시	0.0070	6.83	5,947.23	0.98	616,736.70
충북 증평군	0.0070	6.13	10,180.78	1.00	1,018,163.75
경남 밀양시	0.0070	28.21	2,690.03	1.00	452,615.58
전북 남원시	0.0070	22.24	6,782.80	1.00	1,612,982.26
경기 수원시	0.0070	13.48	3,287.00	1.00	97,314.89
경기 용인시	0.0070	9.54	27,930.87	0.96	1,785,959.77
강원 원주시	0.0070	17.68	2,061.34	1.00	624,082.27
충북 단양군	0.0070	46.12	500.71	1.00	160,149.73
충북 영동군	0.0070	26.81	3,021.45	1.00	419,779.90
경북 안동시	0.0070	86.58	3,784.66	1.00	452,946.24
경남 창녕군	0.0070	51.87	7,465.81	1.00	1,443,494.69
경기 의왕시	0.0070	8.15	169.73	1.00	66,802.93
경기 오산시	0.0070	8.86	2,826.14	1.00	897,011.43
강원 춘천시	0.0070	35.29	396.16	1.00	163,079.83
경기 하남시	0.0070	15.01	26.82	1.00	35,269.00
경기 시흥시	0.0070	17.44	102.91	1.00	22,967.80
전북 진안군	0.0070	37.35	3,914.00	1.00	1,164,548.99
전북 익산시	0.0070	4.97	9,758.54	0.96	3,682,276.50
경남 거창군	0.0070	62.79	3,466.48	1.00	1,023,897.20
경남 의령군	0.0070	40.76	3,025.20	1.00	664,535.07
충남 금산군	0.0070	20.91	2,957.39	1.00	413,924.47
경북 영주시	0.0070	67.62	6,148.56	1.00	2,577,601.27
경기 파주시	0.0070	10.98	8,388.61	1.00	890,307.44
충남 홍성군	0.0070	7.50	3,663.41	1.00	1,483,304.06
전북 군산시	0.0070	10.50	1,284.41	1.00	870,842.79
강원 정선군	0.0070	67.88	22.12	1.00	6,942.42
경북 김천시	0.0070	52.67	18,264.70	1.00	1,025,917.97
충북 제천시	0.0070	31.20	765.78	1.00	297,442.97
경북 예천군	0.0070	60.67	2,276.56	1.00	668,549.75
전남 영광군	0.0070	16.92	13,154.53	1.00	2,189,383.78
경북 경주시	0.0070	48.80	2,548.76	1.00	435,038.13
충북 충주시	0.0070	10.71	3,512.26	1.00	898,030.49
충남 부여군	0.0069	18.08	10,466.88	1.00	1,811,277.14
충남 공주시	0.0069	12.48	6,175.79	1.00	1,195,164.82
전남 함평군	0.0069	13.83	11,608.74	1.00	2,227,912.92
대구 중구	0.0069	64.55	30.00	1.00	347,132.00
인천 연수구	0.0069	13.65	500.00	1.00	12,274.00

자료: 저자 작성.

〈부표 1-2〉 2020/21년 시군구별 사육농가 HPAI 발생 확률 및 4대 발생 요인

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
전남 무안군	0.0116	15,342.75	1.06	44,720.81	1,514,547.68
경기 이천시	0.0097	15,873.70	0.58	50,092.27	3,149,244.91
충북 음성군	0.0055	7,229.37	0.41	62,238.78	3,294,622.78
충남 천안시	0.0054	15,308.36	0.57	75,434.77	2,712,432.47
경기 남양주시	0.0052	1,020.94	0.24	2,987.35	127,756.06
경남 통영시	0.0041	38.10	0.05	288.12	103,648.07
경기 김포시	0.0040	15,729.27	0.57	69,192.94	2,000,151.80
전남 영암군	0.0039	16,838.22	0.56	72,744.47	3,108,047.48
전남 나주시	0.0039	14,310.42	0.68	88,148.80	3,419,529.33
전북 부안군	0.0038	12,846.31	0.41	86,400.96	3,482,300.75
경기 파주시	0.0029	5,427.88	0.37	18,981.91	923,331.09
경남 진주시	0.0028	1,347.58	0.16	7,719.40	441,498.70
전북 고창군	0.0026	18,374.65	0.60	75,041.53	2,733,249.11
경기 안성시	0.0025	15,811.01	1.88	58,757.26	3,208,537.05
세종 세종시	0.0021	12,544.41	1.26	49,836.08	1,451,484.11
경북 포항시	0.0020	1,753.20	0.69	5,052.32	201,694.85
경북 문경시	0.0020	2,040.62	0.32	9,326.47	518,906.13
경남 하동군	0.0020	354.08	0.12	1,348.19	109,679.37
경기 화성시	0.0019	8,756.66	0.37	42,666.07	1,823,309.01
전북 정읍시	0.0018	8,782.86	0.44	61,029.21	3,266,422.76
경기 고양시	0.0018	1,648.76	0.21	9,163.38	494,353.11
경북 경주시	0.0018	1,344.73	0.21	9,955.43	293,853.59
전남 장성군	0.0018	891.01	0.42	3,694.50	412,726.87
전남 구례군	0.0017	1,348.01	0.12	12,265.51	514,025.88
경기 포천시	0.0017	26,415.38	1.04	107,888.72	2,754,984.89
전북 남원시	0.0017	8,441.90	0.31	41,257.25	2,259,243.11
경기 여주시	0.0017	13,432.92	0.54	55,158.79	2,526,769.81
충북 괴산군	0.0016	1,898.38	0.17	9,106.09	640,320.93
충북 충주시	0.0016	1,774.94	0.20	13,843.65	799,205.60
전북 익산시	0.0015	7,852.20	0.29	53,096.35	3,053,213.20
전남 함평군	0.0015	8,409.08	0.39	40,487.59	1,784,900.31
경북 상주시	0.0015	3,838.60	0.33	15,978.46	835,533.82
경기 평택시	0.0015	10,763.52	0.55	61,201.08	2,686,537.62
충남 예산군	0.0015	5,893.18	0.75	21,228.99	1,625,154.58
전북 김제시	0.0015	8,942.01	0.40	84,450.99	2,869,350.63
경남 거창군	0.0015	1,831.19	0.21	13,651.81	806,737.70
대전 서구	0.0015	103.37	0.33	541.65	74,490.70
서울 관악구	0.0015	7.50	0.00	15.00	7,742.00
강원 정선군	0.0015	16.33	0.14	150.56	5,702.85
서울 서대문구	0.0015	2.00	0.00	2.00	3,231.00
서울 성북구	0.0015	7.00	0.01	7.00	608.50
강원 화천군	0.0015	1,484.97	0.19	10,052.44	229,794.67
서울 중랑구	0.0015	25.00	0.00	25.00	82,268.50

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
강원 고성군	0.0015	210.29	0.08	1,296.81	40,283.94
강원 인제군	0.0015	1,205.95	0.15	3,831.51	64,100.36
서울 은평구	0.0015	12.00	0.00	12.00	25,599.00
강원 강릉시	0.0015	284.03	0.15	1,282.97	37,428.44
부산 북구	0.0015	19.00	0.00	83.00	29,637.00
경기 구리시	0.0015	29.07	0.01	159.93	77,933.00
부산 동래구	0.0015	45.00	0.00	83.00	29,436.00
부산 연제구	0.0015	50.00	0.00	50.00	3,144.00
강원 삼척시	0.0015	2,349.59	0.26	5,509.24	130,545.23
광주 동구	0.0015	13.86	0.00	13.86	89,283.00
서울 도봉구	0.0015	5.00	0.00	5.00	26,486.00
인천 부평구	0.0015	8.50	0.01	33.83	32,580.00
서울 강남구	0.0015	9.00	0.00	26.00	2,809.80
서울 강동구	0.0015	12.00	0.00	12.00	5,827.00
서울 강서구	0.0015	14.50	0.00	26.00	54,048.50
경남 양산시	0.0015	3,450.29	0.20	22,731.49	505,257.87
대구 달서구	0.0015	49.00	0.01	186.75	3,557.13
인천 미추홀구	0.0015	27.40	0.02	149.40	10,350.60
인천 연수구	0.0015	75.45	0.02	224.64	10,475.91
대구 중구	0.0015	20.67	0.03	31.33	73,222.00
전북 전주시	0.0015	1,116.48	0.26	1,215.68	666,616.36
부산 사하구	0.0015	41.67	0.08	41.67	544.33
강원 동해시	0.0015	32.99	0.10	448.22	99,738.15
부산 강서구	0.0015	288.16	0.05	1,462.99	30,471.50
경기 의정부시	0.0015	1,842.36	0.49	3,683.64	348,300.71
인천 중구	0.0015	38.57	0.07	166.61	7,716.18
울산 중구	0.0015	42.77	0.08	601.69	49,573.74
울산 동구	0.0015	40.28	0.12	196.67	4,175.94
대구 수성구	0.0015	49.39	0.19	310.68	61,891.58
대구 북구	0.0015	23.05	0.19	175.56	447,515.36
대전 대덕구	0.0015	26.03	0.06	76.68	210,574.09
강원 속초시	0.0015	336.57	0.39	344.86	27,410.29
경기 수원시	0.0015	35.39	0.06	77.61	46,800.78
제주 서귀포시	0.0015	2,947.94	0.35	5,296.98	141,919.94
경남 거제시	0.0015	368.75	0.08	1,300.00	71,285.93
경남 남해군	0.0015	144.20	0.09	739.65	31,824.76
경북 울릉군	0.0015	24.38	0.01	78.67	585.00
대전 유성구	0.0015	47.58	0.22	195.29	93,086.93
부산 기장군	0.0015	59.35	0.10	295.07	16,517.31
충남 계룡시	0.0015	15.18	0.04	460.77	434,034.77
전남 목포시	0.0015	128.15	0.61	256.08	610,025.62
경기 하남시	0.0015	16.74	0.05	41.84	4,399.11
광주 서구	0.0015	36.00	0.06	74.57	285,918.21

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
인천 옹진군	0.0015	75.36	0.04	228.86	9,916.31
광주 북구	0.0015	35.63	0.33	89.00	215,376.67
전남 해남군	0.0015	7,492.75	0.34	12,207.89	426,917.38
부산 해운대구	0.0015	45.78	0.03	122.22	2,819.22
강원 태백시	0.0015	656.11	0.09	725.75	335,373.24
부산 금정구	0.0015	23.86	0.04	68.86	6,454.07
울산 남구	0.0015	45.31	0.02	142.66	15,244.83
경북 청송군	0.0015	1,031.48	0.13	2,247.96	43,815.63
전북 장수군	0.0015	1,424.39	0.20	14,212.28	747,600.54
광주 남구	0.0015	110.50	0.09	464.11	350,798.72
전남 광양시	0.0015	110.00	0.09	293.48	38,269.57
광주 광산구	0.0015	2,756.60	0.22	7,027.45	733,726.24
전남 고흥군	0.0015	646.72	0.50	2,763.57	128,370.61
전북 무주군	0.0015	406.76	0.12	1,348.86	171,485.95
충남 태안군	0.0015	1,368.28	0.14	4,417.60	222,519.58
대전 중구	0.0015	23.18	0.02	91.85	29,132.00
대전 동구	0.0015	99.67	0.03	294.90	18,205.88
충남 금산군	0.0015	2,724.96	0.23	11,012.80	415,120.58
충북 증평군	0.0015	2,702.11	0.23	12,809.26	1,463,912.79
충북 옥천군	0.0015	4,008.14	0.28	12,937.39	644,702.43
충북 영동군	0.0015	3,878.95	0.21	11,724.35	539,132.87
충북 보은군	0.0015	3,187.40	0.28	13,361.98	692,430.13
충북 단양군	0.0015	436.67	0.07	2,228.27	138,286.60
경기 양주시	0.0015	11,158.04	0.88	63,111.05	1,290,351.82
경기 의왕시	0.0015	28.60	0.07	143.55	4,659.86
경기 오산시	0.0015	2,848.73	0.18	4,076.20	910,184.53
경기 안산시	0.0015	140.89	0.07	713.32	29,136.56
경기 시흥시	0.0015	47.73	0.14	343.21	19,738.55
인천 서구	0.0015	45.98	0.08	475.55	542,156.62
경기 광명시	0.0015	101.77	0.16	998.19	14,196.69
전남 보성군	0.0015	1,057.71	0.13	3,570.47	307,680.57
전남 신안군	0.0015	422.04	0.21	448.93	119,915.64
경기 안양시	0.0015	50.00	0.01	50.00	10,902.00
전남 완도군	0.0015	18.82	0.07	64.00	17,542.12
경북 울진군	0.0015	21.41	0.13	158.44	3,928.42
울산 북구	0.0015	40.01	0.10	1,722.84	117,695.39
경북 영덕군	0.0015	149.20	0.05	1,287.86	34,937.37
경북 의성군	0.0015	6,003.83	0.59	15,452.73	917,709.02
경북 영양군	0.0015	164.05	0.10	184.38	8,490.36
경남 밀양시	0.0015	1,827.97	0.24	8,455.48	340,605.31
서울 구로구	0.0015	37.00	0.00	48.00	11,637.00
경북 영천시	0.0015	5,150.24	0.32	29,225.51	704,870.20
경남 사천시	0.0015	202.58	0.15	1,069.38	84,014.30

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
대구 달성군	0.0015	756.25	0.07	4,002.13	356,575.70
대구 동구	0.0015	43.28	0.28	4,139.06	110,388.85
경북 청도군	0.0015	345.70	0.70	1,657.06	88,195.43
경북 고령군	0.0015	186.76	0.16	908.36	241,584.85
서울 서초구	0.0014	46.71	0.00	206.07	3,270.07
전남 여수시	0.0014	1,234.75	0.25	6,705.85	218,261.60
경남 창원시	0.0014	155.30	0.08	719.86	141,535.91
경남 산청군	0.0014	1,534.34	0.13	9,640.84	468,214.37
충남 서산시	0.0014	1,590.07	0.17	6,438.95	569,681.41
전북 순창군	0.0014	3,530.76	0.20	17,174.77	1,332,940.42
경남 김해시	0.0014	1,156.10	0.23	9,469.86	462,187.89
경북 예천군	0.0014	2,526.69	0.15	12,136.32	897,271.01
경북 칠곡군	0.0014	3,361.13	0.19	26,678.95	797,985.20
경북 경산시	0.0014	435.82	0.17	3,124.23	216,349.87
경북 군위군	0.0014	2,174.53	2.47	8,634.07	485,580.04
제주 제주시	0.0014	10,497.54	0.76	37,944.73	420,232.59
경남 함양군	0.0014	1,369.31	0.29	3,073.42	240,224.50
인천 남동구	0.0014	177.49	0.11	1,313.70	14,988.74
경기 양평군	0.0014	6,297.57	0.27	25,311.93	990,457.81
경북 김천시	0.0014	4,222.02	0.25	18,080.28	863,969.38
경기 과천시	0.0014	66.33	0.01	226.92	2,553.17
경기 동두천시	0.0014	4,126.19	0.32	12,098.41	1,611,749.93
경기 광주시	0.0014	3,031.30	0.20	9,718.62	516,386.29
충남 보령시	0.0014	2,564.91	0.26	17,066.82	1,025,149.49
강원 철원군	0.0014	6,998.16	0.52	37,605.97	1,088,230.28
충남 논산시	0.0014	8,022.83	0.34	31,718.93	2,188,431.64
전남 강진군	0.0014	4,667.04	0.29	11,477.00	581,548.76
경북 봉화군	0.0014	4,158.70	0.16	37,977.57	985,761.62
전남 영광군	0.0014	5,307.51	0.28	26,567.73	1,508,429.80
충남 부여군	0.0014	7,846.26	0.38	30,754.51	1,977,923.08
경북 영주시	0.0014	4,025.68	0.23	30,846.11	2,770,679.83
전북 임실군	0.0014	3,256.11	0.25	17,300.57	1,312,107.55
전남 진도군	0.0014	893.73	0.07	2,860.73	71,900.34
경남 고성군	0.0014	1,125.15	0.18	8,407.34	333,629.20
경기 부천시	0.0014	24.77	0.03	116.85	23,871.69
경기 군포시	0.0014	31.69	0.03	96.44	9,742.13
경북 구미시	0.0014	650.57	1.19	5,350.27	543,154.12
충남 공주시	0.0014	4,046.88	0.36	14,700.00	985,675.03
강원 평창군	0.0014	73.79	0.36	308.97	9,299.05
전남 담양군	0.0014	1,051.16	0.12	8,611.80	546,904.92
강원 원주시	0.0014	1,985.00	0.15	10,279.43	626,802.38
경북 성주군	0.0014	955.67	0.37	4,659.10	472,298.89
전남 순천시	0.0014	1,369.99	0.17	9,153.80	243,574.76

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)	10km 이내 사육두수 합계(마리)
인천 강화군	0.0014	1,840.66	0.17	15,027.18	995,086.43
충남 서천군	0.0014	2,888.30	0.21	13,923.84	805,965.50
강원 홍천군	0.0014	564.01	0.21	2,761.83	203,118.57
강원 양양군	0.0014	42.65	0.15	341.18	12,332.53
충북 청주시	0.0014	3,097.52	0.33	26,608.76	1,018,906.30
전북 완주군	0.0014	2,378.72	0.10	13,088.49	874,958.39
강원 양구군	0.0014	147.99	0.09	1,741.46	54,282.41
경남 함안군	0.0014	1,490.53	0.26	7,247.57	501,366.26
전남 곡성군	0.0014	2,786.80	0.20	23,475.21	1,381,633.64
전남 화순군	0.0014	1,311.10	0.14	5,682.34	418,813.29
전남 장흥군	0.0014	4,100.82	0.38	14,111.54	555,989.44
경북 안동시	0.0014	2,694.68	0.22	12,433.58	598,655.82
충남 아산시	0.0014	9,203.08	0.40	33,159.30	2,052,551.68
충남 청양군	0.0014	2,454.70	0.22	12,719.41	721,044.24
경기 연천군	0.0014	13,734.21	0.63	52,030.87	1,863,341.11
충남 홍성군	0.0014	2,285.03	0.66	18,505.33	1,429,383.32
전북 진안군	0.0014	3,254.75	0.13	19,973.62	953,902.49
강원 춘천시	0.0014	645.97	0.15	3,362.89	194,403.28
인천 계양구	0.0014	435.84	0.05	3,523.72	87,564.89
경기 가평군	0.0014	5,117.54	0.41	23,097.95	221,351.02
경기 성남시	0.0014	148.83	0.94	196.25	3,466.42
충남 당진시	0.0014	5,370.89	0.72	23,044.85	1,444,299.04
전북 군산시	0.0014	423.35	0.10	2,225.84	612,184.01
경남 의령군	0.0014	2,338.92	0.30	15,600.34	697,366.85
강원 영월군	0.0014	95.93	0.11	326.32	50,487.29
경기 용인시	0.0014	9,539.71	0.50	46,481.51	1,457,285.28
울산 울주군	0.0014	405.41	0.15	4,214.26	262,896.18
충북 진천군	0.0014	5,975.10	0.31	39,646.42	2,488,434.21
충북 제천시	0.0014	469.03	0.15	3,558.94	250,870.06
경남 창녕군	0.0014	6,217.07	0.40	30,768.22	1,339,271.64
강원 횡성군	0.0014	1,518.95	0.32	8,057.21	434,076.18
경남 합천군	0.0014	1,008.99	0.46	4,589.38	390,152.80

자료: 저자 작성.

〈부표 1-3〉 2021/22년 시군구별 사육농가 HPAI 발생 확률 및 4대 발생 요인

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	발생농장과 거리 (km)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)
전남 영암군	0.0129	15,960.37	0.58	5.68	58,260.62
전남 무안군	0.0052	14,526.28	0.80	14.36	29,692.50
세종 세종시	0.0046	14,761.36	0.64	7.05	48,570.19
전북 김제시	0.0035	11,568.66	0.43	10.72	102,989.82
경남 김해시	0.0020	948.21	0.22	7.88	9,017.66
충남 천안시	0.0020	16,479.12	0.53	6.97	78,581.93
충남 논산시	0.0014	7,715.83	0.34	13.58	28,984.04
전남 나주시	0.0014	17,461.87	0.77	9.24	78,299.28
충북 진천군	0.0010	6,434.28	0.29	5.05	58,320.22
전남 강진군	0.0009	3,900.87	0.41	13.90	8,757.45
충남 예산군	0.0009	9,337.79	0.49	11.75	23,705.89
충남 아산시	0.0009	7,806.66	0.33	5.32	30,207.29
충북 괴산군	0.0009	2,035.75	0.14	15.45	8,509.11
충남 보령시	0.0008	3,351.07	0.25	14.60	20,433.14
전남 담양군	0.0008	1,382.10	0.15	8.30	11,183.31
전북 정읍시	0.0008	8,463.64	0.43	7.27	50,636.22
경기 화성시	0.0007	8,165.65	0.38	7.80	41,477.14
전북 부안군	0.0007	12,385.91	0.41	6.13	76,035.21
전남 고흥군	0.0007	1,404.90	0.23	14.66	5,127.89
충북 음성군	0.0007	7,645.97	0.26	8.08	68,773.25
서울 강남구	0.0007	10.33	0.00	40.35	24.00
강원 양구군	0.0007	299.34	0.10	131.65	2,273.59
충남 계룡시	0.0007	17.89	0.07	22.60	43.84
대구 달서구	0.0007	33.75	0.01	62.23	129.25
강원 강릉시	0.0007	338.20	0.16	130.36	1,948.21
인천 부평구	0.0007	10.17	0.01	38.25	60.83
경남 함양군	0.0007	1,455.01	0.18	56.28	3,336.07
강원 철원군	0.0007	14,205.75	0.67	122.62	135,683.74
강원 삼척시	0.0007	1,971.22	0.26	120.83	4,707.96
강원 태백시	0.0007	539.02	0.08	102.89	593.47
강원 양양군	0.0007	42.39	0.11	146.46	319.14
제주 서귀포시	0.0007	2,492.78	0.40	133.41	4,443.15
서울 광진구	0.0007	4.00	0.00	45.33	4.00
경남 양산시	0.0007	2,282.30	0.19	24.59	18,247.71
제주 제주시	0.0007	15,193.21	0.76	117.72	45,116.27
서울 강동구	0.0007	12.00	0.00	49.33	12.00
강원 화천군	0.0007	1,411.30	0.21	122.84	7,723.95
서울 강서구	0.0007	10.00	0.00	43.56	64.00
서울 관악구	0.0007	18.00	0.00	32.85	36.00
경남 남해군	0.0007	154.50	0.09	24.89	891.84
광주 동구	0.0007	13.43	0.00	16.60	13.43

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	발생농장과 거리 (km)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)
경기 하남시	0.0007	23.18	0.07	48.72	61.88
부산 연제구	0.0007	50.00	0.00	23.07	50.00
인천 옹진군	0.0007	49.26	0.03	85.68	158.40
부산 해운대구	0.0007	25.43	0.00	31.26	70.86
부산 북구	0.0007	16.00	0.01	20.90	87.00
전남 목포시	0.0007	43.40	0.62	7.14	47.40
경기 구리시	0.0007	26.83	0.00	53.70	135.44
대전 유성구	0.0007	61.94	0.21	19.18	266.28
경기 군포시	0.0007	24.93	0.09	17.98	89.07
경기 과천시	0.0007	61.64	0.01	32.50	193.55
인천 미추홀구	0.0007	13.67	0.01	33.33	57.33
인천 연수구	0.0007	67.75	0.00	32.42	232.13
부산 동래구	0.0007	30.00	0.00	21.79	68.00
부산 금정구	0.0007	25.53	0.02	23.93	79.07
서울 중랑구	0.0007	17.50	23.36	53.22	17.50
서울 성북구	0.0007	6.00	0.00	50.26	9.67
서울 은평구	0.0007	17.50	0.00	51.89	17.50
경기 부천시	0.0007	17.27	0.06	38.20	95.55
광주 남구	0.0007	153.50	0.28	20.05	730.28
경기 수원시	0.0007	29.60	0.06	17.40	68.30
대구 중구	0.0007	32.50	0.07	68.26	32.50
부산 강서구	0.0007	390.67	0.02	15.82	3,607.50
대구 북구	0.0007	23.09	0.21	76.50	167.01
대구 수성구	0.0007	32.32	0.23	64.15	169.46
서울 서초구	0.0007	51.82	0.00	35.54	250.55
울산 중구	0.0007	39.61	0.16	53.80	546.07
광주 북구	0.0007	40.08	0.54	9.63	85.32
경기 성남시	0.0007	1,198.73	0.39	35.01	1,244.20
경기 의정부시	0.0007	1,983.92	0.51	67.41	3,962.38
대전 대덕구	0.0007	20.60	0.02	12.01	74.74
강원 속초시	0.0007	36.70	0.05	156.94	281.45
대전 서구	0.0007	51.28	0.21	26.26	169.28
경남 하동군	0.0007	316.30	0.14	13.99	966.99
서울 도봉구	0.0007	5.00	0.00	57.59	5.00
전북 전주시	0.0007	785.51	0.11	15.02	880.16
울산 남구	0.0007	39.04	0.02	51.41	128.72
인천 남동구	0.0007	127.29	0.06	31.05	1,576.65
부산 사하구	0.0007	27.50	0.00	24.68	27.50
인천 중구	0.0007	36.55	0.05	48.15	180.23
강원 동해시	0.0007	37.47	0.12	126.94	455.03
광주 서구	0.0007	35.50	0.03	20.92	119.93
경기 가평군	0.0007	5,177.92	0.40	85.49	23,027.07

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	발생농장과 거리 (km)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)
경남 진주시	0.0007	1,257.01	0.13	27.58	6,891.81
전북 남원시	0.0007	9,139.73	0.31	40.24	44,011.99
경남 통영시	0.0007	24.59	0.02	49.36	127.61
전북 임실군	0.0007	3,303.89	0.23	29.70	23,402.21
전북 완주군	0.0007	1,678.63	0.09	17.74	8,333.47
전북 무주군	0.0007	394.16	0.09	55.65	1,386.35
충남 태안군	0.0007	1,175.95	0.13	35.47	3,058.66
충남 서천군	0.0007	3,786.65	0.21	33.23	15,726.83
대전 동구	0.0007	14.66	0.03	21.75	45.11
충북 증평군	0.0007	2,777.59	0.19	16.34	13,034.63
충북 옥천군	0.0007	4,478.90	0.29	34.08	12,860.79
충북 보은군	0.0007	3,729.94	0.31	30.48	13,930.09
인천 강화군	0.0007	2,082.50	0.19	70.88	21,056.58
경기 양주시	0.0007	9,437.36	1.00	75.35	42,156.90
경기 안성시	0.0007	16,554.90	0.73	13.54	50,840.22
경기 평택시	0.0007	12,487.50	0.56	8.24	51,419.96
경기 용인시	0.0007	10,356.38	0.42	23.92	35,587.72
경기 김포시	0.0007	18,169.30	0.67	61.08	78,468.44
경기 파주시	0.0007	5,560.85	0.51	73.43	22,429.37
경기 의왕시	0.0007	37.60	0.04	22.81	180.33
경기 오산시	0.0007	3,131.15	0.12	7.64	4,534.62
경기 여주시	0.0007	15,441.43	0.56	35.27	56,010.64
경기 안산시	0.0007	96.27	0.14	19.96	588.06
경기 시흥시	0.0007	37.94	0.22	26.18	263.17
인천 서구	0.0007	40.37	0.08	46.76	529.96
경기 동두천시	0.0007	3,485.67	0.28	84.57	10,176.79
경기 남양주시	0.0007	1,208.97	0.29	62.21	2,536.99
경기 광명시	0.0007	159.11	0.19	28.87	1,675.00
경기 고양시	0.0007	1,314.42	0.21	55.75	4,577.31
인천 계양구	0.0007	481.87	0.04	44.50	3,098.91
전남 곡성군	0.0007	3,479.21	0.22	21.37	29,036.28
광주 광산구	0.0007	3,023.71	0.25	23.62	10,670.11
전북 장수군	0.0007	1,335.01	0.21	50.53	15,571.07
경북 군위군	0.0007	2,692.33	0.19	93.78	10,705.72
경북 포항시	0.0007	1,623.35	0.20	98.99	4,388.27
경북 영덕군	0.0007	99.32	0.05	132.63	838.16
경북 봉화군	0.0007	5,493.61	0.18	82.58	50,645.36
경북 안동시	0.0007	2,806.85	0.22	78.67	12,100.72
경북 영양군	0.0007	195.23	0.14	111.70	215.70
경북 청송군	0.0007	1,094.34	0.19	111.54	2,434.21
서울 구로구	0.0007	12.00	0.00	36.56	23.00

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	발생농장과 거리 (km)	1km 이내 사육 두수 합계(마리)
경북 문경시	0.0007	2,860.51	0.27	36.08	12,128.90
전남 광양시	0.0007	35.52	0.13	25.63	208.48
경북 김천시	0.0007	3,499.33	0.24	80.84	13,833.00
대구 동구	0.0007	36.69	0.17	73.99	3,220.14
경북 청도군	0.0007	363.49	0.17	45.18	1,966.36
경북 고령군	0.0007	391.44	0.12	69.60	2,119.64
부산 기장군	0.0007	38.54	0.06	35.13	220.73
경남 밀양시	0.0007	1,907.77	0.23	25.60	10,146.73
울산 북구	0.0007	31.60	0.09	61.36	1,291.65
경남 산청군	0.0007	1,362.88	0.14	37.23	8,129.27
경남 의령군	0.0007	2,440.85	0.26	44.05	16,659.25
경북 경산시	0.0007	410.05	0.20	61.14	2,381.71
경북 성주군	0.0007	690.41	0.13	86.96	3,863.92
부산 부산군	0.0007	18.00	0.00	36.69	313.00
전남 해남군	0.0007	4,168.24	0.40	14.01	6,222.90
전남 장성군	0.0007	1,182.54	0.12	23.35	3,758.12
전남 보성군	0.0007	1,704.83	0.20	20.46	3,903.39
전남 순천시	0.0007	1,440.16	0.20	27.18	7,815.75
전남 신안군	0.0007	383.76	0.21	34.99	406.48
경북 울진군	0.0007	23.23	0.11	130.81	170.10
울산 동구	0.0007	39.12	0.14	60.52	198.29
강원 고성군	0.0007	170.89	0.09	169.34	875.27
충남 공주시	0.0007	3,609.52	0.39	22.31	13,222.32
경기 연천군	0.0007	12,975.87	0.65	101.19	38,563.26
경남 거제시	0.0007	296.40	0.05	48.83	1,202.43
경기 광주시	0.0007	2,880.23	0.22	42.25	8,105.68
경북 울릉군	0.0007	17.41	0.01	270.59	72.78
충북 단양군	0.0007	715.50	0.06	44.62	3,924.16
전남 완도군	0.0007	19.63	0.05	24.76	66.71
충남 금산군	0.0007	2,495.45	0.23	33.37	10,735.75
충남 당진시	0.0007	4,013.73	0.31	17.90	18,809.89
전남 여수시	0.0007	877.42	0.17	26.77	4,388.78
강원 인제군	0.0007	863.91	0.13	132.31	5,568.68
경남 사천시	0.0007	203.16	0.15	13.17	1,066.30
경북 구미시	0.0007	383.49	0.14	85.52	1,964.00
대구 달성군	0.0007	992.06	0.10	62.32	4,201.13
전북 군산시	0.0007	699.92	0.09	26.82	2,782.49
전남 구례군	0.0007	2,252.15	0.17	38.96	16,283.16
경북 영천시	0.0007	4,808.62	0.30	78.72	27,800.35
강원 원주시	0.0007	2,431.20	0.19	45.51	10,146.63
충남 서산시	0.0007	1,573.12	0.19	26.15	6,974.46
강원 횡성군	0.0007	1,567.14	0.35	69.14	8,281.05

(계속)

지역	발생 확률	사육두수 (마리)	축산차량 방문 횟수(회/일)	발생농장과 거리 (km)	1km 이내 사육두수 합계(마리)
강원 평창군	0.0007	70.70	0.13	79.41	570.75
경남 함안군	0.0007	1,286.71	0.34	37.50	6,124.99
강원 춘천시	0.0007	598.97	0.12	97.10	3,321.72
강원 홍천군	0.0007	562.24	0.25	85.48	2,437.63
전남 장흥군	0.0007	2,977.61	0.40	25.45	8,742.65
경기 이천시	0.0007	14,647.74	0.47	26.77	39,780.25
전북 고창군	0.0007	17,724.74	0.55	16.42	53,559.47
경남 합천군	0.0007	1,236.68	0.19	60.03	5,990.94
전남 화순군	0.0007	1,254.32	0.12	21.54	4,162.51
전북 순창군	0.0007	2,947.42	0.22	21.65	16,723.95
경남 고성군	0.0007	1,130.33	0.22	34.25	7,506.21
경기 포천시	0.0007	26,886.97	1.00	94.74	104,644.02
전남 영광군	0.0007	5,460.40	0.29	35.64	30,137.47
전남 함평군	0.0007	8,371.69	0.40	25.32	36,037.79
경북 칠곡군	0.0007	3,760.69	0.25	89.10	32,033.35
경북 의성군	0.0007	8,103.18	0.35	83.29	19,718.61
경남 창원시	0.0007	151.16	0.09	25.71	623.85
강원 정선군	0.0007	14.22	0.09	90.29	128.80
전북 익산시	0.0007	7,006.48	0.32	13.58	42,203.71
경남 창녕군	0.0007	6,785.58	0.30	40.95	35,478.89
대전 중구	0.0007	21.69	0.01	26.31	78.47
충북 영동군	0.0007	5,289.55	0.28	55.98	18,767.96
전남 진도군	0.0007	939.73	0.14	37.96	3,324.29
경북 상주시	0.0007	4,345.54	0.27	52.13	19,636.21
충남 청양군	0.0007	2,725.83	0.19	24.88	13,079.18
전북 진안군	0.0007	4,055.86	0.13	38.84	22,717.19
경기 양평군	0.0007	7,950.76	0.33	55.38	35,685.23
충북 충주시	0.0007	1,554.82	0.16	16.84	12,060.25
충북 청주시	0.0007	2,849.52	0.28	14.18	21,095.16
강원 영월군	0.0007	49.58	0.12	62.86	216.41
경북 예천군	0.0007	3,104.78	0.14	53.26	19,752.92
경북 영주시	0.0007	4,848.70	0.27	63.51	35,088.51
충남 부여군	0.0007	5,635.74	0.30	25.07	22,903.71
경북 경주시	0.0007	1,405.43	0.15	70.37	6,911.86
울산 울주군	0.0007	357.15	0.15	45.38	4,133.15
충남 홍성군	0.0007	2,044.39	0.27	14.37	15,858.73
경남 거창군	0.0007	1,866.28	0.24	71.85	14,281.44
충북 제천시	0.0007	300.66	0.15	35.00	2,420.26

자료: 저자 작성.

부 록 2

연도별·시군구별 가금류 사육현황 주요 통계표

〈부표 2-1〉 2016/17년 시군구별 가금류 사육현황 통계

단위: 개, 마리

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
강원 강릉시	313	4	303	6	133,704	427
강원 고성군	214	3	208	3	44,152	206
강원 동해시	141	0	139	2	5,911	42
강원 삼척시	287	5	280	2	733,906	2,557
강원 속초시	29	0	28	1	4,225	146
강원 양구군	89	2	87	0	137,298	1,543
강원 양양군	165	2	160	3	13,222	80
강원 영월군	458	3	450	5	126,254	276
강원 원주시	520	7	506	7	1,071,897	2,061
강원 인제군	114	0	114	0	153,355	1,345
강원 정선군	466	4	460	2	10,307	22
강원 철원군	146	1	144	1	1,187,059	8,131
강원 춘천시	1,057	6	1,040	11	418,743	396
강원 태백시	65	1	64	0	31,244	481
강원 평창군	539	10	521	8	52,110	97
강원 홍천군	737	5	725	7	421,847	572
강원 화천군	381	3	371	7	403,724	1,060
강원 횡성군	781	9	771	1	1,276,133	1,634
경기 가평군	84	0	84	0	584,051	6,953
경기 고양시 덕양구	64	1	60	3	144,333	2,255
경기 고양시 일산동구	18	1	17	0	244,113	13,562
경기 고양시 일산서구	15	0	15	0	188,435	12,562
경기 과천시	19	1	17	1	2,568	135
경기 광명시	50	0	49	1	6,809	136
경기 광주시	81	0	80	1	629,963	7,777
경기 구리시	8	1	7	0	638	80
경기 군포시	9	0	9	0	204	23
경기 김포시	155	9	143	3	2,241,836	14,463

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
경기 남양주시	101	0	100	1	126,918	1,257
경기 동두천시	25	0	25	0	158,364	6,335
경기 성남시 분당구	3	0	3	0	20,360	6,787
경기 성남시 수정구	4	0	4	0	281	70
경기 성남시 중원구	6	0	6	0	2,270	378
경기 수원시 권선구	11	2	9	0	62,238	5,658
경기 수원시 장안구	7	0	7	0	211	30
경기 수원시 팔달구	1	0	1	0	4	4
경기 시흥시	90	1	87	2	9,262	103
경기 안산시 단원구	23	8	15	0	6,806	296
경기 안산시 상록구	26	0	25	1	1,665	64
경기 안성시	191	5	162	24	5,000,787	26,182
경기 양주시	107	1	103	3	1,354,946	12,663
경기 양평군	170	7	158	5	1,803,986	10,612
경기 여주시	119	13	101	5	4,426,243	37,195
경기 연천군	202	3	197	2	2,366,693	11,716
경기 오산시	14	0	14	0	39,566	2,826
경기 용인시 기흥구	5	0	5	0	205	41
경기 용인시 수지구	1	0	1	0	7	7
경기 용인시 처인구	101	4	93	4	2,988,391	29,588
경기 의왕시	30	0	30	0	5,092	170
경기 의정부시	9	0	9	0	1,233	137
경기 이천시	167	6	157	4	4,147,542	24,836
경기 파주시	171	5	163	3	1,434,453	8,389
경기 평택시	108	4	97	7	4,311,681	39,923
경기 포천시	245	3	241	1	7,730,379	31,553
경기 하남시	11	0	11	0	295	27
경기 화성시	253	7	242	4	3,698,641	14,619
경남 거제시	342	3	334	5	26,074	76
경남 거창군	661	4	623	34	2,291,346	3,466
경남 고성군	526	6	512	8	496,183	943
경남 김해시	340	5	327	8	782,043	2,300
경남 남해군	538	8	524	6	60,703	113
경남 밀양시	352	10	338	4	946,892	2,690
경남 사천시	322	5	313	4	39,734	123
경남 산청군	400	2	391	7	878,794	2,197

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
경남 양산시	232	15	215	2	1,442,615	6,218
경남 의령군	347	4	338	5	1,049,744	3,025
경남 진주시	571	6	554	11	777,504	1,362
경남 창녕군	333	5	318	10	2,486,116	7,466
경남 창원시 마산합	218	2	213	3	9,482	43
경남 창원시 마산회	32	0	32	0	1,670	52
경남 창원시 성산구	23	0	22	1	3,474	151
경남 창원시 의창구	130	1	124	5	7,741	60
경남 창원시 진해구	65	4	58	3	7,014	108
경남 통영시	165	4	160	1	3,348	20
경남 하동군	582	5	565	12	130,820	225
경남 함안군	274	4	268	2	598,506	2,184
경남 함양군	425	4	403	18	399,578	940
경남 합천군	712	13	690	9	995,656	1,398
경북 경산시	152	11	139	2	190,119	1,251
경북 경주시	779	18	750	11	1,985,485	2,549
경북 고령군	217	10	204	3	270,828	1,248
경북 구미시	187	4	182	1	460,564	2,463
경북 군위군	147	3	142	2	1,026,154	6,981
경북 김천시	218	2	215	1	3,981,704	18,265
경북 문경시	487	5	482	0	1,122,084	2,304
경북 봉화군	551	10	533	8	1,882,134	3,416
경북 상주시	450	5	444	1	3,474,382	7,721
경북 성주군	196	1	192	3	664,844	3,392
경북 안동시	427	10	410	7	1,616,048	3,785
경북 영덕군	194	3	187	4	54,136	279
경북 영양군	74	3	70	1	9,448	128
경북 영주시	459	9	443	7	2,822,188	6,149
경북 영천시	235	3	227	5	2,430,304	10,342
경북 예천군	740	10	719	11	1,684,657	2,277
경북 울릉군	7	0	7	0	590	84
경북 울진군	333	4	326	3	12,412	37
경북 의성군	475	9	463	3	2,916,394	6,140
경북 청도군	154	3	150	1	133,599	868
경북 청송군	62	2	60	0	504,312	8,134
경북 칠곡군	169	10	152	7	1,907,703	11,288

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
광주 광산구	43	2	39	2	280,203	6,516
광주 남구	12	4	7	1	1,899	158
광주 동구	1	0	1	0	40	40
광주 북구	21	1	20	0	7,582	361
광주 서구	6	0	5	1	11,527	1,921
대구 달서구	5	0	4	1	33	7
대구 달성군	248	8	237	3	315,179	1,271
대구 동구	81	3	74	4	20,349	251
대구 북구	52	0	51	1	2,017	39
대구 수성구	11	0	11	0	832	76
대구 중구	1	0	1	0	30	30
대전 대덕구	47	0	46	1	2,836	60
대전 동구	75	2	73	0	1,428	19
대전 서구	54	3	51	0	3,148	58
대전 유성구	91	3	85	3	57,396	631
대전 중구	31	2	28	1	1,576	51
부산 강서구	71	1	65	5	17,280	243
부산 금정구	10	2	8	0	402	40
부산 기장군	85	2	75	8	14,943	176
부산 동래구	1	0	1	0	5	5
부산 북구	6	0	6	0	182	30
부산 사하구	2	0	2	0	70	35
부산 서구	2	0	2	0	750	375
부산 연제구	1	0	1	0	70	70
부산 해운대구	12	0	11	1	279	23
세종 세종시	289	10	274	5	3,843,663	13,300
울산 남구	20	0	18	2	1,008	50
울산 동구	11	0	7	4	294	27
울산 북구	82	2	77	3	3,885	47
울산 울주군	468	23	436	9	432,896	925
울산 중구	19	0	19	0	1,639	86
인천 강화군	156	7	147	2	912,420	5,849
인천 계양구	14	0	14	0	73,889	5,278
인천 남동구	16	0	16	0	7,827	489
인천 부평구	3	0	3	0	527	176
인천 서구	28	0	28	0	1,568	56

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
인천 연수구	1	0	1	0	500	500
인천 옹진군	23	1	21	1	2,080	90
인천 중구	25	1	24	0	7,292	292
전남 강진군	256	13	223	20	1,348,423	5,267
전남 고흥군	183	0	171	12	274,189	1,498
전남 곡성군	942	14	895	33	2,450,221	2,601
전남 광양시	451	9	442	0	14,184	31
전남 구례군	451	5	418	28	607,395	1,347
전남 나주시	313	10	201	102	7,862,499	25,120
전남 담양군	138	8	112	18	960,313	6,959
전남 목포시	8	0	7	1	10,501	1,313
전남 무안군	113	0	81	32	3,114,918	27,566
전남 보성군	413	6	387	20	1,004,485	2,432
전남 순천시	692	6	672	14	671,038	970
전남 신안군	63	1	61	1	36,279	576
전남 여수시	366	10	354	2	325,163	888
전남 영광군	217	5	204	8	2,854,532	13,155
전남 영암군	133	4	75	54	3,044,756	22,893
전남 완도군	277	6	271	0	4,397	16
전남 장성군	529	9	511	9	836,885	1,582
전남 장흥군	154	4	125	25	746,487	4,847
전남 진도군	104	2	93	9	254,929	2,451
전남 함평군	328	3	296	29	3,807,666	11,609
전남 해남군	175	6	157	12	982,705	5,615
전남 화순군	172	7	163	2	689,524	4,009
전북 고창군	280	6	238	36	4,348,815	15,531
전북 군산시	392	8	380	4	503,489	1,284
전북 김제시	532	22	490	20	4,348,964	8,175
전북 남원시	533	10	503	20	3,615,233	6,783
전북 무주군	314	4	306	4	203,745	649
전북 부안군	248	10	196	42	3,803,526	15,337
전북 순창군	392	7	378	7	1,908,222	4,868
전북 완주군	308	14	286	8	1,023,515	3,323
전북 익산시	610	16	581	13	5,952,707	9,759
전북 임실군	378	4	364	10	1,138,063	3,011
전북 장수군	438	11	417	10	465,985	1,064
전북 전주시 덕진구	29	2	27	0	786	27

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
전북 전주시 완산구	46	1	44	1	2,132	46
전북 정읍시	711	22	639	50	4,828,386	6,791
전북 진안군	823	11	800	12	3,221,224	3,914
제주 서귀포시	51	5	44	2	281,740	5,524
제주 제주시	131	9	114	8	1,664,168	12,704
충남 계룡시	22	2	17	3	629	29
충남 공주시	521	14	504	3	3,217,587	6,176
충남 금산군	217	1	216	0	641,753	2,957
충남 논산시	282	8	265	9	3,579,733	12,694
충남 당진시	435	8	424	3	3,410,562	7,840
충남 보령시	534	10	512	12	2,374,315	4,446
충남 부여군	312	2	305	5	3,265,665	10,467
충남 서산시	526	13	504	9	1,363,922	2,593
충남 서천군	430	6	419	5	1,647,906	3,832
충남 아산시	271	4	256	11	3,645,823	13,453
충남 예산군	330	9	308	13	1,819,279	5,513
충남 천안시 동남구	230	6	198	26	4,035,359	17,545
충남 천안시 서북구	68	0	66	2	2,865,014	42,133
충남 청양군	262	3	253	6	1,598,104	6,100
충남 태안군	203	1	193	9	291,178	1,434
충남 홍성군	602	8	570	24	2,205,374	3,663
충북 괴산군	220	6	206	8	1,379,358	6,270
충북 단양군	493	6	478	9	246,849	501
충북 보은군	195	4	188	3	1,039,274	5,330
충북 영동군	266	4	256	6	803,707	3,021
충북 옥천군	235	7	227	1	1,616,129	6,877
충북 음성군	466	6	389	71	5,904,328	12,670
충북 제천시	803	9	787	7	614,921	766
충북 증평군	32	0	32	0	325,785	10,181
충북 진천군	309	3	259	47	2,286,145	7,399
충북 청주시 상당구	165	2	159	4	502,351	3,045
충북 청주시 서원구	49	2	47	0	156,636	3,197
충북 청주시 청원구	139	4	117	18	494,408	3,557
충북 청주시 흥덕구	107	1	105	1	371,120	3,468
충북 충주시	793	17	764	12	2,785,226	3,512

주: 전체 시군구는 208개임.
자료: 가축위생방역지원본부 Fahms(축산농가 방역정보 시스템) 내부자료.

〈부표 2-2〉 2020/21년 시군구별 가금류 사육현황 통계

단위: 개, 마리

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
강원 삼척시	299	4	292	3	700,182	2,342
강원 원주시	643	3	636	4	1,274,387	1,982
경기 가평군	170	0	170	0	869,981	5,118
경기 고양시 덕양구	109	3	105	1	28,108	258
경기 고양시 일산동구	67	1	66	0	172,253	2,571
경기 고양시 일산서구	52	2	49	1	171,039	3,289
경기 과천시	12	0	11	1	796	66
경기 광명시	52	0	52	0	5,292	102
경기 광주시	174	1	173	0	527,446	3,031
경기 구리시	15	0	15	0	436	29
경기 군포시	16	0	16	0	507	32
경기 김포시	164	9	150	5	2,563,873	15,633
경기 남양주시	139	0	138	1	141,910	1,021
경기 동두천시	27	0	27	0	111,407	4,126
경기 부천시	13	0	13	0	322	25
경기 성남시 분당구	6	0	6	0	271	45
경기 성남시 수정구	1	0	1	0	100	100
경기 성남시 중원구	5	0	5	0	1,415	283
경기 수원시 권선구	10	0	9	1	440	44
경기 수원시 장안구	8	0	8	0	197	25
경기 시흥시	144	4	139	1	6,856	48
경기 안산시 단원구	35	5	30	0	6,761	193
경기 안산시 상록구	38	0	38	0	3,524	93
경기 안성시	326	9	305	12	5,138,578	15,763
경기 안양시 만안구	1	0	1	0	50	50
경기 양주시	132	2	128	2	1,461,803	11,074
경기 양평군	361	9	350	2	2,273,421	6,298
경기 여주시	361	16	343	2	4,835,853	13,396
경기 연천군	236	5	231	0	3,227,559	13,676
경기 오산시	15	2	13	0	42,731	2,849
경기 용인시 기흥구	9	0	9	0	175	19
경기 용인시 수지구	5	0	5	0	73	15
경기 용인시 처인구	249	5	238	6	2,508,697	10,075
경기 의왕시	43	1	42	0	1,241	29
경기 의정부시	14	0	13	1	25,793	1,842

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
경기 이천시	253	7	243	3	4,016,045	15,874
경기 파주시	252	7	242	3	1,357,055	5,385
경기 평택시	312	7	303	2	3,358,218	10,764
경기 포천시	295	3	290	2	7,792,537	26,415
경기 하남시	19	0	19	0	318	17
경기 화성시	491	9	476	6	4,282,025	8,721
경남 거제시	509	6	499	4	187,347	368
경남 거창군	1,035	9	1,001	25	1,895,281	1,831
경남 고성군	491	8	477	6	550,405	1,121
경남 김해시	589	11	570	8	678,650	1,152
경남 남해군	478	8	468	2	67,557	141
경남 밀양시	392	11	377	4	707,488	1,805
경남 사천시	448	10	436	2	90,385	202
경남 산청군	712	15	692	5	1,084,879	1,524
경남 양산시	310	9	299	2	1,052,418	3,395
경남 의령군	525	13	509	3	1,227,933	2,339
경남 진주시	651	16	630	5	873,321	1,342
경남 창녕군	373	8	358	7	2,294,192	6,151
경남 창원시 마산합	279	4	272	3	8,854	32
경남 창원시 마산회	62	3	57	2	1,982	32
경남 창원시 성산구	46	0	45	1	12,546	273
경남 창원시 의창구	296	4	292	0	86,368	292
경남 창원시 진해구	88	8	79	1	8,203	93
경남 통영시	249	6	241	2	9,487	38
경남 하동군	630	5	618	7	222,722	354
경남 함안군	433	7	420	6	643,914	1,487
경남 함양군	514	4	497	13	703,824	1,369
경남 합천군	1,101	16	1,083	2	1,104,897	1,004
경북 군위군	375	3	371	1	815,447	2,175
경북 문경시	421	6	415	0	856,269	2,034
경북 영주시	719	7	707	5	2,850,352	3,964
경북 울진군	568	2	564	2	12,151	21
경북 칠곡군	479	11	465	3	1,606,649	3,354
광주 광산구	67	1	64	2	184,692	2,757
광주 남구	18	2	15	1	1,989	111
광주 동구	7	0	7	0	97	14

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
광주 북구	30	0	30	0	1,069	36
광주 서구	14	0	14	0	504	36
대구 달서구	8	1	7	0	392	49
대구 달성군	413	13	398	2	311,590	754
대구 동구	158	8	150	0	6,838	43
대구 북구	95	1	93	1	2,190	23
대구 수성구	31	2	29	0	1,531	49
대구 중구	3	0	3	0	62	21
대전 대덕구	34	0	34	0	885	26
대전 동구	49	2	47	0	4,884	100
대전 서구	43	1	41	1	4,445	103
대전 유성구	76	5	70	1	3,616	48
대전 중구	33	2	31	0	765	23
부산 강서구	105	2	98	5	30,257	288
부산 금정구	14	5	9	0	334	24
부산 기장군	151	5	141	5	8,962	59
부산 동래구	1	0	1	0	45	45
부산 북구	2	0	2	0	38	19
부산 사하구	3	0	2	1	125	42
부산 연제구	1	0	1	0	50	50
부산 해운대구	9	0	9	0	412	46
울산 남구	29	1	27	1	1,314	45
울산 동구	18	0	17	1	725	40
울산 북구	164	4	159	1	6,561	40
울산 울주군	1,049	18	1,026	5	424,497	405
울산 중구	39	0	39	0	1,668	43
인천 강화군	493	10	478	5	878,189	1,781
인천 계양구	97	0	96	1	39,304	405
인천 남동구	49	0	46	3	7,786	159
인천 미추홀구	5	0	5	0	137	27
인천 부평구	6	0	6	0	51	9
인천 서구	91	1	88	2	4,047	44
인천 연수구	11	0	10	1	830	75
인천 옹진군	84	1	83	0	4,922	59
인천 중구	64	1	62	1	2,187	34
전남 강진군	283	7	261	15	1,306,792	4,618

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
전남 고흥군	684	7	667	10	439,817	643
전남 곡성군	774	10	750	14	2,151,414	2,780
전남 광양시	389	10	378	1	42,789	110
전남 구례군	329	4	311	14	443,495	1,348
전남 나주시	418	14	324	80	5,981,756	14,310
전남 담양군	698	17	663	18	726,425	1,041
전남 목포시	13	0	13	0	1,666	128
전남 무안군	164	0	146	18	2,516,211	15,343
전남 보성군	532	5	512	15	557,469	1,048
전남 순천시	592	11	574	7	808,296	1,365
전남 신안군	84	0	83	1	35,451	422
전남 여수시	341	4	336	1	422,273	1,238
전남 영광군	413	4	402	7	2,192,003	5,308
전남 영암군	231	6	170	55	3,889,629	16,838
전남 완도군	235	4	231	0	4,351	19
전남 장성군	594	15	572	7	529,257	891
전남 장흥군	244	1	210	33	1,000,601	4,101
전남 진도군	179	1	170	8	159,978	894
전남 함평군	370	9	337	24	3,111,360	8,409
전남 해남군	168	3	161	4	1,251,304	7,448
전남 화순군	512	14	497	1	666,065	1,301
전북 고창군	255	7	216	32	4,705,162	18,452
전북 군산시	463	10	450	3	196,010	423
전북 김제시	527	13	495	19	4,817,775	9,142
전북 남원시	631	4	598	29	5,326,839	8,442
전북 무주군	379	1	375	3	154,163	407
전북 부안군	436	9	382	45	5,588,186	12,817
전북 순창군	453	4	443	6	1,599,433	3,531
전북 완주군	596	10	586	0	1,417,716	2,379
전북 익산시	583	22	555	6	4,554,314	7,812
전북 임실군	636	5	627	4	2,070,883	3,256
전북 장수군	609	14	583	12	861,815	1,415
전북 전주시 덕진구	49	3	45	1	99,855	2,038
전북 전주시 완산구	42	1	41	0	1,745	42
전북 정읍시	782	13	733	36	6,910,633	8,837
전북 진안군	779	9	761	9	2,535,453	3,255

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
제주 서귀포시	81	6	67	8	238,783	2,948
제주 제주시	196	14	176	6	2,057,517	10,498
충남 계룡시	22	0	21	1	334	15
충남 공주시	615	15	597	3	2,488,834	4,047
충남 금산군	286	8	276	2	779,338	2,725
충남 논산시	507	9	491	7	4,051,562	7,991
충남 당진시	589	6	579	4	3,120,657	5,298
충남 보령시	772	12	752	8	1,975,011	2,558
충남 부여군	452	7	441	4	3,546,511	7,846
충남 서산시	644	13	627	4	1,024,006	1,590
충남 서천군	398	3	392	3	1,149,545	2,888
충남 아산시	344	6	336	2	3,156,658	9,176
충남 예산군	478	12	463	3	2,799,298	5,856
충남 천안시 동남구	286	5	270	11	3,747,008	13,101
충남 천안시 서북구	103	2	99	2	2,146,866	20,843
충남 청양군	474	3	464	7	1,153,759	2,434
충남 태안군	260	5	254	1	354,393	1,363
충남 홍성군	955	16	926	13	2,173,093	2,275
충북 괴산군	686	11	667	8	1,302,287	1,898
충북 단양군	609	4	601	4	264,225	434
충북 보은군	378	9	368	1	1,192,137	3,154
충북 영동군	309	4	304	1	1,175,410	3,804
충북 옥천군	340	7	332	1	1,362,766	4,008
충북 음성군	673	9	628	36	4,873,410	7,241
충북 제천시	1,039	6	1,029	4	483,679	466
충북 증평군	100	0	99	1	270,211	2,702
충북 진천군	430	5	401	24	2,563,337	5,961
충북 청주시 상당구	346	3	338	5	435,607	1,259
충북 청주시 서원구	125	0	122	3	56,692	454
충북 청주시 청원구	270	4	251	15	1,885,391	6,983
충북 청주시 흥덕구	157	2	154	1	403,881	2,572
충북 충주시	1,361	22	1,328	11	2,403,329	1,766

주: 전체 시군구는 175개임.
자료: 가축위생방역지원본부 Fahms(축산농가 방역정보 시스템) 내부자료.

〈부표 2-3〉 2021/22년 시군구별 가금류 사육현황 통계

단위: 개, 마리

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
강원 삼척시	316	6	310	0	601,390	1,903
강원 원주시	609	6	603	0	1,444,381	2,372
경기 가평군	169	0	169	0	875,069	5,178
경기 고양시 덕양구	105	2	103	0	72,696	692
경기 고양시 일산동구	60	0	60	0	142,671	2,378
경기 고양시 일산서구	51	2	49	0	47,579	933
경기 과천시	11	1	10	0	678	62
경기 광명시	54	1	53	0	8,592	159
경기 광주시	154	2	152	0	443,555	2,880
경기 구리시	18	0	18	0	483	27
경기 군포시	14	0	14	0	349	25
경기 김포시	152	9	143	0	2,707,410	17,812
경기 남양주시	124	1	123	0	149,912	1,209
경기 동두천시	24	0	24	0	83,656	3,486
경기 부천시	11	0	11	0	190	17
경기 성남시 분당구	6	0	6	0	17,213	2,869
경기 성남시 수정구	2	0	2	0	110	55
경기 성남시 중원구	7	0	7	0	658	94
경기 수원시 권선구	11	1	10	0	389	35
경기 수원시 장안구	9	0	9	0	203	23
경기 시흥시	133	5	128	0	5,036	38
경기 안산시 단원구	34	7	27	0	3,404	100
경기 안산시 상록구	43	0	43	0	3,531	82
경기 안성시	217	9	207	1	3,583,553	16,514
경기 양주시	110	4	106	0	1,009,878	9,181
경기 양평군	373	11	362	0	2,941,840	7,887
경기 여주시	284	14	268	2	4,369,926	15,387
경기 연천군	211	4	207	0	2,737,909	12,976
경기 오산시	13	2	11	0	40,705	3,131
경기 용인시 기흥구	9	0	9	0	190	21
경기 용인시 수지구	4	0	4	0	77	19
경기 용인시 처인구	191	5	186	0	2,112,434	11,060
경기 의왕시	40	0	40	0	1,504	38
경기 의정부시	13	0	13	0	25,791	1,984
경기 이천시	212	5	207	0	3,105,320	14,648

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
경기 파주시	256	9	247	0	1,374,236	5,368
경기 평택시	266	6	260	0	3,321,675	12,488
경기 포천시	282	4	278	0	7,528,381	26,696
경기 하남시	17	0	17	0	394	23
경기 화성시	431	14	416	1	3,519,397	8,166
경남 거제시	482	10	472	0	142,865	296
경남 거창군	1,035	17	1,002	16	1,927,908	1,863
경남 고성군	445	8	437	0	502,999	1,130
경남 김해시	676	19	657	0	640,991	948
경남 남해군	443	9	434	0	68,445	155
경남 밀양시	434	19	415	0	826,074	1,903
경남 사천시	455	11	444	0	92,239	203
경남 산청군	773	22	749	2	1,053,506	1,363
경남 양산시	383	14	369	0	874,119	2,282
경남 의령군	518	17	500	1	1,261,921	2,436
경남 진주시	686	15	669	2	862,307	1,257
경남 창녕군	404	12	388	4	2,741,373	6,786
경남 창원시 마산합	296	5	291	0	13,956	47
경남 창원시 마산회	66	4	62	0	2,466	37
경남 창원시 성산구	51	1	50	0	4,189	82
경남 창원시 의창구	294	7	287	0	93,760	319
경남 창원시 진해구	95	7	88	0	6,861	72
경남 통영시	228	5	223	0	5,607	25
경남 하동군	646	8	635	3	204,329	316
경남 함안군	421	11	410	0	541,703	1,287
경남 함양군	520	5	505	10	756,604	1,455
경남 합천군	1,165	21	1,143	1	1,440,728	1,237
경북 군위군	389	6	383	0	1,047,315	2,692
경북 문경시	373	9	364	0	1,066,969	2,861
경북 영주시	618	6	611	1	2,996,498	4,849
경북 울진군	610	10	600	0	14,171	23
경북 칠곡군	444	12	432	0	1,662,241	3,744
광주 광산구	62	2	58	2	187,470	3,024
광주 남구	18	4	14	0	2,763	154
광주 동구	7	0	7	0	94	13
광주 북구	25	0	25	0	1,002	40

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
광주 서구	14	2	12	0	497	36
대구 달서구	8	1	7	0	270	34
대구 달성군	400	15	385	0	396,823	992
대구 동구	153	3	150	0	5,613	37
대구 북구	88	2	86	0	2,032	23
대구 수성구	28	0	28	0	905	32
대구 중구	2	0	2	0	65	33
대전 대덕구	35	0	35	0	721	21
대전 동구	53	3	50	0	777	15
대전 서구	40	1	39	0	2,051	51
대전 유성구	71	5	66	0	4,398	62
대전 중구	32	2	30	0	694	22
부산 강서구	134	4	130	0	52,350	391
부산 금정구	15	5	10	0	383	26
부산 기장군	193	9	183	1	7,417	38
부산 동래구	1	0	1	0	30	30
부산 북구	3	0	3	0	48	16
부산 사하구	2	1	1	0	55	28
부산 연제구	1	0	1	0	50	50
부산 해운대구	7	0	7	0	178	25
울산 남구	25	2	23	0	976	39
울산 동구	17	1	16	0	665	39
울산 북구	176	3	173	0	5,562	32
울산 울주군	1,108	34	1,073	1	395,028	357
울산 중구	41	0	41	0	1,624	40
인천 강화군	485	16	469	0	981,036	2,023
인천 계양구	122	5	117	0	37,388	306
인천 남동구	64	0	64	0	6,861	107
인천 미추홀구	4	0	4	0	47	12
인천 부평구	6	0	6	0	61	10
인천 서구	96	2	94	0	4,942	51
인천 연수구	8	0	8	0	542	68
인천 옹진군	82	1	81	0	3,821	47
인천 중구	63	1	62	0	2,230	35
전남 강진군	250	5	232	13	891,398	3,566
전남 고흥군	571	9	553	9	796,632	1,395

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
전남 곡성군	640	10	613	17	2,226,697	3,479
전남 광양시	325	9	316	0	11,532	35
전남 구례군	238	1	225	12	470,226	1,976
전남 나주시	317	16	272	29	5,546,241	17,496
전남 담양군	584	17	556	11	807,145	1,382
전남 목포시	5	0	5	0	217	43
전남 무안군	134	5	111	18	1,670,773	12,468
전남 보성군	396	5	378	13	672,317	1,698
전남 순천시	524	13	504	7	744,671	1,421
전남 신안군	89	1	87	1	33,123	372
전남 여수시	294	6	288	0	255,354	869
전남 영광군	502	8	490	4	2,713,864	5,406
전남 영암군	183	10	152	21	2,755,445	15,057
전남 완도군	189	2	187	0	3,808	20
전남 장성군	490	9	480	1	579,444	1,183
전남 장흥군	254	2	229	23	696,696	2,743
전남 진도군	174	4	163	7	160,988	925
전남 함평군	344	14	310	20	2,871,493	8,347
전남 해남군	166	8	155	3	666,969	4,018
전남 화순군	458	13	444	1	573,231	1,252
전북 고창군	215	7	198	10	3,822,717	17,780
전북 군산시	414	9	405	0	286,988	693
전북 김제시	470	16	449	5	5,423,844	11,540
전북 남원시	617	12	581	24	5,603,585	9,082
전북 무주군	378	1	376	1	147,828	391
전북 부안군	395	14	366	15	4,738,049	11,995
전북 순창군	444	4	437	3	1,282,203	2,888
전북 완주군	590	14	576	0	988,740	1,676
전북 익산시	553	15	536	2	3,832,592	6,931
전북 임실군	592	14	577	1	1,949,345	3,293
전북 장수군	607	12	588	7	797,164	1,313
전북 전주시 덕진구	46	3	43	0	65,339	1,420
전북 전주시 완산구	39	1	38	0	1,429	37
전북 정읍시	690	11	666	13	5,772,610	8,366
전북 진안군	743	14	726	3	2,997,554	4,034
제주 서귀포시	92	12	76	4	228,102	2,479

(계속)

지역	전체 농장수	기타 가금류 농장수	닭 농장수	오리 농장수	전체 사육두수	평균 사육두수
제주 제주시	187	16	169	2	2,765,228	14,787
충남 계룡시	19	1	18	0	340	18
충남 공주시	587	14	573	0	2,118,791	3,610
충남 금산군	278	9	267	2	693,735	2,495
충남 논산시	473	11	459	3	3,622,484	7,659
충남 당진시	619	14	605	0	2,468,466	3,988
충남 보령시	662	12	650	0	2,208,367	3,336
충남 부여군	469	8	460	1	2,637,537	5,624
충남 서산시	691	16	675	0	1,077,682	1,560
충남 서천군	385	5	380	0	1,454,080	3,777
충남 아산시	419	10	409	0	3,270,991	7,807
충남 예산군	333	12	321	0	3,090,829	9,282
충남 천안시 동남구	264	9	252	3	3,676,779	13,927
충남 천안시 서북구	110	1	109	0	2,510,649	22,824
충남 청양군	490	7	481	2	1,330,224	2,715
충남 태안군	255	5	250	0	294,057	1,153
충남 홍성군	962	18	944	0	1,944,357	2,021
충북 괴산군	715	7	702	6	1,443,410	2,019
충북 단양군	570	8	562	0	401,503	704
충북 보은군	335	7	328	0	1,223,488	3,652
충북 영동군	272	5	264	3	1,396,509	5,134
충북 옥천군	313	6	307	0	1,379,538	4,407
충북 음성군	731	11	710	10	5,441,359	7,444
충북 제천시	1,032	8	1,024	0	303,583	294
충북 증평군	105	2	103	0	291,647	2,778
충북 진천군	538	9	515	14	3,208,326	5,963
충북 청주시 상당구	428	3	421	4	426,413	996
충북 청주시 서원구	152	1	150	1	6,277	41
충북 청주시 청원구	243	4	234	5	2,028,587	8,348
충북 청주시 흥덕구	161	3	158	0	253,699	1,576
충북 충주시	1,381	24	1,354	3	2,117,859	1,534

주: 전체 시군구는 174개임.
자료: 가축위생방역지원본부 Fahms(축산농가 방역정보 시스템) 내부자료.

부 록 3

연도별·시군구별 면적현황 주요 통계표

〈부표 3-1〉 2016년 시군구별 면적현황 통계

단위: 만㎡

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
강원 강릉시	104,000	5,230	5,050
강원 고성군	66,400	1,780	3,830
강원 동해시	18,000	976	453
강원 삼척시	119,000	5,650	1,520
강원 속초시	10,600	420	437
강원 양구군	70,700	4,820	2,540
강원 양양군	63,000	2,390	2,780
강원 영월군	113,000	8,180	1,440
강원 원주시	86,800	6,110	5,870
강원 인제군	165,000	5,480	1,530
강원 정선군	122,000	9,920	779
강원 철원군	88,900	8,490	12,300
강원 춘천시	112,000	6,660	3,390
강원 태백시	30,300	1,410	3
강원 평창군	146,000	12,200	1,600
강원 홍천군	182,000	10,600	5,780
강원 화천군	90,900	4,210	1,690
강원 횡성군	99,800	8,640	4,820
경기 가평군	84,400	4,330	2,640
경기 고양시 덕양구	16,600	1,800	1,590
경기 고양시 일산동구	5,990	704	712
경기 고양시 일산서구	4,260	358	959
경기 과천시	3,590	269	211
경기 광명시	3,850	516	253
경기 광주시	43,100	2,740	2,630
경기 구리시	3,330	451	119
경기 군포시	3,640	290	168
경기 김포시	27,700	2,560	6,450
경기 남양주시	45,800	3,110	2,910
경기 동두천시	9,570	686	259
경기 성남시 분당구	6,980	189	163
경기 성남시 수정구	4,550	319	238
경기 성남시 중원구	2,640	71	112
경기 수원시 권선구	4,720	521	844
경기 수원시 장안구	3,330	155	115

(계속)

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
경기 수원시 팔달구	1,290	35	29
경기 시흥시	13,600	2,000	1,530
경기 안산시 단원구	9,620	687	702
경기 안산시 상록구	5,800	494	452
경기 안성시	55,300	5,030	11,200
경기 양주시	31,000	2,960	3,070
경기 양평군	87,800	5,650	6,740
경기 여주시	60,800	6,920	9,920
경기 연천군	67,600	7,740	5,420
경기 오산시	4,270	381	600
경기 용인시 기흥구	8,170	280	353
경기 용인시 수지구	4,210	141	110
경기 용인시 처인구	46,800	3,750	6,500
경기 의왕시	5,400	520	222
경기 의정부시	8,150	461	334
경기 이천시	46,100	7,000	10,500
경기 파주시	67,300	7,290	11,200
경기 평택시	45,800	4,050	15,800
경기 포천시	82,700	7,810	5,970
경기 하남시	9,300	703	672
경기 화성시	69,400	7,870	15,300
경남 거제시	40,300	2,400	4,010
경남 거창군	80,300	4,100	7,850
경남 고성군	51,800	3,010	7,990
경남 김해시	46,300	1,840	7,440
경남 남해군	35,800	3,100	4,650
경남 밀양시	79,900	4,740	11,600
경남 사천시	39,900	2,490	6,030
경남 산청군	79,500	2,630	6,920
경남 양산시	48,500	1,210	3,010
경남 의령군	48,300	3,470	5,510
경남 진주시	71,300	4,870	8,830
경남 창녕군	53,300	5,340	9,070
경남 창원시 마산합	24,100	973	2,530
경남 창원시 마산회	9,060	206	539
경남 창원시 성산구	8,220	95	208
경남 창원시 의창구	21,100	1,180	4,490
경남 창원시 진해구	12,300	390	636
경남 통영시	24,000	3,180	1,600
경남 하동군	67,600	2,840	8,260
경남 함안군	41,700	3,880	7,610
경남 함양군	72,500	3,410	6,530
경남 합천군	98,300	4,500	10,400
경북 경산시	41,200	2,910	5,590
경북 경주시	132,000	7,150	16,100

(계속)

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
경북 고령군	38,400	1,930	5,150
경북 구미시	61,500	3,700	9,160
경북 군위군	61,400	3,590	4,230
경북 김천시	101,000	6,680	11,500
경북 문경시	91,200	5,670	6,650
경북 봉화군	120,000	8,870	4,380
경북 상주시	125,000	8,580	18,000
경북 성주군	61,600	3,680	8,790
경북 안동시	152,000	12,700	9,200
경북 영덕군	74,100	3,290	4,460
경북 영양군	81,600	5,410	2,040
경북 영주시	66,900	7,040	7,230
경북 영천시	91,900	5,400	9,270
경북 예천군	66,100	7,970	11,000
경북 울릉군	7,290	1,240	41
경북 울진군	99,000	3,520	4,350
경북 의성군	118,000	7,850	13,500
경북 청도군	69,400	3,780	6,490
경북 청송군	84,600	5,500	2,840
경북 칠곡군	45,100	2,360	4,690
광주 광산구	22,300	1,700	4,760
광주 남구	6,100	550	1,550
광주 동구	4,930	192	133
광주 북구	12,000	561	1,430
광주 서구	4,780	328	799
대구 달서구	6,230	85	176
대구 달성군	42,700	2,320	5,470
대구 동구	18,200	865	1,300
대구 북구	9,410	464	371
대구 수성구	7,650	339	393
대구 중구	705	0	0
대전 대덕구	6,870	309	233
대전 동구	13,700	769	481
대전 서구	9,550	403	654
대전 유성구	17,600	999	1,510
대전 중구	6,210	279	264
부산 강서구	18,100	929	4,620
부산 금정구	6,530	95	349
부산 기장군	21,800	653	2,160
부산 동래구	1,660	19	12
부산 북구	3,940	21	67
부산 사하구	4,180	172	17
부산 서구	1,400	42	4
부산 연제구	1,210	4	3
부산 해운대구	5,150	81	145

(계속)

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
세종 세종시	46,500	3,720	6,720
울산 남구	7,300	166	234
울산 동구	3,600	76	101
울산 북구	15,700	661	1,770
울산 울주군	75,700	2,180	7,350
울산 중구	3,700	156	215
인천 강화군	41,100	3,870	12,300
인천 계양구	4,560	527	941
인천 남동구	5,710	565	121
인천 부평구	3,200	62	65
인천 서구	11,700	899	1,200
인천 연수구	5,490	85	30
인천 옹진군	17,200	1,570	1,290
인천 중구	14,000	520	618
전남 강진군	50,100	3,100	10,900
전남 고흥군	80,700	8,100	15,800
전남 곡성군	54,700	2,870	6,380
전남 광양시	46,300	1,850	4,800
전남 구례군	44,300	1,890	4,160
전남 나주시	60,800	6,140	15,000
전남 담양군	45,500	2,560	8,040
전남 목포시	5,160	722	248
전남 무안군	45,000	9,340	8,840
전남 보성군	66,400	4,840	11,100
전남 순천시	91,100	5,460	10,500
전남 신안군	65,600	10,700	10,400
전남 여수시	51,000	6,470	3,960
전남 영광군	47,500	6,040	11,400
전남 영암군	60,400	6,020	16,000
전남 완도군	39,600	5,370	3,570
전남 장성군	51,800	3,480	7,960
전남 장흥군	62,200	3,360	9,670
전남 진도군	44,000	5,550	7,310
전남 함평군	39,200	4,810	8,950
전남 해남군	102,000	12,300	22,800
전남 화순군	78,700	4,810	7,200
전북 고창군	60,800	9,330	14,200
전북 군산시	39,600	2,040	13,200
전북 김제시	54,600	5,450	21,900
전북 남원시	75,200	4,070	12,600
전북 무주군	63,200	3,670	3,140
전북 부안군	49,400	5,350	14,200
전북 순창군	49,600	3,720	7,270
전북 완주군	82,100	4,550	8,110
전북 익산시	50,700	5,440	20,100

(계속)

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
전북 임실군	59,700	4,120	6,010
전북 장수군	53,300	3,070	4,740
전북 전주시 덕진구	11,100	1,130	2,780
전북 전주시 완산구	9,460	536	1,110
전북 정읍시	69,300	7,360	17,600
전북 진안군	78,900	4,010	4,720
제주 서귀포시	87,100	15,400	415
제주 제주시	97,800	20,700	257
충남 계룡시	6,070	272	390
충남 공주시	86,400	5,460	10,300
충남 금산군	57,700	5,070	5,550
충남 논산시	55,500	5,390	15,000
충남 당진시	70,400	7,010	21,200
충남 보령시	57,400	4,180	10,400
충남 부여군	62,500	4,570	14,800
충남 서산시	74,100	7,860	19,500
충남 서천군	36,600	3,190	10,900
충남 아산시	54,200	5,560	12,800
충남 예산군	54,300	5,750	12,000
충남 천안시 동남구	43,800	3,530	5,590
충남 천안시 서북구	19,800	1,850	4,050
충남 청양군	47,900	3,510	7,080
충남 태안군	51,600	6,420	11,300
충남 홍성군	44,400	6,020	9,810
충북 괴산군	84,200	7,500	5,920
충북 단양군	78,100	6,090	1,300
충북 보은군	58,400	5,130	5,940
충북 영동군	84,600	5,130	5,340
충북 옥천군	53,700	5,560	4,430
충북 음성군	52,000	6,210	7,490
충북 제천시	88,400	7,560	3,430
충북 증평군	8,180	952	1,350
충북 진천군	40,700	3,420	5,970
충북 청주시 상당구	40,400	3,240	3,620
충북 청주시 서원구	12,300	1,120	1,610
충북 청주시 청원구	21,500	2,510	4,240
충북 청주시 흥덕구	19,800	2,180	3,980
충북 충주시	98,400	7,880	8,010

주: 전체 시군구는 208개임.

자료: 시군구별 연도별 통계연보를 참고하여 저자 작성.

〈부표 3-2〉 2020년 시군구별 면적현황 통계

단위: 만㎡

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
강원 삼척시	119,000	5,640	1,490
강원 원주시	86,800	6,020	5,590
경기 가평군	84,400	4,270	2,540
경기 고양시 덕양구	16,600	1,690	1,460
경기 고양시 일산동구	6,000	615	617
경기 고양시 일산서구	4,260	358	924
경기 과천시	3,590	270	207
경기 광명시	3,850	477	231
경기 광주시	43,100	2,600	2,400
경기 구리시	3,330	343	82
경기 군포시	3,640	247	115
경기 김포시	27,700	2,410	5,890
경기 남양주시	45,800	2,870	2,560
경기 동두천시	9,570	666	246
경기 부천시	5,350	308	346
경기 성남시 분당구	6,980	186	157
경기 성남시 수정구	4,550	257	191
경기 성남시 중원구	2,640	61	97
경기 수원시 권선구	4,720	513	724
경기 수원시 장안구	3,330	160	104
경기 시흥시	14,000	2,010	1,430
경기 안산시 단원구	9,830	689	673
경기 안산시 상록구	5,800	536	406
경기 안성시	55,300	4,930	10,900
경기 안양시 만안구	3,650	66	28
경기 양주시	31,000	2,840	2,780
경기 양평군	87,800	5,600	6,550
경기 여주시	60,800	6,900	9,720
경기 연천군	67,600	7,720	5,340
경기 오산시	4,270	355	543
경기 용인시 기흥구	8,160	259	321
경기 용인시 수지구	4,210	123	96
경기 용인시 처인구	46,700	3,600	6,250
경기 의왕시	5,400	510	187
경기 의정부시	8,150	432	311
경기 이천시	46,100	6,840	10,300
경기 파주시	67,400	7,130	10,800
경기 평택시	45,800	3,860	15,200
경기 포천시	82,700	7,660	5,830
경기 하남시	9,300	590	434
경기 화성시	69,800	7,510	14,500
경남 거제시	40,400	2,350	3,890
경남 거창군	80,300	4,070	7,720
경남 고성군	51,800	2,970	7,890

(계속)

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
경남 김해시	46,300	1,750	6,920
경남 남해군	35,800	3,070	4,540
경남 밀양시	79,900	4,650	11,400
경남 사천시	39,900	2,460	5,850
경남 산청군	79,500	2,650	6,810
경남 양산시	48,600	1,170	2,820
경남 의령군	48,300	3,450	5,430
경남 진주시	71,300	4,800	8,700
경남 창녕군	53,300	5,310	8,990
경남 창원시 마산합	24,100	969	2,510
경남 창원시 마산회	9,060	205	529
경남 창원시 성산구	8,260	90	202
경남 창원시 의창구	21,100	1,160	4,360
경남 창원시 진해구	12,300	366	485
경남 통영시	24,000	3,130	1,560
경남 하동군	67,500	2,820	8,130
경남 함안군	41,700	3,850	7,520
경남 함양군	72,600	3,400	6,400
경남 합천군	98,300	4,460	10,300
경북 군위군	–	–	–
경북 문경시	91,200	5,640	6,540
경북 영주시	67,000	7,110	7,090
경북 울진군	99,000	3,480	4,300
경북 칠곡군	45,100	2,320	4,580
광주 광산구	22,300	1,630	4,600
광주 남구	6,100	538	1,480
광주 동구	4,930	187	114
광주 북구	12,000	551	1,380
광주 서구	4,780	304	718
대구 달서구	6,230	72	141
대구 달성군	42,700	2,220	5,140
대구 동구	18,200	844	1,270
대구 북구	9,400	423	334
대구 수성구	7,650	314	348
대구 중구	706	0	0
대전 대덕구	6,870	313	219
대전 동구	13,700	747	451
대전 서구	9,550	412	640
대전 유성구	17,700	988	1,460
대전 중구	6,220	279	260
부산 강서구	18,100	880	4,130
부산 금정구	6,530	97	314
부산 기장군	21,800	649	2,020
부산 동래구	1,660	18	11
부산 북구	3,940	20	66

(계속)

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
부산 사하구	4,180	169	16
부산 연제구	1,210	3	3
부산 해운대구	5,150	79	94
울산 남구	7,350	154	194
울산 동구	3,610	77	97
울산 북구	15,700	634	1,580
울산 울주군	75,800	2,170	7,120
울산 중구	3,700	163	201
인천 강화군	41,100	3,870	12,000
인천 계양구	4,560	530	876
인천 남동구	5,750	563	95
인천 미추홀구	2,480	20	4
인천 부평구	3,200	54	61
인천 서구	11,700	837	1,030
인천 연수구	5,620	84	29
인천 옹진군	17,300	1,560	1,270
인천 중구	14,000	460	522
전남 강진군	50,100	3,060	10,800
전남 고흥군	80,700	8,060	15,700
전남 곡성군	54,800	2,870	6,300
전남 광양시	46,400	1,870	4,550
전남 구례군	44,300	1,900	4,120
전남 나주시	60,800	6,180	14,700
전남 담양군	45,500	2,540	7,870
전남 목포시	5,160	659	183
전남 무안군	45,000	9,400	8,760
전남 보성군	66,400	4,880	11,000
전남 순천시	91,100	5,450	10,300
전남 신안군	65,600	10,800	10,300
전남 여수시	51,200	6,370	3,870
전남 영광군	47,500	6,040	11,300
전남 영암군	61,200	6,080	15,900
전남 완도군	39,700	5,310	3,530
전남 장성군	51,800	3,450	7,840
전남 장흥군	62,200	3,350	9,610
전남 진도군	44,000	5,510	7,240
전남 함평군	39,200	4,820	8,910
전남 해남군	103,000	12,300	22,600
전남 화순군	78,700	4,800	7,110
전북 고창군	60,700	9,370	14,000
전북 군산시	39,700	2,020	13,100
전북 김제시	54,600	5,280	21,600
전북 남원시	75,200	4,100	12,400
전북 무주군	63,200	3,660	3,050
전북 부안군	49,300	5,270	14,100

(계속)

지역	전체 토지 면적	전(밭) 면적	답(논) 면적
전북 순창군	49,600	3,720	7,160
전북 완주군	82,100	4,520	7,930
전북 익산시	50,700	5,270	19,700
전북 임실군	59,700	4,110	5,900
전북 장수군	53,300	3,100	4,680
전북 전주시 덕진구	11,400	1,020	2,620
전북 전주시 완산구	9,250	495	1,050
전북 정읍시	69,300	7,340	17,300
전북 진안군	78,900	4,020	4,610
제주 서귀포시	87,200	15,200	392
제주 제주시	97,900	20,300	249
충남 계룡시	6,070	256	356
충남 공주시	86,400	5,400	10,100
충남 금산군	57,700	5,060	5,460
충남 논산시	55,600	5,320	14,700
충남 당진시	70,500	7,010	21,000
충남 보령시	58,700	4,140	10,200
충남 부여군	62,500	4,360	14,600
충남 서산시	74,200	7,830	19,200
충남 서천군	36,600	3,150	10,700
충남 아산시	54,300	5,440	12,400
충남 예산군	54,300	5,760	11,800
충남 천안시 동남구	43,800	3,470	5,470
충남 천안시 서북구	19,800	1,760	3,890
충남 청양군	47,900	3,470	6,970
충남 태안군	51,600	6,430	11,000
충남 홍성군	44,700	6,030	9,720
충북 괴산군	84,200	7,540	5,760
충북 단양군	78,000	6,080	1,270
충북 보은군	58,400	5,120	5,840
충북 영동군	84,600	5,080	5,240
충북 옥천군	53,700	5,550	4,340
충북 음성군	52,000	6,080	7,330
충북 제천시	88,300	7,520	3,340
충북 증평군	8,180	950	1,320
충북 진천군	40,700	3,340	5,820
충북 청주시 상당구	40,400	3,250	3,560
충북 청주시 서원구	12,300	1,120	1,560
충북 청주시 청원구	21,500	2,460	4,130
충북 청주시 흥덕구	19,900	2,030	3,690
충북 충주시	98,400	7,850	7,800

주: 전체 시군구는 175개임.
자료: 시군구별 연도별 통계 연보를 참고하여 저자 작성.

참고문헌

고기오. (2018). “가축전염병.” KISTEP 기술동향브리프. 2018(17). pp.1-32.

고길곤, 신수현, 박세나, 김경동, 정다원. (2019). 데이터 기반 정책결정사례. 국가공무원인재개발원 연구개발센터.

기초과학연구원. (2021). “코로나19의 수학적 분석: 수리모델 방역정책 수립의 근거가 되다.” 코로나19 과학 리포트 2. p.16.

김성현, 최준기, 김재석, 장아름, 이재호, 차경진, 이상원. (2018). “빅데이터와 딥러닝을 활용한 동물 감염병 확산 차단.” 지능정보연구. 24(4). pp.137-154.

김은경, 이석, 변영태, 이혁재, 이택진. (2013). “전염병의 경로 추적 및 예측을 위한 통합 정보 시스템 구현.” 인터넷정보학회논문지. 14(5). pp.69-76.

농림축산식품부. (2021). “2022년 주요업무 추진계획.”

농림축산검역본부. (2018). 2017-2018 HPAI 역학조사 분석보고서.

류수락, 최보승. (2015). “확률적 방법에 기반한 전염병 확산 모델의 구축.” 한국데이터정보과학회지. 26(2). pp.301-312.

박기영, 고정원. (2019). “머신러닝을 이용한 경제분석.” 한국경제학보. 26(2). pp.367-408.

박준기, 김미복, 김태훈, 이두영, 박지연. (2018). 농업·농촌 정책고도화를 위한 정보지원체계 구축방안(1차년도). R858. 한국농촌경제연구원.

박지연, 서대석, 이정민. (2021). “농업의 미래, 디지털농업.” 농업전망 2021. 한국농촌경제연구원.

손승혜. (2013). 구제역 확률모형에 관한 연구. 영남대학교.

오미애, 최현수, 김수현, 장준혁, 진재현, 천미경. (2017). “기계학습(Machine Learning) 기반 사회보장 빅데이터 분석 및 예측모형 연구.” 연구보고서 2017-46. 한국보건사회연구원.

유명수, 김연주, 백수진, 권동혁. (2021). “감염재생산지수 개념 및 방역정책에 따른 변화.” 주간 건강과 질병. 14(6). pp.282-289.

이경희, 이지은, 박문수, 이상호, 김바우. (2019). “노동패널자료 연구(V): 패널자료 비교연구를 중심으로.” 한국노동연구원.

이경희, 한창용. (2022). “머신러닝을 이용한 기업의 생존 결정요인 분석: 충청권 기업을 중심으로.” 산업연구 6(1). pp.89-122.

이상구, 고래영, 이재화. (2010). “신종 인플루엔자의 수학적 모델링.” 수학교육 논문집. 24(4). pp.877-889.

이웅섭. (2015). “기계학습을 이용한 가축 질병 조기 발견 방안.” 한국정보통신학회 2015년도 춘계학술대회, May 26.

이정희, Md. Sharwar Murshed, 박정수. (2009). “국내 쯔쯔가무시증의 감염자 분포와 유병자수 추정.” 한국데이터정보과학회지. 20(1). pp.149-158.

정재웅, 권혁무, 홍성훈, 이민구. (2020). “국내 코로나바이러스감염증-19의 감염재생산수 추정.” 품질경영학회지. 48(3). pp.481-498.

정재현, 이환웅. (2021). “머신러닝(Machine Learning)을 활용한 조세·재정 정책의 평가와 설계.” 연구보고서 20-08. 조세재정연구원.

정재현. (2019). “머신러닝을 활용한 정책설계: 출산 결정요인을 중심으로.” 재정포럼. 279. 조세재정연구원.

최필선, 민인식. (2018). “머신러닝 기법을 이용한 대졸자 취업예측 모형.” 직업능력개발연구. 21(1). pp.31-54.

파주시. (2020). 파주 ASF백서: 2019 아프리카돼지열병 대응과 극복.

황난아, 정보윤, 임영채, 박정수. (2007). “SIR 비선형 회귀모형을 이용한 질병자료분석.” 한국자료분석학회. 9(1). pp.49-59.

황지현, 오창혁. (2014). “2010/2011년도 한국 발생 구제역 확산에 관한 연구.” 한국데이터정보과학회지. 25(2). pp.271-280.

허덕, 우병준, 황윤재, 이용건, 김태련. (2020). 2017/2018년 고병원성 조류인플루엔자(AI) 발생·대응사례 분석 연구. 한국농촌경제연구원.

Ashar, D., A. Kanojia, R. Parihar, & S. Kudoo. (2021). “Livestock Disease Prediction System.” VIVA-Tech International Journal for Research and Innovation. 1(4). pp.1-3.

Breiman, L. (2001). “Random Forests.” Machine Learning. 45(1). pp.5-32.

Choi, S. & M. Ki. (2020). “Estimating the reproductive number and the outbreak size of COVID-19 in Korea.” Epidemiology and Health. 42. e2020011.

Garg, V. & K. Garg. (2016). “Early-Stage Disease Detection Platform in Cattles.” JETIR. 3(11). pp.13-15.

Gürkaynak, R. S., B. Kisacikoglu, & B. Rossi. (2013). “Do DSGE models forecast more accurately out-of-sample than VAR models?” CEPR Discussion Paper 9576, July.

Kim, W-H. & S. Cho. (2021). “Estimation of the Basic Reproduction Numbers of the Subtypes H5N1, H5N8, and H5N6 During the Highly Pathogenic

Avian Influenza Epidemic Spread Between Farms." Front Vet Sci. 8. 597630.
Lee, J., Y. Ko, & E. Jung. (2019). "Effective control measures considering spatial heterogeneity to mitigate the 2016-2017 avian influenza epidemic in the Republic of Korea." PLoS ONE. 14(6). e0218202.
Mullanathan, S. & J. Spiess. (2017). "Machine Learning: An Applied Econometric Approach." Journal of Economic Literature. 31(2).
Niu, L., C. Yang, Y. Du, L. Qin, & B. Li. (2000). "Cattle Disease Auxiliary Diagnosis and Treatment System Based on Data Analysis and Mining." IEEE. pp.24-27.
Peters, D. P., D. S. McVey, E. H. Elias, A. M. Pelzel-McCluskey, J. D. Derner, N. D. Burruss, T. S. Schrader, J. Yao, S. J. Pauszek, J. Lombard, & et al. (2020). "Big data-model integration and AI for vector-borne disease prediction." Ecosphere. 11(6). pp.1-20.
Smith, Michael R., T. Martinez, & C. Giraud-Carrier. (2014). "An instance level analysis of data complexity." Machine Learning. 95. pp.225-256.
Stanski, K., S. Lycett, T. Porphyre, & B. M. Brosvoort. (2021). "Using machine learning improves predictions of herd-level bovine tuberculosis breakdowns in Great Britain." Sci Rep. 11. 2208.
Suresh, K., P. Dhemadri, Rashmi Kurli, R. Dheeraj, & P. Roy. (2019). "Application of Artificial Intelligence for livestock disease prediction." Indian Farming. 69(03). pp.60-62.
Verdikha, N. A., T. B. Adji, & A. E. Permanasari. (2018). "Study of undersampling method: Instance hardness threshold with various estimators for hate speech classification." International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2(2).
Wan, L. & W. Bao. (2014). "Animal Disease Diagnoses Expert System Based on SVM." International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture III.

농림축산식품부 보도자료. (2021. 2. 26.). "고병원성조류인플루엔자 살처분 대상 조정 연장."

네이버데이터랩(https://datalab.naver.com). 검색일: 2022. 9. 17.

KREI

www.krei.re.kr

데이터 기반 고병원성 AI 발생
확률 및 확산 위험 분석

한국농촌경제연구원

전라남도 나주시 빛가람로 601
T. 1833-5500 F. 061) 820-2211

95520
ISBN 979-11-6149-601-6