

318045-3

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

발간등록번호

11-1543000-003452-01

**방역지역 설정(관리,보호,예찰) 타당성과 합리적
근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구**

2021.04.09.

주관연구기관 / 강원대학교
협동연구기관 / 동국대학교
협동연구기관 / 케이웨어(주)

농 립 축 산 식 품 부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

방역지역 설정(관리, 보호, 예찰) 타당성과 합리적
근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구

2021

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

제출문

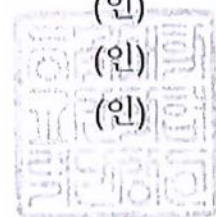
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “방역지역 설정(관리,보호,예찰) 타당성과 합리적 근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구”(개발기간 : 2018.04.26. ~ 2020.12.31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.04.09.

주관연구기관명 : 강원대학교 산학협력단장 신대용 (인)
협동연구기관명 : 동국대학교 산학협력단장 정영식 (인)
협동연구기관명 : 케이웨어(주) 대표 남 준 (인)



주관연구책임자 : 배선학
협동연구책임자 : 김동석
참여기관책임자 : 지인배



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	318045-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2018.04.26. ~ 2020.12.31.	단 계 구 분	3/3
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	가축질병대응기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	방역지역(관리, 보호, 예찰구역) 설정의 타당성과 합리적 근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구			
연구책임자	배선학	해당단계 참여연구원 수	총: 12명 내부: 12명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 440,000천원 민간: 146,800천원 계: 586,800천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 12명 내부: 12명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 440,000천원 민간: 146,800천원 계: 586,800천원
연구기관명 및 소속부서명	강원대학교, 동국대학교			참여기업명 케이웨어(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술요 약 정보	소프 트 웨어	화합 물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	10.1007/s11259-008-9064-8	10-2019- 0128598									
	10.2112/SI91-066.1										
	10.13041/jpvm.2020.44.1.19										
	10.13041/jpvm.2020.44.4.161	10-2020- 0186394									
	10.11108/kagis.2020.23.4.140										

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

1. 최종목표

- 현행 방역지역의 범위설정의 문제점과 타당성을 평가하고, 그 결과에 근거하여 국내 지리적 특성과 축산환경을 고려한 방역지역 범위설정 모델을 정립한 후 국가 방역업무에 즉시 활용할 수 있도록 GIS기반의 방역지역 설정 지원 시스템으로 개발

2. 연구개발성과

- 실증 데이터 구축을 통해 다양한 데이터 수집
- 가축질병 발생 농가의 시공간 군집 분석, 네트워크분석, 토지피복분석, 등을 통해 발생 농장의 분류 및 유형화 과정 실행
- 가축 질병에 관한 신문기사의 텍스트마이닝, 국제 기구와 해외 주요 국가의 방역지역 설정 기준을 분석하여 방역정책 수립에 참고자료로 활용
- 방역지역 설정의 경제성 평가 모델과 네트워크 분석 모델을 개발하여 통합, 방역지역 설정 지원 모델을 개발
- GIS를 기반으로 하는 방역지역 설정 지원 시스템 구현

3. 활용계획(파급효과)

- 현행 방역지역 설정에 대한 평가와 방역지역 설정의 타당성 검증
- 실제 사용자(방역당국)가 방역지역을 설정하고자 할 때 의사결정을 지원하는 수단으로 활용
- GIS기반의 데이터 구축의 필요성과 활용방법 제안

보고서 면수

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>현행 방역지역 범위설정의 문제점과 타당성을 평가하고, 그 결과에 근거하여 국내 지리적 특성과 축산환경을 고려한 방역지역 범위설정 모델을 정립한 후 국가 방역업무에 즉시 활용할 수 있도록 GIS 기반의 방역지역 설정 지원 시스템으로 개발</p>
<p>연구개발성과</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 70%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">현행 방역지역 질병 전파·확산 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 국제기준 및 해외사례 분석 <input type="checkbox"/> 실증자료 이용 가축질병 발생과 확산의 시공간 특성 분석 <input type="checkbox"/> 현 방역지역이 질병 확산과 방역효과에 미치는 영향 평가 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">농장 유형별 방역지역 설정지원 모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 농장 입지 특성 유형화 <input type="checkbox"/> 농장 입지 유형별 질병 전파·확산 특성 분석 및 유형별 일반화 <input type="checkbox"/> 농장 상황(축종, 두수 등) 분석 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">방역지역 설정지원 모델 경제성 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 농장입지 유형별 농장상황 반영한 방역지역 설정 지원 모델 개발 및 경제성 평가 <input type="checkbox"/> 방역효과 극대화 및 방역비용 최소화 위한 균형모형 개발 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">방역지역 설정 지원 모델 개발 및 적용</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 방역지역 설정 지원 모델 개발·적용 <input type="checkbox"/> 모델 개선 및 시스템 로직 개발 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">GIS 공간정보 구축 및 분석을 위한 지원</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> GIS 공간정보 구축 <input type="checkbox"/> 방역지역 설정에 따른 축산현황 자동산출 모듈 개발 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: black; color: white; margin: 0;">방역지역 설정 지원 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 개선된 방역지역 설정 지원 모델 적용 <input type="checkbox"/> GIS 기반의 방역지역 설정 <input type="checkbox"/> 기존 시스템과의 연계 방안 제시 <input type="checkbox"/> 현업 담당자 의견 반영 </div> </div> <div style="width: 25%; text-align: center; margin-top: 20px;"> <pre> graph TD A((현행 방역지역 평가)) --> B((방역지역 설정지원 모델개발)) B --> C((방역지역 설정지원 시스템)) </pre> </div> <p style="margin-top: 20px;">1. 실증 데이터 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 역학조사분석보고서의 데이터화 <ul style="list-style-type: none"> - 역학조사분석보고서의 정보를 통해 기본 데이터 구축 및 정제 - 역학조사 결과 파악 및 데이터 수집 ○ 농가 입지 평가를 위한 데이터 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 농림축산검역본부와의 협의를 통한 축산시설, 농가 데이터 확보 </div>

- 국가 운영 정보서비스를 통한 수자원, 생태환경, 토지피복, 지형, 인문경관, 토양도 등의 데이터 확보
- 농장과 농장, 하천, 도로, 철새도래지 등과의 거리로 입지환경 파악
- 농장 별 정보를 통한 축종, 사육두수, 유형 등의 정보 파악

2. 현행 방역지역 평가 : 발생 농장 분류 및 유형화

- 가축전염병 발생 농가의 시·공간 군집 특성 분석(강원대학교, 동국대학교)
 - 시공간 군집이 형성된 지역은 바이러스가 유입된 이후에 집중적으로 가축질병이 발생하였으나 방역을 통해 바이러스의 유입·확산이 효과적으로 차단된 지역
 - 바이러스 초기 발생 시 주변에서 늦게 인지하면서 전파·확산이 빠르게 일어나며 그 결과가 시공간 군집으로 표출
 - 초동대응에 실패할 경우 인접전파가 빠르게 이루어지며 예방적 살처분과 같은 적극적 대응 필요
 - 가축질병 발생과 확산의 군집범위 파악
 - 시·군별 사육규모, 기후적 특성, 환경적 특성, 인구·사회학적 특성 등이 HPAI 발생에 미치는 영향 분석
- 가축전염병 발생 지역의 공간자기상관(공간적 군집 특성) 분석(강원대학교)
 - 특정 행정구역에서 가축전염병 발생이 공간적으로 군집하는 것을 확인
- 가축질병 발생 농가 간 네트워크 분석(강원대학교)
 - HPAI는 FMD에 비해 바이러스 잠복기간이 짧아 증상에 대한 조기 인지 및 빠른 방역조치로 단순 네트워크가 많이 발생
 - 바이러스 유입 경로의 다양성은 HPAI가 FMD에 비해 월등히 높음
 - FMD의 주요 감염원은 축산 관련 시설, HPAI의 경우는 철새서식지 역할을 하는 저수지나 하천
- 가축질병 발생농가 주변 토지피복 특성 분석(강원대학교)
 - 개별 질병 발생 농가 단위 토지피복도 이미지 제작
 - k-Means 방법에 따른 토지피복 이미지 군집화
- 가축농가의 특성이 가축질병의 발생에 미치는 영향 분석(동국대학교)
 - 가금농장과 양돈농장의 특성을 사육규모, 방역지역 범위내의 농장 특성, 입지특성 등으로 구분하여 가금농장과 양돈농장의 가축질병 발생 확률을 추정
 - 발생확률이 높은 농장의 분포를 시각화하여 위험지역으로 지정

- 가축 질병에 관한 신문기사 분석: 텍스트마이닝(강원대학교)
 - 2010년 구제역에서 출발하여 조류인플루엔자와 관련된 텍스트 중심
 - 분석 시기별 단어의 빈도와 토픽에 변화(가축질병에서 살처분, 동물 복지, 환경오염, 인수공통 전염병 등 다양한 분야로 관심 확대)
- 국제기구와 해외 주요 국가의 방역지역 설정 기준 분석(강원대학교)
 - 국제기구와 해외 주요 국가는 500~3km의 살처분 범위 규정
 - 지역의 특성을 고려한 살처분 범위를 규정하는 것이 적합
 - 우리나라의 조류인플루엔자 긴급행동지침에서는 예방적 살처분 범위를 3km로 규정

3. 방역지역 설정 지원 모델 개발

- 방역지역 설정 경제성 평가 모델 개발(동국대학교)
 - 효용 극대화 모형을 방역효용 모델에 적용하여 적정 방역지역 설정 모형
 - 방역효과편익함수는 가축질병 발생 시 인근지역의 농장이 질병에 걸릴 확률이며, 살처분비용함수는 가축의 가치(가격)
 - 방역효과편익함수와 살처분비용함수를 설정하여 방역효과한계편익 곡선과 한계살처분비용곡선이 만나는 지점
 - 두 곡선이 만나는 지점의 거리가 비용대비 가장 적절한 살처분 범위
 - 현행 조류인플루엔자 긴급행동지침(SOP)에서 설정하고 있는 예방적 살처분 거리는 3km이지만, 2016-2017 HPAI 기준 살처분 비용과 방역효과와의 균형점은 2.35km로 나타남
- 네트워크 분석 모델 개발(강원대학교)
 - 역학조사 분석 결과를 Edged list 형태의 1-mode network로 변환(유입원-발생농가-가중치)
 - 질병 전파는 유입과 유출 경로가 존재하기 때문에 방향성을 반영
 - 연결중심성, 매개중심성, 지역중심성, 노드의 역할을 파악하여 가축 질병 발생농가의 특성 파악
 - 가축농가의 특성 파악을 통한 가축질병 전파·확산 특성 및 전파·확산에 중요한 역할을 하는 농가를 탐색
 - 가축질병 네트워크는 신규 가축질병 발생 시 과거의 가축질병의 전파·확산 경로를 파악하여 해당 경로를 차단할 수 있도록 하는 차단 방역 강화의 근거
- 방역지역 설정 지원 모델 통합(강원대학교, 동국대학교, 케이웨어(주))
 - 현행 방역지역 선정의 근거 마련과 가축질병 발생 네트워크 파악을

	<p>통한 핀 포인트 방역을 지원하기 위한 모델 통합</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인접전파를 차단하기 위한 현행 방역지역의 명확한 근거가 없으며, 이에 따라 방역의 비용을 최소화하고 효과적인 방역을 시행할 수 있도록 방역지역 설정의 경제성을 평가하여 적절한 방역 지역 설정 - 차량 및 사람에 의한 전파를 네트워크 구축을 통해 파악하여 이를 조기에 차단하기 위해 해당 지역에 선제적 방역조치가 이루어질 수 있도록 의사결정에 도움 <p>4. 방역지역 설정 지원 시스템 구현(GIS 기반 시각화)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ GIS 기반의 방역지역 설정 지원 시스템 개발(케이웨어(주), 강원대학교, 동국대학교) <ul style="list-style-type: none"> - 개별 농장의 특성이 반영된 방역지역 설정 시스템 구현 - GIS 기반의 시스템 구축과 사용자 친화적인 UX/UI 구현으로 활용성과 신속한 의사결정이 가능하도록 구현 ○ 방역지역 설정 지원을 위한 농장별 특성 정보 및 공간정보 시각화(케이웨어(주)) <ul style="list-style-type: none"> - 지역별 농장 검색 및 농장별 특성 정보 검색 기능 - 질병 발생농장 기준 설정 거리 내 위치한 농장 검색 기능 - 질병 발생농장 기준 방역지역 설정 시 지정 거리 외곽 인접 농장의 발생위험도 평가결과를 반영한 방역지역 설정 기능 - 설정 반경 내 농장 목록, 농장특성 정보 및 총 농장 개수와 총 사육두수 산출 - 농장 간 방문 네트워크 정보 시각화 - 발생농장 및 바이러스 검출 위치 사용자 등록 및 공간 DB 자동구축 기능
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>1. 현행 방역권역에 대한 평가와 방역권역 설정의 타당성 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 발생 가축질병에 대한 분석과 방역 진행에 대한 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 발생 가축질병에 대한 다각적인 분석을 통해 가축질병 조기 차단 성공 지역과 실패 지역의 차이점을 통해 방역정책 변화 가능성 도출 ○ 방역권역 선정의 근거 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 발생농장 간 네트워크 분석, 축산농가의 거리 변화에 따른 방역 권역, 축산차량 이동 데이터를 통한 방역 권역 구분 등의 복합적인 제안 - 방역권역 경제성 평가를 통한 기존 방역 지역(3km)에 대한 타당성 검증 - 지역 별 차별적인 방역대책 수립의 필요성 확인 - 확실한 근거를 통한 방역정책과 방역권역의 변화 가능성 확인

2, 방역지역 설정 지원 시스템을 통한 방역정책 의사결정 지원

- 기존 역학조사 전파확산 경로를 구체적으로 파악하고 시각화
 - 시스템 구현을 통해 공간상에서 가축질병 전파·확산 상황 파악 가능
 - 신규 가축질병 발생 시 방역 의사결정과 역학조사에 활용 가능
 - * 지역별 농장 검색 및 농장별 특성 정보 검색 지원
 - * 가축질병 발생농장 기준 설정 거리 내 위치한 농장 검색 지원
 - * 설정 반경 내 농장 목록, 농장특성 정보 및 총 농장 개수와 총 사육두수 산출 지원
 - * 농장 간 방문 네트워크 정보 시각화 지원
 - * 질병 발생농장 기준 방역지역 설정 시 지정 거리 외곽 인접 농장의 발생위험도 평가결과를 반영한 방역지역 설정 지원
 - * 신규 발생농장 및 바이러스 검출 위치 사용자 등록 및 공간 DB 자동구축
- 획일화된 지정 거리 방역지역이 아닌, 지역별 차별화 방역지역 선정의 근거 마련
 - 예시) 신규 가축질병이 발생 → 방역지역 설정 지원 시스템을 통해 기본적인 농장과 그 주변의 특성 파악 → 과거 질병발생 자료 확인 → 지정거리 및 외곽 인접 농장의 발생위험도 평가결과 확인 → 농장 간 방문 네트워크 확인 → 방역지역 선정

3, 데이터 구축의 필요성 확인

- GIS 기반 데이터 구축의 필요성과 활용방법 제안
 - 역학조사보고서의 내용을 문서가 아닌 개인정보보호법에 저촉되지 않으며 역학조사관이나 개별 연구진이 쉽게 접근하고 활용할 수 있는 공간정보 데이터로 구축할 필요성 확인
 - 해당 내용을 정책제안(가. 가축방역에 활용하기 위한 축산차량 이동 데이터의 가공 및 공개, 나. 역학조사분석보고서 역학조사 결과 네트워크 데이터 구축)하여 데이터 활용의 용이성에 기여

국문핵심어 (5개 이내)	방역지역	공간역학	구제역	조류인플루엔자	지리정보
영문핵심어 (5개 이내)	Biosecurity zone	Spatial Epidemiology	FMD	AI	GIS

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
1-1. 연구개발 목적	1
1-2. 연구개발의 필요성	2
1-3. 연구개발 내용 및 범위	6
2. 연구수행 내용 및 결과	14
2-1. 연구개발 내용 및 결과 요약	14
2-2. 연구개발 내용 및 결과	17
2-3. 연구개발 성과	239
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	240
3-1. 목표 및 달성여부	240
3-2. 관련 분야 기여도	242
4. 연구결과의 활용 계획 등	244
4-1. 연구 성과의 활용 방안	244
4-2. 추가 연구의 필요성	245
붙임. 참고 문헌	246
<별첨 1> 연구개발보고서 초록	252
<별첨 2> 주관연구기관의 자체평가의견서	253
<별첨 3> 연구성과 활용계획서	257

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

- 현행 방역지역 범위설정의 문제점과 타당성을 평가하고, 그 결과에 근거하여 국내 지리적 특성과 축산환경을 고려한 방역지역 범위 설정 모델을 정립한 후 국가 방역업무에 즉시 활용할 수 있도록 GIS 기반의 방역지역 설정 시스템으로 개발함

1-2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발 배경 및 필요성

- 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 발생 현황
 - 고병원성 AI 바이러스는 2003년 12월(1차) 충북 음성에서 최초로 발생한 이후, 2018년 3월 현재까지 총 8차례 발생
 - 바이러스 혈청형은 H5N1형(1~4차), H5N8형(5~6차), 2016/17년(7차)에는 H5N6형과 H5H8형이 동시 발생
 - 고병원성 인플루엔자로 인한 경제적 피해는 5차(2014/15년)에서 가장 컸으며 19개 시군에서 38건의 HPAI가 발생
 - 5차 발생은 669일 동안 AI 발생이 지속되었으며, 809개 농장의 가금류 1,937만 마리가 매몰 처리되었고, 살처분 보상금을 비롯하여 2,381억 원의 재정 소요
 - 7차(2016년) 발생은 50개 시·군에서 383건의 HPAI가 발생하였으며, 총 946개 농가에서 총 3,787만 마리의 가금류를 살처분
 - 이로 인한 살처분 비용은 2,291억 원에 달했으며, H5N6형과 H5N8형이 동시에 발생한 것이 특징
 - 대부분의 HPAI는 겨울철(10~12월)에 다발하였으나, 3차(2008년)와 6차(2016년 3월)에서는 봄철(3~4월)에 발생

[HPAI 발생 현황]

구분	1차	2차	3차	4차
시기	(’03. 12. 10.~’04. 3. 20.) (102일)	(’06. 11. 22.~’07. 3. 6.) (104일)	(’08. 4. 1.~5. 12.) (42일)	(’10. 12. 29.~’11. 5. 16.) (139일)
지역 및 건수	10개 사군 19건 (닭 10, 오리 9)	5개 사군 7건 (닭 4, 오리 2, 메추리 1)	19개 사군구 33건 (닭 21, 오리 6, 닭오리 복합 6)	25개 사군 53건 (닭 18, 오리 33, 메추리 1, 꿩 1)
매몰처분	· 392호 · 528만 5천수	· 460호 · 280만수	· 1,500호 · 1,020만 4천수	· 286호 · 647만 3천수
혈청형	H5N1형	H5N1형	H5N1형	H5N1형
청정국 지위 회복	’04. 9. 21.	’07. 6. 18.	’08. 8. 15.	’11. 9. 5.
재정 소요액	874억 원	339억 원	1,817억 원	807억 원

<계속>

구분	5차	6차	7차	8차
시기	(’14. 1. 16.~’15. 11. 15.) (669일)	(’16. 3. 23.~4. 5.) (14일)	(’16. 11. 16.~’17. 5. 12.) (178일)	(’17. 11. 17.~’18. 2. 8.) (84일)
지역 및 건수	19개 사군 38건 (닭 16, 오리 21, 거위 1)	2개 사군 2건 * 예방적 매몰처분, 역학 관련 등 총 2건 양성	50개 사군 383건 (닭 215, 오리 159, 기타 9)	12개 사군 18건 (닭 5, 오리 13)
매몰처분	· 809호 · 1,397만 2천수	· 5호 · 1만 2천수	· 946호 · 3,787만수	· 87호 · 434만수
혈청형	H5N8형	H5N8형	H5N6형/H5N8형	H5N6형
청정국 지위 회복	’16. 2. 28.	’16. 8. 18.	-	-
재정 소요액	2,381억 원	4억 원	2,291억 원	377억 원

자료: 농림축산식품부 조류인플루엔자(AI)·구제역 홈페이지(<http://www.mafra.go.kr/FMD-AI/main.jsp>; 2018. 3. 16.).

○ 구제역(FMD) 발생 현황

- 우리나라는 2000년 이후 9차례 구제역이 발생
 - 구제역 바이러스는 주로 해외에서 유입된 것으로 추정되며, 2016년 구제역은 역학조사결과 2014/15년 발생한 구제역 바이러스가 잔존하여 발생한 것으로 추정
- 구제역 백신접종을 실시하기 이전인 2010/11년에는 전국 75개 시·군에서 153건의 구제역이 발생
 - 이로 인해 총 347만 9,962마리의 소와 돼지를 매몰처분하였으며, 2조 7,383억 원의 재정소요
 - 이러한 대규모 구제역 발생으로 정부는 구제역 백신 미접종 청정국 지위를 포기하고 구제역 백신 접종 실시
- 2014/15년 발생한 구제역이 2010/11년 구제역보다 발생 기간과 발생 건수가 더 많았으나, 방역 정책 변화(2011년 전국 백신 접종 실시)로 살처분 두수와 재정 소요액이 현저히 감소
- 최근에 발생한 구제역은 2017년 2월 5일 충북 보은군의 젃소 사육 농장
 - 이후 2월 6일 전북 정읍시 한우 농장, 8일 경기 연천군 젃소 농장, 9~11일 보은군 한우 농장에서 구제역이 추가 발생 등 총 9건의 구제역이 국내에서 발생
 - 2월 5일 보은군에서 발생한 구제역 바이러스 유전자 분석 결과, 2014/15년, 2016년에 발생하였던 O SEA Mya-98 유전형(genotype)과는 다른 O ME-SA Ind 2001 유전형으로 확인(농림축산식품부 설명자료, 2017. 2. 6.)
 - 보은군과 정읍시에서 발생한 구제역 바이러스는 O형이며, 두 농장 간 직접적인 역학관계가 확인되지 않고 멀리 떨어져 발생한 것으로 보아 바이러스가 산재한 것으로 판단(농림축산식품부, 2017. 2. 9.)
 - 경기 연천군 소재 젃소 농장 구제역 바이러스는 A형

[구제역 발생 현황]

구분	2000년	2002년	2010년 1월	2010년 4월
시기	('00. 3. 21.~4. 15.) (22일)	('02. 5. 2~6. 23.) (52일)	('10. 1. 2~1. 29.) (28일)	('10. 4. 8.~5. 6.) (29일)
지역 및 건수	6개 시·군 15건 (소 15)	4개 시·군 16건 (소 1, 돼지 15)	2개 시·군 6건 (소 6)	4개 시·군 11건 (소 7, 돼지 4)
매몰처분	• 182호 • 2,216마리	• 162호 • 160,155마리	• 55호 • 5,956마리	• 395호 • 49,874마리
혈청형	O형	O형	A형	O형
발생원인(추정)	수입건축, 해외여행객(신발, 휴대축산물)	외국인 근로자 관리 소홀	외국인 근로자 관리 소홀	농장주 구제역 발생지역 여행
재정 소요액	2,725억 원	1,058억 원	272억 원	1,040억 원

구분	2010/11년	2014년	2014년/15년	2016년	2017년
시기	('10. 12. 3.~11. 4. 21.) (145일)	('14. 7. 23.~8. 6.) (15일)	('14. 12. 3.~15. 4. 28.) (147일)	('16. 1. 11.~13. 2. 17.~3. 29.) (45일)	('17. 2. 5.~2. 13.) (9일)
지역 및 건수	75개 시·군 153건 (소 97, 돼지 55, 염소 1)	3개 시·군 3건 (돼지 3)	33개 시·군 185건 (소 5, 돼지 180)	6개 시·군 21건 (돼지 21)	3개 시·군 9건 (소 9)
매몰처분	• 6,241호 • 3,479,962마리	• 3호 • 2,009마리	• 196호 • 172,798마리	• 25호 • 33,073마리	• 9호 • 871마리
혈청형	O형	O형	O형	O형	O형, A형
발생원인(추정)	농장주 구제역 발생지역 여행	해외유입 (유입경로 미상)	해외유입 (유입경로 미상)	'14~'15년 잔존 바이러스(추정)	'14~'15년 잔존 바이러스(추정)
재정 소요액	27,383억 원	17억 원	638억 원(추정)	59억 원(추정)	91억 원(추정)

자료: 한국농촌경제연구원. 『2010~2011 구제역 백서』, 『2014~2016 구제역 백서』; 농림축산식품부 보도자료(2016. 11. 7.).

○ 현행 방역지역 설정의 문제점

- 제1종 가축전염병인 구제역과 고병원성 조류인플루엔자가 지속적으로 발생하는 상황에서 정부는 가축질병 발생 초기에 질병의 조기발견과 추가 확산을 차단하기 위한 지속적으로 강화된 방역대책을 마련하여 추진 중
- 가축질병의 확산을 막기 위한 초동대응 조치로 발생 지자체와 인근 지자체를 포함하여 발생농장의 반경 10km를 방역지역으로 설정하여 발생농장에 대한 살처분 실시, 역학조사, 권역별 standstill(일시 이동중지 명령) 실시, 소독시설의 설치, 이동 통제 등 방역조치 실시
- 구제역과 조류인플루엔자의 방역실시요령에 의하면 방역지역을 관리지역(발생농장의 500m 이내), 보호지역(500m~3km), 예찰지역(3km~10km)의 3개 지역으로 구분하여 방역 활동 수행
- 그러나 전술한 방역지역 설정기준과 관련하여 개선사항이 절실함
- 첫째, 방역지역의 지정 범위인 500m, 3km, 10km의 과학적인 근거가 부족
 - 가축질병의 발생과 잠복기, 확산경로, 확산속도 등 가축질병의 역학적 특성을 고려하지 않고, 발생농장으로부터 임의의 거리로 방역지역을 일괄 설정함으로써 가축질병의 특성에 맞는 방역대책을 추진하는데 한계가 있음

- 둘째, 질병발생 지역의 지형, 지세, 사육규모, 도로망 등 지리 및 지역적인 특성 고려 미흡
 - 우리나라의 경우 서해안은 평야지역과 구릉지, 중부와 동부는 산간지로 이루어졌으며, 각 지역마다 평야와 산천이 다양하게 펼쳐져 있어 일률적인 방역지역 설정은 방역비용을 증가시키고 방역효과는 기대하기 어려움
- 셋째, 사료와 분뇨, 축산물 출하 등 축산차량의 이동 등에 대한 고려 미흡
 - 축산업이 규모화·전업화 되면서 축산차량의 이동 빈도가 현저히 증가하고 있는 상황
이므로 도로망과 축산관련 차량의 이동 건수와 패턴이 고려된 방역지역 설정이 필요
- 따라서, 현행 가축질병 긴급행동지침에서 규정하고 있는 방역지역 기준 설정에 있어 차단방역의 효과를 높이기 위한 합리적이고 과학적인 근거에 입각한 방역지역 설정이 시급한 과제임

○ 살처분 대상의 범위 설정 문제

- 방역지역 설정과 함께 발생농장 인근의 살처분 대상에 대한 범위설정 문제
 - 고병원성 조류인플루엔자가 발생하였을 경우 시장·군수는 발생농장에 대해 살처분을 실시하고, 해당지역의 축산업 형태, 지형적 여건, 야생조수류 서식실태, 계절적 요인 또는 역학적 특성 등 위험도 세부요소 (고시, 별표 7)를 고려하여 살처분을 3km까지 확대 실시 가능
 - 위험도 분석의 세부요소로 위험도 함수를 아래와 같이 설정 제시

$$\text{위험도 함수} = f(\text{지형적여건, 역학적특성, 축산업 형태, 야생조수류서식실태, 계절적요인, 기타고려사항})$$

- 축산업 형태 : 가금산업의 밀집도(단위 면적당 농가수, 단위면적당 사육 가금수, 단위면적당 축산종사자 수)에 대하여 방역대내 지역과 방역대외 지역을 비교하여 해당지역의 상대적 밀집도 분석
- 지형적 여건 : 지형을 구분시키는 산, 강 등의 자연적 요소와 고속도로 등 인위적 요소에 따른 분리 가능성 분석
- 역학적 특성 : 기존 발생농장과의 관계 및 농장들 간, 계열사와의 관계, 사료회사 및 분뇨처리 업체와의 관계 등에 대한 역학적 관계 분석
- 야생조수류 서식실태 : 인근의 철새도래지(강, 호수, 저수지 등)의 존재 여부와 철새 및 야생동물의 출현 빈도에 따른 위험도 분석
- 계절적 요인 : 주변지역과의 평균 기온, 강수, 강설량에 따른 바이러스 생존가능성 등에 대한 분석
- 기타 고려사항 : 해당 농장 또는 지역적(마을단위 등) 특성 반영
- 하지만 위험도 함수에서 제시하고 있는 여러 가지 고려사항에 대한 객관적이고 과학적인 기준은 제시된 바 없으며, 방역현장에서는 위험도 함수의 적용이 임의적으로 이루어지고 있음
 - 살처분 범위에 대한 기준이 명확하지 않을 경우 방역대의 설정과 해제 시 그 가축질병의 추가 발생의 위험성이 높음에도 불구하고 방역대에서 제외되는 사례도 발생 가능
- 따라서, 구제역과 고병원성 조류인플루엔자 발생 시 확산을 차단할 수 있는 증거위주로

살처분 범위를 설정함으로써 초기 대응 능력을 확보하는 것이 시급함

- 국가별 살처분 범위 및 사례

구분	한국	유럽연합	미국	캐나다	일본
의무	·감염농장 ·오염지역	·감염농장	·감염농장	·감염농장	·감염농장
선택	·역학농가 ·위험지역 (지형 등에 따라 지역 범위 조정)	·역학농가 ·보호지역 (역학 정보에 따라)	·역학농가	·역학농가 ·감염지역 (상황평가에 따라 실시)	·역학농가
살처분 사례	·필요시 3km 지역 살처분	·네덜란드 (03년) 1km 살처분	·02년 발생 및 접촉농가	·04년 3km 살처분	·05년 역학농가

자료: AI 방역체계 개선 방안(안) (농림축산식품부, 2014)

- 예방적 살처분 비용과 농가 피해를 최소화하기 위한 방안 제시 필요
 - 예방적 살처분 비용의 지속적 발생으로 질병확산 차단효과에 영향을 주지 않는 범위에서 예방적 살처분에 따른 비용 최소화
 - 예방적 살처분에 대한 생산자 애로사항 호소
 - 언론, 환경단체, 축산농가 등의 지속적인 문제제기
 - 2010년 구제역 이후 250건 이상의 예방적 살처분 반대 기사 (네이버뉴스, 2018년 3월 기준)
 - 따라서, 예방적 살처분에 대한 객관적이고 합리적인 기준과 근거를 제시함으로써 농가 및 환경단체의 이해와 참여 유도가 필요함

1-3. 연구개발 내용 및 범위

가. 개발 내용 및 범위

○ 주관연구기관(강원대학교)

- 현행 방역지역의 질병 확산 차단 효과 평가
 - 이전 가축질병 발생 데이터와 역학보고서 등 관련 자료들을 이용하여 현행 방역지역의 선정과 예방적 살처분이 질병의 전파·확산에 미친 영향을 평가하여 사례별로 분류 함
 - 다양한 분야의 방역전문가 자문을 통하여 공간적 요소 이외의 요인 추출
 - 시·공간 군집분석 방법으로 분석활용 : 시공간 군집이 형성되었다는 것은 일정한 기간에 일정한 공간 범위에서 통계적으로 기대치 이상의 질병이 발생하였음을 의미하므로, 인접 전파와 초기 대응 상황 등을 간접적으로 평가할 수 있음
 - 시간이 경과하면 일반적으로 시·공간 군집 현상이 약화되고 군집의 범위도 넓게 나타나는 경향이 있음. 만약, 이러한 경향에서 벗어나는 시·공간 군집이 형성되었다면, 이는 해당 지역의 차단방역 및 예찰 실패에 의한 결과일 가능성이 높음
 - 이러한 결과는 2차년도에 질병발생 농장의 입지유형 분석에 활용됨
- 질병 발생 요인 분석
 - 가축질병발생에 영향을 줄 수 있는 농장의 외적 입지 환경(지리적 특성, 주변 토지 이용, 도로망, 인접 축산시설, 인접 철새도래지(HPAI 분석 시), 하천, 저수지 등)과 내적 입지 환경(축종, 사육두수, 차량접촉빈도, 계열사 유무, 발생 시점 등)을 조사하여 가축질병의 전파·확산에 영향력이 큰 요인 추출
- 질병발생 농장의 입지 환경 유형 분석 및 일반화
 - 질병 발생에 영향을 주는 요인 들 중 영향력이 큰 외적 요인에 대하여 공간정보를 구축한 후, 입지 유형 분석에 필요한 주제로 제작
 - 기계학습의 영상 분류 기법을 적용하여 질병발생 농장들의 입지 환경을 유형별로 분류
 - 각 입지 환경 유형별 질병 전파·확산 특성을 통계적으로 분석하여 방역지역 범위 설정 모델에 적용
- 농장의 입지 유형별 방역지역 설정 모델 개발
 - 농장의 입지 유형별로 방역지역 설정 범위를 제시한 후, 협동연구기관(동국대학교)의 경제성 분석 결과와 연계하여 모델 개선 진행
 - 질병 차단 효과와 경제적 비용 간의 균형점 추정을 위한 공동 연구 수행
- 방역지역 설정 모델 평가 및 개선

- 개선된 방역지역 설정 모델에 대하여 테스트 데이터(모델 개발에 적용되지 않은 질병 발생 연도의 데이터)를 적용하여 정확도 평가
- 테스트 데이터를 이용한 평가를 통하여 지속적인 모델 개선

- 모델의 성능 향상을 통한 활용도 향상 방안 모색

- 축산차량 이동데이터와 같이 질병의 전파·확산에 영향을 줄 수 있는 추가적인 데이터와의 연계 활용 방안 제시

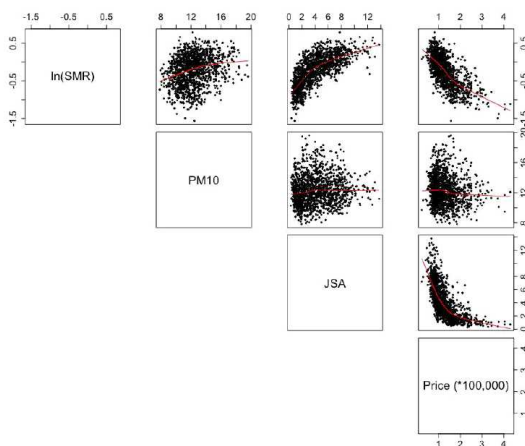
- 정책 건의

- 연구 결과를 토대로 방역지역 설정 개선에 관한 정책 건의

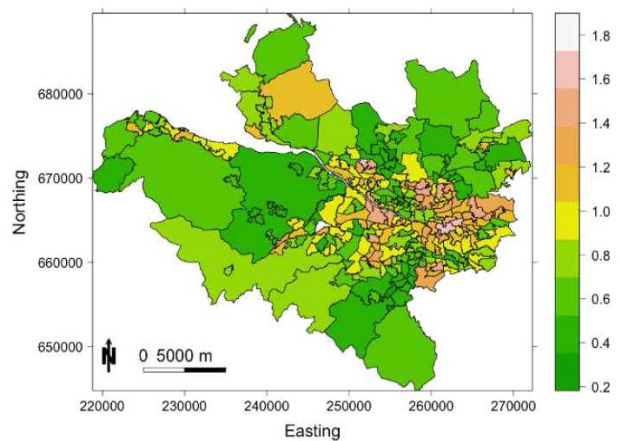
○ 협동연구기관(동국대학교)

- 가축질병 발생과 확산의 시간·공간적 특성을 고려한 경제성 평가

- 가축 전염병 역학조사 관련 공간·비공간 자료(AI·구제역 역학조사서, KAHIS) 수집·정리
- 베이지안 분석 방법을 이용한 계층별시공간(Bayesian spatiotemporal model) 분석 모형 개발
- 가축 전염병의 시간·공간적(지리적 특성, 사육밀집정도, 사육규모, 축종, 발병시점, 지속기간 등) 특성 분석
- Principal-Agent Model을 이용한 신고지연의 질병 확산 영향 분석
- 방역지역 설정이 가축질병 확산과 방역효과에 미치는 경제적 영향 평가



[유병률, 대기오염, 실업수당, 지가 간의 상관관계 분석 사례: 영국 Glasgow (Lee, Duncan et al. 2017)]



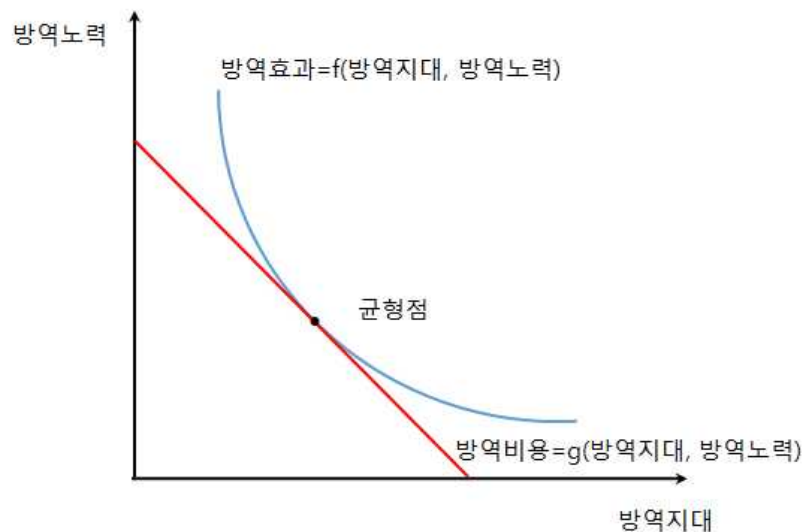
[계층별시공간 모형을 이용한 2007-2011년의 영국 Glasgow 지역의 유병률 (Lee, Duncan et al. 2017)]

- 농장의 입지 유형별 방역지역 설정 모델 개발

- 방역효과를 극대화하고 방역비용을 최소화(또는 주어진 예산 하에서)하는 방역효과 균형모형 개발을 통해 적정(균형) 방역지역 설정

$$\begin{aligned} \text{Max Prevention} &= f(\text{방역지역}, \text{방역노력}, \dots) \\ \text{s.t. cost} &= g(\text{살처분비용}, \text{방역활동비용}, \dots) \end{aligned}$$

- 방역효과와 방역비용 계측 시 축종별(우제류, 가금류) 지역적 특성과 시간적 특성 고려
- 주요 축산시설(도축장, 도계장 등) 및 야생조류 항원검출 시의 방역지역 설정
- 지리적 특성, 사육규모, 축종 등을 고려한 가축방역지역 설정 기준 마련



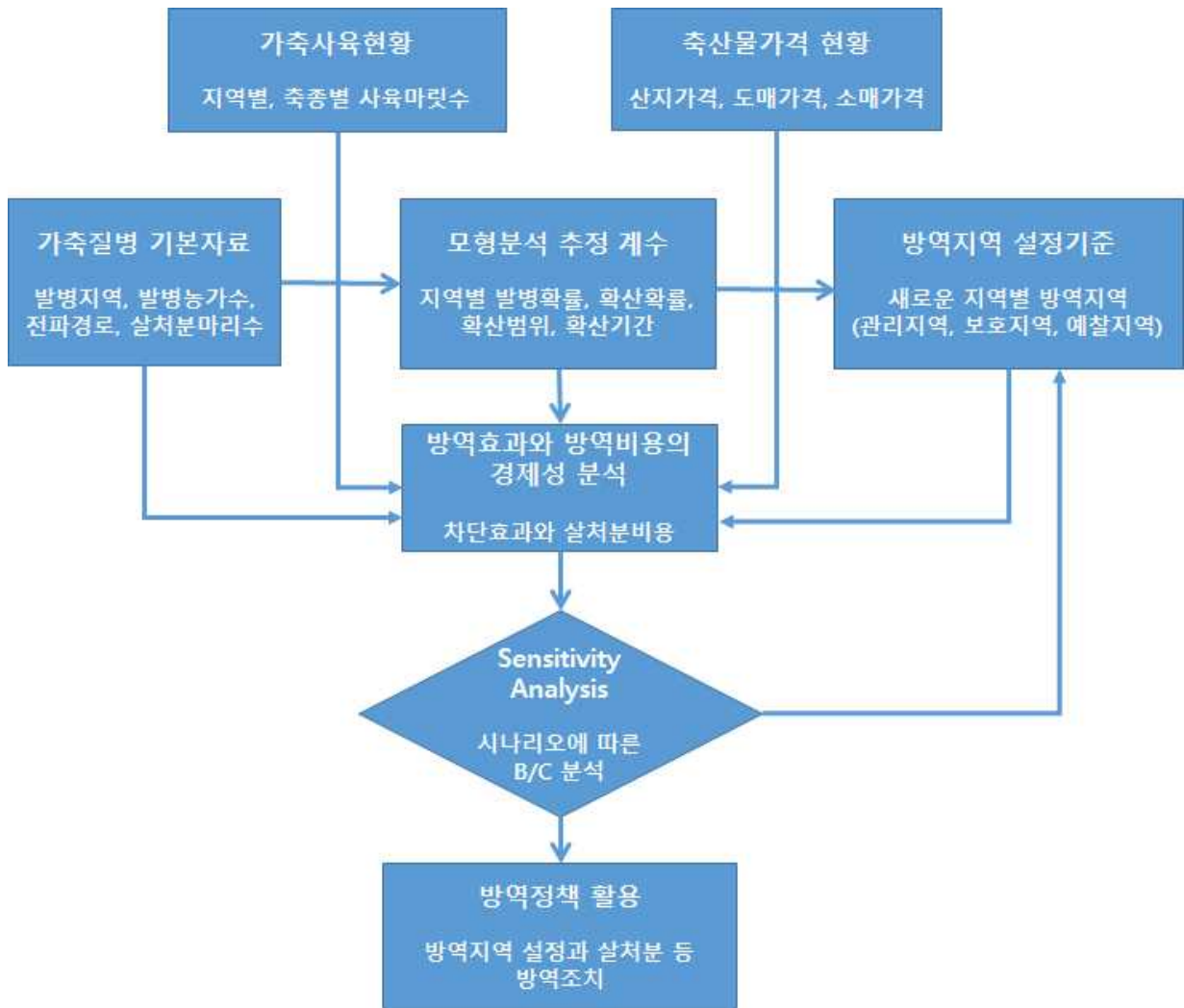
[방역효과와 방역비용의 균형 모델]

- 새롭게 설정된 방역지역의 경제적 타당성 분석

- 새롭게 설정된 방역지대를 과거 발생 상황을 대입하여 질병의 확산 차단효과 분석을 통한 타당성 분석
- 살처분 범위 조정 등 시나리오별 방역효과와 방역비용에 대한 비용편익(B/C) 분석을 통한 경제적 타당성 분석

- GIS 기반의 방역지역 설정 시스템 개발 지원

- 계층별시공간모형과 방역효과 균형모형에서 추정된 계수와 발생확률, 확산확률, 발생지역 특성, 사육두수, 발생 시기, 과거 발생 사례, 축산물 가격 등 종합적인 자료를 이용하여 방역지대 조정과 살처분 조정에 따른 방역의 효과(질병 확산 차단효과)와 경제적 피해 금액을 실시간으로 계측할 수 있는 프로그램 개발 지원



[가축질병 발생에 따른 경제적 타당성 분석과 방역지역 설정 체계도]

○ 협동연구기관(케이웨어(주))

- GIS 기반의 방역지대 설정 시스템 개발을 위한 통합 개발 프레임워크 구축

- 오픈소스 기반 아키텍처 적용
- 전자정부 표준 프레임워크에서 활용하고 있는 Spring 기반의 웹 아키텍처를 적용하여 확장성 있는 아키텍처 수립
- 공간 DB 구축: PostgreSQL을 기본 데이터베이스로 구축하고 GIS spatial Extension으로 PostGIS를 활용
- GIS 서버 구축: java 1.7, Apach Tomcat 7.0을 활용
GIS 서버는 GeoServer로 구축
- 웹 기반 시스템 구축: 프레임워크는 Spring Framework, 라이브러리는 Bootstrap, JQuery, 지도 시각화는 OpenLayer

- 방역기관의 대용량 DB 연계를 위한 시스템 구축
 - 농림축산검역본부 KAHIS 시스템과 연계된 빅데이터 플랫폼(NDAP)의 HDFS DB 연계를 위한 시스템 모듈 설계
 - 연계모니터링정보 생성(Monitor) : 연계 데이터 건수 및 갱신데이터 내역, 스케줄에 따른 연계모듈 실행 여부, 연계체계 기능이 정상적으로 동작하였는지, 데이터가 신규 제공되었는지에 대한 정보 생성
 - 룰 해석기(Rule Parser) : 룰 기반처리를 통해 데이터 매핑 기능을 강화한다. 스키마매핑, 코드매핑 뿐만 아니라 데이터가 기관에서 제공될 때 준수해야 할 규칙을 명시한 룰 파일을 해석하는 기능 수행
 - 스케줄러(Scheduler) : 정보유형에 따라 실시간 또는 주기적으로 정보 연계 실행 주기를 조절하기 위한 기능. 검역본부의 협조에 맞춰 관리자에 의한 수동실행(즉시 실행), 주기적 실행, 일정 시간대기 후 실행 등 3가지 방식의 실행 스케줄링 기능 제공
 - 데이터 캐시기(Data Cacher) : 스키마 정보 및 코드 매핑 테이블 등 자주 사용하는 정보를 내부적으로 캐싱함으로써 연계성능 향상. 일정주기가 지난 데이터 삭제.
 - 운영환경(Controllers) : 멀티 쓰레드를 이용한 최적화된 자원관리 및 기능처리를 위하여 처리해야 할 작업들을 나열하고 처리순서에 따라 작업을 처리하도록 조정. 연계처리 결과를 데이터베이스 (DB) 또는 파일(File)에 저장할 수 있도록 저장장치에 대한 접근 처리 기능 제공
 - 정보수명주기 관리(Information Lifecycle Management) 개발 : 운영 중인 DB의 데이터를 분석하여 가치 기반의 데이터를 관리. 불필요한 데이터를 Archiving DB로 이관하고 운영 DB에서 삭제(Purge)하는 기능 제공. 정보 관리 비용 절감, 온라인 시스템의 성능 개선, 정보 가치 기반의 효율적인 데이터 관리전략 지원

- 국내 질병 발생 사례 방역지대 GIS DB 구축
 - 농림축산검역본부 KAHIS 시스템에서 국내 질병발생 사례(구제역 및 조류인플루엔자), 방역지대 데이터 및 축산시설정보, 차량이동정보 등의 데이터 수집 후 필요시 지오코딩 및 데이터 정제 과정을 거침
 - GIS 기반의 레이어 및 테이블 설계
 - 국내 질병발생 사례 정보에 대한 GIS 기반 분석을 위한 공간정보 구축 및 제공
 - 방역지대 정보 GIS 기반 추출

- 방역지역 설정 시스템 개발을 위한 업무 파악
 - 농림축산검역본부 실무 담당자와의 정기적 업무협의 및 시스템 개발을 위한 관련 업무 파악

- GIS 기반 방역지대 설정(조정)에 따른 자동 비용 산출 모듈 개발
 - 1차년도에 구축된 국내 질병발생 사례에 적용된 방역지대 공간 DB를 웹기반 하에서 조회할 수 있는 시스템 개발
 - 질병발생 사례 및 방역지대 정보 조건별 검색 및 추정 비용 자동 산출 모듈 개발
 - 농장의 입지 유형별 방역지역 설정 모델 개발과 평가에 활용

- GIS 기반 방역지대 설정 지원 시스템 개발
 - 발생농장의 지리적 특성, 사육규모, 축종에 따른 방역지대 설정 모델 탑재 GIS 기반 선정 서비스 개발
 - 도축장 등 차량방문이 많은 축산시설 인근 발생 방역지대 설정 모델 탑재 GIS 기반 선정 서비스 개발
 - 야생조류에서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 검출된 경우 방역지대 설정 모델 탑재 GIS 기반 선정 서비스 개발
 - 국내 축산농가 DB 정보 활용 GIS 기반 방역지대 선정 지원 서비스 개발

- 지적 재산권 출원 및 등록
 - 구축한 프레임워크 및 시스템의 단위 기술과 모듈에 대한 특허 출원

- GIS 기반 방역지대 설정 지원 시스템 고도화 및 통합시험
 - 농림축산검역본부 빅데이터 플랫폼(NDAP)과 연계할 수 있도록 데이터 추출 모듈 개발
 - 방역지대 설정 지원 시스템 각 서비스 고도화
 - 농림축산검역본부 빅데이터 플랫폼(NDAP)과의 통합시험
 - 통합시험을 통한 GIS 기반 방역지대 설정 지원 시스템 고도화
 - GIS 기반 방역지대 산출 모듈 고도화



[GIS 기반 방역지대 설정 지원 시스템 연계]

- 테스트베드 연동을 통한 분석 성능 개선 및 성능평가
 - 농림축산검역본부 빅데이터 플랫폼(NDAP)과의 통합시험 결과에 따른 각 모듈별 성능 개선
 - NDAP에서 차량이동정보 및 축산시설정보 등의 데이터 추출시의 성능 개선
 - NDAP에서 데이터 추출 후 GIS 공간 정보로 저장시의 성능 개선

- 지적 재산권 출원 및 등록
 - 구축한 프레임워크 및 시스템의 단위 기술과 모듈에 대한 특허 출원
 - 2, 3년차에 출원한 특허의 등록 지원
 - 단위 기술과 시스템에 대한 프로그램 등록 진행

[GIS 기반 방역지역 설정 시스템의 성능평가 기준]

평가 항목	정량적 목표항목의 평가방법										
1. 평균응답시간	<ul style="list-style-type: none"> • 정의 : GIS 기반 시스템에서 사용자에게 요청 결과를 반환하는데 걸리는 시간 • 성능 측정 수식 : $\Sigma(\text{사용자 요청 응답시간})/\text{요청 수}$ • 최종 성능 목표치 : 5초 이내 • 성능 목표치 근거 : 웹서비스 기반 GIS 기반 시스템에서 제공하는 대표적 성능 측정 지표, 시스템의 성능 확인을 위해 평가 목표로 설정 • 성능 평가 도구 : 개발 프로그램 활용 및 외부 전문가에 의한 운용 결과물 평가 • 성능 평가 방법 : 개발 프로그램의 결과정보 취합에 의한 성능측정식 계산 • 성능 평가 절차 <table border="1" data-bbox="422 645 1348 835" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">번호</th> <th>절차</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1단계</td> <td>평가환경 구축</td> </tr> <tr> <td>2단계</td> <td>평가 프로그램의 사전 점검</td> </tr> <tr> <td>3단계</td> <td>평가도구 실행 및 결과 확인</td> </tr> <tr> <td>4단계</td> <td>외부전문가에 의한 평가시행 및 참여기관 확인</td> </tr> </tbody> </table> 	번호	절차	1단계	평가환경 구축	2단계	평가 프로그램의 사전 점검	3단계	평가도구 실행 및 결과 확인	4단계	외부전문가에 의한 평가시행 및 참여기관 확인
번호	절차										
1단계	평가환경 구축										
2단계	평가 프로그램의 사전 점검										
3단계	평가도구 실행 및 결과 확인										
4단계	외부전문가에 의한 평가시행 및 참여기관 확인										
2. 방역지역 선정 수행시간	<ul style="list-style-type: none"> • 정의 : 방역지역 선정 시 결과를 출력하기 위한 수행 시간 • 성능 측정 수식 : $\Sigma(\text{방역지역 선정 응답시간})/\text{분석 요청 수}$ • 최종 성능 목표치 : 30초 이내 • 성능 목표치 근거 : 예측모델의 고급 분석에 소요되는 시간을 근거로 모델 연산에 대한 성능을 측정하기 위해 성능평가 목표로 설정 • 성능 평가 도구 : 개발 프로그램 활용 및 외부 전문가에 의한 운용 결과물 평가 • 성능 평가 방법 : 개발 프로그램의 결과정보 취합에 의한 성능측정식 계산 • 성능 평가 절차: 위와 동일 										
3. 방역지대 설정 정확도	<ul style="list-style-type: none"> • 정의 : 방역지대 자동 설정 결과에 대한 정확도 • 성능 측정 수식 : 실제 방역지대 정보와 자동 설정된 방역지대 비교 • 최종 성능 목표치 : 98% 이상 • 성능 목표치 근거 : 공간정보 기반 방역지대 자동 설정 시 실제 방역지대와의 일치수준을 성능평가 목표로 설정 • 성능 평가 도구 : 개발 프로그램 활용 및 외부 전문가에 의한 운용 결과물 평가 • 성능 평가 방법 : 동일 데이터 기반 기존 방역지대 정보와 본 시스템의 방역지대 자동 설정 정보값 비교 • 성능 평가 절차: 위와 동일 										

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 연구수행 내용 및 결과 요약

가. 실증 데이터 구축(2-2-①)

○ 역학조사분석보고서의 데이터화

- 역학조사분석보고서의 정보를 통해 기본 데이터 구축 및 정제
- 역학조사 결과 파악 및 데이터 수집

○ 농가 입지 평가를 위한 데이터 구축

- 농림축산검역본부와의 협의를 통한 축산시설, 농가 데이터 확보
- 국가 운영 정보서비스를 통한 수자원, 생태환경, 토지피복, 지형, 인문경관, 토양도 등의 데이터 확보
- 농장과 농장, 하천, 도로, 철새도래지 등과의 거리로 입지환경 파악
- 농장 별 정보를 통한 축종, 사육두수, 유형 등의 정보 파악

○ 가축 질병에 관한 신문기사 분석: 텍스트마이닝(2-2-②-11)

- 2010년 구제역에서 출발하여 조류인플루엔자와 관련된 텍스트 중심
- 분석 시기별 단어의 빈도와 토픽에 변화(가축질병에서 살처분, 동물복지, 환경오염, 인수공통 전염병 등 다양한 분야로 관심 확대)

○ 국제기구와 해외 주요 국가의 방역지역 설정 기준 분석(2-2-②-12)

- 국제기구와 해외 주요 국가는 500~3km의 살처분 범위 규정
- 지역의 특성을 고려한 살처분 범위를 규정하는 것이 적합
- 우리나라의 조류인플루엔자 긴급행동지침에서는 예방적 살처분 범위를 3km로 규정

나. 현행 방역지역 평가 : 발생 농장 분류 및 유형화(2-2-②)

○ 가축전염병 발생 농가의 시·공간 군집 특성 분석(2-2-②-1)

- 시공간 군집이 형성된 지역은 바이러스가 유입된 이후에 집중적으로 가축질병이 발생하였으나 방역을 통해 바이러스의 유입·확산이 효과적으로 차단된 지역
- 바이러스 초기 발생 시 주변에서 늦게 인지하면서 전파·확산이 빠르게 일어나며 그 결과가 시공간 군집으로 표출
- 초동대응에 실패할 경우 인접전파가 빠르게 이루어지며 예방적 살처분과 같은 적극적인 대응 필요
- 가축질병 발생과 확산의 군집범위 파악

- 시·군별 사육규모, 기후적 특성, 환경적 특성, 인구·사회학적 특성 등이 HPAI 발생에 미치는 영향 분석

○ 가축전염병 발생 지역의 공간자기상관(공간적 군집 특성) 분석(2-2-②-7)

- 특정 행정구역에서 가축전염병 발생이 공간적으로 군집하는 것을 확인

○ 가축농가의 특성이 가축질병의 발생에 미치는 영향 분석(2-2-②-2 ~ 2-2-②-6)

- 가금농장과 양돈농장의 특성을 사육규모, 방역지역 범위내의 농장특성, 입지특성 등으로 구분하여 가금농장과 양돈농장의 가축질병 발생 확률을 추정
- 발생확률이 높은 농장의 분포를 시각화하여 위험지역으로 지정

○ 가축질병 발생 농가 간 네트워크 분석(2-2-②-8)

- HPAI는 FMD에 비해 바이러스 잠복기간이 짧아 증상에 대한 조기 인지 및 빠른 방역조치로 단순 네트워크가 많이 발생
- 바이러스 유입 경로의 다양성은 HPAI가 FMD에 비해 월등히 높음
- FMD의 주요 감염원은 축산 관련 시설, HPAI의 경우는 철새서식지 역할을 하는 저수지나 하천

○ 가축질병 발생농가 주변 토지피복 특성 분석(2-2-②-10)

- 개별 질병 발생 농가 단위 토지피복도 이미지 제작
- k-Means 방법에 따른 토지피복 이미지 군집화

다. 방역지역 설정 지원 모델 개발(2-2-③)

○ 방역지역 설정 경제성 평가 모델 개발

- 효용 극대화 모형을 방역효용 모델에 적용하여 적정 방역지역 설정 모형
- 방역효과편익함수는 가축질병 발생 시 인근지역의 농장이 질병에 걸릴 확률이며, 살처분비용함수는 가축의 가치(가격)
- 방역효과편익함수와 살처분비용함수를 설정하여 방역효과한계편익곡선과 한계살처분비용곡선이 만나는 지점
- 두 곡선이 만나는 지점의 거리가 비용대비 가장 적절한 살처분 범위
- 현행 조류인플루엔자 긴급행동지침(SOP)에서 설정하고 있는 예방적 살처분 거리는 3km이지만, 2016-2017 HPAI 기준 살처분 비용과 방역효과와의 균형점은 2.35km로 나타남

○ 네트워크 분석 모델 개발(2-2-②-8)

- 역학조사 분석 결과를 Edged list 형태의 1-mode network로 변환(유입원-발생농가-가중치)
- 질병 전파는 유입과 유출 경로가 존재하기 때문에 방향성을 반영
- 연결중심성, 매개중심성, 지역중심성, 노드의 역할을 파악하여 가축질병 발생농가의 특성 파악
- 가축농가의 특성 파악을 통한 가축질병 전파·확산 특성 및 전파·확산에 중요한 역할을 하는 농가를 탐색
- 가축질병 네트워크는 신규 가축질병 발생 시 과거의 가축질병의 전파·확산 경로를 파악하여 해당 경로를 차단할 수 있도록 하는 차단방역 강화의 근거
- 데이터 구축 및 활용에 대한 정책제안(2-2-②-9)

○ 방역지역 설정 지원 모델 통합

- 현행 방역지역 선정의 근거 마련과 가축질병 발생 네트워크 파악을 통한 핀 포인트 방역을 지원하기 위한 모델 통합
- 인접전파를 차단하기 위한 현행 방역지역의 명확한 근거가 없으며, 이에 따라 방역의 비용을 최소화하고 효과적인 방역을 시행할 수 있도록 방역지역 설정의 경제성을 평가하여 적절한 방역 지역 설정
- 차량 및 사람에 의한 전파를 네트워크 구축을 통해 파악하여 이를 조기에 차단하기 위해 해당 지역에 선제적 방역조치가 이루어질 수 있도록 의사결정에 도움

라. 방역지역 설정 지원 시스템 구현(2-2-④)

○ GIS 기반의 방역지역 설정 지원 시스템 개발

- 개별 농장의 특성이 반영된 방역지역 설정 시스템 구현
- GIS 기반의 시스템 구축과 사용자 친화적인 UX/UI 구현으로 활용성과 신속한 의사결정이 가능하도록 구현

○ 방역지역 설정 지원을 위한 농장별 특성 정보 및 공간정보 시각화

- 지역별 농장 검색 및 농장별 특성 정보 검색 기능
- 질병 발생농장 기준 설정 거리 내 위치한 농장 검색 기능
- 질병 발생농장 기준 방역지역 설정 시 지정 거리 외곽 인접 농장의 발생위험도 평가결과를 반영한 방역지역 설정 기능
- 설정 반경 내 농장 목록, 농장특성 정보 및 총 농장 개수와 총 사육두수 산출
- 농장 간 방문 네트워크 정보 시각화
- 발생농장 및 바이러스 검출 위치 사용자 등록 및 공간 DB 자동구축 기능

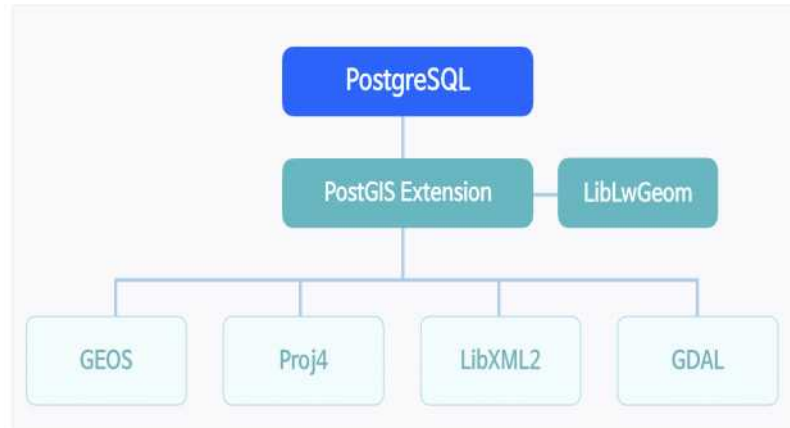
2-2. 연구수행 내용 및 결과

① 방역지대 설정 지원 GIS 분석플랫폼 및 GIS DB 구축

①-1. GIS 기반 통계 분석 시스템 기술개발

가. 오픈소스 기반의 GIS 공간분석 플랫폼 구축

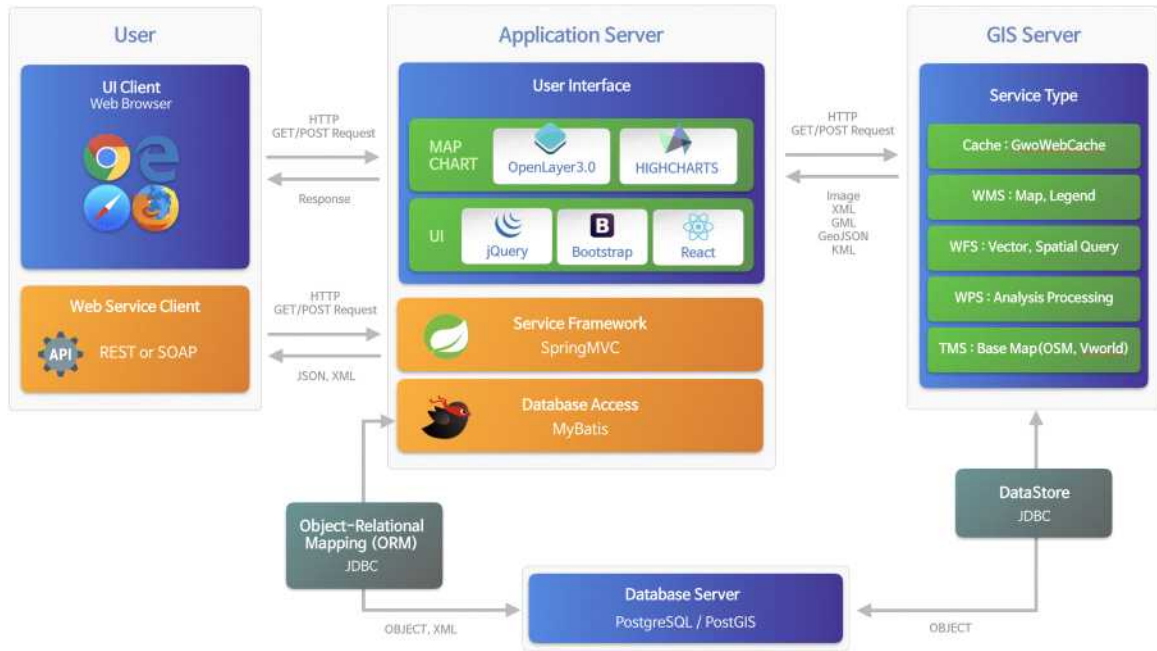
- HPAI 발생 바이러스 전파 조사 지원을 위해 국내 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 주요 감염원으로 추정되는 철새의 분변 데이터와 항원검출 데이터 통계 분석을 위한 GIS 기반의 공간정보 시각화 시스템을 개발
 - 농림축산검역본부, 환경과학원과 환경부의 협조를 통해 받은 철새 분변 채취 지점 정보, H5H7 항원검출 내용 정보 및 농림축산식품부 농장 정보 등 다양한 공간 DB를 구축하고 공간정보를 시각화 할 수 있는 시스템을 PostgreSQL 등의 오픈소스를 활용해 개발
 - 공간분석을 위한 공간 SQL DBMS 및 분석 환경을 구성하고 빅데이터 플랫폼과 연계해 조류인플루엔자 관련 빅데이터를 GIS 공간분석에 바로 활용하고 시각화 할 수 있도록 시스템을 구축
 - PostgreSQL : PostgreSQL 은 기존 RDBMS와 다른 ORDBMS로 공간분석을 위해 최적화 구현 진행
 - PostGIS Extension : PostGIS의 ORDBMS의 특성을 이용해 Native 수준의 Spatial SQL 의 요소인 Type, Index, Function 구현
 - LibLwGeom : Database를 바로 이용할 수 없는 많은 기능을 Sub Library에서 Low Level로 구현해 효율을 높임
 - PoGEOS : 널리 사용되는 C++ 기반 공간정보 라이브러리를 이용해 많은 유용한 고수준 분석/처리 기능 추가
 - Proj4 : 좌표계 변환 라이브러리를 붙여 다양한 표준 및 비표준 좌표계를 처리
 - LibXML2 : XML 라이브러리를 이용해 GML, KML 등 XML 기반 공간정보 표준 처리
 - GDAL : 널리 사용되는 C++기반 Raster GIS 라이브러리를 이용해 Raster 데이터 처리와 분석



<그림 ①-1. PostGIS Architecture>

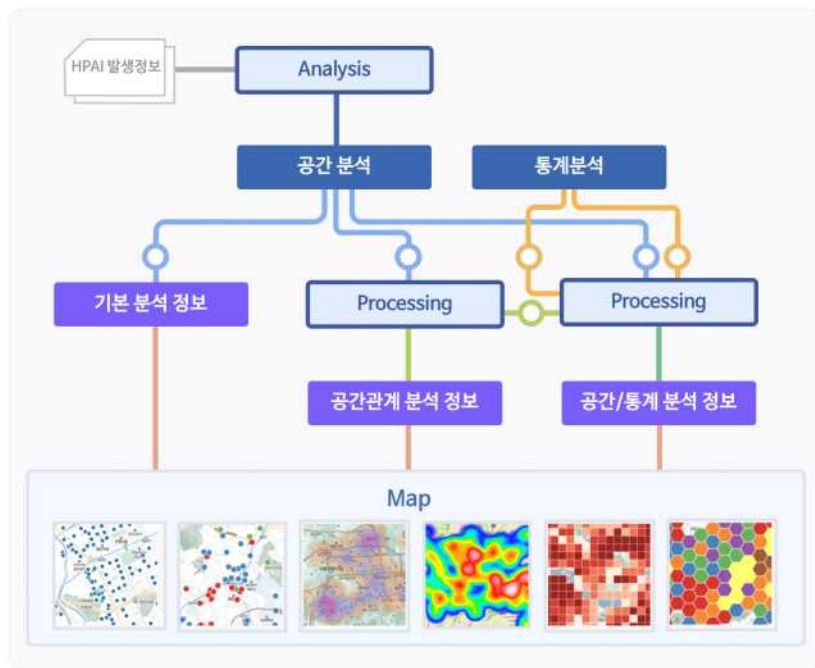
○ 오픈소스 GIS 분석 시스템 아키텍처 구성

- 통합 분석에 필요한 철재 관련 국내외 데이터 수집/정제/저장/분석 지원 빅데이터 플랫폼을 구축하고 개발한 빅데이터 수집 인터페이스를 고도화
- H5H7 항원검출 내역 및 농가 정보와 같이 수집된 데이터의 포맷과 생애주기에 맞춘 관리체계를 개발하고 시스템에서 자동으로 데이터의 이력부터 정제, 활용, 삭제까지의 추적 관리가 가능한 데이터 관리정책(Data Governance)을 구축
- 수집한 데이터를 연구팀에서 지속해서 다양한 분석에 활용할 수 있는 형태로 정제/마이닝 할 수 있도록 시스템을 고도화
- 데이터의 수집부터 저장/정제/마이닝/데이터마트 구성, 분석/분석 결과 저장/시각화까지 처리할 수 있는 통합 빅데이터 수집/관리/분석/시각화 플랫폼을 구축
- GIS 기반 오픈소스를 이용한 아키텍처 구성은 PostgreSQL(+PostGIS, 공간 DBMS) + GeoServer(GIS 서버) + 오픈소스 GIS 분석(WPS) 패키지로 구성
- PoJava + Tomcat + Spring Framework + OpenLayers + D3 Chart Library... 등을 사용



<그림 ①-2. 오픈소스 기반 GIS 시스템 아키텍처>

- 다양한 시각화 기법 적용을 위한 GIS 분석 및 시각화 공통 프레임워크를 구현
- GIS 분석을 위해 Point Clustering, Density, Flow Map, 시계열 애니메이션 등의 시각화 기법을 지원하도록 설계



<그림 3. 정보 표현에 최적화된 시각화 기법 적용>

- GIS 기반 축산시설 및 방역지대 설정 지원 시각화 시스템을 구현
- 축산시설, 지형 정보 등의 기반정보와 분석 정보를 공간 데이터화 하여 시각화 설계

- 권역, 도래지, 습지+수원지 등 특정 공간정보(Polygon)를 기준으로 기반 지리 정보 시스템에 해당 공간에 속한 시설에 대한 상세조회 지원하도록 설계
- PostGIS 공간분석 라이브러리를 활용하여 다양한 공간분석 및 시각화하도록 설계

①-2. 방역지대 설정 지원 시스템 관련 GIS DB 구축

가. 공통 공간정보 DB 구축

○ 기반 지리 정보를 구축

- 기반 지리 정보는 각 사이트에서 공유해주는 데이터의 요청에 따라 온라인 요청 후 다운로드 진행
- 주로 환경부, 행정안전부, 국토교통부와 국토지리정보원, 산림청, 농촌진흥청 등 공공기관을 통해서 데이터를 수집
- 우리나라 공공기관뿐만 아니라 ASTER GDEM , NASA MODIS등 해외 유명 사이트의 데이터 또한 수집

<표 ①-1. 기반지리정보 요구사항 분석 결과>

데이터	출처	수집 방법	수집상태	범위	유형
철새도래지 공간 데이터	환경부	온라인다운	○	전국	폴리곤
토지피복도 공간 데이터	환경부	온라인요청	○	전국	폴리곤
생태 자연도	환경부	온라인요청	○	전국	폴리곤
수원지 데이터	국토지리정보원	온라인요청	○	전국	폴리곤
습지 데이터	국립습지센터 KLIS-습지보호구역	온라인요청	○ ○	전국	폴리곤
도로 데이터	새주소	온라인요청	○	전국	라인
	지형도	온라인요청	○	전국	라인
	KTDB	온라인요청	○	전국	라인
수치입상도	산림청	온라인요청	○	전국	폴리곤
수치표고자료	ASTER GDEM	온라인요청	○	전국	래스터
경사도	ASTER GDEM	온라인요청	○	전국	래스터
NDVI	MODIS 250m	온라인요청	○	전국	래스터

○ 원본 데이터 수집을 위한 온라인 출처는 다음과 같음

○ 토지 피복도 및 생태 자연도 수집

- 토지 피복도란 주제도의 일종으로 지구 표면 지형지물의 형태를 일정한 과학적 기준에 따라 분류하여 동질의 특성이 있는 구역을 색으로 인덱싱한 후 지도 형태로 표현한 공간정보 DB
- 토지피복도는 환경부 [환경 공간정보 서비스 - <http://egis.me.go.kr>] 시스템 접속하여 다운로드 가능
- 회원 가입 필요하며 도엽별, 행정구역별 영역 지정 가능

- 생태자연도는 환경부에서 제공하며 전국에 있는 산, 하천, 내륙습지, 호소, 농지, 도시 등의 입지에 대한 생태적, 경관적 가치 등에 대한 조사하여 등급화한 지도
 - 생태자연도의 경우 [국가공간정보포털 오픈마켓]을 통해서도 다운로드 가능
 - <http://data.nsd.go.kr/dataset/12606>
- 수원지 - 호수 및 저수지 수집
- 국토지리정보원에서 제공하는 연속 수치지형도 호수/저수지 데이터
 - 국가공간정보포털 오픈마켓을 통해 온라인 다운로드 가능
 - 필수로 온라인 회원 가입
 - <http://data.nsd.go.kr/dataset/20180927ds0055>
- 습지 데이터 수집
- 국립 습지 센터에서 제공하는 습지 데이터는 우리나라 안에 있는 습지들의 데이터를 모아놓았으며 시각화를 제공
 - 국립습지센터 습지 정보시스템에서 온라인 다운로드 가능
 - <http://gis.wetland.go.kr/wetland/> 접속 후 Shape file 형태로 다운로드 가능
- 습지 보호구역
- 국토교통부에서 제공하는 습지 보호구역 데이터는 토지를 경제적, 효율적으로 이용하고 토지이용의 종합적 조정, 관리등을 위하여 도시관리계획으로 결정하는 지역 정보를 담고 있음
 - 국가공간정보포털 오픈마켓을 통해 온라인 다운로드 가능
 - 필수로 온라인 회원 가입
 - 시도별 다운로드 후 합치는 과정 필요
 - <http://data.nsd.go.kr/dataset/12756>
- 도로 데이터 - 지형도
- 국토지리정보원에서 제공하는 연속수치 지형도 도로 중심선 데이터
 - 국가공간정보포털 오픈마켓을 통해 온라인 다운로드 가능
 - 필수로 온라인 회원 가입
 - <http://data.nsd.go.kr/dataset/20180927ds0062>
 - 지역별 다운로드 후 합치는 과정 필요
- 도로 데이터 - 도로명주소

- 행정 안전부에서 제공하는 도로의 시작과 종점, 도로명 부여의 기본정보 등을 담은 데이터
 - 국가공간정보포털 오픈마켓을 통해 온라인 다운로드 가능
 - 필수로 온라인 회원 가입
 - <http://data.nsd.go.kr/dataset/12902>
 - 시도별 다운로드 후 합치는 과정 필요
- 도로 데이터 - 국가 교통 DB
- 국가 교통 DB 센터를 통해 온라인 다운로드 가능
 - 필수로 온라인 회원 가입
 - <https://www.ktdb.go.kr>
 - 교통분석자료 중 교통망 GIS DB 신청, 승인 후 다운로드 가능
 - 전국 단일 데이터로 구성되나 KATEC이라는 내비게이션용 좌표체계를 사용
- 수치 임상도 수집
- 수치도, 임상도는 임상별 수종별 산림면적 분포에 대한 통계를 제공함으로써 산림자원관리 전반에서 기본 자료로 활용이 되는 데이터
 - <http://116.67.84.152/forest/#/> 접속
 - 산림 공간자료 유통 신청 메뉴 클릭 후 본인 인증을 통해 신청 및 승인 후 다운로드 가능
- DEM 수집
- NASA에서 제공하는 전 세계 30m 해상도의 DEM을 다운로드 가능
 - <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> 접속 가입 필요
 - 온라인에서 영역 지정 후 신청, NASA에서 설정한 도엽 단위로 다운로드 후 합치는 과정이 필요
- NDVI 수집
- NASA의 MODIS 데이터를 다운로드
 - 시계열 데이터로 제공
 - 2016년 10월 ~ 2018년 10월까지 NDVI 자료를 다운로드 제공
- 기반 지리 정보의 설계서
- 기반 지리 정보 설계 원칙
 - 기반 지리 정보는 시스템 구축 후 계속 최신 데이터로 갱신

- 스키마는 원 데이터 출처(공공기관 등)에서 제공하는 원본 스키마를 준수
- 좌표체계는 확산예측 알고리즘 등 활용처에 따라 유연하도록 DBMS 및 GIS 서버에서 동적으로 변환

○ 기반 지리 정보 세부 설계서

- 산림청 수치 임상도 1:5,000 기반 지리 정보 설계서는 13개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 140
- 산림청 수치 임상도 1:25,000 기반 지리 정보 설계서는 10개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 53
- 습지 보전지역 기반 지리 정보 설계서는 7개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 456
- 호수 및 저수지 기반 지리 정보 설계서는 8개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 272
- 지하수 측정망(일반지역) 기반 지리 정보 설계서는 8개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 520
- 지하수 측정망(오염 우려 지역) 기반 지리 정보 설계서는 일반지역과 같이 8개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 520
- 산림입지토양도 기반 지리 정보 설계서는 6개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 19
- 국가 교통 DB 도로 네트워크(링크) 기반 지리 정보 설계서는 37개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 240
- 도로명주소 도로 구간 기반 지리 정보 설계서는 21개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 950
- 도로명주소 실폭 도로 기반 지리 정보 설계서는 4개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 31
- 국토지리정보원 도로 중심선 1:5,000 기반 지리 정보 설계서는 16개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 487
- 국토지리정보원 실폭도로 1:5,000 기반 지리 정보 설계서는 4개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 51
- 환경부 생태 자연도 기반 지리 정보 설계서는 18개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 495

- 환경부 철새도래지 기반 지리 정보 설계서는 5개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 772
- 환경부 습지 데이터 기반 지리 정보 설계서는 26개의 Field를 가지고 있으며, 원 데이터 출처에서 제공하는 원본 스키마를 준수하였으며 데이터의 총 길이는 5851

나. 질병 검출내역 공간 DB 구성

○ 검역본부, 환경과학원, 환경부의 협조를 받아 최신 질병 검출내역 표준화 및 공간 DB화

- 총 1,692건의 질병 검출지점의 데이터를 수집하여 표준화 및 공간 DB화 진행
- 질병 검출지점 주소 정보를 이용하여 본 시스템의 표준 좌표체계로 정제 진행 (네이버, 다음 포탈의 주소 표준정보를 활용)

시군구	소재지ID	주소(도)	주소(시군구)	위도	경도	행정	수집기관	발표기관
가급		경기도	평택시	37.02696108218169	126.88149251899936	H5N6		
중부		경기도	광주시	37.376955	127.2443833	H5N3	환경과학원(생물대 수의대)	
중부		경기도	양주시	37.86638889	127.0584444	H7N9	국립환경과학원	
중부		경기도	홍익시 차갈구	37.11733333	127.4098333	H7N8	국립환경과학원	
중부		경기도	천안시	37.11580556	127.421375	H5N6	한국대학교	국립환경과학원
중부	2018-022	경기도	평택시	37.100829	127.075833	H5N2	방역본부	검역본부
포북		전북	김제시	35.89170278	126.9951528		방역본부	검역본부
가급		경남	합천시	35.34882735	128.8842515	H5N6		
가급		경남	합천시	35.34882735	128.8842515	H5N6		
중부		충북	진천군	36.77949333	127.5630778	H3형 AIV 5건	방역본부	검역본부
중부		전북	군산시	36.030442	126.8240568		한국동물위생시험소	검역본부
중부		경남	창원시	36.72220115286812	127.11873581407886	H5N2	한국대학교	한국대학교
중부		전북	부안군	35.711688	126.826087	H3N8	충북대	검역본부
중부		충남	부여군	36.34295833	126.8112861	홍성	방역본부	검역본부
중부		강원	강릉시	37.769	128.9479222	H7N7	환경과학원	검역본부
중부		경남	고성군	34.98822778	128.3249389	H5N2	방역본부	검역본부
포북		전남	나주시	35.06131389	126.7622778		방역본부	검역본부
중부		강원	양양군	38.10689722	126.6448556	H5N3	국립환경과학원	국립환경과학원
가급		충북	홍성	36.948682	127.531902	H5N6		
중부		전북	정읍시	35.6430502	126.7470102	H5N2	검역본부	검역본부
중부	2018-039	충남	당진시	36.943425	126.6279222	H7N7	환경과학원	검역본부
중부		서울	구로구	37.51438056	126.8781806	H4 AIV	서울보건검역원	검역본부
가급		서울	소청	36.721035	127.190426	H5N6		
중부		경남	창원시 위정구	35.2118683	128.884372	홍성	방역본부	검역본부

<그림 ①-4. 검역본부 제공 질병 검출 내역 공간 DB화>

- 질병 검출내역 Meta-data

연번	시도	시군	주소	좌표		구분	품종	신고일 (접수, 채취일)	비고	검사기관	병원성
				위도	경도						
1	서울	성동구	서울특별시 성동구 용답동 207	37° 33' 15.7206"	127° 3' 4.5606"	분변		2015-10-08	H5N3	검역본부	LPAIV
2	경기	안산	상록구 부오1동 665-17	37° 16' 24.2508"	126° 50' 17.0484"	분변		2015-10-20	H4/H5	검역본부	LPAIV
3	충남	천안시	동남구 성남면 화성리 168-1	36° 45' 20.7102"	127° 16' 13.2888"	분변		2015-11-02	H5N3	검역본부	LPAIV
4	경기	화성시	안남동 102-4	37° 11' 25.6986"	127° 0' 29.9016"	분변		2015-11-09	H5N3	검역본부	LPAIV
5	경기	김포시	하성면 후평리 886	37° 44' 57.8112"	126° 39' 42.2892"	분변		2015-11-16	H5N3	검역본부	LPAIV
6	경기	화성시	충정남도 왕진시(원상)	37° 01' 51.73"	126° 27' 06.99"	분변		2015-11-19	H5N3	검역본부	LPAIV
7	경기	김포시	경기 김포시 하성면 석탄리 960	37° 43' 26.5002"	126° 39' 47.8902"	분변		2015-11-23	H5N3	검역본부	LPAIV
8	충남	천안시	성남면 화성리 168-1	36° 45' 21.2178"	127° 16' 14.3682"	분변		2015-11-23	H5N3	검역본부	LPAIV
9	서울	강서구	방화동 2-17	37° 35' 12.668"	126° 49' 09.94"	분변		2015-12-07	H5N3	검역본부	LPAIV
10	충남	서천군	서천군 마서면 도삼리 136-8	36° 1' 36.1086"	126° 44' 31.2678"	분변		2015-12-21	H5N3	검역본부	LPAIV
11	전북	익산시	준포면 준포리 907	35° 53' 45.699"	127° 00' 57.899"	포획	청동오리	2015-12-28	H5N3	검역본부	LPAIV
12	충북	보은군	충북 보은군 담부면 상장리 1060	36° 27' 05.10"	127° 46' 49.05"	분변	원양	2016-10-28	H5N6	검역본부	HPAIV
13	충남	논산시	충북 영동군 상촌면 공촌리	36° 7' 55"	127° 2' 51"	분변		2016-10-31	H5	환경과학원	LPAIV
14	전남	나주시	다도면 공월리 3 나주호	34° 57' 31.02"	126° 49' 50.75"	분변	원양	2016-11-02	H5N3	검역본부	LPAIV
15	강원	원주시		37.415762	127.941542	구조	수리부엉이	2016-11-05	H5N6	검역본부	HPAIV
16	전북	부안군	계화면 계화리 동진강	35° 48' 36.399"	126° 37' 58.379"	분변		2016-11-09	H7N2	환경과학원	LPAIV
17	전북	고창군	전북 고창군 부안면 신승리	35° 32' 01.959"	126° 35' 40.679"	포획	황방검둥오리	2016-11-10	H5N6	검역본부	HPAIV
18	충남	천안시	천안시 동남구 동서면 송두1길	36° 45' 06.059"	127° 06' 37.029"	분변	원양	2016-11-13	H5N6	검역본부	HPAIV
19	충남	아산시	안주면 문방리 삼교포	36° 52' 34.879"	126° 51' 49.159"	분변		2016-11-15	H5N6	환경과학원	HPAIV
20	충남	아산시	충남 세종시 공남면 황송리 271-1	36° 28' 19.539"	127° 19' 12.549"	포획	원양	2016-11-17	H5N6	검역본부	HPAIV
21	충남	공주시	충남 공주시 우성면 송대리 340-1	36° 28' 30.819"	127° 02' 51.359"	포획	원양	2016-11-17	H5N6	검역본부	HPAIV
22	충남	아산시	충북 청원군 청도면 달계하석로	36° 28' 17.789"	127° 26' 09.279"	포획	원양	2016-11-17	H5N6	검역본부	HPAIV
23	충남	공주시	충청남도 공주시 계룡면 중장리 848	36° 21' 44.219"	127° 09' 06.949"	분변	청동오리	2016-11-18	H5N6	검역본부	HPAIV
24	전남	강진군	강진읍 학평리 전방 해상			매사제	큰고니	2016-11-20	H5N6	환경과학원	HPAIV
25	전남	강진군	마항면 마항리 전방 해상			매사제	큰고니	2016-11-20	H5N6	환경과학원	HPAIV
26	강원	양양군	남대천	38° 06' 27"	128° 38' 39"	분변		2016-11-17	H5N3, H5N8	환경과학원	LPAIV
27	충남	천안시	동남구 동서면 삼대리 9	36° 45' 12.719"	127° 06' 14.769"	분변		2016-11-22	H5N6	검역본부	HPAIV
28	충남	부여군	남면 대신리 563-4	36° 12' 19.129"	126° 46' 19.709"	분변		2016-11-22	H5N6	검역본부	HPAIV

<그림 ①-5. 환경과학원, 환경부 제공 질병 검출 내역 데이터>

- 질병 데이터는 9개의 Field를 가지고 있으며 예시 데이터는 아래 표와 같음

<표 ①-18. H5 H7 Example Meta-Data>

Column	Data
도본부	충남
시군	아산시
상세주소	배방읍 갈매리 220
구분	분변
품종	쇠오리
시료접수일	2017-01-17
비고	H7N7
채취기관	검역본부
병원성	LPAIV

다. 농림축산식품부 가금농장 공간 DB 구성

○ 농림축산식품부의 협조를 받아 최신 가금농장 데이터 DB 구축

○ 전국 가금농장 데이터 표준화 및 공간 DB화 진행

- 총 6,477개의 가금농장 데이터를 수집하여 데이터 정제 및 표준화 진행

- 가금농장의 주소 정보를 이용하여 본 시스템의 표준 좌표체계로 정제 진행 (네이버, 다음 포탈의 주소 표준정보를 활용)

- 가금농장 데이터는 24개의 Field를 가지고 있으며 예시 데이터는 아래 표와 같음

1	regdate	district_cd	office_nm	area	farm_nm	farm_owne	livestock_t	livestock_n	live_cnt	livestock_n_address	ro_address	farm_dto	farm_sig	farm_emd	farm_r	tel	phone	livestock_c	live_state	adm_cd	idx	refine_jon	refine_lat	refine_livestock_cnt
2	2020-03-03	전북	남부사육소남원		인유실	달	중계	35000		전라북도	전라북도	남원시	대산면	수덕리		010-9212-		0	휴업		3462			0
3	2020-03-03	전북	서부사육소해안		노비중	달	북계	90000		경상북도	경상북도	해안군	봉황동	종로리		011-9579-	170,000	운영			6996			170000
4	2020-03-03	전북	서부사육소정읍		내장곡산	달	북계	1000		전라북도	전라북도	정읍시	북정읍	북정읍		063-535-3010-9645-	0	휴업			34			0
5	2020-03-03	전북	동부사육소여수		오근신	달	북계	100000	1	경상북도	경상북도	여주시	안면동	육리		054-636-010-6505-	40,000	운영			562			40000
6	2020-03-03	경기	동부사육소여수		태원농장	신익구	달	조종달	20000	1	경기도	여주시	북천면	상대리		010-5528-	13,600	운영	4.17E+09		1878	127.5143	37.35258	13600
7	2020-03-03	전북	남부사육소임실		김정덕	달	북계	40000		전라북도	전라북도	임실군	오수면	대항리		063-642-7010-9239-	0	휴업	4.58E+09		3910	127.339	35.51601	0
8	2020-03-03	전남	서부사육소무안		박익노	오리	육종오리	6200		전라남도	전라남도	무안군	편강면	행산리		010-3647-	0	휴업	4.68E+09		6718	126.4343	35.01923	0
9	2020-03-03	전북	남부사육소남원		박정리	오리	육종오리	10000		전라북도	전라북도	남원시	순흥동	파수리		063-634-010-9645-	0	휴업			135			0
10	2020-03-03	전북	남부사육소임곡		이복2농장	이복	달	북계	10000	1	경상북도	경상북도	북곡군	석역면	반계리		054-974-2010-9363-	20,000	운영		296			20000
11	2020-03-03	전북	남부사육소남원		자재철	달	중계	45000		전라북도	전라북도	남원시	수지면	남장리		010-9345-	44,000	운영	4.52E+09		4264	127.3355	35.31637	44000
12	2020-03-03	경기	동북사육소포천		임승우	달	조종달	500	0	경기도	포천시	양동면	관주리		010-2544-	0	휴업	4.17E+09		4425	127.2547	37.98237	0	
13	2020-03-03	전북	북부사육소여수		부성농원	정재화	달	산란계	100000	2	경상북도	경상북도	여주시	장수면	갑산리		054-637-3010-3341-	62,000	운영		563			62000
14	2020-03-03	전북	북부사육소정읍		서양농리	김병호	오리	육종오리	10000		경상북도	경상북도	정읍군	정읍동	정읍리		010-2464-010-2464-	0	휴업		625			0
15	2020-03-03	전북	서부사육소정읍		순진농장	김진홍	달	조종달	11000		전라북도	전라북도	정읍시	북면	북동리		063-536-6010-4121-	0	휴업		669			0
16	2020-03-03	전북	남부사육소남원		김영선	달	북계	65000		전라북도	전라북도	남원시	이백면	과힐리		063-626-9010-6215-	0	휴업	4.52E+09		5816	127.4707	35.43054	0
17	2020-03-03	전북	북부사육소여수		한복농장	송용복	달	산란계	110000	1	경상북도	경상북도	여주시	장수면	갑산리		054-637-3010-3437-	45,000	운영		718			45000
18	2020-03-03	전남	동부사육소나주		이선농장	김종우	오리	육종오리	11600		전라남도	전라남도	나주시	신포면	파지리		061-337-5010-4613-	11,400	운영		733			11400
19	2020-03-03	경기	서북사육소강화		강민농장	김희발	달	북계	28000		인천광역시	인천광역시	강화군	화성면	북산리		032-933-6010-8597-	0	휴업		2691			0
20	2020-03-03	전북	동부사육소정읍		상진농장	조상진	달	북계	100000		충청북도	충청북도	정읍시	청주오창동	화산리(舊)		010-6298-010-6298-	0	휴업		385			0
21	2020-03-03	전북	동부사육소정읍		상진농장	조상진	달	조종달	100000		충청북도	충청북도	정읍시	청주오창동	화산리(舊)		010-6298-010-6298-	0	휴업		386			0
22	2020-03-03	전북	동부사육소고산		김씨	김희중	달	북계	100000	2	충청북도	충청북도	고산군	봉정면	차장리		010-7767-010-7767-	0	휴업		396			0
23	2020-03-03	전북	남부사육소정읍		정일농장	남기문	달	산란계	100000	2	충청북도	충청북도	정읍군	대곡면	유사리		010-8572-010-8572-	185,000	운영		409			185000
24	2020-03-03	전북	서부사육소고창		육종장계탄	한영환	달	북계	100000		전라북도	전라북도	고창군	상남면	신대리		063-562-3010-9444-	110,000	운영		470			110000
25	2020-03-03	전북	서부사육소정읍		상실농장	지광태	달	산란계	100000	2	경상북도	경상북도	정읍시	농암면	사원리		054-572-1010-7476-	90,000	운영		548			90000
26	2020-03-03	전북	북부사육소여수		노진구	달	산란계	100000		경상북도	경상북도	여주시	장수면	갑산리		054-632-3010-5244-	0	휴업		561			0	
27	2020-03-03	전남	남부사육소장흥		홍남오리농원	김민준	오리	육종오리	12000		전라남도	전라남도	장흥군	북산면	가동리		010-5099-	0	휴업		788			0
28	2020-03-03	전북	북부사육소익산		진상농장	조승호	달	북계	120000		전라북도	전라북도	익산시	성암면	장수리		010-5155-	110,000	운영		894			110000
29	2020-03-03	전북	동부사육소정읍		박민우	오리	육종오리	14000		전라북도	전라북도	정읍군	상서면	오성리		070-4211-010-3551-	14,000	운영		1079			14000	
30	2020-03-03	전북	서부사육소김천		고교농장	김영식	달	북계	140000	1	경상남도	경상남도	김천시	조마면	신곡리		054-436-2010-2502-	0	휴업		1142			0
31	2020-03-03	전북	동부사육소단양		행두농장	홍승상	달	산란계	14500	5	충청북도	충청북도	단양군	영동면	송진리		043-423-2010-9406-	15,000	운영		1158			15000
32	2020-03-03	전남	동부사육소전안		아무리2농	한승원	오리	육종오리	15000	1	충청남도	충청남도	전안시	봉남방한면	도동리		010-3380-010-3380-	0	휴업		1198			0
33	2020-03-03	전남	동부사육소곡주		한우농장	유갑석	오리	육종오리	15000	1	충청남도	충청남도	곡주시	합천면	간동리		041-852-5010-5451-	10,300	운영		1199			10300
34	2020-03-03	전북	서부사육소김천		농업기술	이수영	달	산란계	150000	2	경상북도	경상북도	김천시	덕연면	문희리		010-3535-	75,000	운영		1422			75000
35	2020-03-03	전남	동부사육소양산		유학농장	김영수	달	산란계	1700	1	경상남도	경상남도	김산시	여곡동	사원리		010-3854-010-3854-	0	휴업		1555			0
36	2020-03-03	전남	북부사육소담양		양정숙	복성양식	오리	육종오리	17000		전라남도	전라남도	담양군	용면	방태리		061-382-2010-9212-	17,000	운영		1567			17000
37	2020-03-03	전북	북부사육소군산		신광우	달	조종달	17000	1	전라북도	전라북도	군산시	대야면	북산리		069-451-4010-3672-	0	휴업		1595			0	
38	2020-03-03	전북	북부사육소익산		하나	소형실	달	중계	18000		전라북도	전라북도	익산시	충장면	충동리		063-834-9010-3654-	18,000	운영		1654			18000
39	2020-03-03	전북	동부사육소정읍		유진중계	김정필	달	중계	20000		충청북도	충청북도	정읍시	상미면	기원리(舊)		043-225-1010-3125-	18,641	운영		1929			18641
40	2020-03-03	전북	동부사육소진천		한우리	봉창민우	달	산란계	20000	1	충청북도	충청북도	진천군	문백면	계산리		043-532-7010-4103-	7,000	운영		1938			7000
41	2020-03-03	전남	동부사육소서흥		한복한	신기봉기	달	산란계	20000	1	세종특별자치	세종특별자치	소장면	소장면	소장리		010-4401-010-3207-	4,800	운영		1977			4800

<그림 ①-6. 농림축산식품부 제공 최신 가금농장 공간 DB화>

- 가금농장 Meta-data

<표 ①-3. 가금농장 Example Meta-Data>

Column	Data
regdate	2020-03-03
도본부	충남
office_nm	북부사무소
area	서산
farm_nm	청솔농원
farm_owner	안철순
livestock_type	닭
livestock_nm	토종닭
live_cnt	500
address_road	충청남도 서산시 대산읍 기은고지1길 79
상세주소	충청남도 서산시 대산읍 기은리 458-9
farm_do	충청남도
farm_sig	서산시
farm_emd	대산읍
farm_ri	기은리
tel	041-663-6805
phone	010-3398-1588
livestock_cnt	0
live_state	휴업
adm_cd	4421025025
idx	4440
refine_lon	126.391665690062
refine_lat	36.9641919026977
refine_livestock_cnt	0

② 현행 방역지역 평가 : 발생 농장 분류 및 유형화

②-1. 가축전염병 발생 농가의 시·공간 군집 특성 분석

가. 연구 목적

- 현행 방역 범위설정이 가축 질병의 확산·차단에 미치는 효과를 알아보기 위해 시·공간 군집(cluster) 분석을 수행하였다.
- 질병의 전파는 공간 및 시간과 밀접한 관련성이 있다. 그리고 이러한 시·공간에서의 전파 과정에서 특이점이나 규칙성을 발견하고 그 원인을 조사하는 것은 역학조사에 있어서 중요한 부분이다.
 - 구제역과 조류인플루엔자와 같이 전염성이 강한 질병의 확산을 보다 정확하게 이해하기 위해서는 공간과 시간을 동시에 고려한 분석 방법이 필요하다.
 - 즉, 일정한 기간 일정한 공간적 범위에서 얼마만큼의 질병이 발병하였는가를 분석함으로써, 시·공간을 동시에 고려한 상황에서 질병이 집중적으로 발병한 지역을 찾고 그 원인과 결과에 대한 분석을 병행할 필요가 있다.
- 따라서 질병의 공간적 분포와 밀집도에 대한 분석도 중요하지만, 질병 발생의 위치 정보와 시간 정보를 동시에 고려한 시·공간 군집분석을 통하여 시·공간상에서 어떠한 분포를 보이면서 확산되는가를 분석하는 것이 필요하다.
 - 일반적인 밀도 분석과 분포 분석은 질병 발생지역을 시각적으로 표현해 주기는 하지만 시간이 변함에 따라 질병이 어떻게 확산하여 갔는가를 표현해 주지는 못한다.
 - 물론, 그룹 분석의 경우 위치 정보와 시간 정보를 함께 고려하여 그룹을 구분지어 주기는 하지만, 분석 결과로 도출된 그룹이 반드시 일련의 연속된 시간상에 위치하지는 않는다. 즉, 인접전파가 아닌 차량 등에 의한 바이러스 점프의 경우는 시간상으로는 인접하지만, 공간적으로 떨어져 있어 같은 그룹으로 설정이 되지 않을 수 있다.
 - 따라서 본 연구에서는 고병원성 조류인플루엔자가 발생한 농가의 위치와 함께 시간(날짜)을 조사한 후, 이를 시계열적으로 배열하여 시간이 지남에 따라 가축 질병의 확산에 시·공간적인 군집이 발생하였는가를 살펴보았다.
- 가축 질병의 시·공간 군집은 질병이 발생한 시점에 따라 일정한 경향을 보인다.
 - 일반적으로 좁은 범위에서 시·공간 군집이 형성되면 인접 전파로 인하여 확산하였을 가능성이 큼을 보여준다.
 - 가축 질병의 발생을 인지하지 못하는 질병 발생 초기에는 인접 전파로 인한 확산의 가능성이 크고, 이는 해당 질병의 시·공간 군집을 형성한다.
 - 그러나, 언론 등을 통하여 질병의 발생을 인지하게 되면 일반적으로 신속한 신고와 예방적 살처분 등의 조치로 인하여 인접 전파로 인한 시·공간 군집 경향은 감소하게 된다.

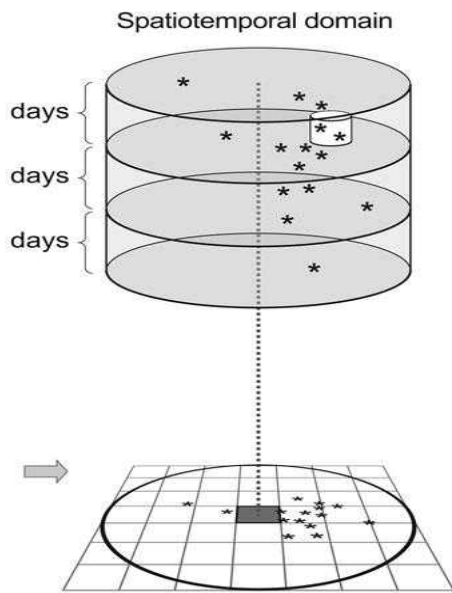
- 질병 발생 중기 단계에는 초기보다는 더 넓은 범위에서의 시·공간 군집이 형성되며,
 - 질병 발생 말기 단계로 가면 질병 발생 수가 감소하면서 넓은 공간적 범위에서 시·공간 군집이 형성된다.
- 따라서 이러한 가축 질병의 시·공간 군집 경향 분석을 통하여 지역별·시기별로 방역의 효과를 평가하였다.
- 국내에서 가축 질병의 발생이 확인된 이후(가축 질병 발생 초기 이후)에도 특정 지역에서 시·공간 군집이 지속적으로 형성된다면 이는 인접전파 차단을 위한 방역 활동에 문제가 있음을 의미한다.
- 또한, 특정 지역에서 전 기간에 걸쳐 가축 질병의 발생 빈도가 높게 나타나지만 시·공간 군집은 형성되지 않는다면, 이 지역에서는 장기간에 걸쳐 바이러스가 지속해서 유입되었음을 의미한다. 따라서 이러한 지역에서는 기존 방역 체계에 대한 전면적인 검토와 개선이 요구된다.

나. 연구 방법

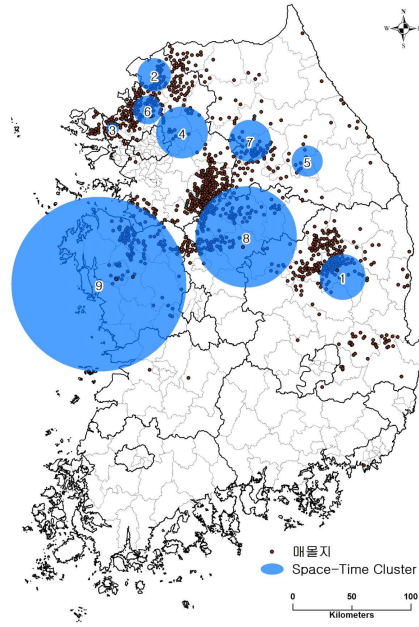
- 가축 질병의 발생지점 전체에 대한 밀도 분석이나 시계열 상에서의 발생 빈도 분석은 공간 또는 시간의 한 요소만을 고려한 분석이다. 그러나 구제역이나 고병원성조류 인플루엔자와 같이 시간이라는 변수가 공간과 함께 변화하면서 군집을 만들어 낼 때는 시간과 공간을 동시에 고려한 시·공간 군집분석을 수행하는 것이 바람직하다.
- 즉, 발생한 사건들이 위치적으로 가까우면서 동시에 시간적으로도 가까운가를 분석할 필요가 있다(강호제, 2008).
- 본 연구에서는 구제역 발생의 시·공간 군집 분석을 위해 검색통계(scan statistics) 방법의 하나인 시·공간 순열 모델(space-time permutation model)을 사용하였다. 시·공간 군집 분석을 위한 소프트웨어는 SatScan v9.6을 사용하였으며, 지도화를 위한 소프트웨어는 ArcGIS v10을 사용하였다.
- 시·공간 순열 모델은 위치 정보와 시간 정보를 가지고 있는 발생 데이터만을 가지고 분석을 수행하는 것이 특징이다(Kulldorff, 2010).
- 컨트롤 데이터나 모집단에 관한 정보 없이 분석할 수 있다.
- 시·공간검색통계의 원리는 먼저, 사건이 발생한 각각의 지점(공간 위치)들을 중심으로 하는 가상의 원통(cylinder)을 순차적으로 그린다. 이때 원통의 지름은 공간 거리

를 나타내고 원통의 높이는 시간 거리를 나타낸다. 원통의 지름과 높이는 점차 확대되고 이동하면서 시·공간적으로 군집이 발생한 지역과 시기를 찾게 된다.

- 일반적으로 각 지점에서의 원통의 지름과 높이는 총사례 수의 50%까지 확장해 분석한다(Kulldorff and Nagarwalla, 1995).
 - 이러한 과정에서 기대치에 대한 관측치의 비율(observed-to-expected ratio)을 계산하여 실질적으로 사건 발생에 따른 군집을 추정한다.
 - 그리고 Monte Carlo Simulation 방법을 이용하여 각 클러스터에 대한 관측치와 기대치에 대한 통계적인 유의수준($P < 0.1$)을 검증하는 과정을 거친다(Alkhamis et al, 2009).
 - 이는 시·공간과 관련된 현상을 단순히 주제도로 제작하거나 시간별로 배열하여 추세로 보여주는 방법과 비교할 때 통계적인 설득력을 제공해줄 수 있다는 장점이 있다(강호제, 2008).
- 본 연구에서는 시·공간검색통계 분석을 위해 공간의 최대 군집 크기를 사례(질병 발생) 수의 50%로 하고, 시간의 최대 군집 크기는 7일로 하였다.
- 시간의 최대 군집 크기 설정은 일반적으로 병원균의 잠복기에 따라 결정된다. 세계동물보건기구(OIE)에서는 규정하는 HPAI의 잠복기는 일반적으로 수 시간에서 3일 정도이다. 그러나 발병 환경에 따라서는 최대잠복기를 21일까지도 규정하고 있다.
 - 따라서 본 연구에서는 2014년도에 발생한 HPAI에 한하여 시간 범위를 1일에서 10일까지 각각 설정하여 분석을 수행한 후, 그 결과를 토대로 적절한 시간 범위를 결정하였다. 그 결과 7일을 중심으로 결과에 큰 변화가 없어 7일을 분석 단위로 하였다.
 - 구제역의 경우도 시간 범위를 2일에서 10일까지 각각 설정하여 분석을 수행한 후, 그 결과를 토대로 적절한 시간 범위를 결정하였다. 그 결과 7일을 중심으로 결과에 큰 변화가 없어(한유리 등, 2012) 7일을 분석 단위로 하였다.
- 신고 농가와 인접한 농가에서 수행된 예방적 살처분 농가 중 질병에서 양성반응을 보인 경우는 시·공간 군집 분석의 대상에 포함하였다. 그 이유는 예방적 살처분이 수행된 농가에서의 질병 발생은 인접전파일 가능성 또한 높기 때문이다.



<그림 ②-1. 시공간 분석 개념>
(Ryan M. et al., 2011)



<그림 ②-2. 구제역(2010-11년)의
시·공간 분석 사례>
(배선학 등, 2012)

다. 분석 자료

- 고병원성조류인플루엔자(HPAI) : 2003-04년, 2006-07년, 2008년, 2010-11년, 2014-15년, 2016-17년
- 구제역(FMD) : 2010-11년, 2014-15년

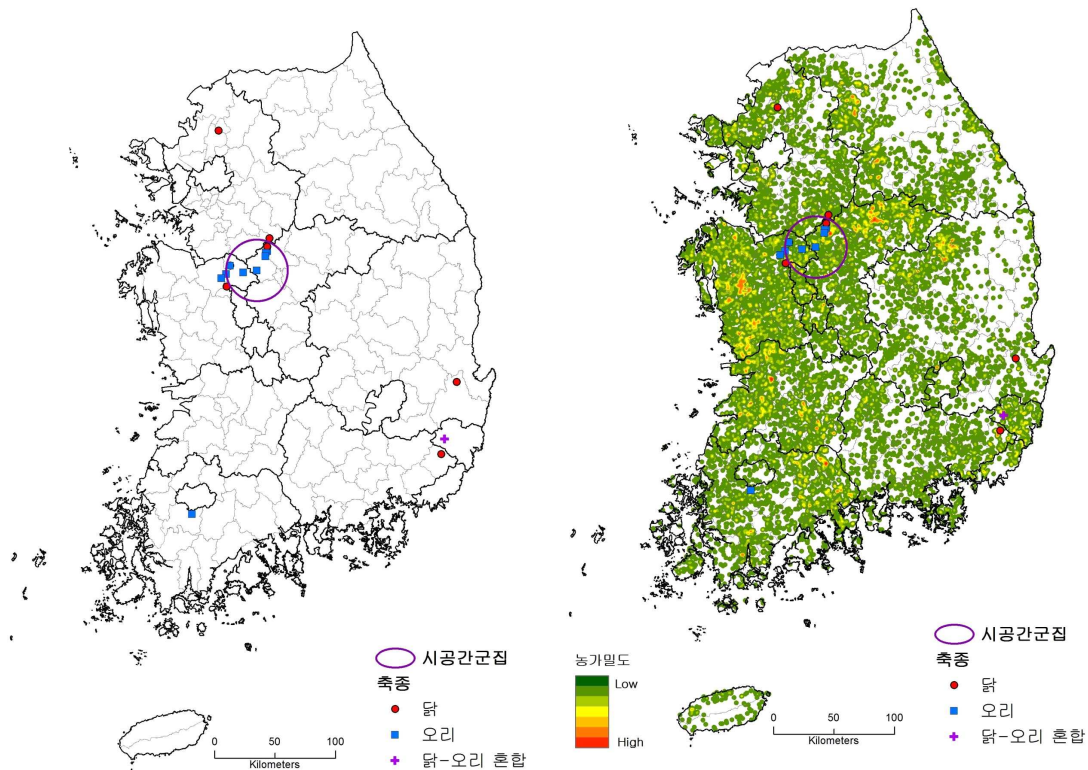
라. 고병원성조류인플루엔자 발병 농가의 시·공간 군집 특성 분석

라-1. 2003-04년 HPAI

- 2003-04년 충청북도 음성군에서 시작된 HPAI는 102일 동안 전국 10개 시·군에서 총 19건 발생하였고, 이로 인해 살처분된 가금류만 520만 수에 이른다. 시·공간 분석을 통하여 이들 19개 농가 중 시·공간적으로 인접 관계를 보이는 농가가 있는가를 알아보았다.
 - 시·공간 분석 결과 시·공간 군집은 1건 확인되었지만, 검증결과는 유의수준($P < 0.1$)을 벗어나는 값($P=0.382$)을 보여 통계적으로 유의미한 수준에서의 시·공간 군집은 형성되지 못하였다.
 - 그렇지만 생성된 시·공간 군집을 살펴보면, 2003년 12월 14일부터 2003년 12월 18일까지 5일간 충청북도 음성군, 진천군, 충청남도 천안시 일대의 반경 25.5km에서 6건이 발생함으로써 기대치보다 2.38배 높은 수치를 보였다.
 - 2003년 12월 10일 천안시에서 최초로 HPAI가 확인된 후로 2003년 12월 23일까지 13일간 충청북도, 충청남도, 경기도의 접경지역 시군을 중심으로 모두 17건의 HPAI가 집중적으로 발생한 결과로 볼 때 이 지역의 HPAI는 같은 시기에 유입되어 인접한 지역으로 전파하였다고 볼 수 있다.
- 시·공간 군집 분석에 근거할 때 2003-04년에 발생한 HPAI는 최초 발생지역인 충청남도와 충청북도 그리고 경기도 접경지역을 중심으로 집중화된 경향을 보이며, 이는 HPAI 바이러스의 전국적인 확산을 최소화하는 수준에서 적절한 방역 차단이 수행된 결과로 볼 수 있다.
 - 충청북도 음성군과 진천군 일대는 상대적으로 오리 농가 밀도가 높은 지역이라는 점이 특징적이다.

<표 ②-1. 2003-04년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집분석 결과>

Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	25.5	2003/12/14-2003/12/18	5	6	2.38	0.382



<그림 ②-3. 2003-04년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집>

<그림 ②-4. 2003-04년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집과 가금류 농가 밀도>

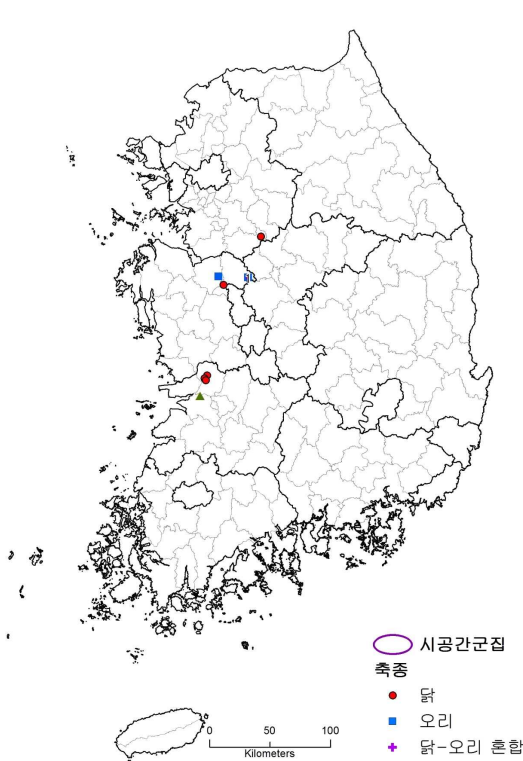
라-2. 2006-07년 HPAI

- 2006년 11월 22일 전라북도 익산시에서 시작된 HPAI는 2007년 3월 6일까지 모두 7건 발생하였고, 이로 인해 약 280만 수의 가금류가 살처분되었다. 시·공간 분석을 통하여 HPAI가 발생한 13개 농가 중 시·공간적으로 인접 관계를 보이는 농가가 알아보았다.
 - 시·공간 분석 결과 시·공간 군집은 1건 확인되었지만, 검증결과는 유의수준($P < 0.1$) 범위 내에 해당하는 값($P=0.02$)을 보여 통계적으로 유의미한 수준에서의 시·공간 군집이 형성되었음을 확인할 수 있었다.
 - 시·공간 군집을 살펴보면, 2007년 3월 12일부터 2007년 3월 15일까지 4일간 충청남도 천안시 동면 화계리 일대의 반경 1.2km에서 발생한 3건으로, 기대치보다는 4배 높은 수치를 보였다. 이 지역에서 발생한 HPAI는 같은 시기에 유입되어 인접한 지역으로 전파하였다고 볼 수 있다.
- 2006-07년 발생한 HPAI는 발생 빈도와 규모 모두 상대적으로 미약하였으며, HPAI 발생지점으로부터 주변 지역으로의 확산되는 것에 대한 차단 또한 적절하게 수행되었다.
 - 또한, HPAI가 발생한 농가들이 상대적으로 가금류(특히 오리) 농가 밀도가 낮은 지

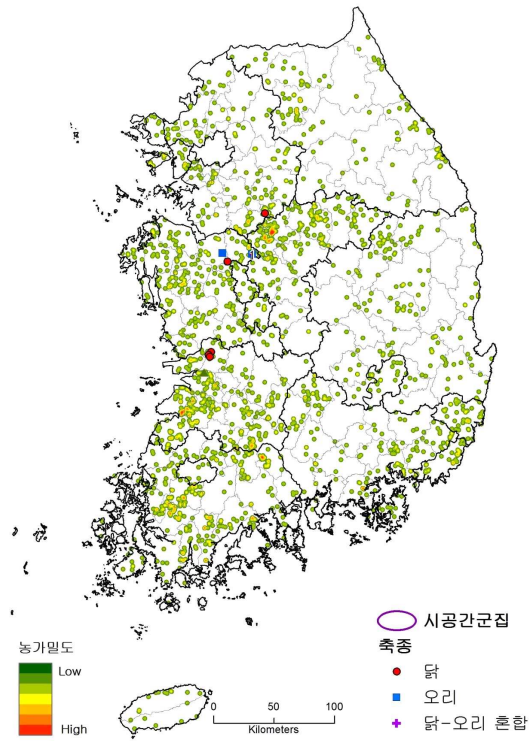
역에 위치한다는 점도 특징적이다.

<표 ②-2. 2006-07년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집분석 결과>

Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	1.2	2007/03/12-2007/03/15	4	3	4.00	0.020



<그림 ②-5. 2006-07년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집>



<그림 ②-6. 2006-07년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집과 오리 농가 밀도>

라-3. 2008년 HPAI

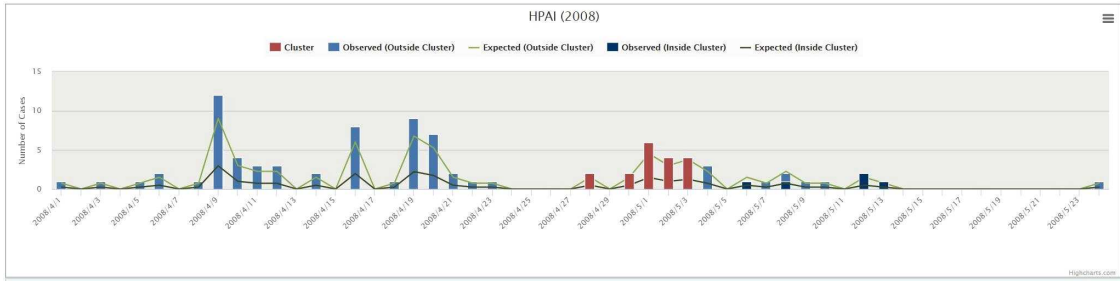
○ 2008년 4월 1일 최초 HPAI 신고가 접수된 이후 2008년 5월 12일까지 모두 98곳(신고 33건, 역학조사 및 병성감성 65건)에서 HPAI가 발생하였으며, 1,020만 수의 닭과 오리가 피해를 보았다. 시·공간 분석을 통하여 이들 98개 농가 중 시·공간적으로 인접 관계를 보이는 농가가 분석하였다.

- 시·공간 분석 결과 시·공간 군집은 모두 4건이 확인되었으며, 1건을 제외하고 모두 검증결과는 유의수준($P < 0.1$) 범위 내에 해당하는 값을 보여 통계적으로 유의미한 수준에서의 시·공간 군집이 형성되었음을 확인할 수 있었다. 유의수준을 충족하지 못한 1건도 유의수준에 근접한 값($P=0.135$)을 보인다.

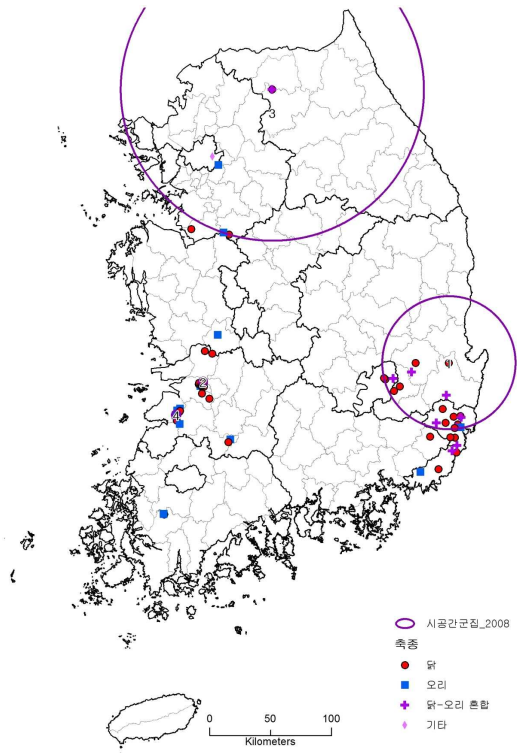
- 시·공간 군집들을 시간순으로 살펴보면, 2008년 4월 6일부터 2008년 4월 8일까지 3일간 전라북도 정읍시 일대의 반경 3.5km에서 발생한 3건으로 기대치보다 18.6배 높은 수치를 보였다. 두 번째로 2008년 4월 16일부터 2008년 4월 20일까지 5일간 전라북도 김제시 일대의 반경 3.3km에서 발생한 22건으로 기대치보다 2.82배 높은 수치를 보였다. 세 번째로 2008년 4월 28일부터 2008년 5월 2일까지 5일간 경상북도와 대구광역시, 울산광역시 일대의 반경 54.6km에서 발생한 14건으로 기대치보다 4.89배 높은 수치를 보였다. 마지막으로 2008년 5월 4일에서 2008년 5월 6일까지 3일간 경기도 안성시와 강원도 춘천시 일대의 반경 124.1km에서 발생한 4건으로 기대치보다 12.4배 높은 수치를 보였다.
 - 일반적으로 전염성 질병의 시·공간 분석에서는 발생 초기에 시·공간 군집의 범위가 작게 형성되는 특징을 보이다가 시간이 지남에 따라 그 크기가 커지는 경향을 보인다. 2008년에 발생한 HPAI가 이러한 질병의 시·공간 확산의 전형적인 유형을 잘 보여주는 사례라 할 수 있다.
- 2008년 발생한 HPAI의 경우 전라북도 김제시 일대에서 전체 발생 건수의 절반가량이 발생하였다. 그러나 HPAI의 발생 밀도가 높음에도 불구하고 시·공간 군집이 형성되지 않았다.
- 이러한 결과는 이 지역에서 장기간(약 20일)에 걸쳐 지속해서 HPAI가 발생하였기 때문이다.
 - 즉, 김제시 내에서 수행된 초기 차단 방역 및 예방적 살처분에 한계가 있었음을 의미한다. 또한, 후반기에 울산광역시를 중심으로 발생한 HPAI의 경우도 약 15일에 걸쳐 지속적인 발생 현상을 보인다.
- 전라북도 김제시와 같이 농가 밀도가 높은 지역에서 HPAI가 발생하면 차단 방역의 성과가 제한적이라는 것을 2008년의 사례에서도 확인할 수 있다.

<표 ②-3. 2008년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집분석 결과>

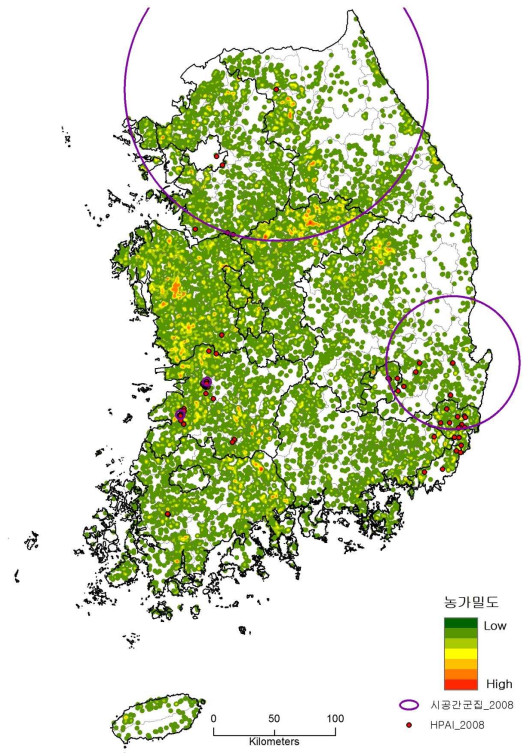
Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	3.5	2008/04/06-2008/04/08	3	3	18.60	0.135
2	3.3	2008/04/16-2008/04/20	5	22	2.82	0.000
3	54.6	2008/04/28-2008/05/02	5	14	4.89	0.000
4	124.1	2008/05/04-2008/05/06	3	4	12.40	0.075



<그림 ②-7. 2008년 일자별 HPAI 발생 빈도>



<그림 ②-8. 2008년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집>



<그림 ②-9. 2008년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집과 가금류 농가 밀도>

라-4. 2010-11년 HPAI

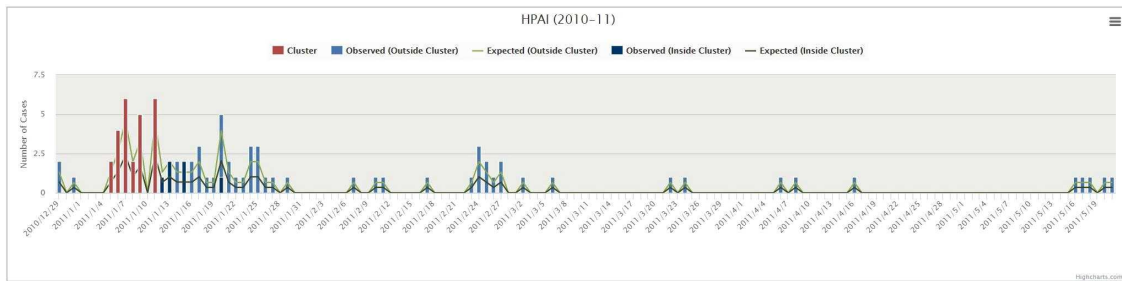
○ 2010년 12월 29일 최초 HPAI 신고가 접수된 이후 2011년 5월 21일까지 HPAI가 발생한 농가는 모두 91곳(신고 53건, 역학조사 및 병성감정 등 예찰 38건)이며, 640만 수의 닭, 오리, 메추리 등이 피해를 보았다. 시·공간 분석을 통하여 이들 91개 농가 중 시·공간적으로 인접 관계를 보이는 농가가 분석하였다.

- 시·공간 분석 결과 시·공간 군집은 모두 9건이 확인되었으며, 이들 중 4건은 검증 결과 유의수준($P < 0.1$) 범위 내에 해당하는 값을 보여 통계적으로 유의미한 수준에서의 시·공간 군집이 형성되었음을 확인할 수 있었고, 5건은 유의수준을 벗어나는 값을 보였다. 유의수준을 충족하지 못하는 군집 중 1건도 유의수준에 근접한 값($P=0.131$)을 보인다.

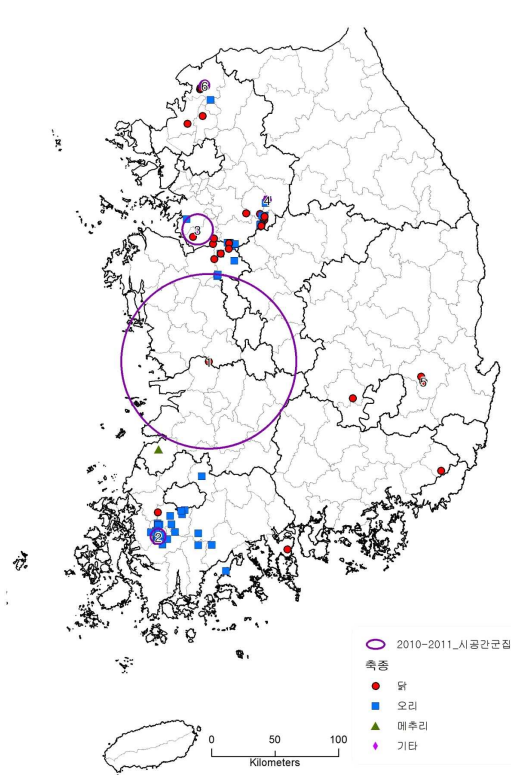
- 시·공간 군집들을 시간순으로 살펴보면, 2010년 12월 29일부터 2010년 12월 31일까지 3일간 전라북도 익산시와 충청남도 천안시 일대의 반경 68.8km에서 발생한 3건으로 기대치보다 30.33배 높은 수치를 보였다. 두 번째는 2011년 1월 5일부터 2011년 1월 9일까지 5일간 전라남도 나주시와 영암군 일대의 반경 5.9km에서 발생한 14건으로 기대치보다 4.04배 높은 수치를 보였다. 세 번째는 2011년 1월 17일부터 2011년 1월 19일까지 3일간 반경 10.3km에서 발생한 3건으로 기대치보다 13.65배 높은 수치를 보였다. 그러나 통계 검정에서는 유의수준을 벗어난다. 네 번째는 2011년 1월 25일에서 2011년 1월 27일까지 3일간 경기도 평택시 일대의 반경 10.1km에서 발생한 3건으로 기대치보다 18.2배 높은 수치를 보였다. 다섯 번째는 2011년 2월 7일부터 2011년 2월 10일까지 4일간 반경 15km에서 발생한 2건으로 기대치보다 30.33배 높은 수치를 보였지만, 유의수준을 크게 벗어남으로 큰 의미가 없다. 여섯 번째는 2011년 2월 23일에서 2011년 2월 27일까지 5일간 경기도 여주시 일대의 반경 2.7km에서 발생한 6건으로 기대치보다 10.11배 높은 수치를 보였다. 일곱 번째와 여덟 번째는 각각 2011년 3월 22일에서 2011년 3월 24일까지 3일간과 2011년 4월 6일에서 2011년 4월 8일까지 3일간 발생한 것으로 모두 출현 빈도가 낮고 유의수준에도 크게 벗어나므로 큰 의미는 없다. 마지막으로 아홉 번째는 2011년 5월 17일에서 2011년 5월 21일까지 5일간 경기도 연천군 일대의 반경 3.8km에서 발생한 4건으로 기대치보다 22.75배 높은 수치를 보였다.
- 일반적으로 전염성 질병의 시·공간 분석에서는 발생 초기에 시·공간 군집의 범위가 작게 형성되는 특징을 보이다가 시간이 지남에 따라 그 크기가 커지는 경향을 보인다. 그러나 2011년에 발생한 HPAI의 경우는 최초 발생 시 농가 밀도가 높은 지역으로 원거리 이동으로 확산이 된 후, 2차 감염된 지역에서 인접 전파되는 경향을 보였다. 이는 초기 대응의 중요성과 역학조사의 역할을 잘 보여주는 예이다.

<표 ②-4. 2010-11년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집분석 결과>

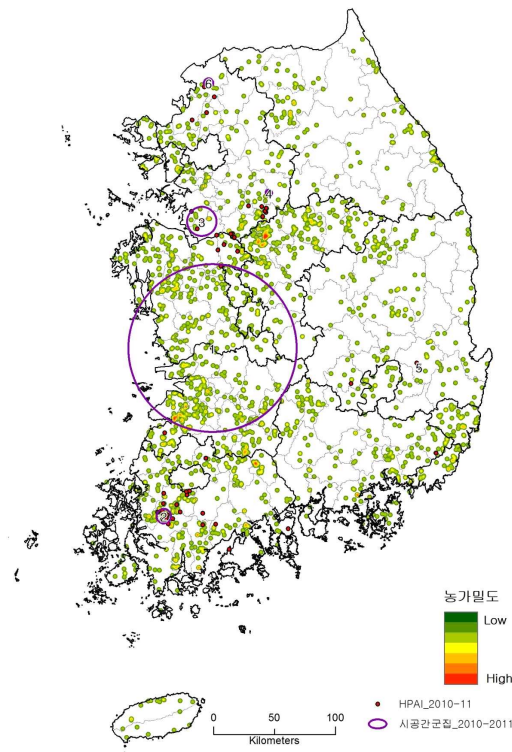
Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	68.8	2010/12/29-2010/12/31	3	3	30.33	0.017
2	5.9	2011/01/05-2011/01/09	5	14	4.04	0.000
3	10.3	2011/01/17-2011/01/19	3	3	13.65	0.579
4	10.1	2011/01/25-2011/01/27	3	3	18.20	0.131
5	15.0	2011/02/07-2011/02/10	4	2	30.33	0.833
6	2.7	2011/02/23-2011/02/27	5	6	10.11	0.001
7	0.0	2011/03/22-2011/03/24	3	2	45.50	0.447
8	0.4	2011/04/06-2011/04/08	3	2	45.50	0.447
9	3.8	2011/05/17-2011/05/21	5	4	22.75	0.001



<그림 ②-10. 2010-11년 일자별 HPAI 발생 빈도>



<그림 ②-11. 2010-11년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집>



<그림 ②-12. 2010-11년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집과 오리 농가 밀도>

라-5. 2014-15년 HPAI

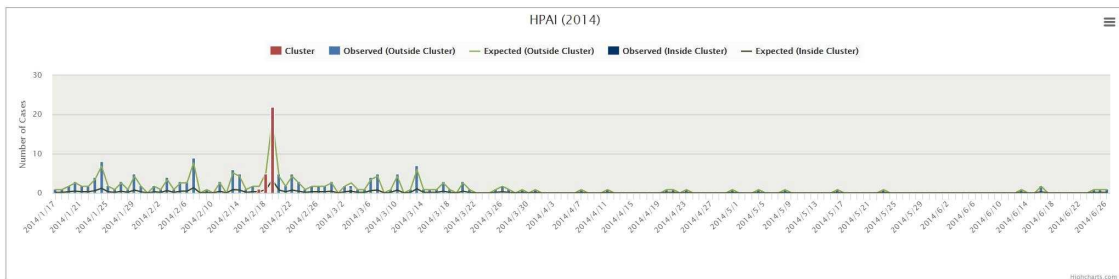
- 2014년 1월 17일 최초 HPAI 신고가 접수된 이후 2016년까지 HPAI는 그 빈도는 줄었지만 계속하여 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 2014년 1월 17일부터 2014년 6월 말까지 신고 된 HPAI 발생 농가를 대상으로 그 분석 범위를 한정하였다. 2014년 6월 26일까지 HPAI 발생 농가는 모두 196곳이며, 501만 수의 닭, 오리, 메추리, 타조, 거위, 기러기, 칠면조 등이 피해를 보았다.
- 시·공간 분석 결과 시·공간 군집은 모두 4건이 확인되었으며, 이들 중 3건은 검증 결과 유의수준($P < 0.1$) 범위 내에 해당하는 값을 보여 통계적으로 유의미한 수준에서의 시·공간 군집이 형성되었음을 확인할 수 있었고, 1건은 유의수준을 크게 벗어나는 값을 보였다.
- 시·공간 군집들을 시간순으로 살펴보면, 먼저 2014년 1월 20일부터 2014년 1월 24일까지 5일간 전라북도 부안군과 고창군 일대의 반경 24.7km에서 발생한 17건으로 기대치보다 7.31배 높은 수치를 보였다. 두 번째는 2014년 2월 17일부터 2014년 2월 19일까지 3일간 충청북도 음성군 일대의 반경 2.2km에서 발생한 28건으로 기대치보다 6.31배 높은 수치를 보였다. 세 번째는 2014년 2월 28일부터 2014년 3월 2일까지 3일간 반경 57.1km에서 발생한 3건으로 기대치보다 14.7배 높은 수치를 보였다. 그러나 통계 검정에서는 유의수준을 크게 벗어난다. 네 번째는 2014년 3월 13일에서 2014년 3월 16일까지 4일간 전라남도 나주시 일대의 반경 21.3km에서 발생한 9건으

로 기대치보다 9.8배 높은 수치를 보였다.

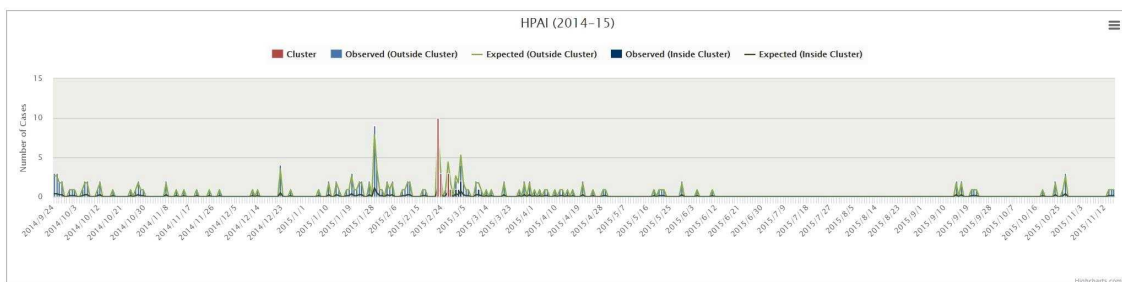
- 일반적으로 전염성 질병의 시·공간 분석에서는 발생 초기에 시·공간 군집의 범위가 작게 형성되는 특징을 보이다가 시간이 지남에 따라 그 크기가 커지는 경향을 보인다. 그러나 2014년에 발생한 HPAI의 경우는 시·공간 군집의 크기가 불규칙한 것이 특징이다.

<표 ②-5. 2014년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집분석 결과>

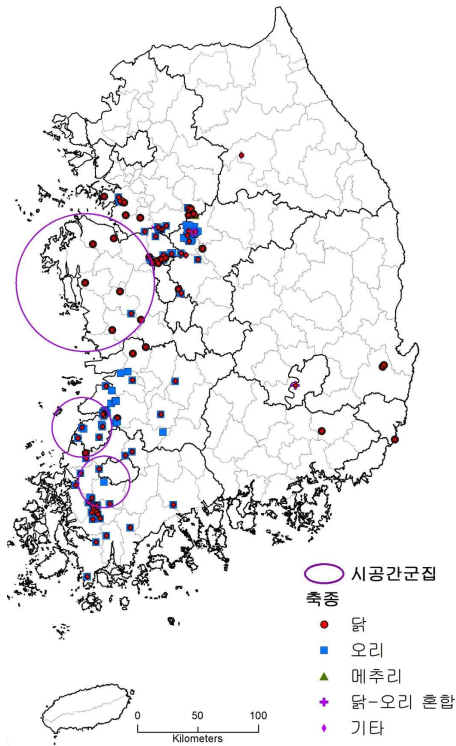
Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	24.7	2014/1/20-2014/1/24	5	17	7.31	0.000
2	2.2	2014/2/17-2014/2/19	3	28	6.31	0.000
3	57.1	2014/2/28-2014/3/02	3	3	14.70	0.998
4	21.3	2014/3/13-2014/3/16	4	9	9.80	0.000



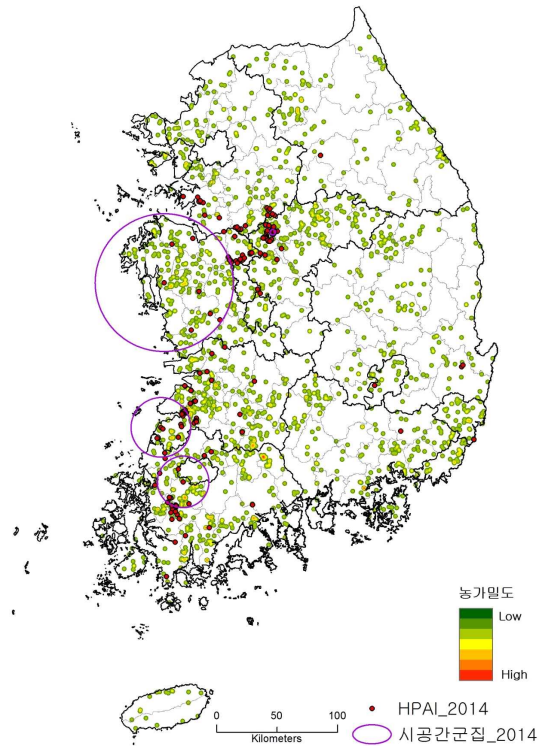
<그림 ②-13. 2014년 일자별 HPAI 발생 빈도>



<그림 ②-14. 2014-15년 일자별 HPAI 발생 빈도>



<그림 ②-15. 2014년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집>



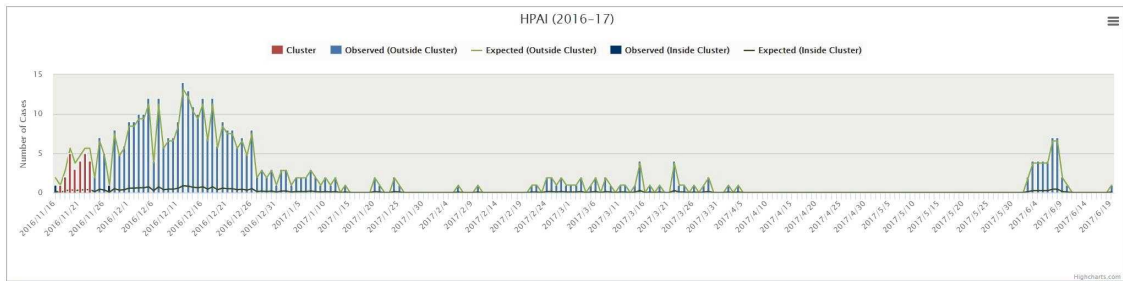
<그림 ②-16. 2014년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집과 오리 농가 밀도>

라-6. 2016-17년 HPAI

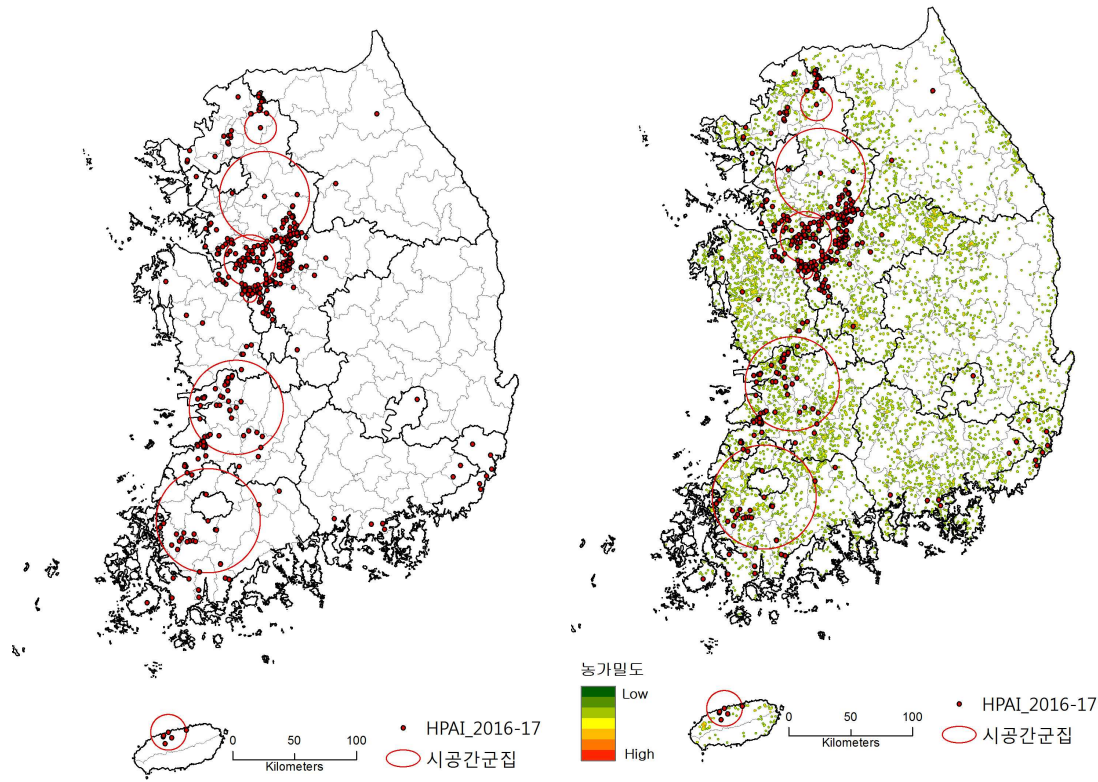
- 2016년 11월 16일 최초 HPAI 신고가 접수된 이후 2017년 5월 12일까지 총 343건이 발생하였다. H5N6형의 바이러스가 철새의 이동경로를 따라 우리나라 서해안 지역에서 광범위하게 발생하였으며, 가금 밀집 지역에서는 지역 내 기계적 전파 확산이 나타났다(농림축산검역본부, 2017).

<표 ②-6. 2016-17년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집분석 결과>

Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value	Virus
1	3.5	2016/11/17-2016/11/23	6	24	12.48	0.000	H5N6
2	1.2	2016/12/01-2016/12/06	5	9	7.76	0.032	H5N6
3	5.5	2016/12/12-2016/12/16	4	12	5.99	0.012	H5N6
4	36.4	2016/12/13-2016/12/13	0	7	7.78	0.503	H5N6
5	2.3	2016/12/19-2016/12/21	2	5	15.18	0.230	H5N6
6	20.8	2016/12/19-2016/12/24	5	19	4.21	0.001	H5N6
7	0.9	2017/01/01-2017/01/03	2	3	59.86	0.174	H5N6
8	12.8	2017/01/24-2017/01/25	1	3	139.67	0.012	H5N6
9	42.1	2017/03/09-2017/03/15	6	8	17.46	0.001	H5N8
10	14.4	2017/06/02-2017/06/04	2	6	41.90	0.000	H5N8
11	38.1	2017/06/06-2017/06/08	2	16	9.31	0.000	H5N8



<그림 ②-17. 2016-17년 일자별 HPAI 발생 빈도>



<그림 ②-18. 2016-17년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집>

<그림 ②-19. 2016-17년 HPAI 발생농가의 시·공간 군집과 가금 농가 밀도>

마. 고병원성 조류인플루엔자 발병 농가의 시·공간 군집분석의 시사점

마-1. 예방적 살처분 농가를 제외한 시·공간 군집분석

- 2014년 HPAI 발생 농가 중 예방적 살처분 농가를 제외한 시·공간 군집분석 : 예방적 살처분 농가를 제외한 시·공간 군집분석에서는 시·공간 군집이 형성되는 지역에 있어서 전체 농가를 대상으로 하였을 때와 차이를 보인다.
 - 시·공간 군집의 반경은 매우 작게 나타났으며, 군집이 형성된 경우도 대부분 통계적인 유의수준에서 크게 벗어났다.
- 이러한 결과는 현재 시행 중인 예방적 살처분의 방법과 범위가 HPAI의 방역에 일정 부분 기여하고 있음을 의미한다. 이러한 결과에 근거하여 보면, 2014년에 발생한 HPAI의 절반 정도는 인접전파에 의한 것이고 나머지는 원거리 전파에 의한 것으로 추론할 수 있다.
- 또한, 충청북도와 충청남도 그리고 경기도가 서로 인접하고 있는 지역에서는 HPAI의 발생 빈도는 매우 높지만, 시·공간 군집은 형성되지 않고 있다. 이는 이들 지역의 방역 체계에 문제가 있음을 의미한다. 즉, 이 지역은 장기간에 걸쳐 지속적으로 바이

러스가 유입되었으며, 이렇게 유입되는 바이러스는 효과적으로 차단되지 못하고 이 일대의 농가들을 장기간에 걸쳐 오염시키고 있음을 의미한다.

<표 ②-7. 2014-15년 HPAI 발생농가 중 예방적 살처분 제외 농가에 대한 시·공간 군집분석 결과>

Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	11.7	2014/1/17-2014/1/20	4	7	14.57	0.000
2	4.9	2014/2/01-2014/2/02	2	2	34.00	0.925
3	4.4	2014/2/06-2014/2/09	4	3	25.50	0.094
4	23.0	2014/2/11-2014/2/14	4	4	6.80	0.997
5	1.3	2014/2/20-2014/2/20	1	2	25.50	0.986
6	1.7	2014/3/07-2014/3/07	1	2	25.50	0.986
7	3.0	2014/3/17-2014/3/21	5	3	12.75	0.949

마-2. 시·공간 군집의 반경(Radius), 기간(Period), O/E 비율 간의 상관관계

- 시·공간 군집분석 결과로 도출된 군집의 반경, 발생기간, O/E 비율 간의 상관관계는 비교대상과 질병발생 연도에 따라 차이를 보였다.
- 바이러스 혈청형에 따라 상관도에서 차이가 있기는 하였지만, 일관성이나 규칙성을 보이지는 않았다.

<표 ②-8. HPAI 시·공간 군집의 반경, 기간, O/E 비율 간 상관관계>

HPAI 발생 연도	바이러스 혈청형	시·공간 군집수	상관계수 (r)		
			Radius - Period	Period - O/E ratio	O/E ratio - Radius
2008년도	H5N1	4	-0.35	-0.93	0.07
2010-11년도	H5N1	9	-0.31	-0.59	0.06
2014-15년도	H5N8	4	-0.13	-0.39	0.93
2016-17년도	H5N8	3	0.61	-0.23	-0.93
	H5N6	8	-0.46	-0.48	-0.07
전체	-	28	-0.10	-0.47	-0.13

마-3. 일자별 HPAI 발생 빈도와 시·공간 군집 간의 관계

- 바이러스가 아직 주변에서 질병이 발생하지 않은 특정 지역(농가)으로 유입되었을 때, 일반적으로 질병 발생에 대하여 늦게 인지하게 되면서 주변으로의 전파·확산이 빠르게 진행된다. 그리고 그 결과가 시·공간 군집으로 나타나게 된다.

- 일반적으로 질병발생을 빨리 인지할 경우 시·공간 군집 기간이 짧아지며, 주변으로의 전파·확산도 그만큼 감소하게 된다.
- 시계열 상에서 발생빈도가 급격히 증가하는 시점에 시·공간 군집이 형성되는 경향을 보였다.
 - 이러한 결과는 발생 초기의 초등대응이 실패할 경우 인접전파가 빠르게 진행되었음을 의미한다.
- 따라서, 가축질병이 발생하였을 경우 예방적 살처분과 같은 적극적인 대응이 필요한 것으로 판단된다.

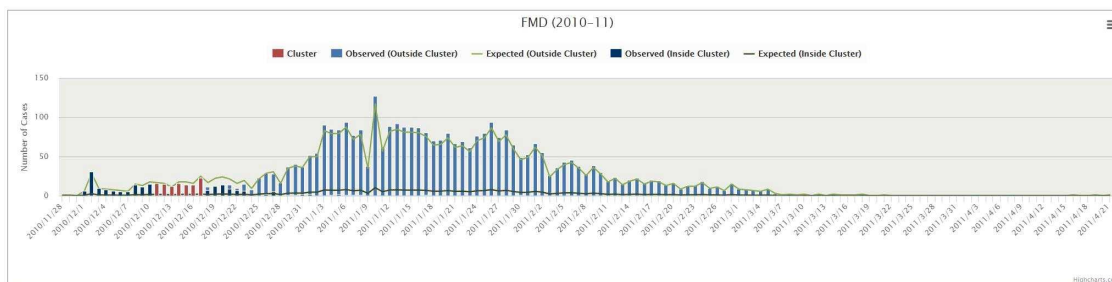
바. 구제역 발병 농가의 시·공간 군집 특성 분석

바-1. 2010-11년 FMD

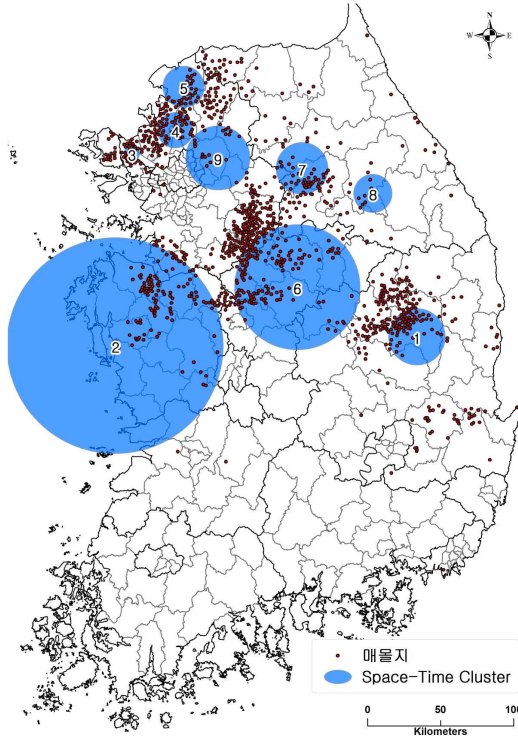
- 2010-11년 FMD 발생 농가는 약 3,700곳으로 경상북도와 경기남부-충청북도-강원도 경계지역, 그리고 경기북부의 세 지역을 중심으로 발병하였다.
- 시·공간 군집특성에서는 시·공간 발생 기간이 6일로 매우 길게 나타났는데, 이는 질병에 따른 초등대응의 실패와 질병 발생 농가와 인접한 농가에 대한 전파·확산 차단이 실패하였음을 의미한다.
 - 즉, 특정 농가에 대한 FMD 발생 인지(확인)가 늦었으며, 이에 따라 해당 농가와 인접한 농가로 바이러스가 전파·확산되는 결과를 가져왔다.

<표 ②-9. 2010-11년 FMD 발생 농가에 대한 시·공간 군집분석 결과>

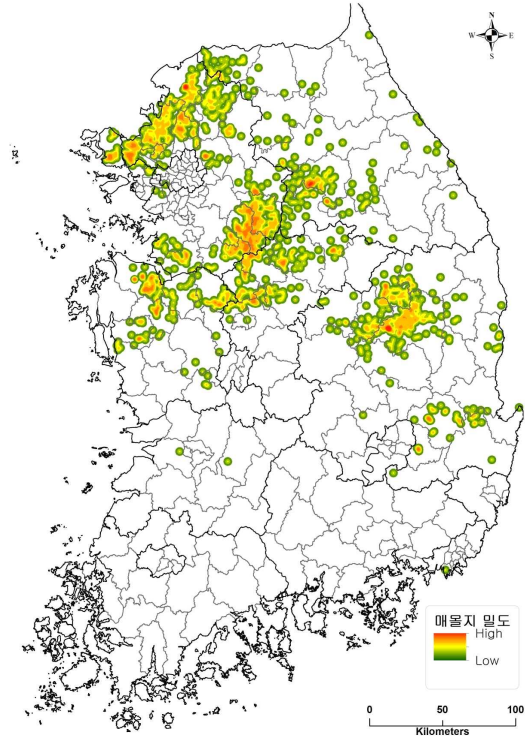
Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	19.4	2010/12/11-2010/12/17	6	110	10.62	0.000
2	35.9	2011/01/01-2011/01/07	6	261	2.75	0.000
3	512.3	2011/02/17-2011/02/23	6	87	6.69	0.000
4	28.5	2011/01/22-2011/01/28	6	249	2.06	0.000
5	55.6	2011/01/12-2011/01/18	6	168	2.00	0.000



<그림 ②-20. 2010-11년 일자별 FMD 발생 빈도>



<그림 ②-21. 2010-11년 FMD 발생농가의 시·공간 군집>



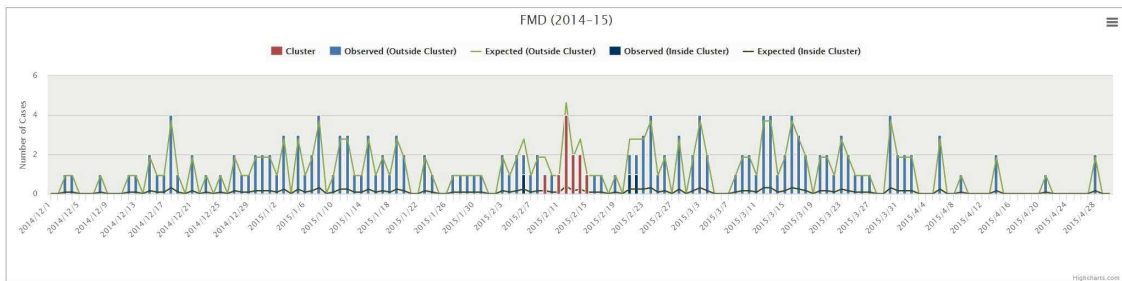
<그림 ②-22. 2010-11년 FMD 발생 밀도>

바-2. 2014-15년 FMD

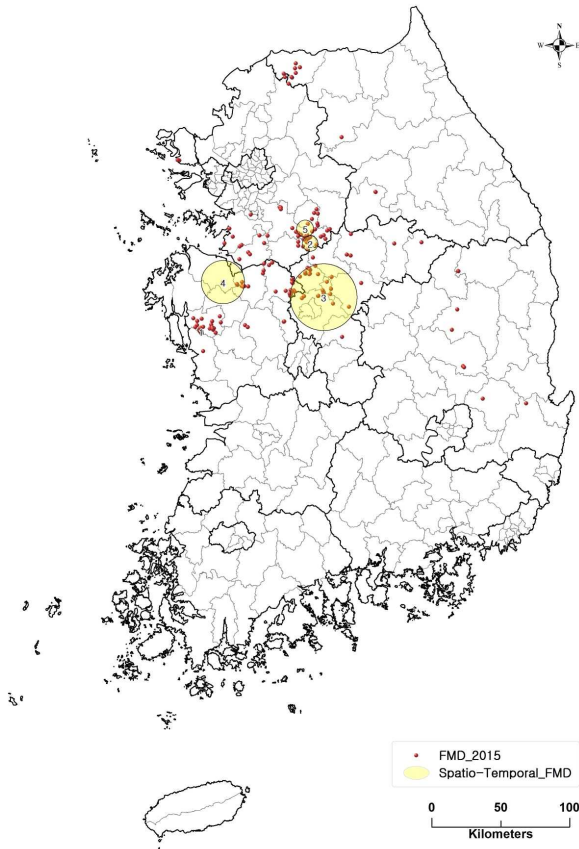
- 2014-15년의 FMD 발생 농가는 모두 185곳으로, 구제역 백신접종의 영향으로 상대적으로 긴 기간 동안 발생하였지만, 피해 농가가 많지는 않았다.
- 일자별 발생 빈도에 있어서도 거의 고른 분포를 보이는데, 이는 백신 접종에 따른 효과와 축산차량 이동데이터 활용 등 가축방역 기술의 발달에 따른 결과로 해석된다.
- 그러나, 충청남도과 충청북도 지역에 상대적으로 시·공간 군집이 넓게 형성되는 지역이 나타나는 것은 차량에 의한 전파·확산에 제대로 대응하지 못한 결과일 것이다.

<표 ②-10. 2014-15년 FMD 발생 농가에 대한 시·공간 군집분석 결과>

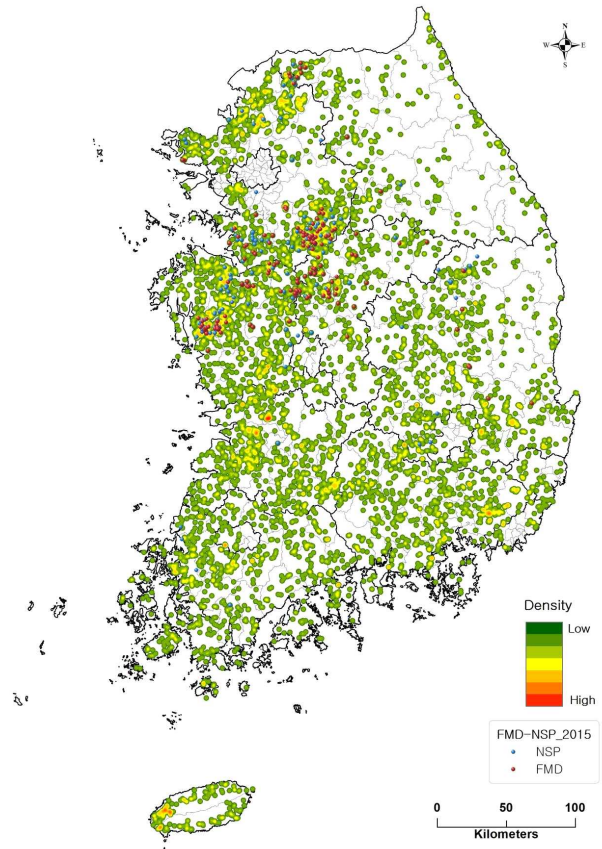
Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	24.2	2014/12/15-2014/12/21	6	11	5.78	0.004
2	5.7	2015/01/08-2015/01/14	6	9	10.67	0.000
3	6.1	2015/01/24-2015/01/29	5	4	23.12	0.050
4	1.5	2015/02/09-2015/02/15	6	11	9.69	0.000
5	46.8	2015/02/22-2015/02/23	1	3	30.83	0.334
6	21.1	2015/02/25-2015/03/03	6	6	7.12	0.699
7	15.7	2015/03/24-2015/03/30	6	5	14.68	0.048
8	6.9	2015/04/01-2015/04/01	0	2	46.25	0.995
9	0.1	2015/04/06-2015/04/06	0	2	61.67	0.931



<그림 ②-23. 2014-15년 일자별 FMD 발생 빈도>



<그림 ②-24. 2014-15년 FMD 발생농가의 시·공간 군집>



<그림 ②-25. 돼지 농가 밀도와 2014-15년 FMD 발생 농가>

바-3. 2016-18년 FMD

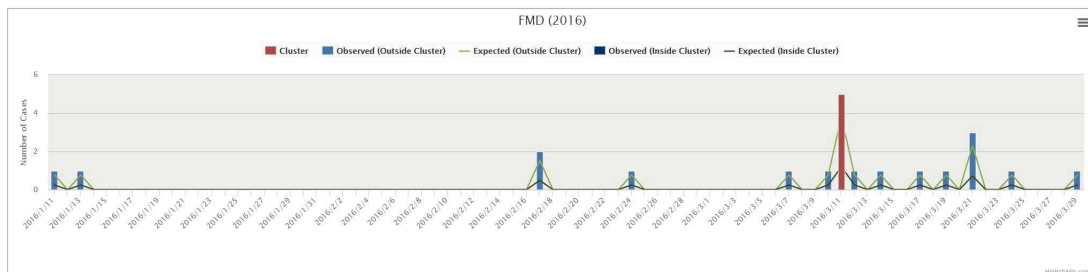
- 2016-18년 FMD 발생 농가는 모두 32곳이며, 연도별로는 2016년 21곳, 2017년 9곳, 2018년 2곳이다. 특징적인 점은 2016년과 2018에는 돼지에서만 발생하였고, 2017년에는 소에서만 발생하였으며, 2017년의 1건과 2018년의 2건에서 ‘A’ 혈청형을 보였다.
 - 따라서 본 연구에서는 시·공간 군집분석에서 사례 수가 3건에 불과한 ‘A’ 혈청형은 제외하였다.
 - 그리고 2016년의 돼지에서 발생한 FMD와 2017년의 소에서 발생한 FMD의 시·공간 군집을 별도로 수행하여 두 개체 간의 시·공간 군집 특성을 비교하였다.
- 2016년 돼지에서 발생한 FMD에 대한 시·공간 군집분석 결과 최초 논산에서 발생한 FMD 시·공간 군집만이 통계적으로 유의미한 수준이었다.
 - 즉, 최초 발생한 5개 농가의 경우는 인접전파의 가능성이 큼을 확인할 수 있었다.
- 2017년 소에서 발생한 FMD에 대한 시·공간 군집분석 결과에서는 통계적으로 유의미한 수준에서의 공간군집이 형성되지는 못하였지만, 상대적으로 좁은 지역에서 인접

전파에 의한 발병으로 추정된다.

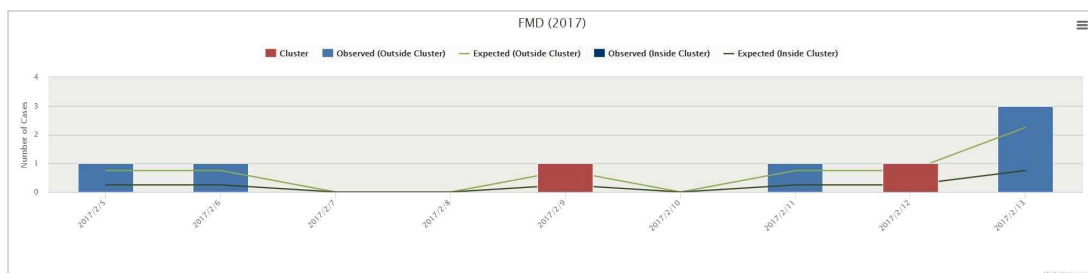
- 돼지와 소의 발병 및 전파 특성을 비교했을 때, 소보다는 돼지의 바이러스 전파·확산 범위가 더 넓었다.

<표 ②-11. 2016-17년 FMD 발생 농가에 대한 시·공간 군집분석 결과>

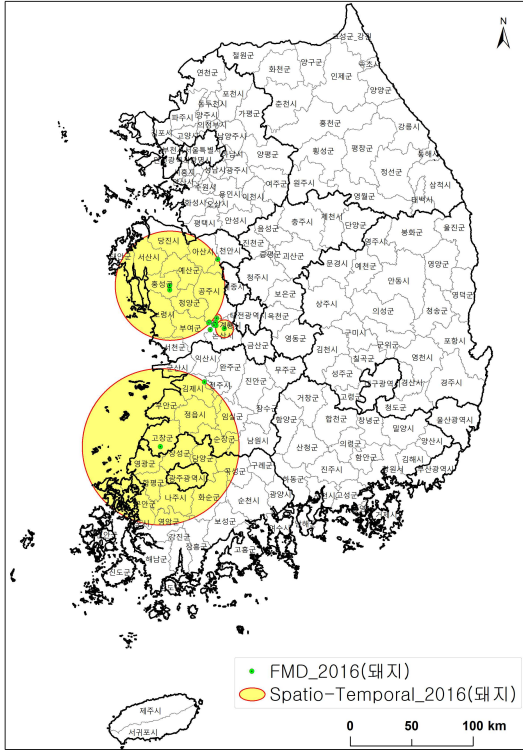
Cluster number	Radius (km)	Time frame	Period	No. of outbreaks	Observed-to-expected ratio	P-value
1	0.1	2016/3/11-2016/3/11	0	5	4.20	0.024
2	3.6	2016/3/17-2016/3/19	2	2	10.50	0.491
3	63.6	2016/1/11-2016/1/13	2	2	10.50	0.491
4	7.2	2016/3/7-2016/3/10	3	2	10.50	0.491
5	44.4	2016/2/17-2016/2/17	0	2	4.20	0.999
6	2.8	2017/2/9-2017/2/12	3	2	2.67	0.625
7	0.0	2017/2/13-2017/2/13	0	2	2.67	0.950



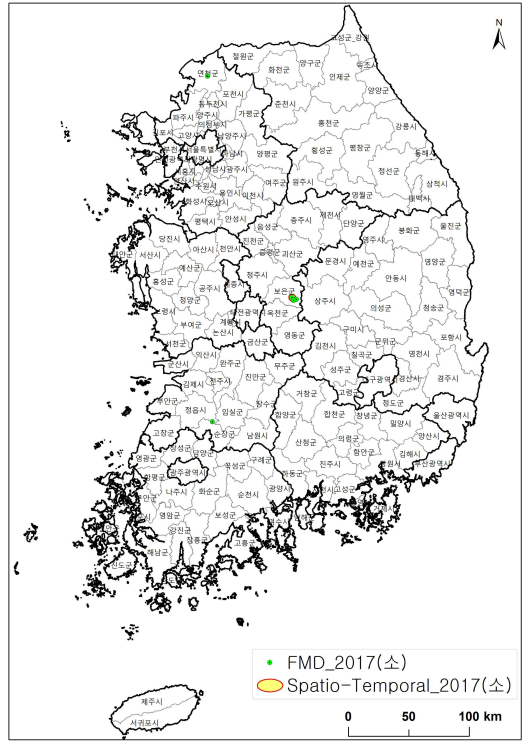
<그림 ②-26. 2016년 일자별 FMD 발생 빈도>



<그림 ②-27. 2017년 일자별 FMD 발생 빈도>



<그림 ②-28. 2016년 FMD 발생농가의 시·공간 군집>



<그림 ②-29. 2017년 FMD 발생농가의 시·공간 군집>

사. 구제역 발병 농가의 시·공간 군집 분석의 시사점

사-1. 구제역 백신 접종에 따른 질병의 전파·확산 차단 효과 확인

- 구제역 백신 접종 이후에는 인하여 인접지역으로의 급격한 전파·확산은 발생하지 않았다.

- 그러나 백신 접종으로 인하여 구제역 발병의 증상 인지가 늦어지면서, 해당 농가와 인접한 농가로의 지속적인 전파·확산이 진행되는 문제가 나타났다.

사-2. 축산차량 이동데이터 활용에 따른 방역 효과 입증

- 차량에 의한 장거리 감염 추적이 가능하게 되면서, 신속한 역학조사와 방역이 이루어지게 되었다. 이는 일자별로 급격한 질병 발생 편차가 나타나지 않은 결과에서도 확인할 수 있다.

사-3. 축종(소, 돼지)에 따른 전파·확산 차이 발생

- 축종별로 구제역의 전파·확산 범위에서 차이를 보이고 있다. 일반적으로 소에 비하여 돼지의 전파 확산 범위가 넓게 나타났다.
 - 돼지의 경우 차량에 의한 원거리 전파 경향이 뚜렷하였고, 반면에 소의 경우는 인접 전파 특성을 보였다.

②-2. 2016-17년 고병원성조류인플루엔자 발생농장 특성 분석

가. 일반 현황

가-1. 지역별 분포

- 본 분석은 2016-17년 제7차로 발생한 고병원성조류인플루엔자 발생농장 419건에 대해 농림축산검역본부에서 조사한 역학조사서를 기초로 분석하였다.
- 2016년부터 2017년까지 전국 양계농장과 오리농장의 HPAI 발생건수는 총 419건이었다. 그 중에서 중복농장 및 파일불량 등 4건의 역학조사내용 사용불능으로 총 415건에 대해 농장의 특성내용을 정리하였다. 전체 HPAI 발생지역은 경기도가 119건(28.7%)으로 가장 많았다.
 - 전체 발생농장비율을 보면, 경기도 119건(28.7%), 충청북도 86건(20.8%), 충청남도 64건(15.4%), 전라북도 69건(16.6%), 전라남도 36건(8.7%), 세종특별시 17건(4.2%), 경상남도 6건(1.4%) 등의 순이었다.

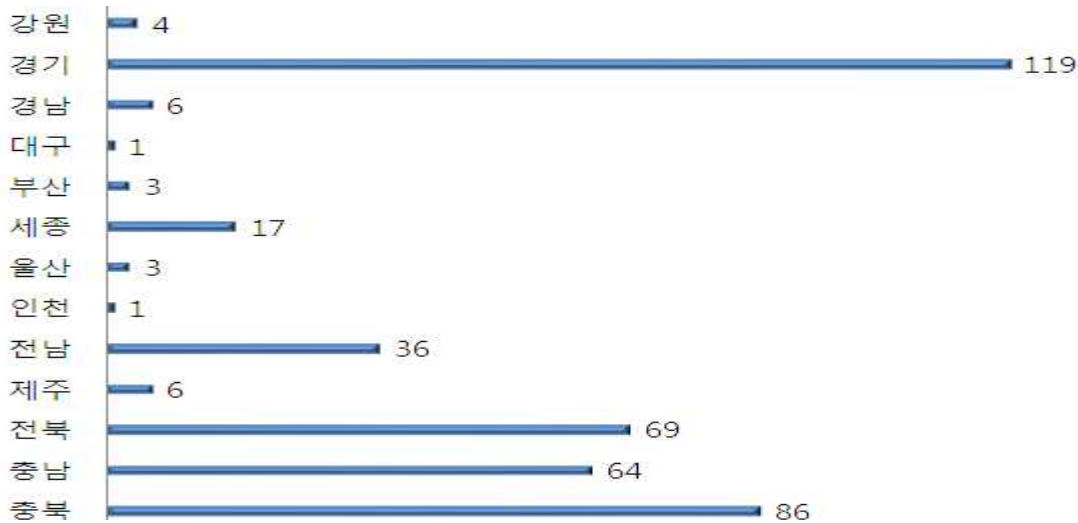
<표 ②-12. HPAI 발생농장의 지역별 분포>

단위: 명, %

지역	전체		양계농장		오리농장		기타	
	발생농장	비중	발생농장	비중	발생농장	비중	발생농장	비중
강원	4	1.0	4	1.7	0	0.0	0	0.0
경기	119	28.7	105	44.7	12	7.5	2	10.0
경남	6	1.4	0	0.0	3	1.9	3	15.0
대구	1	0.2	0	0.0	0	0.0	1	5.0
부산	3	0.7	1	0.4	0	0.0	2	10.0
세종	17	4.2	16	6.8	1	0.6	0	0.0
울산	3	0.7	1	0.4	0	0.0	2	10.0
인천	1	0.2	1	0.4	0	0.0	0	0.0
전남	36	8.7	2	0.9	34	21.3	0	0.0
제주	6	1.4	2	0.9	0	0.0	4	20.0
전북	69	16.6	32	13.6	32	20.0	5	25.0
충남	64	15.4	49	20.9	14	8.8	1	5.0
충북	86	20.8	22	9.3	64	40.0	0	0.0
계	415	100.0	235	100.0	160	100.0	20	100.0

주: 양계장은 육계, 산란계, 종계 농장을 포함하며, 오리농장은 육용오리, 종오리 농장을 포함함.

- HPAI 발생농장의 축종별 발생 분포는 다음과 같다. 산란계와 육계농장은 전체 175개 농장에서 질병이 발생하였다. 산란계 151개, 육계 24개 농장에서 발생하였다. 지역별로 살펴보면, 산란계는 경기도에서 가장 높은 80건이 발생하였다. 그 다음으로 충청남도 33건, 세종특별시 14건, 충청북도 13건, 전라북도 6건, 강원도 3건 등의 순이었다. 육계는 전라북도에서 9건으로 가장 높게 발생하였다. 경기도 8건, 충청북도 4건, 충청남도 3건 등의 순으로 발생지역의 편차가 산란계보다 크게 나타나지 않았다.



<그림 ②-30 HPAI 발생농장의 지역별 분포>

<표 ②-13. HPAI 발생농장의 축종별 분포>

단위: 명, %

지역	전체	산란계	육계	종오리	육용오리	기타
강원	4(10.0)	3(2.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	1(1.0)
경기	119(28.7)	80(53.0)	8(33.0)	3(8.3)	9(7.3)	19(23.5)
경남	6(1.4)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	3(2.4)	3(4.0)
대구	1(0.2)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	1(1.0)
부산	3(0.7)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	3(4.0)
세종	17(4.2)	14(9.3)	0(0.0)	0(0.0)	1(0.8)	2(2.5)
울산	3(0.7)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	3(4.0)
인천	1(0.2)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	1(1.0)
전남	36(8.7)	2(1.3)	0(0.0)	11(30.6)	23(18.7)	0(0.0)
제주	6(1.4)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	6(7.4)
전북	69(16.6)	6(4.0)	9(37.5)	3(8.3)	28(22.8)	23(28.4)
충남	64(15.4)	33(21.9)	3(12.5)	6(16.7)	8(6.5)	14(17.3)
충북	86(20.8)	13(8.6)	4(16.7)	13(36.1)	51(41.5)	5(6.2)
계	415(100.0)	151(100.0)	24(100.0)	36(100.0)	123(100.0)	81(100.0)
합계	415(100.0)	151(36.4)	24(5.8)	36(8.7)	123(29.6)	81(19.5)

주: 기타는 토종닭 농장 등 기타 농장을 포함함 것임.

자료: 농림축산검역본부

- 오리농장은 육용오리와 종오리로 축종별 농장을 분류하였다. 육용오리와 종오리 농장은 전체 159개 농장에서 질병이 발생하였다. 육용오리 123개, 종오리 36개 농장에서 HPAI가 발병한 것으로 나타났다. 지역별로 보면, 육용오리는 충청북도에서 가장 높은 51건이 발생하였다. 그 다음으로 전라북도 28건, 전라남도 23건, 경기도 9건, 충청남도 8건, 경상남도 3건, 세종특별시 1건 등의 순으로 이어졌다. 종오리는 충청북도에서 가장 높은 13건 발생하였고, 전라남도 11건, 충청남도 6건, 전라북도 3건, 경기도 3건 등의 순으로 발생하였다.

- 기타에는 토종닭, 혼합 등의 농장이 포함되어있다. 기타 농장은 전체 81개 농에서 질병이 발생된 것으로 조사되었다. 지역별로는 전라북도에서 가장 많은 23건이 발생하였다. 다음으로 경기도 19건, 충청남도 14건, 제주도 6건 등의 순으로 발생하였다.

가-2. AI 발생 농장의 사육마릿수와 경력

- AI 발생 전체 농장의 평균 사육마릿수는 62,993마리였으며, 전체 사육마릿수의 표준편차는 115,929.5, 최대 사육마릿수는 920,000마리, 최소 사육마릿수는 4마리로 나타났다.
 - 축종별로 살펴보면, 산란계 농장의 평균 사육마릿수는 129,089마리, 최대 사육마릿수는 920,000마리, 최소 사육마릿수는 1,910마리로 나타났다.
 - 육계 농장의 평균 사육마릿수는 48,507마리, 최대 사육마릿수는 126,000마리, 최소 사육마릿수는 820마리로 나타났다.
 - 종오리 농장의 평균 사육마릿수는 10,967마리, 최대 사육마릿수 29,386마리, 최소 사육마릿수 1,700으로 나타났다.
 - 육용오리 농장의 평균 사육마릿수는 13,140마리, 최대 사육마릿수 41,500마리, 최소 사육마릿수 3,000마리로 나타났다.
 - 기타 농장의 평균은 사육마릿수는 41,816마리, 최대 사육마릿수 789,000마리, 최소 사육사릿수 4마리로 나타났다.

<표 ②-15. HPAI 발생 농장의 사육마릿수>

구분	전체	산란계	육계	종오리	육용오리	기타
평균	62,993	129,089	48,507	10,967	13,140	41,816
표준편차	115,929.5	145,729.9	34,399.0	6,588.5	6,828.0	122,760.9
최대	920,000	920,000	126,000	29,386	41,500	789,000
최소	4	1,910	820	1,700	3,000	4

주: 기타는 토종닭 농장 등 기타 농장을 포함함 것임.

자료: 농림축산검역본부

- HPAI 발생 전체 농장의 평균사육경력은 15.69년이고, 최대 경력은 50년, 최소 경력은 이제 막 시작한 농장주도 있었다.
 - 산란계 농장의 경우, 평균 사육 경력은 21.31년, 최대 사육경력은 50년, 최소 사육경력은 3개월로 조사되었다.
 - 육계 농장의 평균 사육 경력은 10.94년, 최대 사육경력은 21년, 최소 사육경력은 1년으로 나타났다.
 - 종오리 농장의 평균 사육경력은 12.80년, 최대 사육경력은 30년, 최소 사육경력은 1년으로 나타났다.
 - 육용오리 농장의 평균 사육 경력은 11.47년, 최대 사육경력은 40년, 최소 경력은 이제 막 시작한 농장주도 있었다.

- 기타 농장의 평균 사육 경력은 11.87년, 최대 사육경력은 32년, 최소 사육경력은 3개월로 조사되었다.

<표 ②-16. HPAI 발생 농장주의 사육 경력>

구분	전체	산란계	육계	종오리	육용오리	기타
평균	15.69	21.31	10.94	12.80	11.47	11.87
표준편차	11.23	12.64	6.68	7.96	7.65	9.67
최대	50	50	21	30	40	32
최소	0	0.3	1	1	0	0.3

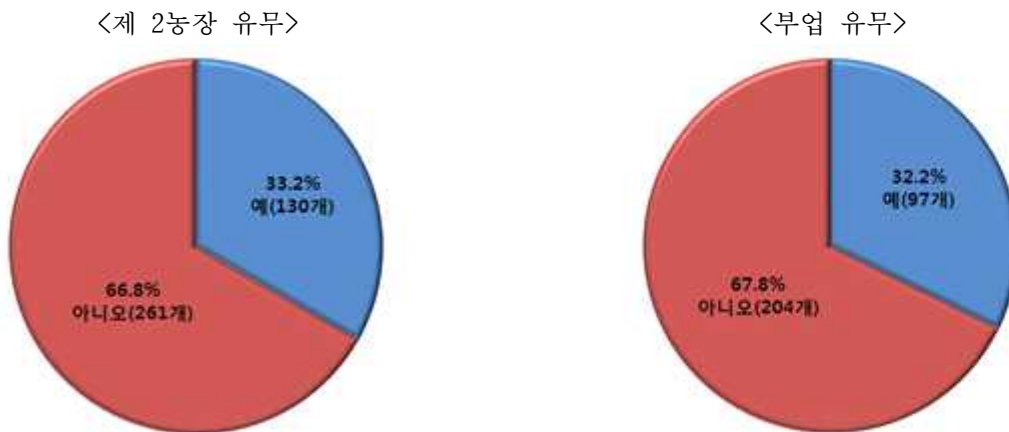
주: 기타는 토종닭 농장 등 기타 농장을 포함함 것임.

자료: 농림축산검역본부.

나. 가금 사육농가의 사육 유형

나-1. HPAI 발생 농장의 제 2농장 및 부업 여부

- HPAI 발생 농장 중 전체 301개 농장에서 부업 유무를 응답하였다. 그 중에서 97개 농장의 농장주가 부업 활동을 하고 있다고 대답하였다. 이는 전체 32.2%에 해당하는 수치이다. 제2농장 유무를 응답한 전체 391개 농장 중 130개 농장에서 제2농장을 운영하는 것으로 나타났다. 이는 전체 33.2%에 해당하는 수치이다. 또한, 제2농장을 보유한 농장의 평균 농장수는 2.11개 이고 최대는 14곳, 최소 1곳을 운영하고 있었다.

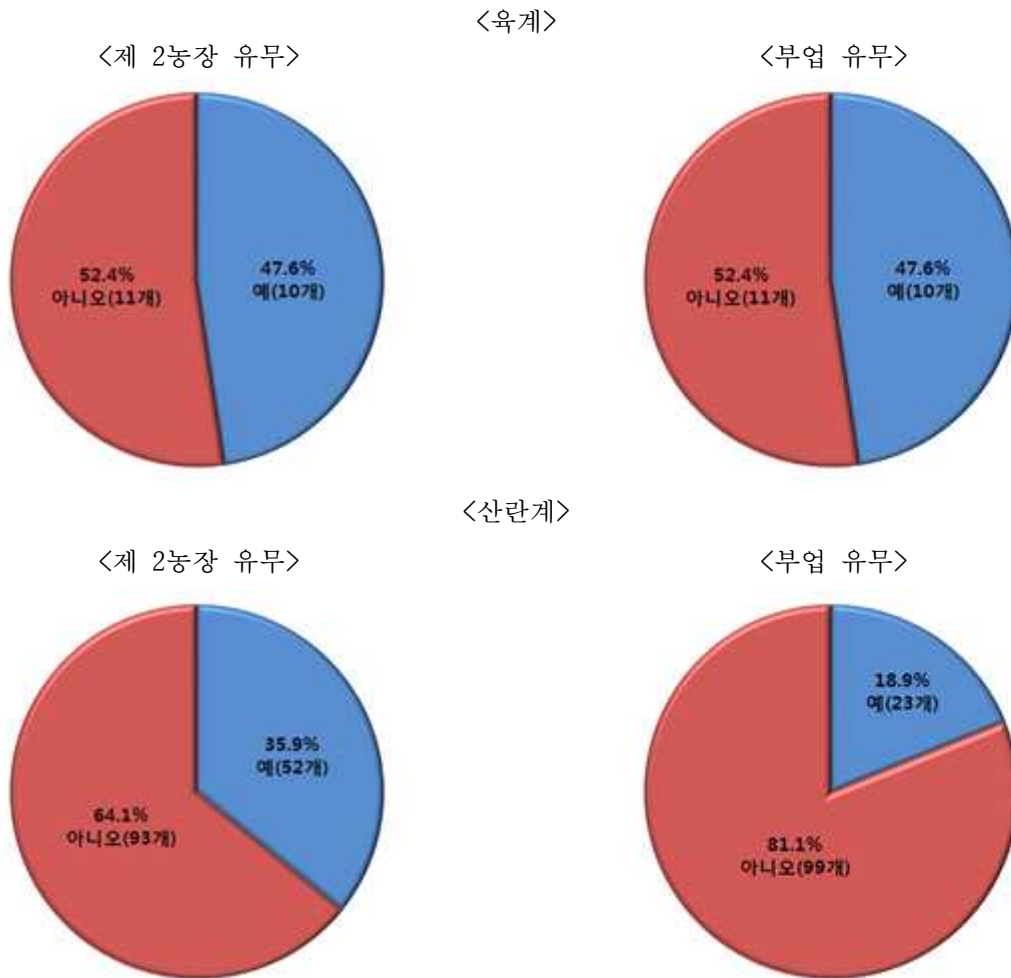


<그림 ②-31. HPAI 발생 농장의 제2농장 및 부업 유무>

- HPAI 발생 농장 중에서 육계와 산란계 농장의 제2농장 유무를 조사하였다. 그 결과, 육계를 사육하는 21개 농장 중 10개 농장에서 제2농장을 운영하고 ‘있다’ 라고 대답하였다. 이는 전체 47.6%에 해당하는 수치이다. 부업 여부는 유무를 응답한 14개 농장 중에서 2개 농장이 부업 활동을 하고 있다고 응답하였다. 이는 전체 14.3%에 해당하는 수치이다.

- 산란계를 사육하는 145개 농장 중 52개 농장에서 제2농장을 운영하고 ‘있다’ 라고

대답하였다. 이는 전체 35.9%에 해당하는 수치이다. 부업 여부는 유무를 응답한 122개 농장 중에서 23개 농장이 부업 활동을 하고 있다고 응답하였다. 이는 전체 18.9%에 해당하는 수치이다.

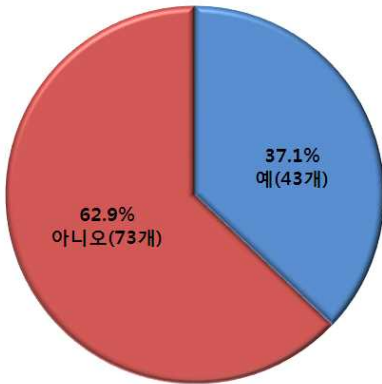


<그림 ②-32. HPAI 발생 양계장의 축종별 제2농장 및 부업 유무>

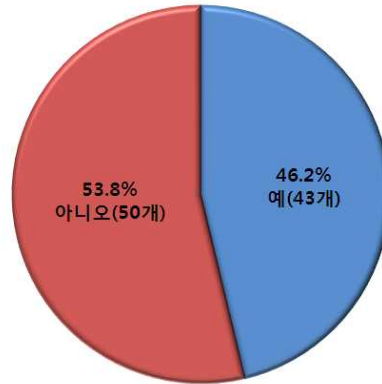
- HPAI발생 농장 중에서 육용오리와 종오리 농장의 제2농장 유무와 조사하였다. 육용오리를 사육하는 116개 농장 중 43개 농장에서 제2농장을 운영하고 ‘있다’ 라고 대답하였다. 이는 전체 37.1%에 해당하는 수치이다. 부업 여부 유무를 응답한 93개 농장 중에서 43개 농장이 부업 활동을 하고 있다고 응답하였다. 이는 전체 46.2%에 해당하는 수치이다.
- 종오리를 사육하는 33개 농장 중 14개 농장에서 제2농장을 운영하고 ‘있다’ 라고 대답하였다. 이는 전체 42.4%에 해당하는 수치이다. 부업 여부는 유무를 응답한 27개 농장 중 7개 농장에서 부업 활동을 하고 있다고 응답하였다. 이는 전체 25.9%에 해당하는 수치이다.

<육용오리>

<제 2농장 유무>

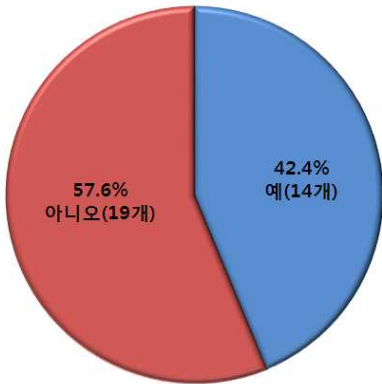


<부업 유무>

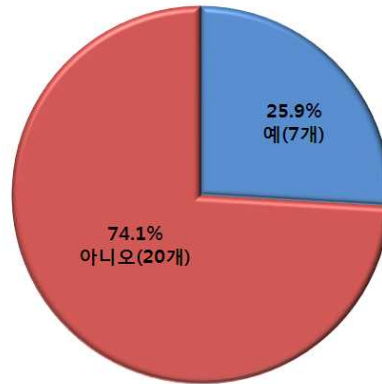


<종오리>

<제 2농장 유무>



<부업 유무>



<그림 ②-33. HPAI 발생 오리농장의 축종별 제2농장 및 부업 유무>

나-2. 농장 주변 야생조류 출현 여부 및 인근 농장 존재 유무

- 농장 주변에 주로 출현하는 야생 조류는 야생오리류, 까치·참새 등 텃새 종류 등으로 조사되었다. 이 중에서 까치·참새 등 텃새 종류가 52.9%의 비중으로 가장 빈번하게 출현하고, 다음으로 모두 출현한다는 응답비율이 32.3%, 야생오리류 10.8%, 기타 4.18% 순으로 대답하였다. 기타의 야생동물로는 야생 고양이 및 개의 종류가 대부분 출현한 것으로 조사되었다.
- 농장 주변에 야생조류가 빈번하게 출현하고 있어 야생조류에 의한 전파가능성을 막기 위한 방역관리 체계의 구축이 필요해 보인다.

<표 ②-17. 농장 주변 야생조류 출현>

구분	야생오리류		까치·참새 등 텃새		모두		기타	
	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)
출현	39	10.8	190	52.9	116	32.3	15	4.18
계	360(100.0)							

- HPAI 발생 농장 중 인접 농장이 없는 농장은 50개로 나타났다. 인접농장이 존재하는 농장 중 인접농장의 수가 1개인 곳이 32.2%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 5~10개 17.9%, 2개 15.0%, 3개 10.3%, 4개 4.7%, 11개 이상 3.3% 순으로 나타났다. 인접농장의 수는 평균 3.5개의 농장이 인접한 곳에 위치해 있는 것으로 조사되었다.

<표 ②-18. HPAI 발생 농장 인접 농장 수>

구분	없음	있음						계
		1개	2개	3개	4개	5~10개	11개 이상	
빈도(명)	50	97	45	31	14	54	10	301
비율(%)	16.6	32.2	15.0	10.3	4.7	17.9	3.3	100.0

다. 과거 질병 발생 현황

- 전체 응답한 396개의 농장 중에서 98농장(24.7%)가 과거 HPAI 발생(예방적 살처분 포함) 경험이 있는 것으로 나타났다.
 - 과거 HPAI 발생 현황을 보면, 2014~2015년 전 지역에서 집중적으로 발생한 것을 알 수 있다. 2014~2015년 발생건수는 총 75건으로 전체 76.5%의 비중을 차지하고 있다.
 - 지역으로 구분하면 충청북도에서 가장 높은 비율의 과거 질병 발생 현황을 보이고 있으며, 다음으로 경기도, 전라북도, 전라남도, 충청남도 등의 순으로 이어지고 있다.

<표 ②-19. 과거 HPAI 발생(예방적 살처분 포함) 현황>

구분	2003	2004	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	계
강원	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
경기	-	-	-	-	-	1	7	-	-	7	7	22
울산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
전남	-	-	-	1	-	-	2	1	1	5	1	11
전북	-	-	-	-	1	-	-	-	1	5	5	12
충남	-	1	1	-	-	-	-	1	-	5	2	10
충북	1	2	-	-	-	-	-	-	2	17	17	39
세종	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
계	1	3	1	1	1	1	9	2	4	41	34	98

- 전체 응답한 168개의 양계농장 중에서 17.3%인 29개 농장에서 과거 HPAI 발생 경험이 있는 것으로 조사되었다. 육계농장(2건)에서보다는 산란계 농장(27건)에서 주로 발생한 것으로 나타났다.

<표 ②-20. 양계농장 축종별 과거 HPAI 발생(예방적 살처분 포함) 현황>

구분	2004		2010		2011		2014		2015		계	
	육계	산란	육계	산란	육계	산란	육계	산란	육계	산란	육계	산란
강원	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
경기	-	-	-	1	-	6	-	5	-	6	-	18
전북	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1
충남	-	1	-	-	-	-	-	2	-	1	-	4
충북	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1
세종	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2
계	-	1	-	1	-	6	-	11	2	8	2	27

- 오리농장은 전체 응답한 156개의 농장 중에서 40.4%(63개 농장)의 비중으로 과거 질병 발생 경험이 있다고 나타났다.
- 상대적으로 양계농장 보다 오리농장에서 더 높은 비중으로 질병 재발이 많았다.

<표 ②-21. 오리농장 육용오리, 종오리 과거 HPAI 발생(예방적 살처분 포함) 현황>

구분	2003		2004		2007		2008		2011		2012		2013		2014		2015		계	
	육용	종	육용	종	육용	종	육용	종	육용	종	육용	종	육용	종	육용	종	육용	종	육용	종
경기	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	2
전남	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	1	-	1	-	1	4	-	1	3	8
전북	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	1	3	1	7	2
충남	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	-	2	3
충북	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	12	4	14	-	31	4
계	1	-	2	-	-	1	-	1	1	2	1	-	4	-	17	12	18	3	44	19
오리계	1		2		1		1		3		1		4		29		21		63	

라. 폐사축 처리

- 농장에서 전체 일일 폐사량의 평균 마릿수는 11.72 이다. 표준편차는 38.02, 최대 마릿수는 520마리, 최소 마릿수는 폐사량이 없는 농장이었다.
- 육계농장의 평균은 17.44마리, 최대 마릿수 100마리, 최소 마릿수는 1마리로 조사되었다.
- 산란계 농장의 평균 일일 폐사량은 17마리, 최대 마릿수 208마리, 최소 마릿수 1마리로 조사되었다.
- 육용오리 농장의 평균 은 4.61마리, 최대 마릿수 49마리, 최소 마릿수 0.5마리로 조사되었다.
- 종오리 농장의 평균 일일 폐사량은 1.67마리, 최대 마릿수 5마리, 최소 마릿수는 일일 폐사량이 없는 농장으로 조사되었다.
- 기타 농장의 평균 일일 폐사량은 27마리, 최대 마릿수 520마리, 최소 마릿수는 일일 폐사량이 없는 농장으로 조사되었다.

〈표 ②-22. AI 발생 농장의 일일 폐사량〉

구분	전체	육계	산란계	육용오리	종오리	기타
평균	11.72	17.44	17	4.61	1.67	27
표준편차	38.02	23.75	29.72	6.49	1.32	95.16
최대	520	100	208	49	5	520
최소	0	1	1	0.5	0	0

- HPAI 발생 농장의 폐사축 처리 현황은 다음과 같다. 폐사체 처리 여부를 응답한 전체 317개 농장 중 농장 내에 처리한다고 응답한 농장이 246개였고, 농장 외 처리한다고 응답한 농장은 71개였다. 폐사체 보관 여부를 응답한 138개 농장 중 밀폐하여 보관한다고 응답한 농장이 42개, 밀폐하지 않는 농장이 80개, 기타의견의 농장이 16개로 조사되었다.
- 육계 농장의 경우 전체 19개 농장 중 폐사체 처리 장소 위치가 농장 내 15개, 농장 외 4개 농장으로 조사되었다. 폐사체를 밀폐하여 보관하는 농장 4개, 밀폐하지 않는 곳이 5개로 조사되었다.
 - 산란계 농장은 전체 108개 농장 중 폐사체 처리 장소가 농장 내 92개, 농장 외 16개 위치한 것으로 조사되었다. 폐사체를 밀폐하여 보관하는 농장이 9개, 밀폐하지 않는 곳이 17개, 기타 의견의 농장이 4개로 조사되었다.
 - 육용오리 농장의 경우, 115개 농장 중 폐사체 처리 장소가 농장 내 83개, 농장 외 32개의 농장으로 조사되었다. 폐사체 보관을 밀폐하여 보관하는 농장이 19개, 밀폐하지 않는 곳이 35개, 기타 의견의 농장이 10개로 조사되었다.
 - 종오리 농장은 총 31개 농장 중 폐사체 처리 장소가 농장 내 28개, 농장 외 3개의 농장으로 조사되었다. 폐사체 보관을 밀폐하여 보관하는 농장이 8개, 밀폐하지 않는 곳이 12개, 기타 의견 농장이 1개로 조사되었다.
 - 기타 농장은 총 44개 농장 중 폐사체 처리 장소가 농장 내 28개, 농장 외 16개의 농장으로 조사되었다. 폐사체 보관을 밀폐하여 보관하는 농장이 2개, 밀폐하지 않는 곳이 11개, 기타 의견 농장이 1개로 조사되었다.

표 ②-23. HPAI 발생 농장의 폐사축 처리 현황

단위: 명, %

구분	폐사체 처리		폐사체 보관		
	농장 내	농장 외	밀폐	밀폐안함	기타
육계	15(6.1)	4(5.6)	4(9.5)	5(6.3)	0(0.0)
산란계	92(37.4)	16(22.5)	9(21.4)	17(21.3)	4(25.0)
육용오리	83(33.7)	32(45.1)	19(45.2)	35(43.8)	10(62.5)
종오리	28(11.4)	3(4.2)	8(19.0)	12(15.0)	1(6.3)
기타	28(11.4)	16(22.5)	2(4.8)	11(13.8)	1(6.3)
전체	246(100.0)	71(100.0)	42(100.0)	80(100.0)	16(100.0)

마. AI 발생 농장의 차량 보유 현황

- 정부는 2012년 8월부터 효율적인 방역체계 구축을 위해 축산시설 출입 차량을 KAHIS에 등록시키고, GPS 단말기를 부착하여 출입 정보를 수집하는 차량 등록제를 실시하고 있다.
- AI 발생 농장 전체에서 이용 중인 차량의 평균 대수는 2.29대였으며, 최대 13대에서 최소는 차량을 보유하지 않은 농장이 있는 것으로 나타났다.
 - 육계 농장의 평균 보유 차량 수는 2.13대였으며, 최대 6대, 최소 보유차량이 없는 농장이 있었다.
 - 산란계 농장의 평균 수는 2.71대였으며, 최대 13대에서 보유차량이 없는 농장이 있는 것으로 조사되었다.
 - 육용오리 농장은 평균 1.96대, 최대 7대, 보유차량이 없는 농장이 있는 것으로 조사되었다.
 - 종오리 농장은 평균 2.94대 최대 10대, 최소 1대의 차량을 보유하고 있는 것으로 조사되었다.
 - 기타 농장은 평균 1.70대 최대 7대, 보유차량이 없는 농장이 있는 것으로 조사되었다.

표 ②-24. HPAI 발생 농장의 차량 보유 현황

구분	전체	육계	산란계	육용오리	종오리	기타
평균	2.29	2.13	2.71	1.96	2.94	1.70
표준편차	1.69	1.45	2.00	1.19	2.00	1.20
최대	13	6	13	7	10	7
최소	0	0	0	0	1	0

바. AI 발생 농장의 인력 현황

- HPAI 발생 농장의 평균 종사자 수는 4.21명으로 조사되었다. 피고용인을 내국인과 외국인으로 분류하여 비중을 조사하였다. 내국인은 평균 1.55명, 외국인은 2.30명 비중으로 나타났다.
 - 육계 농장의 전체 종사자 수 평균은 5.74명으로 조사되었다. 피고용인 평균은 내국인 3.06, 외국인 3.56명으로 조사되어 나타났다.
 - 산란계 농장의 전체 종사자 수의 평균은 7.21명으로 조사되었다. 피고용인은 내국인 2.44명, 외국인 3.95명으로 조사되었다.
 - 육용오리 농장은 전체 종사자 수의 평균이 1.66명으로 조사되었다. 피고용인 평균은 내국인 0.28명, 외국인 0.18명으로 조사되었다.
 - 종오리 농장 전체 종사자 수의 평균은 3.83명으로 조사되었다. 피고용인 평균은 내국인 1.23명, 외국인 1.64명으로 조사되었다.

<표 ②-25. HPAI 발생 농장의 고용 현황>

구분	육계			산란계			육용오리			종오리		
	종사 자 수	피고용인		종사 자 수	피고용인		종사 자 수	피고용인		종사 자 수	피고용인	
		내국 인	외국 인		내국 인	외국 인		내국인	외국인		내국인	외국인
평균	5.74	3.06	3.56	7.21	2.44	3.95	1.66	0.28	0.18	3.83	1.23	1.64
표준 편차	5.41	2.99	4.55	7.15	4.51	4.71	0.70	0.52	0.41	3.01	2.94	2.27
최대	24	12	18	55	32	24	5	2	2	16	16	12
최소	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

사. 방역 사항

사-1. 백신 접종

- HPAI 발생 농장의 역학조사에 따르며, 전체 148개의 농장에서 백신접속을 실시하였다고 응답하였다. 그 중에서 양계장은 144개의 농장에서, 오리농장은 4개의 농장에서 실시하였다고 응답하였다.

사-2. 소독 실시 기록부 비치 및 기록 유지 여부

- HPAI 발생 농장의 95.3%가 소독 실시 기록부를 비치하고 있는 것으로 조사되었다. 하지만, 일부 농장에서는 소독 실시 기록부를 비치하지 않는 등 농장 소독 활동을 소홀히 할 가능성도 있는 것으로 나타났다.
 - 육계와 산란계 농장에서 각각 88.2%, 96.6% 비율로 소독 실시 기록부를 비치 및 유지하고 있는 것으로 나타났다.
 - 육용오리와 종오리 농장에서 각각 98.0%, 100.0%의 높은 비율로 비치 및 유지를 하고 있는 것으로 나타났다.

표 ②-26. 소독 실시 기록부 비치 및 유지 여부

단위: 명, %

구분	예	아니오	계
육계	15(88.2)	2(11.8)	17(100.0)
산란계	114(96.6)	4(3.4)	118(100.0)
육용오리	98(98.0)	2(2.0)	100(100.0)
종오리	32(100.0)	0(0.0)	32(100.0)
기타	27(81.8)	6(18.2)	33(100.0)
전체	286(95.3)	14(4.7)	300(100.0)

사-3. 차량 및 운전자 소독

- 농장 내 출입하는 차량의 소독형태를 축종별로 조사하였다. 육계 농장의 경우 84.2% 분무 형태의 소독을 사용하였다. 그 다음으로 액체침지 등의 순으로 이어졌다. 산란계 농장에서 86.9% 분무형태의 소독을 실시하였다. 다음으로 액체침지, 고체, 기타의 순이었다. 육용오리와 종오리를 사육하는 농장의 소독형태는 각각 96.0%, 100.0% 분무형태의 소독을 사용하는 것으로 조사되었다.

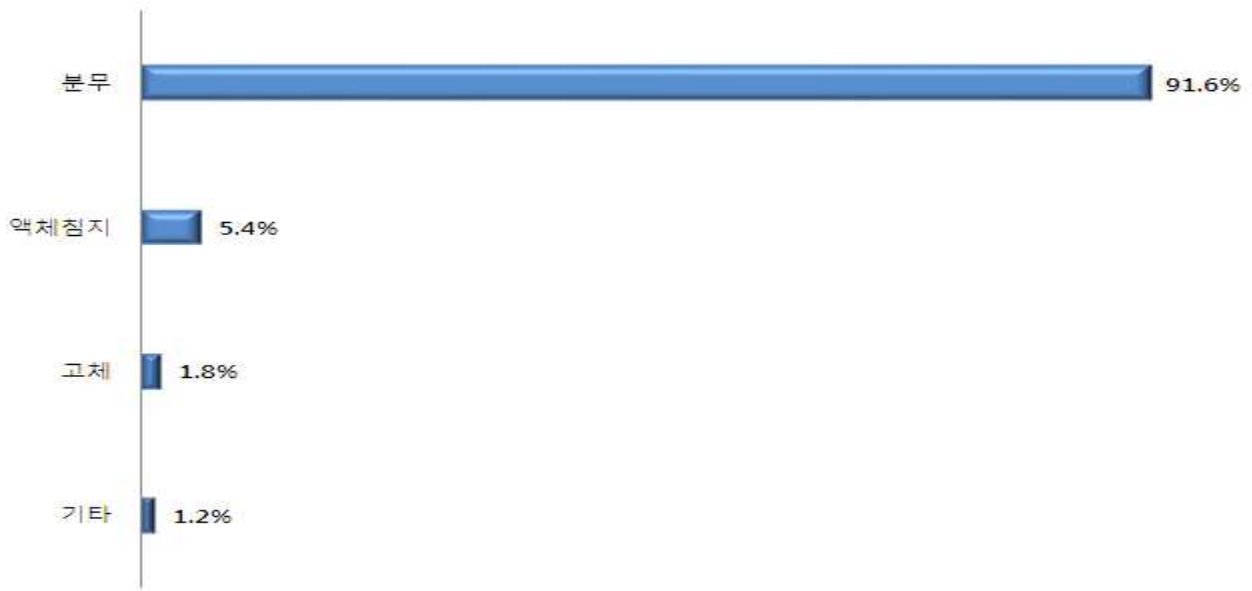
〈표 ②-27. HPAI 발생 농장의 차량세척·소독 현황〉

단위: %

구분		전체	육계	산란계	육용오리	종오리	기타
차량세척시설 유무	있음	101(34.5)	6(35.3)	44(37.0)	33(34.0)	13(46.4)	5(15.6)
	없음	192(65.5)	11(64.7)	75(63.0)	64(66.0)	15(53.6)	27(84.4)
차량소독시설 유무	있음	260(87.8)	17(100.0)	111(94.9)	80(80.0)	31(96.9)	21(70.0)
	없음	36(12.2)	0(0.0)	6(5.1)	20(20.0)	1(3.1)	9(30.0)
소독형태	분무	307(91.6)	16(84.2)	133(86.9)	96(96.0)	33(100.0)	29(96.7)
	액체침지	18(5.4)	2(10.5)	15(9.8)	1(1.0)	0(0.0)	0(0.0)
	고체	6(1.8)	0(0.0)	4(2.6)	1(1.0)	0(0.0)	1(3.3)
	기타	4(1.2)	1(5.3)	1(0.7)	2(2.0)	0(0.0)	0(0.0)

사-4. 방역용품 관련 사항

- HPAI 발생 농장에서 축사전용 복장 세척·소독 실시 전체 응답에서 ‘그렇다’ 라고 87.4% 응답을 했다. 소독의 형태는 전체 농장 중에서 67.6% 액체침지를 사용하고 있었다. 그 다음으로 분무, 고체 순으로 이어지고 있었다.
 - 육계 농장의 축사전용 복장 세척·소독 실시 여부 응답에서 ‘그렇다’ 라고 100.0% 대답하였다. 산란계 농장에서는 92.2% 실시하고 있다고 응답하였다. 육계와 산란계 농장에서 각각 70.0%, 67.3%의 높은 비율로 액체침지 소독형태를 사용하고 있었다.
 - 육용오리와 종오리 농장에서 축사전용 복장 세척·소독 실시 여부 응답에서 각각 85.7%, 76.0% 실시한다고 대답하였다. 소독의 형태는 액체침지 형태가 가장 높은 비율을 차지하였다. 육용오리 71.3%, 종오리 56.2%의 비율로 사용하고 있었다.



<그림 ②-34. HPAI 발생 농장의 차량세척·소독 형태>

<표 ②-28. HPAI 발생 농장의 축사전용 복장 세척·소독 현황>

단위: %

구분		전체	육계	산란계	육용오리	종오리	기타
축사전용 복장 세척·소독 실시 여부	예	256(87.4)	17(100.0)	119(92.2)	78(85.7)	19(76.0)	23(74.2)
	아니오	37(12.6)	0(0.0)	10(7.8)	13(14.3)	6(24.0)	8(25.8)
소독형태	분무	107(31.6)	6(30.0)	49(31.4)	29(28.7)	14(43.8)	9(30.0)
	액체침지	229(67.6)	14(70.0)	105(67.3)	72(71.3)	18(56.2)	20(66.7)
	고체	2(0.6)	0(0.0)	2(1.3)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
	기타	1(0.3)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	1(3.3)

②-3. 가축 전염병 발생의 공간 분석

가. 연구 목적

- 본 장에서는 162개 시·군별 가금류별 사육규모, 기후적 요인, 환경적 요인, 인구·사회학적 요인 등이 HPAI의 확산에 어떠한 영향을 미치는지 분석한다. HPAI의 공간 자기상관의 진단을 위해 2016년 기준 시·군별 산란계, 육계, 종계, 오리의 사육규모, 월 평균 기온, 강수량, 상대습도, 철새도래지 유무¹⁾와 축산차량 등록대수²⁾, 그리고 각 시·군의 인구증가율, 인구이동수, 인구밀도, 고령화 수준과 도시화 수준 등의 자료를 이용하여 가축질병 확산에 미치는 영향을 분석한다.

나. 연구방법

나-1. 공간가중행렬 구성

- 본 연구는 K-인접이웃방법(K-Nearest Neighbor Scheme: K-NN법)을 통해 K를 5로 설정하여 특정 시·군으로부터 가장 가까운 5개 이웃 특정 시·군의 농장 특성자료를 이용하여 공간가중행렬을 구성하였으며, 이를 행단표준화(row-standardization)하여 주변지역의 HPAI 발생이 특정 시·군의 발병에 미치는 영향력을 보다 구체적으로 계량화 하였다.

나-2. 공간자기상관 진단

- 특정지역의 HPAI 발생은 인근지역의 영향을 받으며 그에 따른 피해범위도 공간적으로 서로 연관되어 있다. 이와 같이 종속변수가 독립적이지 않고 서로 상관관계를 가지며, 특정지역의 값은 주변지역의 값에 의한 영향을 받는 경우를 공간 종속성 혹은 자기상관이라고 한다. 실증모형 구축에 있어서 공간적 자기상관을 반영하지 않을 경우 추정량의 편의 혹은 비효율성 문제가 발생하여 유의성 검정에서 오류가 발생 할 수 있다(Anselin 1998).
- 이에 HPAI 발생의 공간 자기상관의 존재여부를 확인하기 위해 Moran' s I 검정을 진행하였다. Moran' s I 지수는 분석대상 지역 내의 전반적인 군집경향을 파악하는 하나의 지표로서 아래의 식(나-1)에 의해 추정된다. 추정값은 -1과 1사이에서 1에 가까울수록 HPAI의 발생은 공간적으로 유사한 값을 가지며 군집화 양상이 존재한다는 것을 의미한다.

1) 철새도래지자료는 2016년 12월 31일 기준, 우리나라 환경부, 해양수산부와 지자체에서 지정한 습지(철새도래지)보호지역 자료를 취합하였다.

2) 축산차량등록자료는 시·군단위로 취합하기에는 한계가 있으므로 특별·광역시, 도별 자료를 수집하였다. 등록대상은 2016년 기준 가축·원유·동물약품·사료·가축분뇨·왕겨·퇴비를 운반하거나, 진료·인공수정·권설탕·시료채취·방역·기계수리를 위해 축산관계시설에 출입하는 차량 등이 포함된다. 현재 축산차량 등록대상은 추가로 난좌·가금부산물·남은음식물사료 운반차량, 가금 출하·상하차 등을 위한 인력운송차량, 농장보유 화물차량도 포함되어 있다(농림축산식품부).

$$Moran's\ I = \frac{N}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (나-1)$$

- 여기서 N 은 시·군 개수이고, X_i 와 X_j 는 각각 지역 i 와 j 의 속성 값을 나타낸다. \bar{X} 는 HPAI의 평균 속성 값이며 w_{ij} 는 공간가중치를 의미한다.

나-3. 공간계량경제모형 구축

- 공간계량모형은 일반선형회귀모형의 확장 형태로서, 공간시차모형(SLM: spatial autoregressive model 또는 spatial lagged model), 공간오차모형(SEM: spatial error model), 일반공간모형(GSM: general spatial model) 등 3가지로 나뉜다.
- 공간시차모형(SLM)은 종속변수의 자기상관을 통제하기 위한 모형으로서, 특정지역의 HPAI 발생이 주변지역의 발생에 의해 받는 영향력을 공간가중행렬을 통해 반영한 것이다. SLM모형의 기본형태는 식(3-2)와 같다. 공간계수는 ρ 의 크기와 부호는 종속변수의 공간 자기상관성의 크기와 방향을 나타낸다.
- SLM모형의 기본식 (나-2)에서 (ρWY) 를 좌변으로 이항하여 전개하면 식(나-3)을 도출할 수 있다. 여기서 $(I - \rho W)^{-1}$ 은 공간적 상호작용에 대한 간접효과 또는 외부효과(global externality or spillover)를 의미하는 공간승수효과(spatial multiplier)를 나타낸다(Anselin 2003).

$$Y = \rho WY + X\beta + \epsilon, \epsilon \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (나-2)$$

$$Y = (I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} \epsilon \quad (나-3)$$

$$(I - \rho W)^{-1} = I + \rho W + \rho^2 W^2 + \dots \approx \frac{1}{1 - \rho}, (0 \leq w_{ij} <, |\rho| < 1) \quad (나-3)$$

- OLS모형에서 오차항의 공간 종속성이 존재하면 예측오차의 공분산이 커지며 모델은 비효율적인 문제가 발생하게 된다. 이와 같이 오차항의 공간 자기상관을 통제하기 위해 오차항에 공간가중행렬을 부여하는 형태를 공간오차모형(SME)이라고 한다. 그 기본 형태를 수식으로 나타내면 식(나-4)와 같다. λ 는 설명변수 외에 모형에 반영되지 못한 여타 변수에 대한 계수를 의미하고, λ 의 크기와 부호에 따라 공간실체들 사이에 존재하는 오차항의 공간적 자기상관성의 크기와 방향을 파악할 수 있다.
- SLM모형과 같이 기본 수식을 전개하면 식(나-6)을 도출할 수 있다. $(I-\lambda W)^{-1}$ 은 공간승수효과를 나타내는 것으로 SEM모형의 오차항에 영향을 미친다.

$$Y = X\beta + e, \epsilon = \lambda W e + \epsilon, \epsilon \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (\text{나-4})$$

$$Y = X\beta + (I - \lambda W)^{-1} \epsilon \quad (\text{나-5})$$

$$(I - \lambda W)^{-1} = I + \lambda W + \lambda^2 W^2 + \dots \approx \frac{1}{1 - \lambda}, (0 \leq w_{ij} < 1, |\lambda| < 1) \quad (\text{나-6})$$

- 공간일반모형(GSM)은 공간시차모형과 공간오차모형을 결합한 형태로서 종속변수와 오차항의 공간적 자기상관성을 모두 반영하며, 식(나-7)과 같이 표현한다. 여기서 W_1 값이 0이면 공간오차모형이고, W_2 가 0이면 공간시차모형이 된다.
- 식 (나-8)에서 나타난 바와 같이 GSM모형의 오차항은 서로 다른 공간승수효과를 모두 가지고 있다.

$$Y = \rho W_1 Y + X\beta + \lambda W_2 e + \epsilon, \epsilon \sim (0, \sigma^2 I) \quad (\text{나-7})$$

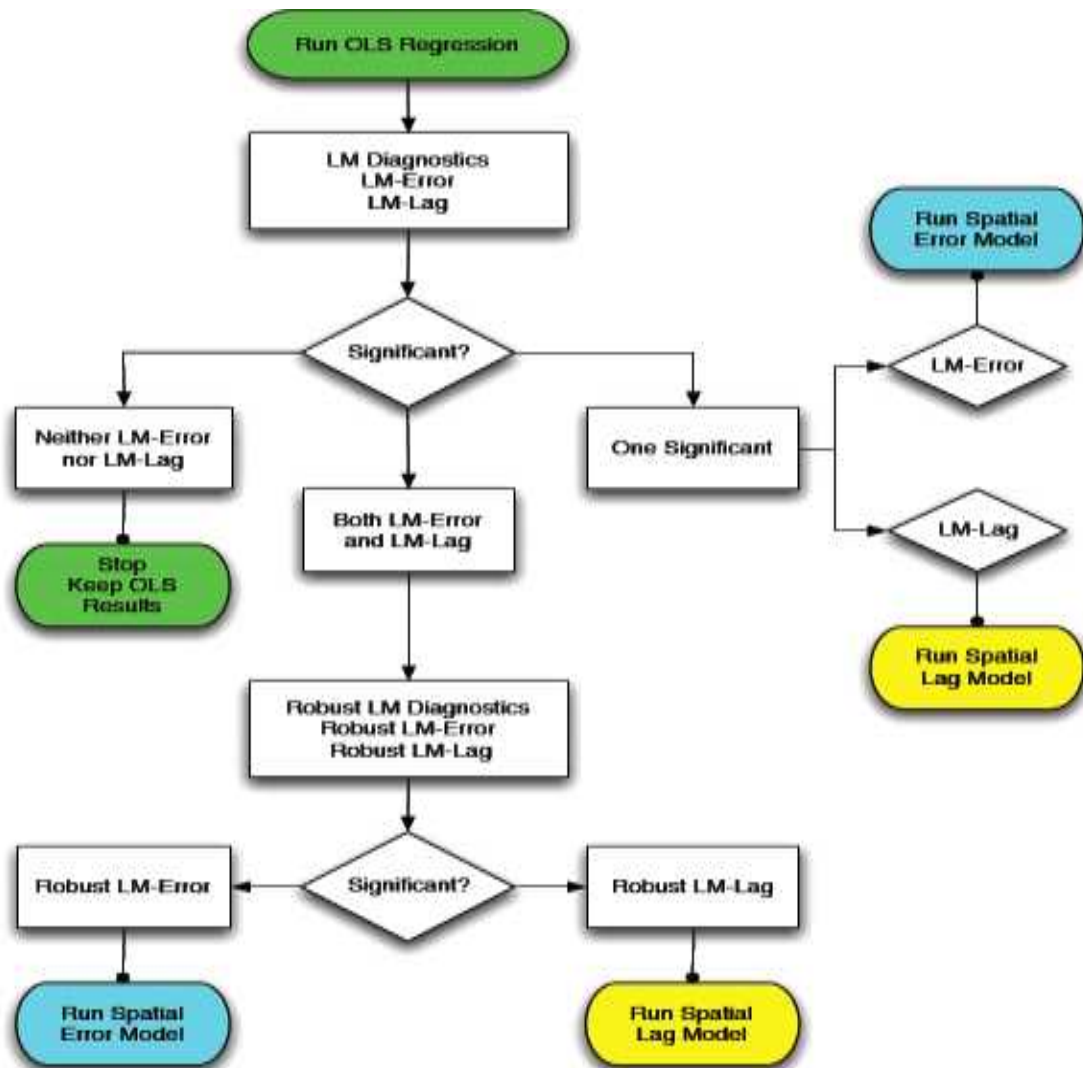
$$Y = (I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} (I - \lambda W)^{-1} \epsilon \quad (\text{나-8})$$

- Y : HPAI 발생을 나타내는 종속변수로 $N \times 1$ 벡터
- X : HPAI 발생에 영향을 미치는 독립변수로 $N \times k$ 벡터
- W : 횡단표준화한 공간가중행렬로 $N \times N$ 벡터
- ρ 와 λ : 공간자기회귀계수(spatial autoregressive coefficient)로 스칼라
- β : 상수항을 포함한 독립변수 회귀계수로 $(k+1) \times 1$ 벡터
- ϵ : $N \times 1$ 오차항 벡터
- e : 공간오차항(spatial lagged error term)

나-4. 모형의 적합도 검정

○ 앞 절에서 설명한 3가지 공간모형 중에서 HPAI의 공간특성 분석에 가장 적합한 모형을 선정하고자 LM검증과 Robust-LM검증을 진행하였다.

- 이는 OLS 회귀식을 $Y = X\beta + \epsilon$ 라고 가정하고 $\epsilon = \rho Y + \lambda W\epsilon + e$ 회귀식의 ρ 와 λ 값의 추정을 통해 종속변수와 오차항의 자기상관의 존재여부를 검정하는 방법이다. 이와 같은 LM검증은 LM-lag, LM-error, LM-sarma 등 세 가지가 포함되어 있으며, 그 중에서 LM-lag는 종속변수간의 공간적 자기상관, LM-error는 오차항간의 공간적 자기상관을 검정한다. LM-sarma는 공간자기회귀이동평균모형(SARMA)의 대안적 고차 모형으로 실제 응용에는 유용하지 않다(Ullah, A.1998). 만일 LM검증 결과, 공간회귀 계수가 SLM모형과 SEM모형에서 모두 통계적으로 유의하게 나타나면 Robust-LM 검증을 통해 통계적으로 보다 유의한 모형을 활용한다.

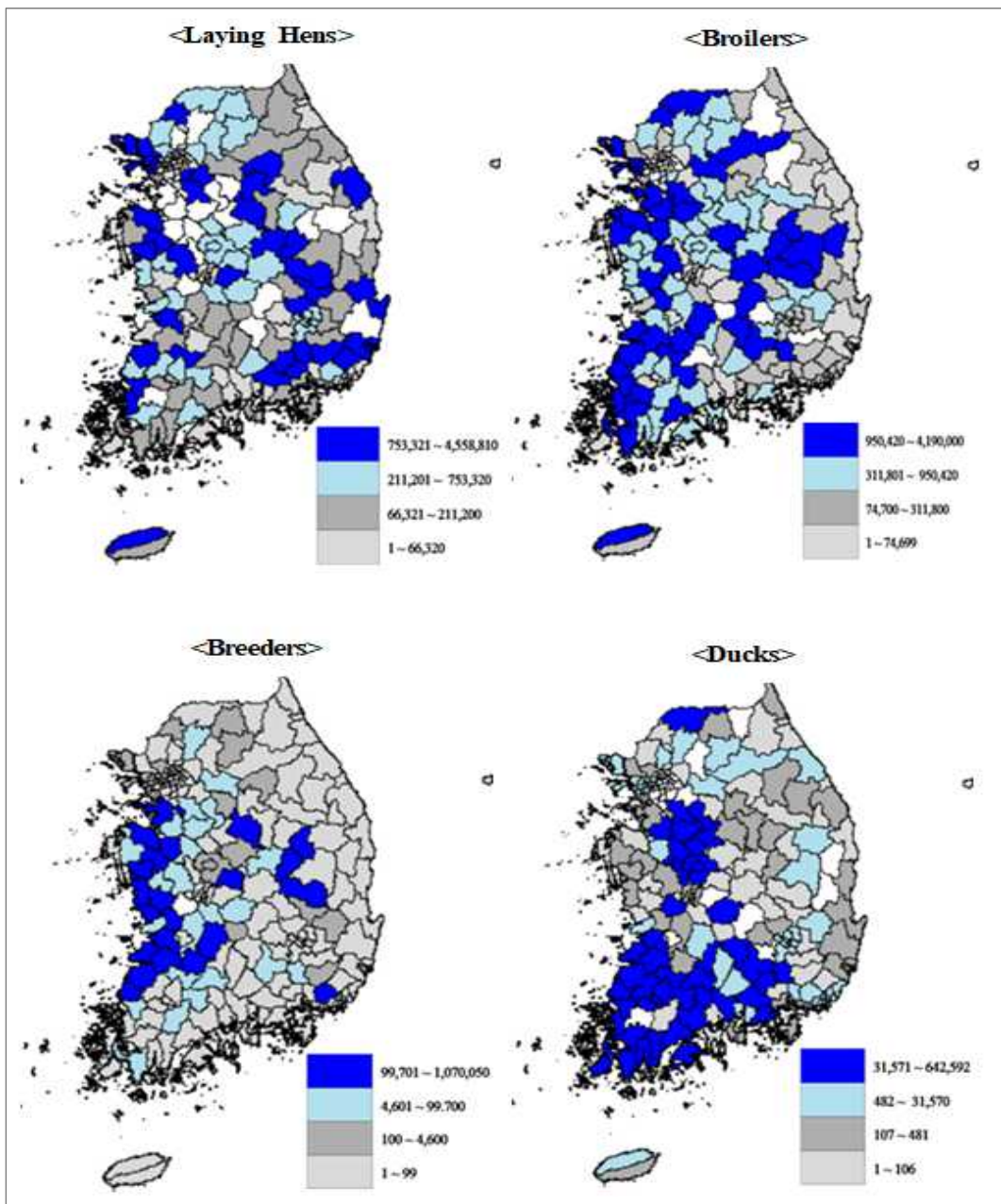


<그림 ②-35. 공간계량모형의 적합도 검증 과정>

자료: Anselin(1988)

다. 분석 자료

- 시·군별 각 특성요인을 정리하면 아래의 <표 3-1>과 같다. 가금류별 평균 사육마릿수는 육계가 505,648마리, 산란계가 442,258마리, 종계가 70,462마리, 오리가 369,196마리 순으로 나타났고, 최대 사육규모는 산란계가 4,558,810마리, 육계가 4,190,000마리, 종계가 1,070,050마리, 오리가 6,425,920마리 순으로 나타났다. 그리고 가금류를 전혀 사육하지 않는 지역도 있는 것으로 나타났다. 가금류별 사육현황을 시각화하여 살펴보면, 우리나라 가금류 사육규모는 일정한 범위 내에서 군집적 분포를 이루는 것을 알 수 있다.



<그림 ②-36. 시·군별 축종별 사육현황>

- 전체 시·군의 평균기온은 13.5℃이며, 기온이 가장 높은 지역은 17℃였으며, 가장 낮은 지역은 8.1℃로 나타났다.
 - 강수량의 평균은 112.2mm이고, 최대 1,056mm이며 최소 60.5mm인 것으로 나타났다.
 - 상대습도의 평균 69.7%이며 가장 습한 지역은 91.9%, 가장 건조한 지역은 56.7%로 나타났다.
- 해당 시·군의 철새도래지 유무는 더비변수로 취합하였으며, 평균값은 0.2로 나타났다.
 - 전국 축산차량 평균 등록대수는 5,432대이며, 최대 많이 등록한 지역(도)은 7,447대, 가장 적게 등록한 지역(특별시)은 212대인 것으로 나타났다.
- 인구증가율은 평균 0.4%였으며, 최대 26.4%가 증가한 지역이 있는 반면, 오히려 7.5% 감소한 지역도 있었다.
 - 인구이동 수는 국내 인구이동 통계량이므로 평균은 0으로 나타났으며, 최대값은 4,353명으로 나타나 해당지역의 전입인구가 전출인구보다 4,353명이 더 많았다. 한편 최소값은 부(-)로 나타나 전입인구 대비 전출인구가 7.52명이 더 많은 경우도 있었다.
 - 인구밀도는 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 평균 인구밀도는 1km²당 1,058명이고, 인구가 최대로 집중된 지역은 1km²당 16,408명이며, 가장 낮은 지역의 인구밀도는 1km²당 약 20명이었다.
 - 65세 이상 인구비율을 나타내는 고령화 지수는 평균 20.6%이었다. 전국에서 고령화 수준이 가장 높은 시·군은 37.5%, 가장 낮은 시·군은 7.5%인 것으로 나타나 시·군별 고령화수준은 비교적 큰 차이를 보였다.

표 ②-29. 각 특성별 기초통계량

변수		평균	표준편차	최댓값	최솟값	단위	
독립 변수	가금류별 사육규모	산란계	444.2579	743.7049	4,558.8100	0	천 마리
		육계	505.6804	737.5658	4,190.0000	0	천 마리
		종계	70.4615	156.1145	1,070.0500	0	천 마리
		오리	36.9196	94.2978	642.5920	0	천 마리
	기후적 요인	평균 기온	13.5205	1.2806	17.0000	8.1000	℃
		평균 강수량	112.1570	88.6604	1,056.0000	60.4920	mm
		평균 상대습도	69.6895	5.9836	91.9000	56.7000	%
	지리·환경 적 요인	철새도래지	0.1975	0.3993	1	0	dummy
		축산차량등록	5.4315	1.8894	7.4770	0.2120	천 대
	인구·사회 학적 요인	인구증가율	0.3786	2.9773	26.4000	-7.52000	%
		인구이동수	0	12.8100	43.5300	-14.0300	천 명
		인구밀도	1,058.32	2,474.82	16,408.92	19.89	명/1km ²
		고령화수준	20.5515	8.2402	37.4900	7.5100	%
		도시화수준	65.0592	25.7465	100.0000	19.0600	%

자료: 통계청, 「가축사육동향」, 「지역통계총괄」 기상청, 「기후자료」
한국토지주택공사, 「도시계획현황」

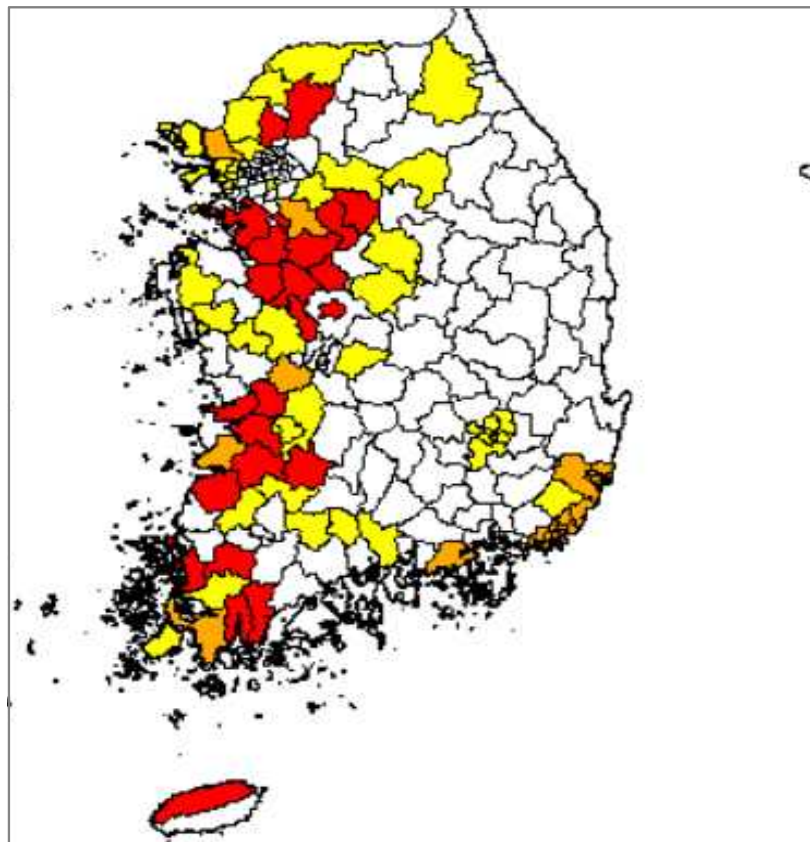
라. 분석결과

라-1. 공간 자기상관 진단 결과

- 7차 HPAI의 공간 자기상관 존재 여부를 진단한 결과, Moran 's I 값은 0.2283으로 1%유의 수준에서 통계적으로 매우 유의하게 나타났다.
- 이는 우리나라 시·군별 HPAI는 공간 자기상관이 존재하며 군집화 경향이 있으므로 특정 시·군의 HPAI발생은 인접한 시·군의 영향을 받는다는 것을 보여준다.
- 실제 2016-17년 HPAI 확산양상을 다음의 <그림 3-3>과 같이 클러스터를 형성한다는 것을 알 수 있다.

<표 ②-30. Moran' s I 통계량>

Moran' s I	Z-score	Expectation	variance	p-value
0.2283	5.167	-0.0062	0.0021	0.0001



<그림 ②-37. 2016-17년 HPAI 확산양상>

라-2. 모형의 적합도 검정 결과

- 일반적으로 Log likelihood, AIC와 BIC 값의 비교를 통해 일반회귀모형과 공간계량모형의 적합도를 판단한다.
 - <표 ②-31>와 같이, Log likelihood값은 SLM모형(-443.4348), SEM모형(-449.3507), GSM모형(-443.8933)에 비해 OLS모형(-464.6926)에서 더 높은 것으로 나타났다.
 - AIC값은 OLS모형에서 961.3851로 나타났으나 SLM모형에서는 920.8695, SEM모형에서는 932.7015, GSM모형에서는 921.7866으로 줄어들었다.
 - BIC값도 OLS모형에서 1,010.7870으로 나타났으나 공간계량모형(SLM: 973.3586, SEM: 985.1906, CGM: 977.3633)에서 더 작은 값으로 나타났다. 이와 같은 분석결과는 일반회귀모형보다 공간계량모형 더욱 적합하다는 것을 의미한다.

- 공간계량모형 중에서 가장 적절한 모형을 선정하고 LM 검증 진행결과, SLM모형과 SEM모형에서 모두 매우 유의하게 나타났다. 이어서 Robust-LM 검증을 추가적으로 진행하였다.
 - 그 결과 SEM모형에서 통계적 유의성이 없는 것으로 나타난 반면, SLM모형에서는 1% 유의수준에서 23.437로 매우 유의한 것으로 나타났다.
 - 따라서 7차 HPAI 발생의 공간효과와 시·군별 파급효과 분석에는 공간시차모형이 가장 적합한 것으로 판단된다.

<표 ②-31. 모형의 적합도 검정결과>

구분	OLS	SLM	SEM	GSM
adjusted- R^2	0.5707	-	-	-
Log Likelihood	-464.6926	-443.4348	-449.3507	-442.8933
AIC	961.3851	920.8695	932.7015	921.7866
BIC	1,010.7870	973.3586	985.1906	977.3633
LM-lag	-	45.6290***	-	-
Robust LM-lag	-	23.437***	-	-
LM-error	-	-	23.1950**	-
Robust LM-error	-	-	0.0030	-
SARMA	-	-	-	45.6320***

주: ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

라-3. 시·군 특성별 공간과급효과 분석결과

- SLM모형의 공간회귀계수 ρ 는 0.5081로 1% 유의수준에서 통계적으로 유의미하게 나타나, 특정 시·군의 HPAI 발생은 인근지역으로부터 50.81%의 영향을 받으므로 HPAI 발생에 따른 공간적 피해규모가 아주 크다는 것을 보여준다.
- SLM모형에서 산란계와 오리의 사육규모는 1% 유의수준에서, 종계는 5% 유의수준에서 유의미하게 나타났고 사육규모가 큰 지역일수록 HPAI 발생이 더 많다는 것을 보여준다.
 - 그 영향력 크기는 오리(0.0196), 산란계(0.0042), 종계(0.0041) 순으로 나타나, 오리가 타 축종에 비해 HPAI에 취약하다는 것을 의미한다. 이는 Gilbert et al.(2006)의 연구와 비슷한 결과를 보이고 있다.
- 시·군별 기후요인 중에서 기온과 강수량은 모든 모형에서 모두 통계적 유의성이 없는 것으로 나타난 반면, 상대습도는 모두 10% 유의수준에서 유의미하게 나타났다.
 - 이는 상대습도가 낮은 시·군일수록 HPAI 발생이 더 빈번하다는 것을 의미한다. 이는 베트남의 레드리버 델타지역을 대상으로 분석한 결과와 일치하게 나타났다(Tran, C. et al 2013).
 - 본 연구의 실증모형인 SLM모형에서 -0.1075로 나타남으로써 상대습도가 1% 낮은 지역일수록 HPAI의 발생은 0.1075건 증가한다는 것을 보여준다.
- 축산차량등록대수에 따른 공간과급효과는 GSM모형을 제외한 타 모형에서 5% 유의수준에서 통계적 유의성을 가진다.
 - SLM모형에서 -0.3725로 나타나 광역·특별시와 도별 축산차량등록대수가 1천대 적은 지역일수록 HPAI 발생빈도는 0.3228단위 증가한다는 것을 설명한다. 즉 등록된 축산차량이 적은 도에서 질병의 발생과 확산의 더 우려가 크다는 것을 의미한다.
 - 축산차량이 HPAI 전파 매개체로 계수값이 양일 것을 예측하였으나 음의 값이 나왔다. 이는 분석에 이용된 자료가 시군별이 아닌 도별 축산차량등록대수이기 때문이거나, 돼지, 소 등 다른 축종의 축산차량까지 포함된 자료를 사용하였기 때문인 것으로 판단된다.
- 시·군별 인구특성변수(인구증가율, 인구가동, 인구밀도)는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났으나, 태국과 중국의 HPAI 위험요소에 관한 연구에서는 인구밀도는 통계적 유의성을 가지며 인구밀도가가 증가 할수록 HPAI 발생빈도가 높아지는 것으로 나타났다(Paul et al 2011, Martin et al 2011).
- 고령화수준은 -0.1893으로 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타나, 고령화 인구비율이 1% 높은 지역일수록 HPAI의 발생은 0.1893 단위 감소한다는 것을 보여준다.

- 이는 가금류의 경우 고연령층 농가보다 중장년층 농가가 상대적으로 많기 때문이거나, 고연령층이 사육을 포기하거나 사육규모를 축소하여 가축사육 마릿수가 적어짐에 따라 질병의 노출 가능성이 적기 때문인 것으로 판단된다.
- 시·군의 사회적 특성을 반영하는 도시화 수준도 역시 매우 높은 유의성을 가지며 도시화 수준이 1% 낮은 지역 일수록 HPAI 발생은 0.0977건 더 증가한 것으로 분석되었다.
- HPAI는 도시보다 가축사육이 밀집되어 있는 농촌에서 더 많이 발생하는 현실을 적절히 반영하였다.

〈표 ②-32 시·군 특성별 HPAI 파급효과〉

구분		OLS	SLM	SEM	GSM
공간효과	ρ	-	0.5081***	-	0.5981***
	λ	-	-	0.6533***	-0.2542
	상수항	20.1600 **	15.4420 *	17.2210 **	14.5230 **
가금류별 사육규모	산란계	0.0051 ***	0.0042 ***	0.0040 ***	0.0039 ***
	육계	0.0012 *	0.0002	0.0001 0	0.0003
	종계	0.0038	0.0041 *	0.0048 *	0.0033
	오리	0.0213 ***	0.0196 ***	0.0218 ***	0.0178 ***
기후적 요인	평균 기온	0.2072	0.0349	-0.0516	0.0500
	평균 강수량	-0.0067	-0.0055	-0.0091 -	-0.0033
	평균 상대습도	-0.1194 *	-0.1075 *	-0.0655 *	-0.1134 *
지리·환경적 요인	철새도래지	-0.3980	0.4444	0.0161	0.6540
	축산차량등록	-0.5873 **	-0.3725 **	-0.5724 **	-0.2772
인구·사회학적 요인	인구증가율	-0.0133	-0.02910	-0.0168	-0.0488
	인구이동	0.00002	0.00003	0.00003	0.00002
	인구밀도	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002
	고령화수준	-0.3119 ***	-0.1893 ***	-0.2002 ***	0.1690 ***
	도시화수준	-0.0886 ***	-0.0977 **	-0.0656 ***	-0.0534 ***

주: ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

마. 요약 및 시사점

- 각 시·군의 축종별 사육규모 중에서 육계의 사육규모는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타난 반면 산란계, 종계, 오리의 사육규모는 HPAI에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 산란계, 종계, 오리의 사육시설이 보다 열악하기 때문인 것으로 판단된다.
 - 특히 오리는 산란계나 종계보다 HPAI의 영향을 훨씬 많이 받으므로 중점방역대상이라고 할 수 있다. 따라서 오리가 밀집된 시·군일수록 소독·방역시설을 개선하여 깨끗하고 청결한 사육환경을 조성할 필요가 있다.

- 기후특성 중에서 상대습도가 HPAI 발생에 영향을 미치는 것으로 나타나, 습도가 비교적 낮은 지역, 이를테면 해안 지대보다 내륙에 위치한 경기도나 충청도의 시·군 지자체에서 사전예찰 횟수를 증대하여 조기대응을 강화할 필요가 있다.

- 축산차량등록 대수의 공간 과급효과는 정수일 것으로 예측하였으나, 축산차량등록 대수가 많은 도일수록 HPAI 발생빈도가 더 낮은 것으로 나타났다.
 - 이는 시·군별 축산차량 자료의 한계로 인한 결과인 것으로 판단된다. 실제 축산차량등록대수가 많은 지역인 경상도, 전라도에서는 HPAI 발생 이력이 없고, 등록대수가 적은 충청도 등 지역에서 HPAI가 발생한 적이 있으므로 추정값은 부(-)의 값으로 나타났다.

- 고령화수준이 높은 시·군일수록 HPAI 발생에 보다 취약한 것으로 분석되었다. 고령농가는 소규모 사육을 유지함에 따라 고령화 수준이 높은 지역의 사육규모가 작기 때문인 것으로 판단된다.

- 도시화수준 낮은 시·군일수록 HPAI 발생 가능성이 더 높은 것으로 나타남으로써 농촌 지역의 도시화 수준이 상대적으로 낮은 농촌에서 HPAI가 더 많이 발생하는 실정을 반영하고 있다.
 - 따라서 농촌지역이나 도시화수준이 보다 낮은 시·군을 대상으로 중점적으로 관리하여 예방중심의 방역활동을 강화함으로써 HPAI의 확산을 신속히 차단할 필요가 있다.

②-4. 가금 농장의 공간분포에 따른 최적의 방역범위 분석

가. 연구 목적

- 앞장의 분석을 통해 HPAI 발생은 공간자기상관이 존재하여 군집적으로 발생하는 경향을 있다는 것을 확인하였으며, 또한 기존 선행연구도 HPAI 발생과 같은 전염병은 공간의 영향(spatial effect)을 받아 공간상에서 군집(cluster)을 이루는 특성이 있다고 제시하였다(Tiensin et al., 2009; Ward et al., 2009; Loth et al., 2010). 이러한 군집적 범위는 질병 발생 가능성이 높은 농장들이 집중적으로 분포되어 있는 만큼, 해당 범위에 대해 선제적 방역조치를 취할 필요가 있다. 따라서 HPAI 확산에 신속히 대응하기 위해 HPAI 발생의 군집범위를 살펴봄으로써 최적의 방역범위를 제시하고자 한다.
- 한편, HPAI 바이러스가 농장으로 유입되는 것을 사전에 차단할 수 있다면 농장의 HPAI 발생 위험성을 낮출 수 있다. 궁극적으로 모든 농장에서 차단방역(Biosecurity)을 강화한다면 HPAI의 발생과 확산을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 질병 발생에 따른 피해도 줄일 수 있다. 따라서 농장과 관련된 HPAI 확산요인을 분석하고 HPAI 발생에 취약한 농장의 특성을 파악하여, 이에 대한 방역대책을 모색할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 가금농장의 특성을 사육규모, 도로망 현황, 입지유형 등 다양한 측면으로 고려하여, 이러한 특성이 HPAI 발생과 확산에 어떠한 영향을 미치는지를 정량화하였다.

나. 연구방법

나-1. 공간자기상관

- HPAI 발생과 같은 공간자료는 공간상에서 독립적으로 분포된 것이 아니라 인접한 공간의 영향을 받는다. 이와 같이 특정 지역 i 의 속성값이 독립적이 않고 이웃한 지역 j 의 속성값에 의한 영향을 받으며, 인접한 지역 간의 상호 의존성을 공간자기상관성이라고 표현한다.
- 공간자기상관성은 '정적 공간자기상관(positive spatial autocorrelation)'과 '부적 공간자기상관(negative spatial autocorrelation)'으로 구분할 수 있다. 정적 공간자기상관은 공간실체들이 서로 유사한 값을 지님에 따라 군집적으로 분포되는 경우를 의미하며, 부적 자기상관은 공간실체들이 서로 상이한 값을 지님에 따라 군집경향이 없는 경우를 의미한다.
- Moran's I 지수는 공간자기상관을 파악하는 유용한 측정도구로서 공간단위 i 와 상호작용하는 이웃 공간단위 j 간의 속성 값을 비교하여 산출된다. 이를 수식으로 표현하면 식(2)와 같다. Moran's I 지수는 -1과 1사이의 값을 가지며 -1에 접근할수록 공간실체간의 유사성이 없어 퍼져있으며(dispersed), +1에 가까울수록 유사한 속성들이 군집되어(clustered)있다는 것을 의미한다³⁾.

- Tobler(1970)은 “모든 것은 그 밖의 다른 모든 것과 서로 연관되어 있지만, 특히 서로 가까이에 있는 것들은 멀리 있는 것 보다 더 높은 연관성이 있다(everything is related everything else, but near things are more related than distant things)” 고 제시하였다. 이는 공간상에 분포되어있는 공간실체들은 위치의 유사성이 높아짐에 따라 그 값의 유사성도 높아진다는 것을 의미한다(Anselin and Brea, 1998).
- 따라서 HPAI 발생은 공간자기상관이 존재하는데, 이러한 공간지상관성은 농장 간 거리가 가까울수록 더 크다(Tiensen et al., 2009; Loth et al., 2010). 이는 HPAI는 최초 발병 농장으로부터 보다 가까이에 위치한 농장일수록 질병 감염 우려가 크다는 것을 의미한다.
- 이러한 맥락에서 본 연구는 개별 가금농장의 경위도 좌표를 이용하여 농장 간의 거리를 500m부터 5km까지 100m 간격으로 설정하여, 농장간 거리변화에 따른 HPAI 공간자기상관의 변화를 살펴보고자 한다.

나-2. 공간계량경제모형

- 일반적으로 설명변수가 종속변수에 미치는 영향을 분석할 때 흔히 선형회귀분석(OLS: ordinary least squares)을 활용하는데, OLS모형은 회귀계수의 추정 값이 최선 불편추정량(best linear unbiased estimator, BLUE)이 되기 위해 오차항의 공간독립성(spatial independence)을 전제로 하여 공간자기상관성을 배제하고 있다. 그러므로 공간자기상관성이 존재함에도 불구하고 OLS모형을 활용할 경우, 회귀계수의 추정 값은 비효율적이며 유의성 검증은 잘못된 통계적 추론에 도달하게 된다(Anselin 1988).
- 한편, 공간계량경제모형은 OLS모형의 이러한 한계점을 극복하기 위해 공간특성을 고려하여 공간자기상관성을 통제하기 위한 모형이다. 공간계량경제모형은 종속변수의 공간자기상관성을 통제하느냐, 아니면 분석모형에 반영되지 못한 오차항의 공간자기상관성을 통제하느냐에 따라 크게 공간시차모형(SLM: Spatial Lagged Model), 공간오차모형(SEM: Spatial Error Model), 일반공간모형(SAC: Spatial Autoregressive Combined Model)등 3가지로 구분되며, 모형의 적합도 검정을 통해 적절한 실증모형이 구축된다⁴⁾.

3) 해당 부분은 앞장에서 설명하였으므로 본 장절에서는 간단히 소개한다.

4) 공간계량경제모형에 관한 이론적 배경은 앞장에서 자세히 설명하였으므로 본 절에서는 간단히 소개한다.

다. 분석 자료

다-1. 변수선정

- 본 연구는 선행연구를 바탕으로 HPAI 확산에 영향을 미치는 요인을 농장의 사육규모, 주변농장의 사육규모 특성, 농장의 도로망 정보, 농장의 입지특성 등 5가지 범주로 구분하여, 총 16개 설명변수에 대한 자료를 수집하였다.
 - 선행연구에서 언급한 HPAI의 확산요인은 주로 가금의 사육규모(Tiensin et al., 2009; Loth et al., 2010; Martin et al., 2011), 도로(Gilbert et al., 2006; Fang et al., 2008; Ward et al., 2008; Loth et al., 2010; Paul et al., 2011), 호수나 습지(Fang et al. 2008; Si et al. 2013), 철새(Ward et al. 2009), 도축장(Tiensin et al., 2009), 농장의 해발고도(Gilbert et al., 2006; Martin et al., 2011; Paul et al., 2011) 등이 포함된다.
 - 농장의 사육규모는 HPAI 발생과 밀접한 상관관계를 가진다(Tiensin et al., 2009; Loth et al., 2010; Martin et al., 2011). 한편, HPAI의 발생은 공간자기상관성이 존재하여 인접한 농장의 사육규모도 고려해볼 필요가 있다. 이에 농장 자체의 사육마릿수는 물론 시·군의 해당 가금 사육마릿수, 시·군의 총 가금 사육마릿수 등에 대한 자료도 취합하였다⁵⁾. - 그 외에, 한국의 실정을 반영할 수 있는 일부 변수도 고려해 보았다. 현재 정부는 가금사육이 밀집된 지역을 선정하여 방역수준을 강화하고 있다. 2020년 현재 기준, 이와 같이 선정된 지역은 총 15개이며, 이를 AI 중점방역지구라고 부른다. 이러한 AI 중점방역지구 내에 위치한 가금농장의 질병발생 위험에 미치는 영향을 살펴보기 위해 해당 지역을 더미변수로 활용하였다.
 - 농장의 도로망 정보는 Arc GIS를 통해 농장과 가장 가까운 2차선 도로, 하천·호수, 사료공장, 도계(압)장, 철새도래지와와의 거리 등 지리적 정보를 취합하였다.
 - 농장의 입지 특성은 개별 가금농장의 해발고도와 현행 방역지역⁶⁾의 농장특성을 고려해 보았다. 이에 Arc GIS 프로그램을 활용하여 개별농장으로부터 관리지역, 보호지역, 예찰지역 내의 농장수와 사육마릿수에 대한 자료를 수집하였다.
- 이러한 분석자료에 기반하여 본 연구는 최적의 분석모형을 구축하기 위해 후진제거 방법(backward elimination)을 이용하여 적절한 변수를 선정하였다(Burnham and Anderson 2004; Desvaux et al., 2011; Paul et al., 2011; Si et al., 2013).

5) 농장의 사육마릿수는 해당 농장에서 사육하는 축종의 사육마릿수를 의미하며, 시·군의 해당 가금 사육마릿수는 그 농장에서 사육하는 동일 축종의 시·군 단위 사육마릿수의 집계이며, 시·군의 총 가금 사육마릿수는 해당 농장이 소속되어 있는 시·군의 전체 가금 사육마릿수를 나타낸다.

6) 현행 방역지역은 관리지역, 보호지역, 예찰지역 등 3개로 나뉜다. 관리지역은 질병에 감염되었거나 감염되었다고 의심되는 지역으로서 HPAI 발생농장으로부터 반경 500m내의 권역을 의미하며, 보호지역은 HPAI가 전파가 우려되는 지역으로서 질병 발생농장으로부터 500m~3km 내의 지역을 의미한다. 예찰지역은 HPAI의 효율적인 확산차단을 위해 방역조치를 추진해야하는 지역으로 질병 발생농장으로부터 3km~10km이내의 지역을 의미한다.

- 더불어 변수들 간의 다중공선성 존재 여부를 진단하기 위해 분산팽창요인(Variance Inflation Factors, VIF)을 산출하였으며, 그 결과 다음의 표와 같다.
- 총 16개 변수 중 500m 내의 농장수, 농장과 하천·호수와의 거리 등 2개 변수가 제거되어, 최종적으로 14개 변수가 선정되었다.
- 또한 변수별 VIF값은 전부 5이하로 나타나, 변수들 간의 다중공선성문제는 존재하지 않는 것으로 확인되었다.

〈표 ②-33. 가금농장 특성에 관한 설명변수 선정결과〉

구분	분석자료	설명변수	VIF
사육규모 특성	농장 사육마릿수	○	4.5124
	시·군 해당 가금 사육마릿수	○	2.8340
	시·군 총 가금 사육마릿수	○	2.9606
	AI중점방역관리지구 여부	○	1.7262
도로망 특성	도로와의 거리	○	1.1336
	사료공장과의 거리	○	1.2578
	도계(압)장과의 거리	○	1.3123
	하천·호수와의 거리	×	×
	철새도래지와의 거리	○	1.0977
입지 특성	해발고도	○	1.1683
	500m 이내 농장수	×	×
	3km 이내 농장수	○	3.6315
	10km 이내 농장수	○	2.7509
	500m 이내 사육마릿수	○	4.9390
	3km 이내 사육마릿수	○	2.7460
	10km 이내 사육마릿수	○	2.9737
합계		14	

다-2. 기초통계

- 본 연구는 국가가축방역통합시스템(KAHIS: Korea Animal Health Integrated System)에서 구축하여 제공한 2017년 1월 기준 가금농장 자료를 활용하였다. 그 중에서 제주도, 남해안, 울릉도 등 도서지역과 메추리, 기러기 등 기타 가금을 사육하는 농장을 제외하여 총 6,891개 농장이 포함된다.
- 7차 HPAI 발생농장은 401개로서 전체 가금농장의 5.8%를 차지한다. 축종별 발생 현황을 살펴보면, 산란계 농장(164개)의 발생사례가 가장 많으며 다음으로 육용오리 농장, 육계 농장, 종오리 농장의 순으로 나타났다. 한편 중계 농장은 HPAI 발생사례가 없는 것으로 확인되었다.

<표 ②-34. 7차 HPAI 발생현황>

단위: 개

구분	전체 가금농장	산란계	육계	중계	육용오리	종오리
HPAI 비발생농장	6,490	1,073	1,935	348	3,029	105
HPAI 발생농장	401	164	77	0	125	35
합계	6,891	1,237	2,012	348	3,154	140

자료: 농림축산식품부 KAHIS.

- 본 연구의 종속변수인 7차 HPAI 발생농장의 평균 발생확률은 0.2612이며, 발생확률이 가장 낮은 농장의 발생확률은 0.0013로 나타났다. 또한 질병 발생에 가장 취약한 농장의 발생확률은 0.9377로 나타나, 매우 높은 수치를 보이고 있다⁷⁾.
- 농장의 사육마릿수는 평균 6만 76마리이며, 시·군의 평균 해당 가금 사육마릿수는 114만 8,053마리, 시·군의 평균 총 가금 사육마릿수는 232만 7,046마리인 것으로 나타났다.
- 농장의 지리적 특성 자료는 Arc GIS 프로그램을 통해 취합하였다. 7차 HPAI 발생 농장의 평균 해발고도는 68m인 것으로 나타났으며, 농장과 도로와의 거리는 평균 430m이며, 사료공장과의 평균 거리는 2,589m, 도계(압)장과의 평균 거리는 14,030m, 철새도래지와의 평균 거리는 17,608m이다. 이로부터 HPAI 발생농장은 대체로 도로와 가까운 경향이 있다는 것을 알 수 있다.

7) 공간계량경제모형은 OLS모형의 확장 형태로서 종속변수는 연속형 변수여야 한다. 그러나 본 연구의 농장별 HPAI 발생자료는 HPAI 발생여부를 나타내는 범주형 자료이므로, 1차적으로 로지스틱회귀모형을 통해 개별 농장의 HPAI 발생확률을 계측한 다음, 이를 분석모형의 종속변수로 활용하였다.

- 정부에서 지정한 15개 AI 중점방역관리지구는 더미변수이다. 총 401개 발생농장 중 AI 중점방역관리지구에 위치한 농장은 40개로서 10%를 차지하고 있다.
- 현행 방역지역 지정범위에서 관리지역인 500m 내의 농장수는 모형에서 제외되어 사육마릿수 자료만 취합하였다. 500m 내의 사육마릿수는 8만 2,806마리인 것으로 파악되었다. 예찰지역인 3km 이내의 농장수는 평균 8개, 사육마릿수는 33만 4,167마리이며, 보호지역인 10km 이내의 농장수는 43개, 사육마릿수는 166만 3,106마리인 것으로 나타났다.

<표 ②-35. 변수별 기초통계>

구분	평균값	표준편차	최소값	최대값	단위
HPAI 발생확률	0.2612	0.2288	0.0013	0.9377	-
농장 사육마릿수	60,076	104,162	1	900,000	마리
시·군 해당 가금 사육마릿수	1,148,053	1,372,647	25	5,066,104	마리
시·군 총 가금 사육마릿수	2,327,046	1,328,647	24	5,423,100	마리
AI중점방역관리지구 여부	0.1	0.3000	0	1	더미
도로와의 거리	430	0.4322	0.653	2,603.27	m
사료공장과의 거리	2,589	2.3363	80.88	17,355.25	m
도계(압)장과의 거리	14,030	9.6765	689.30	68,864.20	m
철새도래지와의 거리	17,608	10.2716	1,119.00	51,299.00	m
해발고도	68	50.8088	1	275	m
3km 이내 농장수	8.03	0.0061	1	29	개
10km 이내 농장수	42.99	0.0160	2	82.00	개
500m 이내 사육마릿수	82,806	125,282	1	900,000	마리
3km 이내 사육마릿수	334,167	292,642	12	1,234,400	마리
10km 이내 사육마릿수	1,663,106	947,046	104	4,100,547	마리

자료: 농림축산식품부 KAHIS.

라. 분석결과

라-1. HPAI 전파범위 분석결과

- 농장간 거리 변화에 따른 HPAI 공간자기상관성을 분석한 결과, Moran' s I 값은 500m ~ 2.2km와 2.6km ~ 3km 구간에서 통계적으로 유의미한 양의 값을 가지는 것으로 나타났다.
 - 이는 HPAI 발생은 해당 범위에서 군집적으로 발생한다는 것을 의미한다.
- Moran' s I 값의 변화추세를 살펴보면, 농장 간 거리가 증가함에 따라 점차 감소하는 추세를 보이고 있는데, 그 감소 추세는 500m ~ 2.2km 구간에서 급격한 반면, 2.7km ~ 3km 구간에서 완만한 것으로 나타났다.
 - HPAI 발생 시, 항원검출 농장으로부터 2.2km인 구역에서 매우 급격히 전파될 것으로 판단된다.
- 한편, 2.3km ~ 2.6km와 3km 이상인 범위에서 Moran' s I 값은 음의 값을 가지거나 통계적 유의성이 없는 것으로 나타나, 이 구역에서의 HPAI 발생은 공간자기상관이 존재하지 않는다는 것을 의미한다.
- 이와 같이 HPAI 발생이 공간자기상관이 존재하는 범위는 대체로 3km인 것으로 나타났는데, 이는 HPAI는 발생농장으로 3km 떨어진 농장까지 확산의 영향을 미친다는 것을 의미한다.
 - 따라서 HPAI 발생 시, 3km 권역을 선제적 방역지역으로 지정하여 방역자원을 적극 지원하여, HPAI 확산에 신속히 대응할 필요가 있다.

<표 ②-36. HPAI 발생의 공간자기상관 추정 결과 >

distance (m)	Moran' s I	p-value	distance (m)	Moran' s I	p-value
500	0.1259	0.0000	2,300	-0.0003	0.0000
600	0.0959	0.0000	2,400	-0.0007	0.0000
700	0.0716	0.0000	2,500	-0.0004	0.0000
800	0.0528	0.0000	2,600	0.0000	0.0000
900	0.0383	0.0000	2,700	0.0002	0.0000
1,000	0.0292	0.0000	2,800	0.0003	0.0000
1,100	0.0254	0.0000	2,900	0.0003	0.0000
1,200	0.0225	0.0000	3,000	0.0002	0.0000
1,300	0.0192	0.0000	3,100	-0.0001	0.0023
1,400	0.0172	0.0000	3,200	-0.0001	0.5301
1,500	0.0149	0.0000	3,300	-0.0001	0.2005
1,600	0.0129	0.0000	3,400	-0.0002	0.9850
1,700	0.0105	0.0000	3,500	-0.0002	0.7276

1,800	0.0086	0.0000	3,600	-0.0001	0.0050
1,900	0.0063	0.0000	3,700	-0.0001	0.0001
2,000	0.0038	0.0000	3,800	-0.0001	0.0001
2,100	0.0002	0.0000	3,900	-0.0001	0.0005
2,200	0.0003	0.0000	4,000	-0.0001	0.0347

라-2. 모형의 적합도 검정 결과

- 본 연구는 최적의 실증모형을 선택하기 위하여 먼저 OLS모형을 설정한 다음, 이 선형함수에 공간자기상관이 존재하는지를 확인해보았다.
 - 그 결과, OLS 잔차의 Moran' s I는 0.5404로 추정되었으며 p-value는 매우 낮게 나타나, OLS모형보다 공간계량경제모형이 타당하다는 것을 의미한다.

표 ②-37. OLS 잔차에 대한 공간자기상관 검정

Moran' s I statistic	Expectation	p-value
0.5404	-0.0025	0.0001

- 또한, Log likelihood값은 OLS모형에서 538.912로 추정된 것에 비해 공간계량경제모형(SLM모형: 563.775, SEM모형: 641.933, SAC모형: 642.148)에서 보다 높은 값으로 추정되었다.
- AIC값은 OLS모형에서-1,045.824였으나, SLM모형은 -1,093.55, SEM모형은 1,249.866, SAC모형은 -1,248.29로 나타나, OLS모형보다 더 작은 값을 가지는 것을 추정되었다. BIC값도 OLS모형(-981.921)에 비해 공간계량경제모형(SLM모형: -1,025.653, SEM모형: -1,181.968, SAC모형: -1,176.406)에서 더 작은 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 OLS모형에 비해 공간계량경제모형이 보다 타당하다는 것을 의미한다.
- 공간계량경제모형 중 보다 적절한 모형을 선정하기 위해 LM과 Robust LM 검증을 진행하였다. 그 결과, LM(lag)와 LM(error) 모두 통계적으로 유의미한 것으로 나타나 OLS모형에 비해 공간계량경제모형이 보다 적절할 것으로 판단된다.
- Robust LM의 경우 SLM모형에서 통계적 유의성이 없으나 SEM모형에서 1% 유의수준에서 유의미한 것으로 나타났다. 따라서 개별 가금농장의 특성에 따른 HPAI 확산요인을 분석하기 위해 SEM모형을 활용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

표 ②-38. 농장 단위 HPAI 공간분석 모형의 적합도 검정결과

구분	OLS모형	SLM모형	SEM모형	SAC모형
Log Likelihood	538.912	563.775	641.933	642.148
AIC	-1,045.824	-1,093.550	-1,249.866	-1,248.297
BIC	-981.921	-1,025.653	-1,181.968	-1,176.406
LM-lag	54.63***			
Robust LM-lag	0.20			
LM-error	344.18***			
Robust LM-error	289.76***			
SARMA	344.39***			

주: ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의하다.

라-3. HPAI 발생의 공간분석 결과

- 본 연구는 R 3.6.1 프로그램을 활용하였으며, 분석결과 회귀계수의 방향과 통계적 유의성은 모든 모형에서 유사한 것으로 나타났으나, 그 크기는 모형별로 다소 차이가 있다. SEM모형이 적합한 것으로 나타나, SEM모형에 따른 분석결과를 기준으로 해석하고자 한다.
- SEM모형의 공간회귀 계수 λ 가 0.6873으로 통계적으로 유의미한 것으로 나타남으로써, 앞에서 선정된 14개의 설명변수뿐만 아니라 모형에 반영되지 못한 타 요인들 간의 공간자기상관성이 존재한다는 것을 의미한다.
 - 따라서 HPAI 발생은 사육규모, 농장 분포, 도로망, 지형이나 지세 등의 농장 특성 외에도 차량이동, 농장주의 방역의식 수준, 소독·방역시설 수준, 역학요인의 영향도 받으며, 이러한 요인들 간의 공간지상관성이 68.73%라는 것을 의미한다.
- 농장 자체의 사육규모와 시·군 해당 가금 사육마릿수가 100만 마리 증가할수록 HPAI 발생확률은 각각 0.912, 0.0493씩 증가한다는 것을 의미한다.
 - 이는 사육규모가 더 큰 농장일수록 축산차량이나 사람들의 출입이 빈번하여 바이러스가 농장으로 유입될 위험성이 더 크기 때문인 것으로 판단된다.
 - 시·군의 해당 가금 사육마릿수와 HPAI 발생은 양의 상관관계를 가지는데, 이는 HPAI 발생 농장과 동일한 축종을 사육하는 농장이 HPAI에 감염될 우려가 크다는 것을 의미한다.
 - 반면, 시·군 총 가금 사육마릿수와 HPAI 발생은 음의 상관관계를 가지며, 시·군 총 가금 사육마릿수가 100백만 마리 증가할수록 HPAI 발생확률은 오히려 0.0315씩 감소하는 것으로 나타났다.
- AI 중점방역관리지구에 위치한 농장은 그렇지 않은 농장에 비해 HPAI 발생확률이

0.2905 높은 것으로 나타났다.

- 이는 AI 중점방역관리지구의 지정은 HPAI의 사전예방과 확산억제에 긍정적인 역할을 한다는 것을 의미한다.

- 농장과 도로, 철새도래지, 사료공장, 도계(압)장과 거리는 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타나, 도로, 철새도래지, 사료공장, 도계(압)장과 인접한 농장일수록 HPAI 발생 위험성이 크다는 것을 의미한다. 그 중 농장과 도로(-0.0235)와의 거리가 가장 큰 영향을 미치며, 다음으로 철새도래지(-0.0055), 사료공장(-0.0044), 도계(압)장(-0.0012)의 순으로 나타났다.
 - 이와 같이 도로와 가까운 농장이 HPAI 발생 위험성이 높게 나타난 것은 태국의 HPAI 전파요인을 분석한 Paul et al(2011)의 연구결과와 일치한다. 철새도래지에 따른 HPAI 발생확률도 높은 값을 가지는 것으로 나타나, 철새도래지와 인접한 농장일수록 HPAI 발생에 취약하다는 것을 의미한다.

- 농장의 해발고도는 HPAI 발생확률에 유의한 영향을 미치며 해발고도가 1km 높을수록 HPAI 발생확률이 0.1653 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 Gilbert et al(2006)과 Martin et al(2011)은 태국과 중국의 HPAI 영향요인 분석에서 해발고도와 HPAI 발생은 음의 상관관계를 가진다고 제시하였다.
 - 이는 농장의 해발고도가 HPAI 발생에 미치는 영향은 분석대상(나라)의 특성에 따라 차이가 존재한다는 것을 의미한다.

- 현행 방역대별 농장수와 사육마릿수가 HPAI 발생에 미치는 영향은 방역대별로 서로 상이한 것으로 나타났다.
 - 관리지역인 500m 내의 사육마릿수가 100만 마리 증가할수록 HPAI 발생 위험성은 0.2296씩 감소한 것으로 나타났다.
 - 예찰지역일 경우, 농장수가 1,000개 많을수록 HPAI 발생확률은 8.4419 증가하며, 사육마릿수가 100만 마리 많을수록 0.0737 증가하는 것으로 추정되었다.
 - 보호지역인 10km 내의 농장수는 HPAI 발생확률과 음의 상관관계를 가지는 반면, 사육마릿수는 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 해당 방역범위의 농장수가 1,000개 증가할수록 HPAI 발생확률은 2.3592 감소하고 사육마릿수가 100만 마리 증가할수록 HPAI 발생확률은 0.1233 증가하는 것으로 나타났다.
 - 이렇듯, 3km 범위를 제외한 기타 범위내의 농장수와 사육마릿수가 HPAI 발생에 미치는 영향은 불규칙적이다.

<표 ②-39. HPAI 발생의 공간효과 및 파급효과>

설명변수	OLS 모형		SLM 모형		SEM 모형		SAC 모형	
	Estimate	S.E.	Estimate	S.E.	Estimate	S.E.	Estimate	S.E.
comst	0.1579 ***	0.0166	0.1197 ***	0.0161	0.1390 ***	0.0192	0.1436 ***	0.0207
농장 사육마릿수(백만)	0.9213 ***	0.0656	0.8957 ***	0.0060	0.9120 ***	0.0515	0.9096 ***	0.0515
시·군 해당 가금 사육마릿수	0.0509 ***	0.0042	0.0501 ***	0.0004	0.0493 ***	0.0031	0.0492 ***	0.0031
시·군 총 가금 사육마릿수	-0.0370 ***	0.0042	-0.0397 ***	0.0004	-0.0315 ***	0.0039	-0.0304 ***	0.0039
AI 중점방역관리지구 여부	0.3186 ***	0.0141	0.2851 ***	0.0137	0.2905 ***	0.0124	0.0289 ***	0.0125
도로와의 거리	-0.1818 **	0.0684	-0.0184 **	0.0073	-0.0235 ***	0.0062	-0.0235 ***	0.0062
사료공장과의 거리	-0.0054 ***	0.0015	-0.0030 **	0.0015	-0.0044 **	0.0014	-0.0045 **	0.0014
도계(압)장과의 거리	-0.0015 ***	0.0004	-0.0014 ***	0.0004	-0.0012 **	0.0005	-0.0012 **	0.0005
철새도래지와의 거리	-0.0060 ***	-0.0003	-0.0049 ***	0.0003	-0.0055 ***	0.0005	-0.0056 ***	0.0005
해발고도	0.2409 ***	0.0068	0.1330 **	0.0064	0.1653 **	0.0081	0.1714 **	0.0082
3km 이내 농장수	7.9170 ***	1.0060	6.3089 ***	0.9561	8.4419 ***	1.0036	0.8556 ***	0.1018
10km 이내 농장수	-2.4890 ***	3.3260	-1.8436 ***	0.3170	-2.3592 ***	0.3725	-0.2401 ***	0.0378
500m 이내 사육마릿수	-0.3009 ***	0.0571	-0.2496 ***	0.0527	-0.2296 ***	0.0453	-0.2296 ***	0.0451
3km 이내 사육마릿수	0.1166 ***	0.0182	0.1003 ***	0.0168	0.0737 ***	0.0016	0.0734 ***	0.0163
10km 이내 사육마릿수	0.1232 ***	0.0059	0.0987 ***	0.0063	0.1233 ***	0.0069	0.1252 ***	0.0074
Spatial Lag Coeff.(ρ)	-		0.2032***		-		-0.0264	
Spatial Error Coeff.(λ)	-		-		0.6873***		0.6992***	

마. 요약 및 시사점

- 본 연구는 한국 가금농장의 특성을 다양한 측면으로 고려하여, 이러한 특성이 HPAI 발생에 미치는 영향을 분석하여, HPAI 발생에 취약한 농장을 살펴보았다. 더불어 가금농장의 공간분포 특성에 기초하여 HPAI 발생에 신속히 대응할 수 있는 최적의 방역범위를 제시하였다.
- 공간계량경제모형의 적합도 검정결과, SEM모형이 적절한 것으로 나타났다. 이는 HPAI 발생은 사육규모나 농장의 지형·지세 등 모형에 반영된 설명변수뿐만 아니라 사람과 차량의 이동, 사육환경 등 다양한 요인들의 복합적인 영향으로 야기되며, 이들 간에 공간자기상관이 존재한다는 것을 의미한다.
- 농장의 사육규모와 시·군의 해당 가금 사육규모가 높을수록 HPAI 발생확률은 높아지는 것으로 나타났다. 이는 사육마릿수가 많은 농장일수록 농장 출입 인원이나 차량 방문이 더욱 빈번해짐에 따른 바이러스 유출 가능성이 높기 때문인 것으로 판단된다.
 - 따라서 농장 출입기록에 대한 기준을 강화함으로써 질병 발생의 위험성을 감소시킬 필요가 있다.
- 정부에서 지정한 AI 중점방역관리지구에 위치한 농장은 그렇지 않은 농장에 비해 HPAI 발생 가능성이 더욱 높은 것으로 추정되었다.
 - 이에 정부가 HPAI 발생위험 지역을 중점방역관리지구로 지정하여 사전예방·예찰 수준을 강화하는 등의 조치는 HPAI의 확산방지에 긍정적인 역할을 할 것으로 판단된다.
- 도로와 가까운 농장일수록 HPAI 발생 위험이 큰 것으로 나타났는데, 이는 가축이나 사료, 분뇨 등을 운송하는 축산차량이 도로를 따라 이동하는 과정에서 도로 주변에 위치한 농장에 HPAI 바이러스를 확산시킬 우려가 있다는 것을 의미한다.
 - 따라서 축산 차량의 세척·소독수준을 강화하며 축산차량의 이동이 빈번한 지역에 대한 특별방역관리를 실시할 필요가 있다.
- 철새도래지와 가까운 농장일수록 HPAI 발생확률을 높은 것으로 추정되어, 철새로 인한 바이러스 유입을 막기 위해 농장 출입시설을 개선하여 농장의 차단방역수준을 강화할 필요가 있다.
- 또한 농장과 도축장, 사료공장과의 거리와 가까울수록 농장의 HPAI 발생 가능성이 높아지는 것으로 분석되었다.
 - 따라서 도축장이나 사료공장의 축산관련 시설에 대한 소독수준을 강화하여, 예방

중심의 방역활동을 적극 추진할 필요가 있다.

- 해발고도가 높은 농장일수록 HPAI 발생에 보다 취약한 것으로 나타나, 지세가 높은 농장일수록 차단방역수준을 강화하여야 한다. 현행 방역지역별 HPAI 발생 영향은 동일한 방역범위일지라도 농장수나 사육마릿수에 따라 서로 다른 영향을 미치는 것으로 나타났다.
 - 500m 내의 사육마릿수는 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.
 - 3km 내의 농장수와 사육마릿수는 HPAI 발생과 양의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.
 - 반면, 10km 범위내의 사육마릿수는 HPAI 발생과 양의 상관관계, 농장수는 음의 상관관계를 지니는 것으로 나타났다.
 - 이와 같이, 3km 범위를 제외한 타 병역대가 HPAI 발생에 미치는 영향은 농장수나 사육마릿수에 따라 상이한 것으로 확인되었다.

- HPAI 발생의 대체로 3km 범위에서 공간자기상관이 존재하여 클러스터를 형성하는 것으로 나타났다.
 - 이는 HPAI 발생농장을 중심으로 3km 범위까지 전파 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서 HPAI 항원 검출농장으로부터 3km 범위에 대해 선제적 방역조치를 취하여 방역자원을 적극 투입함으로써 HPAI 확산에 신속히 대응할 필요가 있다.

②-5. 농장의 특성이 가축전염병 발생에 미치는 영향 분석

가. 연구 목적

- 본 장에서는 축종별 사육규모, 사육밀집정도, 방역범위 내의 농장특성, 입지유형 등의 개별농장 특성이 질병발생에 미치는 영향을 분석하고, 개별농가의 발생확률을 추정함으로써 발생 위험성이 높은 지역을 하는 것을 목적으로 한다.
- 2016-17년 HPAI 발생농장과 2014-15년 구제역 발생농장 자료를 이용하여 분석하였으며, 분석결과를 이용하여 실제 발생농장과 발생확률이 높은 농장의 분포를 시각화 하였다.

나. 연구 방법

나-1. 이론적 배경

- 가축질병은 발생농장과 비발생농장으로 구분할 수 있으며, 발생농장과 비발생농장의 특성에 따라 발생확률을 구할 수 있으며, 이러한 형태의 분석을 위해서 가장 보편적으로 사용할 수 있는 방법은 이항로짓모형(Binary Logit Model)이다.
- 이항로짓모형은 종속변수가 이항(yes or no)인 경우에 사용되며, 이항변수끼리는 통계학적으로 배반사건(Mutually Exclusive Event)이고, 확률적 선택 하에 놓인 경우에 사용할 수 있다.(이성우 외 2005).
- 즉, 어떤 농장에 구제역과 고병원성 조류인플루엔자가 발생하는 경우와 발생하지 않는 경우의 두 가지 선택의 범주가 있을 때 적용하여 사용할 수 있다.
- 이항로짓모형은 독립변수는 양적인 변수를 가지고, 종속변수는 이변변수를 가지는 비선형의 회귀분석으로 종속변수(가축질병발생 여부)와 독립변수(농장의 입지유형과 사육규모 등)들 간의 인과관계를 추정하는 통계기법이다.
- 이항로짓모형은 선형회귀분석에서처럼 종속변수가 연속이어야 하며, 독립변수와 선형성을 가져야 하며, 오차항이 정규분포를 따라야 한다는 가정을 요구하지 않기 때문에 본 연구와 같이 종속변수가 가축질병의 발생 또는 비발생과 같은 이항선택형에 적합한 분석모형이다.

$$y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \varepsilon \quad (\text{나-1})$$

- 단, ε 는 $E(\varepsilon) = 0$ 인 대칭(Symmetric) 분포이며, CDF(Cummulative Distribution Function) $\equiv F(\varepsilon)$
- 여기서 y^* 는 관찰 불가능한 응답변수로 어떠한 수준 이상에서 이항 선택항 범부인

사건 A가 일어나며, 이하에서는 일어나지 않는 경우로 상정하여 더미변인으로 처리한다. 이러한 더미변인화 과정은 이상분포에서 이항분포화하는 과정과 동일하게 처리되어 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } y^* > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{나-2})$$

- 여기서 y^* 를 이항으로 구분짓는 기준을 0으로 보고 $y^* > 0$ 의 경우에 관찰 가능한 응답변수 $y=1$ 로 나타낸다.

○ 식 (나-1)과 식 (나-2)로부터 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}(y=1) &= \text{Prob}\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \varepsilon > 0\right) && (\text{나-3}) \\ &= \text{Prob}\left(\varepsilon > -\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \\ &= 1 - F\left(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \quad (\text{대칭분포함수의 CDF로부터}) \\ &= F\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \end{aligned}$$

○ 식 (나-3)은 이항선택의 확률이 오차항 ε 의 CDF함수인 $F(\varepsilon)$ 로 정의됨. 따라서 이항 선택성을 가진 불연속적 변수와 종속변수로 쓰임에 따라 일반 선형회귀식에서 다룰 수 없었던 부분이 확률을 도입함으로써 연속성을 확보할 수 있게 된다. 또한, 선형 회귀식으로 설명할 수 없었던 부분은 대칭성을 가정하고 있는 분포함수의 CDF를 이용함으로써 비선형함수 분석이 가능해진다.

○ 이항로짓모형은 표본의 임의성을 확보해 주는 이항분포의 무작위성분을 가정해야 한다. 이는 통계적 유의성 확보를 위해 필요한 가정이다. 또한 에러항(ε)이 로짓분포(Logistic Distribution)을 따른다는 가정이 필요하다. 로짓분포는 연속확률분포함수의 하나로 다음과 같은 함수를 가진다.

$$F(\theta) = \frac{1}{1+e^{-\theta}} = \frac{1}{1+\frac{1}{e^{\theta}}} = \frac{e^{\theta}}{e^{\theta}+1} = \frac{e^{\theta}}{1+e^{\theta}} \quad (\text{나-4})$$

- 단, $\theta = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k$ 는 임의의 확률변수

○ 위 식을 선형변환하면 다음과 같다.

$$\text{Prob}(y=1) = F(\theta) = F\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \quad (\text{나-5})$$

$$\log\left(\frac{P(y=1)}{1-P(y=1)}\right) = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k \quad (\text{나-6})$$

○ 최종적으로 식 (나-6)을 추정한다. 여기서 추정계수 β_k 는 다른 설명변수(x_k)의 수준이 일정할 때, 해당 설명변수(x_k)를 한 단위 증가시키면 $\exp(\beta_k)$ 만큼 사건발생확률이 증가함을 의미한다.

나-2. 실증모형

○ 산란계, 육계, 육용오리, 종오리 등 가금농장에 대해 농장의 입지유형과 사육규모 및 인근지역의 가금사육형태가 HPAI 발병에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보기 위해 아래와 같은 이항로짓모형을 설정하여 추정하였다.

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 head_i + \alpha_2 gunhead_i + \alpha_3 tgunhead_i + \alpha_4 density_i + \alpha_5 farm500_i + \alpha_6 farm3k_i + \alpha_7 farm10k_i + \alpha_8 head500_i + \alpha_9 head3k_i + \alpha_{10} head10k_i + \alpha_{11} elevation_i + \alpha_{12} road_i + \alpha_{13} feed_i + \alpha_{14} slaughter_i + \alpha_{15} river_i + \alpha_{16} migrant_i + \epsilon_i \quad (\text{나-7})$$

- 여기서 y 는 종속변수로 농장의 HPAI 발병유무를 의미하며, i 는 각 농장을 의미하며, α_k 는 추정해야할 계수이다. $head$ 는 그 농장의 사육마릿수이며, $gunhead$ 는 농장이 소속된 해당 시군의 해당 가금(산란계, 종계, 오리) 사육마릿수이며, $tgunhead$ 는 해당 시군의 총 가금 사육마릿수이다. $density$ 는 해당 농장이 농림축산식품부에서 지정한 가금 사육 밀집사육지역 여부를 의미하며, $farm500$, $farm3k$, $farm10k$ 는 각각 500m, 3km, 10km 인근 지역의 해당 가금사육농장수를 의미하며, $head500$, $head3k$, $head10k$ 는 각각 500m, 3km, 10km 인근 지역의 해당 가금사육마릿수를 의미한다. $elevation$ 은 농장의 해발고도, $road$ 는 농장과 2차선 도로와의 거리, $feed$ 는 농장과 사료공장과의 거리, $slaughter$ 는 농장과 도계(압)장과의 거리, $river$ 는 농장과 하천이나 호수와의 거리, $migrant$ 는 농장과 철새도래지와의 거리이며, ϵ_i 는 $E(\epsilon) = 0$ 인 대칭 분포이며, $CDF \equiv F(\epsilon)$ 이다.

○ 돼지농장에 대해 농장의 사육규모 및 인근지역의 돼지사육형태, 지리적 특성이 구제역 발병에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보기 위해 아래와 같은 이항로짓모형을 설정하여 추정하였다.

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 head_i + \alpha_2 gunhead_i + \alpha_3 farm500_i + \alpha_4 farm3k_i + \alpha_5 farm10k_i + \alpha_6 head500_i + \alpha_7 head3k_i + \alpha_8 head10k_i + \alpha_9 elevation_i + \alpha_{10} road_i + \alpha_{11} feed_i + \alpha_{12} slaughter_i + \alpha_{13} river_i + \epsilon_i \quad (나-8)$$

- 여기서 y 는 종속변수로 농장의 구제역 발병유무를 의미하며, i 는 각 농장을 의미하며, α_k 는 추정해야할 계수이다. $head$ 는 그 농장의 돼지 사육마릿수이며, $gunhead$ 는 농장이 소속된 해당 시군의 총 돼지사육마릿수이다. $farm500$, $farm3k$, $farm10k$ 는 각각 500m, 3km, 10km 인근 지역의 돼지사육농장수를 의미하며, $head500$, $head3k$, $head10k$ 는 각각 500m, 3km, 10km 인근 지역의 돼지사육마릿수를 의미한다. $elevation$ 은 농장의 해발고도, $road$ 는 농장과 2차선 도로와의 거리, $feed$ 는 농장과 사료공장과의 거리, $slaughter$ 는 농장과 도축장과의 거리, $river$ 는 농장과 하천이나 호수와의 거리이며, ϵ_i 는 $E(\epsilon) = 0$ 인 대칭 분포이며, $CDF \equiv F(\epsilon)$ 이다.

다. 분석 자료

다-1. 2017년 가금사육농가 자료

- 가금농장 전체 자료는 농림축산식품부의 자료를 이용하였다. 2017년 1월 기준 7,034개 농장 중에서 제주도, 울릉도, 백령도, 영종도 등 도서지역을 제외하여, 총 6,891개 농장자료를 활용하였다.
- 가금류별 가금농장수는 산란계 1,237개, 육계 2,011개, 종계 349개 농장, 오리 3,154개 농장, 종오리 140개 인 것으로 취합되었다. 평균 사육규모는 산란계가 55,074마리, 육계 31,896마리, 종계 31,683마리, 육용오리 1,918마리, 종오리 6,069마리로 전체 평균은 21,800마리였다. 그 중에서 육용오리는 상대적으로 소규모 농장이 많은 것으로 나타나고 있다. 최대 사육마릿수는 산란계가 90만 마리, 육계가 140만 마리, 종계 40만 마리, 육용오리 76,000마리, 종오리 29,386마리였으며, 최소는 0마리로 휴업 중이거나 폐업한 농장이 일부 포함되었기 때문이다.

<표 ②-40. 가금농장 자료의 기초통계>

구분	산란계	육계	종계	육용오리	종오리	총계
농장수	1,237	2,011	349	3,154	140	6,891
평균 사육마릿수	55,074	31,896	31,683	1,918	6,069	21,800
표준편차	89,247	51,472	37,809	5,690	6,806	52,049
최대	900,000	1,400,000	400,000	76,000	29,386	1,400,000
최소	0	0	0	0	0	0

자료: 농림축산식품부

- 2016년 11월~2017년 5월 사이 종계를 제외한 가금류에서 HPAI가 발생하였다. 도서지역을 제외한 축종별 발생건수는 산란계 164건, 육계 77건, 육용오리 126건, 종오리 35건으로 총 401건이었다.

- 발생농가의 평균 사육마릿수는 산란계가 121,678마리, 육계가 27,126마리, 육용오리 13,239마리, 종오리 11,189마리로 순으로 나타났다. 그 중에서 HPAI에 걸린 산란계의 사육마릿수는 전체 평균 사육마릿수인 60,076마리보다 2배 이상 더 많은 것으로 나타났다.

〈표 ②-41. 2016-17년 HPAI 발생농장 기초통계〉

구분	산란계	육계	육용오리	종오리	총계
농장수	164	77	125	35	401
평균 사육마릿수	121,678	27,126	13,239	11,189	60,076
표준편차	138,543	42,719	7,692	6,434	52,052
최대	900,000	232,000	49,000	29,386	900,000
최소	2,000	0	100	1,702	0

자료: 농림축산식품부

- 앞장에서의 설명하였듯이, HPAI 발생은 공간종속성이 존재하여 특정농장의 발생의 인근농장으로부터 전파되는 경우가 많다. 따라서 해당 농장이 소속되어 있는 시·군의 가금사육농장수나 가금사육마릿수 등 요인을 고려하여 시·군의 해당 가금류의 사육마릿수와 전체 가금류 사육마릿수 자료를 활용하였다.
- 시·군별 가금류 사육마릿수는 산란계의 평균 마릿수가 1,175,518마리로 가장 많은 것으로 나타났고 다음으로 육계 718,890마리, 종계 352,860마리, 육용오리 68,637마리, 종오리 26,745마리 순으로 나타났다. 또한 시·군의 전체 가금류 평균 마릿수는 1,390,349마리이며 사육규모가 최대로 큰 시군에서는 5,497,104마리 사육하는 것으로 취합되었다.

〈표 ②-42. 시·군별 가금류 농장 및 사육마릿수 기초통계〉

구분	산란계	육계	종계	육용오리	종오리	전체 가금류
전체 농장수	1,237	2,011	349	3,154	140	6,891
평균 사육마릿수	1,175,518	714,718	352,724	68,637	26,745	1,376,003
표준편차	1,206,758	711,967	33,226	135,090	29,340	1,137,302
최대	5,140,104	2,854,210	774,500	642,592	99,289	5,497,104
최소	0	0	0	0	0	0

자료: 농림축산식품부

- 가금농자의 입지유형을 세분화하기 위해 Arc GIS를 이용하여 개별농장으로부터 방역지역 지정범위인 500m 이내, 3km 이내, 10km 이내의 농가수와 가금류 사육마릿수를 취합하였다.
- 관리지역인 500m 이내 평균 농장수는 1.61개였으며, 평균 사육마릿수는 36,923마리였다. 예찰지역인 3km 이내 평균 농장수는 5.76개, 평균 사육마릿수는 138,771마리였으며, 보호지역인 10km 이내 평균 농장수는 34.17개, 평균 사육마릿수는 816,577마리였다. 농장수가 1이고 가금류 사육마릿수가 0인 것은 농장이 현재 휴업이나 폐

업 중이기 때문이다.

<표 ②-43. 개별 가금농장 중심 방역지역별 가금류 농장 및 사육마릿수 기초통계>

구분	500m 이내		3km 이내		10km 이내	
	농장수	가금류	농장수	가금류	농장수	가금류
평균	1.61	36,732	5.76	138,412	34.17	815,996
표준편차	1.77	87,291	4.48	219,585	18.21	841,393
최대	28.00	1,326,000	30.00	2,040,202	112.00	5,173,323
최소	1.00	0	1.00	0	1.00	0

자료: 농림축산식품부

- 개별 가금농장의 입지유형은 가금농장의 위치정보를 이용하여 농장의 해발고도, 2차선 도로와의 거리, 하천이나 호수와의 거리, 사료공장과의 거리, 도계(압)장과의 거리, 철새도래지와의 거리 정보를 수집하였다.

<표 ②-44. 개별 가금농장의 지리적 특성 기초통계>

구분	농장의 해발고도	2차선 도로와의 거리	하천이나 호수와의 거리	사료공장과의 거리	도계(압)장과의 거리	철새도래지와의 거리
평균	119	602	789	4,570	24,213	29,891
표준편차	122	684	875	3,703	20,285	18,897
최대	1,341	5,639	9,933	33,637	128,455	118,733
최소	1	0	0	5	111	393

자료: 농림축산식품부

- 농장의 평균 해발고도는 119m이며, 2차선 도로와의 평균거리는 602m, 하천이나 호수와의 평균거리는 789m, 사료공장과의 평균거리는 4,570m, 도계장 또는 도계압과의 평균거리는 24,213m, 철새도래지와의 평균거리는 29,891m이다.
- 가금 사육 밀집지역 자료는 농림축산식품부가 AI에 대한 방역관리를 강화하기 위해 AI 중점방역관리지구 지정 기준 중 축산농장 수가 반경 500m 이내 10호 이상 또는 1km 이내 20호 이상인 지역은 다음의 <표 ②-45>과 같이 15소이다.

<표 ②-45. 가금 사육 밀집지역(15개소)>

시·도	시·군·구	읍·면·동
세종특별자치시	세종시	부강면
강원도	횡성군	횡성읍
충청북도	음성군	맹동면
청청남도	천안시	풍세면
전라북도	김제시	용지면

	익산시	낭산면
전라남도	나주시	반남면
경상남도	양산시	상북면
경상북도	경주시	천북면 신당리
	영주시	장수면 갈산리
		안정면 대평리
	봉화군	봉화읍 도촌리
	칠곡군	지천면 연호리
포항시	홍해읍 성곡리	
제주도	제주시	한림읍

주: AI 중점방역관리지구 지정 기준 중, 축산농장 수가 반경 500m 이내 10호 이상 또는 1km 이내 20호 이상인 지역(15개소)

자료: 농림축산식품부(2016. 11.). “AI 방역관리지구 지정 및 운영 계획(안).”

다-2. 2015년 돼지사육농가 자료

- 2015년 기준 돼지 사육 농가수는 총 6,109호로 집계되었으며, 농장당 평균 사육마릿수는 1,789마리였으며, 최대 60,000마리, 최소 5마리, 표준편차 2,776마리였다. 전체 돼지사육마릿수는 10,930,319마리로 나타났다.
- 돼지를 가장 많이 키우는 도는 충청남도로 전체 20.5%인 223.9만 마리를 사육하는 것으로 나타났으며, 경기도가 19.5%인 213.4만 마리, 경상북도가 11.9%인 129.5만 마리, 전라북도가 11.4%인 124.1만 마리, 경상남도가 10.3%인 112.7만 마리 순으로 나타났다.

<표 ②-46. 시·도별 돼지농장 자료의 기초통계>

시·도	농장수	사육마릿수	시·도	농장수	사육마릿수
강원도	244	522,422 (4.8)	울산광역시	24	30,742 (0.3)
경기도	1,221	2,133,781 (19.5)	인천광역시	64	115,555 (1.1)
경상남도	640	1,126,885 (10.3)	전라남도	530	887,442 (8.1)
경상북도	739	1,295,376 (11.9)	전라북도	696	1,241,417 (11.4)
광주광역시	9	11,550 (0.1)	제주도	272	456,760 (4.2)
대구광역시	23	19,730 (0.2)	충청남도	1,195	2,238,943 (20.5)
대전광역시	3	470 (0.0)	충청북도	361	730,348 (6.7)
부산광역시	24	8,742 (0.1)			
세종특별자치시	64	110,156 (1.0)	합계	6,109	10,930,319 (100)

자료: 농림축산식품부

라. 가금농장의 특성에 따른 HPAI 발병확률 분석결과

라-1. 전체 가금농장 분석 결과

○ 이항로짓모형을 통해 분석한 결과는 다음의 <표 5-8>과 같다.

- 모형의 적합도를 나타내는 Log Likelihood와 AIC, BIC값은 각각 -1,093.450, 2,221.00, 2,337.24로 나타났다⁸⁾.
- 변수들 간의 상관관계를 나타내는 분산팽창계수(VIF)는 5이하로 나타나, 가금농장의 입지특성에는 다중공선성문제가 존재하지 않는 것으로 판단할 수 있다.

○ 전체 가금농장의 특성요인 중에서 총 가금 사육마릿수, 방역지역 500m 내의 농장수와 사육마릿수, 해발고도, 하천·호수와와의 거리는 통계적 유의성이 없으므로 HPAI의 발생에 미치는 영향은 유의하지 않다는 것을 의미한다.

○ 가금농장의 사육마릿수와 시·군의 해당 가금 사육마릿수의 exp(B)값이 1.0042, 1.0002로 나타나, 1천 마리 많을수록 HPAI 발생확률이 각각 1.0042, 1.0002배 증가한다는 것을 의미한다.

- 이는 해당 농장의 사육규모가 HPAI 발생에 보다 더 큰 영향을 미친다는 것을 보여준다.

○ 정부가 지정한 AI 중점방역관리지구의 여부가 HPAI 발병과의 관계에서는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

- AI 중점방역관리지구에 포함된 가금농장의 HPAI 발생가능성은 타 지역 대비 5.7334배 더 높은 것으로 나타났다.
- 이와 같은 분석결과는 정부의 AI 중점방역관리지구의 지정은 HPAI 방역활동에 있어서 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다.

○ 방역지역 지정범위 중에서 관리지역(500m 이내)내의 농장특성은 통계적으로 유의미하지 않는 것으로 나타난 반면, 보호지역(3km 이내)과 예찰지역(10km 이내)내의 농장특성은 통계적으로 유의미하며 HPAI 발생에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

- 보호지역 내의 농장수가 1개, 사육마릿수가 1천 마리 많을수록 HPAI 발생확률은 1.0595배, 1.0007배 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 예찰지역 내 농장수가 1개 많을수록 HPAI 발생가능성은 1.73%(1-0.9827=0.0173) 낮아지며 사육마릿수가 1천 마리 많을수록 1.0007배 높아지는 것으로 분석되었다.
- 이러한 결과는 동일한 방역지대일지라도 농장수와 사육규모에 따라 HPAI의 발생에

8) Log Likelihood와 AIC, BIC값의 비교를 통해 모형의 적합도 검정결과, 이변량 프로빗모형의 Log Likelihood와 AIC, BIC값은 각각 -1,107.424, 2,365.093, 2,248.800으로 나타남으로써 이항 로짓모형이 보다 적합하다는 것을 의미한다. 각 축종별 분석모형도 마찬가지로 이항 로짓모형이 더욱 적합한 것으로 나타났다.

미치는 영향은 서로 다르다는 것을 의미한다.

<표 ②-47. 전체가금농장에 대한 HPAI 발병확률 이항로짓모형 추정결과>

특성	변수설명	B	exp(B)	S.E	VIF
	Intercept	-1.5410 ***	0.2201	0.2823	-
사육규모	head: 농장사육마릿수	0.0042 **	1.0042	0.0015	3.8334
	gunhead: 시군 해당가금사육마릿수	0.0002 ***	1.0002	0.0006	1.9463
	tgunhead: 시군 총가금사육마릿수	0.00004	1.0000	0.0006	2.2531
밀집사육정도	density: AI 중점방역관리지구 여부	1.7460 ***	5.7334	0.2802	1.4197
방역지역 범위 내 농장특성	farm500: 500m 이내 농장수	-0.0894	0.9145	0.06309	2.2307
	farm3k: 3km 이내 농장수	0.0578 ***	1.0595	0.0193	2.822
	farm10k: 10km 이내 농장수	-0.0175 ***	0.9827	0.0055	2.5712
	head500 500m 이내 사육마릿수	-0.0005	0.9994	0.0012	4.9523
	head3k: 3km 이내 사육마릿수	0.0007 **	1.0007	0.0003	2.3883
	head10k: 10km 이내 사육마릿수	0.0007 ***	1.0007	0.00009	2.7051
입지특성	elevation: 해발고도	0.0002	1.0002	0.0010	1.2548
	road: 도로와의 거리	-0.3307 **	0.7184	0.1322	1.0580
	feed: 사료공장과의 거리	-0.0809 ***	0.9222	0.0286	1.1611
	slaughter: 도계(압)장과의 거리	-0.0398 ***	0.9611	0.0070	1.3805
	river: 하천·호수와의 거리	0.0087	1.0087	0.0794	1.0277
	migrant: 철새도래지와의 거리	-0.0569 ***	0.9447	0.0058	1.2004
모형의 적합도 검정	Log Likelihood	-1,085.873			
	AIC	2,321.991			
	BIC	2,205.700			

주1): ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

주2): 각 변수별 단위는 사육마릿수 천 마리, 농장수 개, 해발고도 m, 그 외의 입지특성 km임.

- 농장의 지리적 특성 중에서 해발고도와 농장과 하천·호수와의 거리는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나, HPAI의 발생확률에 유의한 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다.
- 농장과 도로(5% 유의수준), 사료공장(1% 유의수준), 도계(압)장(1% 유의수준), 철새도래지(1% 유의수준)과의 거리는 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 모두 HPAI의 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.
 - 이는 해당 변수와의 거리가 먼 농장일수록 HPAI의 발생 위험성은 낮아진다는 것을 의미하며, 1km 멀어질 때 HPAI가 발생할 가능성은 각각 28.16%, 7.78%, 3.89%, 5.53% 낮아지는 것으로 추정되었다.
 - 이와 같은 분석결과는 도로와의 거리가 HPAI 발생 미치는 영향이 기타 변수에 비해 매우 크다는 것을 보여준다. 즉, 차량에 의한 HPAI 전파를 간접적으로 설명해 주고 있다.

라-2. 축종별 가금농장 분석 결과

1) 산란계 농장의 발병확률 분석 결과

- 산란계 자체 농장과 시·군 총 가금의 사육규모는 통계적 유의성 없는 것으로 나타났지만 시·군의 산란계 사육마릿수는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타남으로써 산란계의 HPAI 발생과 상관관계가 있다는 것을 의미한다.
 - 시·군의 산란계 마릿수의 승산비가 1.0004로 추정되어 사육규모가 1천 마리 늘어날수록 산란계의 발병확률은 1.0004배 높아진다는 것을 의미한다.

- 정부에서 지정한 AI 중점방역관리지구 여부는 통계적 유의성이 없으므로 정부의 AI 중점방역관리지구 지정은 산란계의 HPAI 발생에 미치는 영향은 유의미하지 않다는 것을 보여준다.

- 방역지역 범위 내에서 500m 이내의 농장수, 3km와 10km이내의 사육마릿수가 통계적으로 유의하게 나타남으로써 산란계의 HPAI 발생에 영향을 미친다는 것을 보여준다. 그 영향력은 각 방역지역대의 농장과 사육의 밀집정도에 따라 서로 반대인 결과를 보이고 있다.
 - 500m 이내 농장수는 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가지며 농장수가 1개 많을수록 산란계의 발병확률은 34.62% 낮아진다.
 - 반면 3km와 10km 이내 사육마릿수는 양의 상관관계를 가지므로 사육마릿수가 1천 마리 많을수록 발병률은 1.0023배, 1.0006배 증가하는 것으로 나타났다.

- 농장의 지리적 특성 중에서 해발고도와 농장과 하천·호수와의 거리는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나, HPAI의 발생확률에 유의한 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다.

- 농장과 도로(10% 유의수준), 사료공장(1% 유의수준), 도계(압)장(10% 유의수준), 철새도래지(1% 유의수준)과의 거리는 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 모두 HPAI의 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.
 - 이는 해당 변수와 가까운 농장일수록 HPAI의 발생에 취약하다는 것을 의미한다.
 - 그 중에서 도로와의 거리(46.89%)에 의한 영향력이 가장 크며, 다음으로 사료공장과의 거리(19.95%), 철새도래지와의 거리(7.37%), 도계(압)장과의 거리(2.21%)순으로 나타났다.

<표 ②-48. 산란계 농장에 대한 HPAI 발병확률 이항로짓모형 추정결과>

특성	변수설명	B	exp(B)	S.E
	Intercept	-0.5760	0.5621	0.5584
사육규모	head: 농장사육마릿수	0.0026	1.0026	0.0023
	gunhead: 시군 해당가금사육마릿수	0.0004 ***	1.0004	0.0001
	tgunhead: 시군 총가금사육마릿수	-0.00001	1.0000	0.0001
밀집사육 정도	density: AI 중점방역관리지구 여부	0.8131	2.2549	0.5676
방역지역 범위 내 농장특성	farm500: 500m 이내 농장수	-0.4250 ***	0.6538	0.1633
	farm3k: 3km 이내 농장수	-0.0182	0.9820	0.0440
	farm10k: 10km 이내 농장수	-0.0173	0.9829	0.0131
	head500: 500m 이내 사육마릿수	0.0013	1.0013	0.0020
	head3k: 3km 이내 사육마릿수	0.0023 ***	1.0023	0.0006
	head10k: 10km 이내 사육마릿수	0.0006 ***	1.0006	0.0002
입지특성	elevation: 해발고도	0.0008	1.0008	0.0023
	road: 도로와의 거리	-0.6327 *	0.5311	0.3343
	feed: 사료공장과의 거리	-0.2225 ***	0.8005	0.0721
	slaughter: 도계(압)장과의 거리	-0.0223 *	0.9779	0.0131
	river: 하천·호수와의 거리	0.1990	1.2202	0.1579
	migrant: 철새도래지와의 거리	-0.0765 ***	0.9263	0.0117
모형의 적합도 검증	Log Likelihood	-270.430		
	AIC	574.86		
	BIC	661.907		

주1): ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

주2): 각 변수별 단위는 사육마릿수 천 마리, 농장수 개, 해발고도 m, 그 외의 입지특성 km임.

2) 육계 농장의 발병확률 분석 결과

- 육계의 HPAI 위험요인은 농장과 시·군의 사육마릿수가 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타났으며, 타 축종과 달리 음의 상관관계를 가진다. 두 변수의 사육마릿수가 1천 마리씩 많을수록 HPAI 발생확률은 오히려 1.69%, 0.1% 낮아지는 것으로 나타났다.
- AI 중점방역관리지구와 HPAI 발생은 양의 상관관계를 가지며, AI 중점방역관리지구에서의 발병확률은 타 지역보다 5.7499배 더 높은 것으로 나타났다.
 - 이는 정부에서 지정한 AI 중점방역관리지구에 대한 차단방역을 강화하는 것이 아주 중요하다는 것을 설명한다.
- 방역지역대 중에서 500m 이내의 농장특성과 3km 이내의 농장수는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타난 반면, 보호지역 내에서는 사육 밀집정도가 HPAI 발생에 영향을 미치는 것을 나타냈다. 한편, 예찰지역 내에서는 사육 밀집정도뿐만 아니라, 농장 밀집정도도 영향을 미치는 것으로 나타났다.
 - 이는 육계의 HPAI 발병은 예찰지역내의 농장 밀집정도에 보다 민감하게 반응한다는 것을 의미한다.
 - 예찰지역 내의 농장수 1개, 보호지역과 예찰지역 내 사육마릿수가 1천 마리 많을수

록 발병확률은 각각 1.0225배, 1.0017배, 1.0005배 높아지는 것으로 추정되었다.

- 이러한 분석 결과로부터 육계농장에 대한 방역범위를 확대할 필요가 있을 것으로 판단된다.

○ 사료공장, 철새도래지와 의 거리외의 타 변수는 통계적 유의성이 없으며, 해당 두 변수는 육계의 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가진다.

- 1km 멀어질수록 발병확률은 11.45%, 5.99% 낮아지는 것으로 나타나, 육계의 HPAI 발생은 사료공장과의 거리에 의한 영향력을 더 많이 받는다는 것을 보여준다.

<표 ②-49. 육계 농장에 대한 HPAI 발병확률 이항로짓모형 추정결과>

특성	변수설명	B	exp(B)	S.E
	Intercept	-0.9916 *	0.3711	0.5756
사육규모	head: 농장사육마릿수	-0.0170 ***	0.9831	0.0060
	gunhead: 시군 해당가금사육마릿수	-0.0010 ***	0.9990	0.0003
	tgunhead: 시군 총가금사육마릿수	0.0001	1.0001	0.0002
밀집사육 정도	density: AI 중점방역관리지구 여부	1.7490 **	5.7499	0.8660
방역지역 범위 내 농장특성	farm500: 500m 이내 농장수	-0.3896	0.6773	0.2470
	farm3k: 3km 이내 농장수	-0.0268	0.9736	0.0502
	farm10k: 10km 이내 농장수	0.0222 **	1.0225	0.0105
	head500: 500m 이내 사육마릿수	0.0024	1.0024	0.0033
	head3k: 3km 이내 사육마릿수	0.0016 **	1.0017	0.0007
	head10k: 10km 이내 사육마릿수	0.0005 *	1.0005	0.0002
입지특성	elevation: 해발고도	-0.0015	0.9985	0.0025
	road: 도로와의 거리	-0.3412	0.7109	0.2783
	feed: 사료공장과의 거리	-0.1216 **	0.8855	0.0612
	slaughter: 도계(압)장과의 거리	-0.0047	0.9954	0.0104
	river: 하천·호수와의 거리	0.0428	1.0437	0.1719
	migrant: 철새도래지와 의 거리	-0.0168 ***	0.9401	0.0117
모형의 적합도 검정	Log Likelihood		-249.001	
	AIC		532.000	
	BIC		627.312	

주1): ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

주2): 각 변수별 단위는 사육마릿수 천 마리, 농장수 개, 해발고도 m, 그 외의 입지특성 km임.

3) 육용오리 농장의 발병확률 분석 결과

○ 육용오리는 타 축종에 비해 통계적 유의성이 있는 변수들이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 이는 육용오리의 HPAI 발생은 타 축종에 비해 외부환경 조건에 보다 민감하다고 해석할 수 있다.

○ 사육규모에 따른 육용오리의 발병확률은 산란계와 달리, 농장과 시·군 총 가금 사육마릿수인 것으로 나타났다.

- 그 중에서 농장의 사육마릿수와 양의 상관관계를 가지며 1천 마리 많을수록 발병확률은 1.1597배 증가하는 반면, 시·군 총 가금 사육마릿수와는 음의 상관관계를 가

지므로 1천 마리 많을수록 육용오리의 HPAI 발생위험성은 0.05% 높아지는 것으로 나타났다.

- AI 중점방역관리지구 여부는 통계적으로 유의하게 나타나 육용오리 발병확률은 타 지역 대비 AI 중점방역관리지구에서 무려 9.6314배 높은 것으로 확인되었다.
 - 이는 정부의 AI 중점방역관리지구의 지정은 육용오리의 방역강화에 긍정적인 역할을 한다는 것을 보여준다.

- 방역범위 내의 특성요인에서 관리지역과 보호지역 내의 농장수, 예찰지역 내의 농장수와 사육마릿수는 HPAI 발생과 상관관계가 있는 것으로 나타났다.
 - 관리지역과 보호지역 내의 농장수가 1개 증가할수록 발병확률은 1.4025배, 1.0955배 높아지는 것으로 확인 되었으나, 예찰지역 내의 농장수는 오히려 3.23% 낮아지는 것으로 분석되었다.
 - 예찰지역 내의 사육마릿수가 1천 마리 많을수록 발병확률은 1.0013배 높아지는 것으로 추정되었다.

- 지리적 특성 중에서 육용오리의 발병률은 해발고도, 사료공장과의 거리, 하천·호수와와의 거리가 육용오리의 HPAI 발생과 상관관계가 없는 것으로 분석되었다.

- 도로, 도계(압)장, 철새도래지와와의 거리는 음의 상관관계를 가진다.
 - 이는 해당 변수와 가까운 육용오리 농장은 HPAI 발생에 취약하다는 것을 알 수 있다.
 - 그 중에서 도로와 멀리 떨어진 농장일수록 발병 가능성은 46.01% 낮아지는 것으로 분석되어 육용오리의 HPAI 발생에 가장 민감하게 반응하는 요소이다. 다음으로 도계(압)장(10.05%), 철새도래지(5.45%) 순으로 나타났다.

<표 ②-50. 육용오리 농장에 대한 HPAI 발병확률 이항로짓모형 추정결과>

특성	변수설명	B	exp(B)	S.E
	Intercept	-1.6790 **	0.1866	0.6073
사육규모	head: 농장사육마릿수	0.1483 ***	1.1597	0.0172
	gunhead: 시군 해당가금사육마릿수	0.00008	1.0001	0.0008
	tgunhead: 시군 총가금사육마릿수	-0.0005 ***	0.9995	0.0001
밀집사육 정도	density: AI 중점방역관리지구 여부	2.2650 ***	9.6314	0.6516
방역지역 범위 내 농장특성	farm500: 500m 이내 농장수	0.3383 *	1.4025	0.1824
	farm3k: 3km 이내 농장수	0.0912 **	1.0955	0.0399
	farm10k: 10km 이내 농장수	-0.0329	0.9677	0.0119
	head500: 500m 이내 사육마릿수	-0.0091	0.9909	0.0068
	head3k: 3km 이내 사육마릿수	0.0002	1.0002	0.0007
	head10k: 10km 이내 사육마릿수	0.0013 ***	1.0013	0.0002
입지특성	elevation: 해발고도	-0.0015	0.9986	0.0024
	road: 도로와의 거리	-0.6165 **	0.5399	0.0275
	feed: 사료공장과의 거리	0.0326	1.0332	0.0523
	slaughter: 도계(압)장과의 거리	-0.1060 ***	0.8995	0.0202
	river: 하천·호수와의 거리	0.1076	1.1136	0.1623
	migrant: 철새도래지와의 거리	-0.0561 ***	0.9455	0.0134
모형의 적합도 검정	Log Likelihood		-275.98	
	AIC		585.96	
	BIC		688.92	

주1): ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

주2): 각 변수별 단위는 사육마릿수 천 마리, 농장수 개, 해발고도 m, 그 외의 입지특성 km임.

4) 종오리 농장의 발병확률 분석 결과

- 종오리의 HPAI 발생확률에 영향을 미치는 요인은 타 축종에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 종오리 자체 농장과 시·군 종오리의 사육마릿수가 HPAI 발생은 양의 상관관계를 가진다.
 - 두 변수의 사육마릿수가 1천 마리 많을수록 발병확률은 1.1372배, 1.0357배 증가한 것으로 나타났다.
- AI 중점방역 관리지구 여부와 방역지역 지정범위 내의 농장특성은 모두 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다.
 - 이는 AI 중점방역 관리지구 지정과 방역지역의 설정은 종오리 HPAI 발생에 미치는 영향은 통계적으로 유의하지 않다는 것을 보여준다.
- 지리적 특성에서 농장의 해발고도, 농장과 도로, 도계(압)장과의 거리는 통계적으로 유의하지 않게 나타나 종오리의 HPAI 발생에 유의한 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다.
- 사료공장, 하천·호수, 철새도래지와의 거리는 통계적으로 유의하게 나타나 종오리의 HPAI 발생에 영향을 미친다는 것을 보여준다.

- 사료공장과 철새도래지는 음의 상관관계로 나타나, 1km 멀어질수록 발병확률은 0.6229배(37.71%), 0.9351배(6.49%) 낮아지는 것으로 추정되었다.
- 하천·호수와의 거리는 양의 상관관계로 나타나, 오히려 2.152배 증가하는 것으로 나타났다.

<표 ②-51. 종오리 농장에 대한 HPAI 발병확률 이항로짓모형 추정결과>

특성	변수설명	B	exp(B)	S.E
	Intercept	-2.920	0.0539	1.8690
사육규모	head: 농장사육마릿수	0.1285 **	1.1372	0.0607
	gunhead: 시군 해당가금사육마릿수	0.0351 ***	1.0357	0.0122
	tgunhead: 시군 총가금사육마릿수	0.0002	1.0002	0.0003
밀집사육 정도	density: AI 중점방역관리지구 여부	2.857	17.4091	1.7658
방역지역 범위 내 농장특성	farm500: 500m 이내 농장수	-0.3494	0.7051	0.6346
	farm3k: 3km 이내 농장수	-0.0321	0.9684	0.1115
	farm10k: 10km 이내 농장수	0.0233	1.0235	0.0334
	head500: 500m 이내 사육마릿수	0.0247	1.0251	0.0171
	head3k: 3km 이내 사육마릿수	0.0028	1.0028	0.0020
	head10k: 10km 이내 사육마릿수	-0.0007	0.9993	0.0008
	입지특성	elevation: 해발고도	0.0085	1.0085
road: 도로와의 거리		-0.3951	0.6736	0.6110
feed: 사료공장과의 거리		-0.4734 ***	0.6229	0.1599
slaughter: 도계(압)장과의 거리		0.0552	1.0568	0.0392
river: 하천·호수와의 거리		0.7664 **	2.1520	0.3494
migrant: 철새도래지와의 거리		-0.0671 **	0.9351	0.0289
모형의 적합도 검정	Log Likelihood	-43.09		
	AIC	120.18		
	BIC	170.19		

주1): ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

주2): 각 변수별 단위는 사육마릿수 천 마리, 농장수 개, 해발고도 m, 그 외의 입지특성 km임.

마. 2014-15년 구제역 발병농장 특성 분석

- KAHIS에 등록된 6,109개 돼지사육 농장을 대상으로 2014-15년 발생한 구제역 발병 농장특성을 분석하였다.
 - 전체 6,109개 양돈농장 중 2014-15년 구제역이 발생한 농장은 179개 농장으로 전체 2.93%의 발병률을 보였다.
- 시·군의 돼지 사육마릿수는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났으나, 양돈농장의 사육규모는 10% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.
 - 이는 시·군의 돼지 사육마릿수는 구제역 발생에 유의한 영향을 미치지 못하는 반면, 양돈농장의 사육규모와 상관관계가 있다는 것을 의미한다.
- 인근지역의 돼지 농장수는 500m와 3km 이내의 농장수는 상관관계가 없는 것으로 나

타났으나, 10km 이내 돼지 농장수가 적을수록 구제역 발병률이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

- 인근지역의 사육마릿수는 500m와 3km 이내의 사육마릿수는 구제역 발병률과 상관관계가 없었으나, 10km 이내 돼지 사육마릿수가 증가할수록 구제역 발병률이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.
- 도로와의 거리와 도축장과의 거리는 각각 10%와 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났는데, 이는 도로와의 거리가 가까울수록, 도축장과의 거리가 가까울수록 구제역 발병률이 높은 것을 의미한다.
- 해발고도, 사료공장과의 거리, 하천이나 호수와의 거리는 구제역 발병률과 상관관계가 없는 것으로 나타났다.
- 구제역의 경우 2011년 이후 구제역 백신 정책을 지속적으로 추진하고 있기 때문에 농장의 공간적 특성에 의해 발병한다기 보다는 백신접종을 소홀히 하는 농장에서 발병하는 것으로 분석되었다.
- 그럼에도 불구하고 도로와의 거리와 도축장의 거리가 가까운 농장의 발병률이 높게 나타나고 있어, 차량과 도축장이 구제역 전파의 중요 매개역할을 하는 것을 알 수 있다.

<표 ②-52. 양돈농장에 대한 구제역 발병확률 이항로짓모형 추정결과>

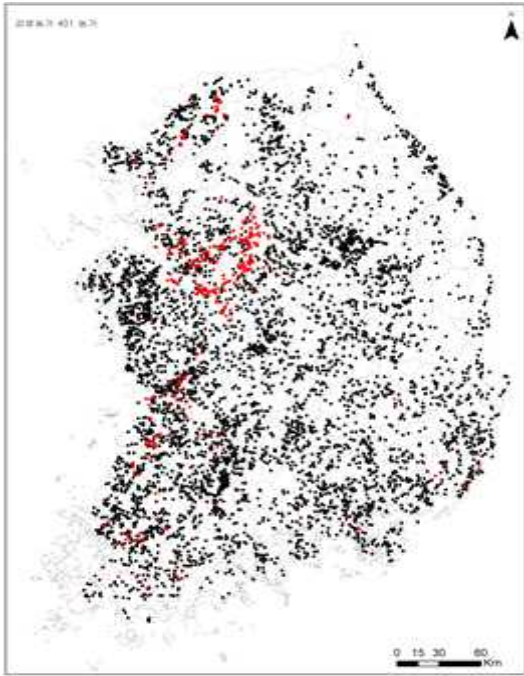
특성요인	변수설명	B	exp(B)	S.E
	Intercept	-3.8579 ***	0.02111	0.2851
사육규모	head: 농장사육마릿수	0.000050 *	1.00005	0.000030
	gunhead: 시군 해당가급사육마릿수	7.594E-7	1.00000	8.35E-7
방역지역 범위 내 농장특성	farm500: 500m 이내 농장수	0.0217	1.02194	0.0391
	farm3k: 3km 이내 농장수	-0.00133	0.99867	0.0106
	farm10k: 10km 이내 농장수	-0.0104 **	0.98965	0.00489
	head500 500m 이내 사육마릿수	-6.68E-6	0.99999	0.000024
	head3k: 3km 이내 사육마릿수	3.592E-7	1.00000	5.906E-6
	head10k: 10km 이내 사육마릿수	8.796E-6 ***	1.00001	2.254E-6
입지특성	elevation: 해발고도	0.000802	1.00080	0.00106
	road: 도로와의 거리	-0.00029 *	0.99971	0.000163
	feed: 사료공장과의 거리	5.042E-6	1.00001	0.000033
	slaughter: 도계(압)장과의 거리	-0.00003 **	0.99997	0.000013
	river: 하천·호수와의 거리	-0.00011	0.99989	0.000089

주1): ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

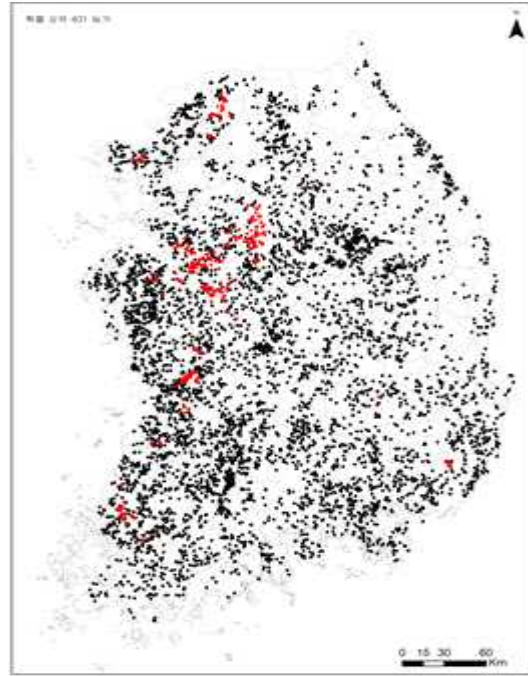
주2): 각 변수별 단위는 사육마릿수 천 마리, 농장수 개, 해발고도 m, 그 외의 입지특성 km임.

바. 개별 농장의 HPAI 및 구제역 발생확률 예측

- 앞 절의 이항로짓분석을 통해 전국 가금농장과 양돈농장에서 HPAI와 구제역이 발생할 확률을 예측하였다.
- 개별 가금농장의 HPAI 발생 확률을 예측 한 결과, 전체 농장 중에서 발병확률이 가장 높은 401개 농장은 실제 7차 HPAI 발생농장과 거의 일치한 것으로 나타났다.
- 개별 양돈 농장의 구제역 발생 가능성이 높은 농장은 일부지역에 밀집되어 있으며 실제 발생한 농장과의 분포와 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.
- 개별농가 HPAI의 발생확률을 추정함으로써 발생 위험성이 높은 농가를 선정하여 주요방역 대상으로 지정할 필요가 있다.



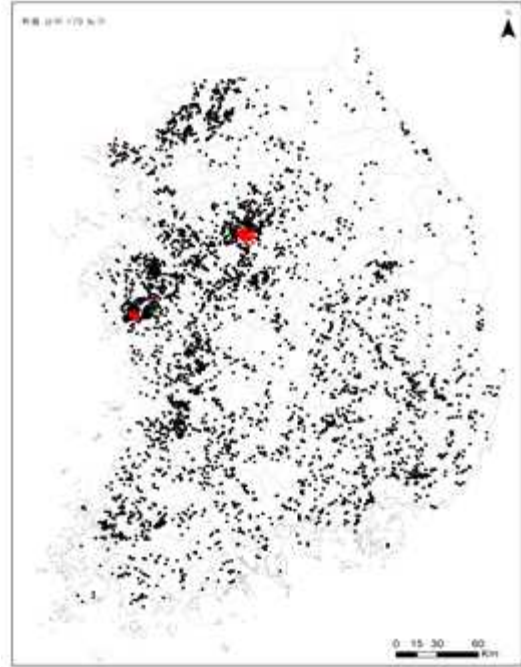
<HPAI 감염농장>



<HPAI 발생확률 상위 농장>



<2014년 구제역 감염농장>



<구제역 발생확률 상위 농장>

<그림 ②-38. HPAI와 구제역 감염농가와 발생확률 상위 농가 비교>

사. 요약 및 시사점

사-1. 가금농장의 HPAI 발생확률 분석

- 전국 가금사육농장과 2016-17년 HPAI 발생 자료를 이용하여 농장의 특성에 따른 HPAI 발생확률의 영향요인을 분석한 결과를 요약하면 다음의 <표 5-14>와 같다. 전체 가금농장과 축종별 가금농장의 HPAI 발병확률에 영향을 미치는 서로 다른 결과를 보이고 있다.
- 전체 가금농장의 경우, 농장과 시·군 해당가금의 사육규모가 큰 농장일수록 HPAI 발생확률이 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 분석결과는 사육규모가 큰 농장일수록 HPAI 발생 가능성이 높은 현실을 잘 반영하고 있다.
- AI 중점방역관리지구는 통계적으로 유의하며, 해당 지구에 위치한 농장은 타 지역의 농장보다 HPAI 발생가능성이 상당히 높은 것으로 추정되었다. 이는 정부의 AI 중점 방역관리지구의 설정이 적절하다는 것을 보여주었다.
- 관리지역(500m)·보호지역(3km)·예찰지역(10km) 내의 농장수와 사육마릿수가 미치는 영향은 일관적이지 않고 불규칙적인 것으로 나타났다.
 - 즉 동일한 방역 범위일지라도 농장이나 사육 밀집정도에 따라 다른 결과를 보이는 것으로 분석되었다.
 - 따라서 방역범위를 일괄적으로 설정하기보다 더욱 세밀하게 설정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
- 농장의 입지특성에서 도로, 사료공장, 도계(압)장과의 거리, 철새도래지와와의 거리가 가까운 농장일수록 HPAI 발생 위험이 높은 것으로 분석되었다.
 - 따라서 HPAI의 확산을 막기 위해 해당요인과 가까운 농장에 대한 사전예찰을 강화할 필요가 있다.
 - 특히, 도로와 가까운 농장일수록 발병확률이 가장 높은 것으로 나타남으로써 축산 차량에 대한 소독시설을 강화하고 차량출입이 빈번한 농장의 방역시설을 보다 철저히 점검할 필요가 있다.
- 축종별 가금 농장의 경우, 산란계, 육용오리, 종오리의 발병확률은 대체로 사육규모가 높은 농장에서 높은 것으로 나타났으나 육계는 오히려 낮은 것으로 나타났다.
 - 이는 규모가 큰 육계농가일수록 농장방역이 잘 되고 있기 때문인 것으로 보인다.
- 정부에서 지정한 AI 중점방역관리지구의 설정은 산란계와 육용오리의 HPAI 발생에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타난 반면 육계와 육용오리의 HPAI 발병과

상관관계가 있는 것으로 나타났다.

- 해당지역의 육계와 육용오리 농장은 타 지역에 비해 HPAI 발생 가능성이 현저히 높은 것으로 분석됨에 따라 정부의 AI 중점방역관리지구의 지정은 육계와 육용오리의 방역관리에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.
- 각 축종별 가금농장의 방역지정범위 내의 농장수와 사육마릿수가 HPAI의 미치는 영향은 전체 가금농장의 분석결과와 같이, 역시 불규칙적인 것으로 나타났다.
- 이는 동일한 방역지대 일지라도 농장이나 사육 밀집정도에 따라 각 축종에 미치는 영향은 서로 다르다는 것을 의미하며, 방역지역 보다 세분화하여 설정 할 필요가 있다.
 - 산란계의 경우, 관리지역내의 농장수와 음의 상관관계를 가지며, 보호지역과 예찰지역 내의 사육마릿수와 상관관계를 가진다.
 - 육계의 경우, 관리지역의 설정은 HPAI 발생에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 보호지역 내의 사육마릿수와 예찰지역내의 농장수 및 사육마릿수는 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.
 - 육용오리의 HPAI 발병확률은 방역 관리 및 보호지역내의 농장수와 예찰지역내의 사육마릿수와 상관관계 있는 것으로 분석되었다.
 - 반면 방역지역범위 설정은 종오리의 HPAI 발병확률에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 추정되었다.
 - 이러한 분석 결과로부터 방역효과를 극대화하기 위해 방역지역 설정에 대한 심층적인 적용이 필요할 것으로 판단된다.
- 가금 농장의 입지특성이 HPAI에 미치는 영향은 축종별로 다소 차이가 있으나, 철새도래지와는 거리는 모든 축종에서 HPAI 발생의 위험요소로 분석되었다.
- 따라서 철새도래지와 가까운 농장에 대한 방역기준을 강화하고 예찰횟수를 확대함으로써 집중적으로 관리할 필요가 있다.

<표 ②-53. 가금농장 HPAI 발병확률 이항로짓모형 추정결과 요약>

변수설명	전체 가금농장	산란계 농장	육계 농장	육용오리 농장	종오리 농장
농장 사육마릿수	(+) **	(+)	(-) ***	(+) ***	(+) **
시·군의 해당가금 사육마릿수	(+) ***	(+) ***	(-) ***	(+)	(+) ***
시·군의 총 가금사육마릿수	(+)	(-)	(+)	(-) ***	(-)
AI 중점방역관리지구 여부	(+) ***	(+)	(+) **	(+) ***	(+)
500m 이내 농장수	(-)	(-) ***	(-)	(+) *	(+)
3km 이내 농장수	(+) ***	(-)	(-)	(+) **	(+)
10km 이내 농장수	(-) ***	(-)	(+) **	(-)	(-)
500m 이내 사육마릿수	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)
3km 이내 사육마릿수	(+) **	(+) ***	(+) **	(+)	(+)
10km 이내 사육마릿수	(+) ***	(+) ***	(+) *	(+) ***	(+)
해발고도	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
도로와의 거리	(-) **	(-) *	(-)	(-) **	(-)
사료공장과의 거리	(-) ***	(-) ***	(-) **	(-)	(-) ***
도계(압)장과의 거리	(-) ***	(-) *	(-)	(-) ***	(+)
하천·호수와와의 거리	(+)	(-)	(-)	(-)	(+) **
철새도래지와와의 거리	(-) ***	(-) ***	(-) ***	(-) ***	(-) **

주: ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

사-2. 양돈 농장의 구제역 발생확률 분석

- 양돈 농장의 사육마릿수와 구제역 발생은 양의 상관관계를 가지므로 사육마릿수가 많은 농장에서 발생가능성이 더 높은 것으로 나타났다. 각 방역지정범위 내의 농장수와 사육마릿수가 구제역 발생에 미치는 영향은 방역대별로 서로 다른 결과를 보이고 있다.
 - 관리지역과 예찰지역 내의 농장수와 사육마릿수는 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타나, 구제역 발생에 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다.
 - 반면, 보호지역 내의 농장수와 사육마릿수는 통계적으로 유의하게 나타나, 구제역 발생과 상관관계가 있다는 것을 설명한다.
 - 보호지역내의 농장수가 적을수록, 사육마릿수가 많을수록 구제역 발생확률은 높아지는 것으로 추정되었다.
- 양돈 농장의 입지특성에서 농장과 도로, 도축장과의 거리는 구제역 발생과 음의 상관관계를 가진다. 이는 도로 또는 도축장과의 거리가 가까운 농장일수록 구제역에 취약하다는 것을 의미한다.

②-6. 오리농장의 특성이 HPAI 발생과 확산에 미치는 영향 분석

가. 연구 목적

- 과거 8차례 HPAI 발생에서 닭농장의 발생건수는 총 474건이었으나 오리농장은 총 556건으로 나타나, 오리농장의 발생건수가 닭 농장의 발생건수보다 1.2배 수준으로 많았다(농림축산식품부, '17/' 18년 고병원성조류인플루엔자 역자조사 분석보고서).
 - 전체 가금농장 중에서 닭농장이 오리농장보다 약 5배 정도 많다는 점을 감안한다면 오리농장의 HPAI 발생건수는 매우 높다고 할 수 있다.

- 이에 HPAI가 오리농장에서 지속적으로 발생하면서 오리가 HPAI 전파매개체로 지목 받고 있는 상황이며, 오리농장의 HPAI 발생 요인은 다양하게 논의되고 있다.
 - 그 이유는 오리의 특성상 닭에 비해 잠복기가 길고 무증상 감염이 존재하기 때문이라고 지적되고 있다(송창선, 2015).
 - 또한 오리의 생태적 특성보다는 오리농장의 사육시설이 열악하여 차단방역에 취약하기 때문이라는 주장도 제기되고 있다(지인배 외, 2019).
 - 안미란 외(2019)는 오리농장의 HPAI 발생은 농장의 사육규모, 농장과 도로, 도압장, 철새도래지와와의 거리 등의 영향을 받는다는 연구결과를 제시하였다.
 - 그리고 Kim et al(2018)은 오리농장의 HPAI 발생은 500m 내의 농장 유무, 분뇨처리 방식, 농장주 사육경력 등의 영향을 받는다고 제시하였다.

- 그러나 HPAI 발생과 확산은 특정된 개별 요인이 아닌 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 초래된다. 따라서 오리농장의 HPAI 발생 요인을 농장의 사육시설, 운영방식, 입지유형 등 다양한 측면에서 살펴볼 필요가 있다.

- 오리농장과 관련된 특성을 시설현황, 운영방식, 입지유형 등 다양한 측면으로 구분하여, 이러한 특성들이 오리농장의 HPAI 발생빈도에 미치는 영향을 분석하여, 오리농장의 HPAI 방역강화를 위한 대응방안을 모색하고자 한다.

나. 연구 방법

나-1. 포아송 회귀모형(poisson regression model: PRM)

- HPAI 발생건수는 일정한 기간 동안 사건의 발생빈도를 나타내는 가산자료(countable data)로서 음의 값을 가질 수 없으므로 비음정수(Non-negative Integer)형태를 가지는데, 이러한 가산자료의 분포는 비대칭 분포(skewed distribution)를 이루기 때문에 종속변수와 독립변수는 서로 비선형관계를 가진다.

- 따라서 가산자료를 종속변수로 설정하여 각 설명변수들의 영향력을 추정할 때, 가산자료에 적합한 분포함수를 가진 분석모형을 구축하는 것이 바람직하다.

- 발생확률이 매우 낮은 사건의 경우 주로 포아송 회귀모형(Poisson Regression Model)을 활용하는데, 이는 가산자료가 포아송 분포를 따른다는 전제조건을 따른다. HPAI의 발생빈도를 나타내는 가산자료의 포아송 분포는 다음과 같은 확률밀도함수로 표현된다.

$$P(Y_i = y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!}, \quad y_i = 0, 1, 2, \dots \quad (나-1)$$

- 여기서 Y_i 는 종속변수이며, $P(Y_i = y_i)$ 는 i 기간에서 HPAI 발생건수가 y_i 가 나타날 확률을 의미한다. λ_i 는 포아송 분포의 모수로서 HPAI 발생건수의 평균과 분산을 의미한다.

- 포아송 회귀모형은 포아송 분포를 따르는 종속변수의 기댓값이 설명변수와 선형결합된다고 가정한 모형이다(De Jong et al., 2008; 정재풍 외, 2014). 따라서 포아송 회귀모형은 y_i 의 평균값인 λ_i 와 설명변수 X_i 들 간의 지수함수(exponential function)형태로 표현되다.

$$\lambda_i = E(y_i | X_i) = \exp(X_i \beta) \quad (나-2)$$

- 여기서 $\beta = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 는 회귀계수의 벡터이다.

- 이와같은 포아송 회귀모형의 대표적인 특징은 “평균과 분산은 같다”는 균등산포(equidispersion), 즉 $E(y_i | X_i) = Var(y_i | X_i) = \lambda_i$ 를 가정한다는 것이다.

나-2. 음이항 회귀모형(negative binominal regression model: NBRM)

- 포아송 분포는 특성상 “평균과 분산이 동일하다”는 것을 가정하고 있으나, 실제 가산자료는 이러한 기본가정을 만족하지 못하는 경우가 종종 발생한다. 이에 분산이 평균보다 더 커지는 현상이 나타나는데, 이를 과대산포(over dispersion)라고 한다.

- 과대산포문제가 발생하는 이유는 실제 가산자료의 0의 빈도가 포아송 분포에서 예측되는 0의 빈도 보다 더 많기 때문이다.

- 과대산포 현상이 존재함에도 불구하고 포아송 회귀모형을 적용할 경우, 회귀계수의 표준오차가 과소추정되며, 통계적 유의성 검정에 오류가 발생하게 된다(Cox, 1983). 따라서 실제 가산자료가 포아송 분포의 기본가정을 위배할 경우, 음이항 회귀모형을 적용하는 것이 바람직하다(Khan et al. 2011).

- 음이항 회귀모형은 종속변수 Y_i 가 음이항 분포를 따른다는 것을 가정하며, 그 확률

밀도함수는 다음과 같다.

- 음이항 분포는 이분산성을 허용하는 분산함수로서 가산자료의 이분산성을 허용하는 장점이 있다(Cameron et al., 1986; 남영은 외, 2018 재인용).

$$P(y_i|\lambda_i, \alpha) = \frac{\tau(y_i + (1/\alpha))}{\tau(y_i + 1)\tau(1/\alpha)} \left(\frac{1/\alpha}{1/\alpha + \lambda_i}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_i}{1/\alpha + \lambda_i}\right)^{y_i}, y_i = 0, 1, 2, \dots \quad (나-3)$$

- 여기서 α 는 과대산포 모수(overdispersion parameter)이며, $\alpha = 0$ 이면 평균과 분산이 같은 균등산포의 특징을 나타냄으로써 음이항 분포는 포아송 분포와 같아진다.
- 음이항 분포의 평균은 포아송 분포의 평균과 같으며, 분산은 $\alpha\lambda_i^2$ 만큼 더 커지게 되며, 음이항 회귀모형은 포아송 회귀모형에 과대산포로 인해 발생하는 오차(가산자료의 평균값의 이질성(heterogeneous))를 반영하는 모수 ϵ_i 를 추가한 형태이다.

$$\lambda_i = E(y_i|X_i, \epsilon_i) = \exp(X_i\beta + \epsilon_i) = \exp(X_i\beta)\exp(\epsilon_i) \quad (나-4)$$

나-3. 과대산포 검정(Test for Overdispersion)

- 포아송 모형과 음이항 모형 중 보다 적절한 분석모형을 선정하기 위해 가산자료에 과대산포가 존재하는지를 확인해야 하며, 과대산포 존재유무에 대한 가설은 다음과 같다.

$$H_0 : \alpha = 0 \text{ vs } H_1 : \alpha > 0 \quad (나-5)$$

- 과대산포 모수 α 에 대한 귀무가설이 기각되면 과대산포가 존재한다는 것을 의미하므로 음이항 회귀모형이 보다 적절하다는 것을 의미한다. 이에 대한 검정방법은 우도비 검정(likelihood ratio test), Wald 검정, 스코어 검정(score test) 등이 사용되는데, 본 연구는 우도비 검정을 사용하였다(정재풍 외, 2014).

다. 분석자료 및 변수선정

다-1. 분석자료

- 본 연구는 오리농장 특성이 HPAI 발생에 미치는 영향을 분석하기 위해 오리자조금 관리위원회에서 추진한 전국 오리 사육농가에 대한 전수조사 자료를 활용하였다. 총 950개 조사 농가 중 일부 누락된 농가를 제외하여, 사용 가능한 농가 자료는 총 715개였다.
- 본 연구는 715개 농가자료를 활용하였으며, HPAI 발생에 영향을 미칠 것으로 판단되

는 요인을 농장의 운영방식, 시설현황, 입지유형 등 3가지로 구분하여 총 25가지 농장 특성 자료를 이용하였다.

- 농장의 운영방식은 연간 총 조수익, 후계농 유무, 고용인력, 사육경력, 사육축종(종오리 또는 육용오리), 사육마릿수, 폐사율 자료이다.
 - 농장의 조수익은 오리의 사육마릿수와 마리당 경비, 회전수에 의해 결정된다. 따라서 조수익이 높은 농장은 사육마릿수와 회전수가 많기 때문에 HPAI 발생 위험도 높을 것으로 예상된다. 그러나 마리당 경비는 출하오리의 품질에 따라 결정되기 때문에 고품질의 오리는 사육관리가 좋고, 이는 HPAI 발생 위험도를 낮출 가능성이 있다.
 - 농장에 후계농이 있을 경우는 농장을 장기적으로 운영할 계획이 있다는 것을 의미하므로 농장시설에 대한 투자가 지속적으로 이어질 것으로 판단된다. 따라서 후계농의 유무는 HPAI 발생에 부의 영향을 미칠 것으로 기대된다.
 - 농장 출입 인원의 증가는 HPAI 바이러스의 노출 가능성을 높여주므로 농장의 고용인원수 자료를 고려하였다.
 - 또한 선행연구 검토 결과, 사육경력이 HPAI 발생에 영향을 미치며(Kim et al., 2018), 사육축종과 사육마릿수는 HPAI 발생에 영향을 미치는 것으로 연구된 바 있다(안미란 외, 2019). 따라서 본 연구는 이러한 변수들을 분석에 고려하였다.

- 농장의 시설현황은 축사형태(비닐하우스형, 트러스형, 샌드위치 판넬형, 기타 시설), 축사환기방식, 축산차량(사료차량, 출하차량, 분뇨차량) 축사내부 진입여부, 분뇨처리 방법 등을 고려하였다.
 - 비닐하우스형 축사형태는 설치비용이 낮아 투자비용의 낮은 장점이 있어, 남부지역의 대부분 농가들은 비닐하우스형 축사를 이용하여 사육하고 있다. 그러나 비닐하우스형 축사는 냉난방시설이 되어있지 않아 자연식으로 냉난방을 하고 있으며, 이는 외부환경의 변화에 취약하여 HPAI 바이러스에 쉽게 감염될 가능성이 높을 것으로 판단된다.
 - 이에 축사형태와 HPAI 발생과의 상관관계가 있는지를 분석해보고자 각 축사형태에 대한 자료를 더미변수로 고려하였으며, 비닐하우스형 시설을 기저변수로 활용하였다.
 - 축산차량은 HPAI 전파의 매개체로 지목받고 있는데, 이는 HPAI 발생 농장에 방문한 차량이 타 농장을 경유하는 과정에서 HPAI 확산이 이루어지기 때문이다(박선일 외, 2016).이렇듯, 축산차량이 농장 내부에 진입하면 농장 외부에 머무를 때 보다 HPAI 감염 가능성이 클 것으로 판단된다.
 - 따라서 사료차량, 출하차량, 분뇨차량이 축사내부에 진입함에 따라 HPAI 발생은 어떠한 영향을 받는지를 살펴보기 위해 설명변수로 고려하였다.
 - 농장의 분뇨처리방법은 위탁계약과 자가처리 방법이 포함된다. 위탁계약은 외부의

전문 분뇨처리업체가 분뇨를 가져가는 방식이며, 자가처리는 주로 농장주가 직접 가축분뇨를 처리하여 인근 농경지에 살포하는 방식이다. 따라서 분뇨처리 방법에 따라 오리농장의 HPAI 발생빈도가 차이 나는지를 살펴보고자 설명변수로 고려하였다.

- 일반적으로 겨울철에는 기온이 낮기 때문에 오리농장에 대한 환기 횟수가 줄어들게 된다. 이 경우 축사 내부에는 가스가 차오르면서 환경이 악화될 우려가 크다. 따라서 축사 내부에 대한 환기는 청결한 내부 환경 조성에 중요한 역할을 한다. 한편, 환기방식을 기계식이 아닌 자연식을 이용할 경우, 오리들은 외부의 찬 공기에 그대로 노출되어 질병에 걸릴 확률이 높아지게 된다. 따라서 축사의 환기방식을 자연식으로 하느냐, 아니면 기계식으로 하느냐에 따라 HPAI 발생 위험성은 달라질 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 환기방식에 관한 변수를 고려하였다.
- HPAI는 급성전염병으로서 한번 발생하면 인근 농장에 쉽게 전파되며, 농장 간 인접 정도는 HPAI 발생에 영향을 미친다(Wang et al., 2014). 이에 특정 범위에 농장수가 많을수록 농장의 인접성이 높아짐에 따라 HPAI 확산에 따른 피해범위가 더욱 광범위해 질 수 있다. 따라서 본 연구는 특정 범위에서의 농장 분포가 HPAI 발생에 미치는 영향을 살펴보고자 현행 방역지역인 예찰지역(항원 검출농장 500m 이내), 보호지역(500m~3km), 예찰지역(3km~10km)의 농장수 자료를 활용하였다.
- 또한, Pfeiffer et al(2007)과 Martin et al(2011)은 각각 베트남과 중국의 HPAI 발생 사례로 HPAI 전파요인을 분석하였는데, 그 결과 해발고도가 HPAI 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 본 연구는 개별 농장의 해발고도 자료를 이용하였다.
- HPAI 최초 발생은 철새이동에 의해 바이러스가 유입되는 것으로 알려져 있으므로 농장과 철새도래지와와의 거리도 중요한 변수 중의 하나이다. 또한 축산차량이 HPAI 매개체로 지목받는 것은 HPAI가 도로를 이용하는 차량에 의해 전파될 수 있다는 것을 암시해 주고 있다(안미란 외, 2019). 따라서 본 연구는 농장 위치정보에 기반하여 Arc GIS를 활용하여 개별 오리농장으로부터 가장 가까운 철새도래지, 하천, 도로, 사료업체, 도압장과의 거리 정보를 취합하여 설명변수로 이용하였다.

다-2. 오리농장 특성별 기초통계량

- 본 연구의 종속변수는 오리농장의 HPAI 발생건수이다. 이는 2003년부터 2019년까지 개별농장의 HPAI 발생건수로서 0건, 1건, 2건 등 정수의 형태를 가진다. 해당 기간 동안 오리농장 당 평균 HPAI 발생건수는 0.26건이며, 가장 많이 발생한 농장은 3건으로 나타났다.

- 오리농장의 운영방식 특성에 대한 변수별 기초통계량은 다음과 같다.
 - 연간 총 조수익은 평균 1억 5,597만 원이며, 전체 농가 중 19%의 농가가 후계농이 있는 것으로 나타났다.
 - 농장 당 평균 고용인원은 1.96명이며, 농장주의 평균 사육경력은 12.72년인 것으로 나타났다.
 - 육용오리농장은 650개, 종오리농장은 65개인 것으로 나타나, 전체 오리농가의 91%가 육용오리를 사육하는 것으로 나타났다.
 - 농장의 평균 사육마릿수는 16,480마리이며, 폐사율은 평균 1.97%인 것으로 나타났다.

- 또한 오리농장의 시설형태를 반영한 특성별 기초통계량은 다음과 같이 나타났다.
 - 오리농장의 축사형태 중 비닐하우스 형태가 76%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 샌드위치 판넬형은 15%, 트러스형은 8%인 것으로 나타났다.
 - 축산차량의 축사내부 진입여부를 살펴보면, 농장 내부로 진입하는 출하차량은 89%를 차지하였다. 사료차량이 농장 내부로 진입한 비중은 88%이며, 분뇨처리차량은 78%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 대부분의 축산차량들이 농장내부로 진입한다는 것을 보여준다.
 - 가축분뇨를 위탁처리하는 농가가 79%를 차지하여 자가처리하는 농가에 비해 매우 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 기계식 환기방식을 활용한 농장은 61%를 차지한 것으로 나타났다.

- 오리농장의 입지유형에 대한 각 변수들의 기초통계량은 다음과 같이 나타났다.
 - 개별 오리농장으로부터 500m내에 위치한 농장수는 평균 1.67개이며, 3km내에 위치한 오리농장은 평균 5.79개, 10km내에 위치한 오리농장은 평균 25.41개인 것으로 나타났다.
 - 오리농장의 평균 해발고도는 81.68m였다.
 - 농장과 철새도래지와와의 평균 거리는 24.15km이며, 하천과의 평균 거리는 0.66km, 2차선 도로와의 평균 거리는 0.75km, 사료업체와의 평균 거리는 4.39km, 도압장과의 평균 거리는 13.93km였다.

〈표 ②-54. 오리농장 특성별 기초통계량(N=715)〉

변수		Mean	Std.Dev.	Min	Max	단위
종속변수	HPAI 발생빈도	0.26	0.54	0	3	건
운영 방식	연간 조수익	155.97	164.24	7.00	1,700.00	백만 원
	후계농 유무	0.19	0.39	0	1	더미변수
	고용인원수	1.96	1.47	1.00	30.00	명
	육용오리 여부	0.91	0.29	0.00	1.00	더미변수
	농장주의 사육경력	12.72	6.71	1.00	43.00	년
	농장 사육마릿수	16.48	9.46	1.30	80.00	천 마리
	오리 폐사율	1.97	2.73	0.00	50.00	%
시설 형태	비닐하우스형 시설	0.76	0.43	0.00	1.00	더미변수
	트러스형 시설	0.08	0.27	0.00	1.00	더미변수
	샌드위치 판넬형 시설	0.15	0.36	0.00	1.00	더미변수
	기타 시설	0.01	0.07	0.00	1.00	더미변수
	사료차량 축사 진입 여부	0.88	0.33	0.00	1.00	더미변수
	출하차량 축사 진입 여부	0.89	0.32	0.00	1.00	더미변수
	분뇨차량 축사 진입여부	0.78	0.42	0.00	1.00	더미변수
	분뇨위탁처리 여부	0.79	0.41	0.00	1.00	더미변수
	환기방식(기계식 여부)	0.61	0.49	0.00	1.00	더미변수
입지 유형	500m 내의 농장수	1.67	1.06	1.00	6.00	개
	3km 내의 농장수	5.79	4.79	1.00	26.00	개
	10km 내의 농장수	25.41	22.12	1.00	94.00	개
	해발고도	81.68	101.74	3.00	740.00	m
	철새도래지와 의 거리	24.15	13.50	0.56	93.22	km
	하천과의 거리	0.66	0.69	0.00	5.56	km
	도로와의 거리	0.75	0.72	0.01	4.41	km
	사료업체와의 거리	4.39	3.29	0.07	16.26	km
	도압장과의 거리	13.93	10.071	0.11	72.04	km

다-3. 변수선정 및 다중공선성 진단

- 오리농장의 HPAI는 다양한 요인들로 인해 발생한 만큼 실증모형에 포함할 수 있는 설명변수들도 매우 다양하다. 따라서 설명변수를 자료의 수집가능 여부에 따라 임의로 선택한 후, 변수별 유의성에 따라 분석결과를 해석하는 것이 일반적이다.
- 그러나 이러한 변수선정 방법은 꼭 필요한 변수를 모형에서 누락(omission variable)시키거나 불필요한 변수를 모형에 포함(inclusion of irrelevant variables)시키게 되어, 결과적으로 부적절한 변수로 인해 실증모형의 설정오류를 범하게 된다.
 - 적절한 설명변수가 모형에서 누락되었거나 부적절한 설명변수가 모형에 포함된다

면, 오차항의 분산이 정확하게 측정되지 않고 추정계수에 편의가 발생하며, 회귀계수의 통계적 유의성은 잘못된 추론에 도달하기 때문이다.

- 이에 본 연구는 분석모형을 구축하기에 앞서, 적절한 변수를 선정하기 위해 후진제거 방법(backward elimination)⁹⁾을 이용하였다.
- 변수선정 결과, 운영방식 특성 중 연간 조수익, 사육경력, 사육축종, 사육마릿수, 폐사율 등 5개 변수, 농장의 시설현황 중 트러스형, 샌드위치판넬, 기타 시설형태, 출하차량과 분뇨차량의 농장진입 여부, 분뇨처리방식 등 6개 변수가 선정되었다. 입지 유형 중에서는 500m와 3km 내의 농장수, 농장의 해발고도, 농장과 도로, 사료업체와의 거리 등 5개 변수가 선정되어 총 16개 변수를 모형에 포함시키는 것이 적합한 것으로 나타났다.
- 또한 설명변수 간의 다중공선성 존재 여부를 검증하기 위하여 분산팽창요인(Variance Inflation Factors, VIF)을 추정하였으며, 그 결과 모든 변수들의 VIF값은 1.1140~2.8260의 범위로 나타나, 5보다 작은 값을 가진다.
 - 이는 설명변수들은 간의 다중공선성 문제가 존재하지 않다는 것을 의미한다.

표 ②-55. 설명변수 선정결과

구분	변수명	선정 여부	분산팽창지수(VIF)
운영방식	농장의 연간 조수익	○	1.5657
	후계농 유무	×	1.1140
	고용인원수	×	1.5753
	육용오리 여부	○	1.3743
	농장주의 사육경력	○	2.2265
	농장 사육마릿수	○	1.3843
	오리 폐사율	○	1.6022
시설 현황	비닐하우스형 여부	×	(기저변수)
	트러스형 여부	○	1.4042
	샌드위치 판넬형 여부	○	1.3556
	기타 시설 여부	○	1.3068
	사료차량 축사 진입 여부	×	1.1989
	출하차량 축사 진입 여부	○	1.2049
	분뇨차량 축사 진입여부	○	1.2834
분뇨위탁처리 여부	○	1.8021	

9) 후진제거방법(backward elimination)은 우선 모든 설명변수를 모형에 포함시켜 회귀분석을 실시한 후 편상관계수(partial correlation coefficient)나 t값 또는 F값을 활용하여 가장 유의성이 작거나 기여도가 낮은 변수를 한 개씩 단계별로, 더 이상 제거할 변수가 없을 때 까지 제거하는 방법을 의미한다(이종원, 계량경제학. pp. 431).

	환기방식(기계식 여부)	×	1.1436
입지 유형	500m 내의 농장수	○	1.2314
	3km 내의 농장수	○	2.7970
	10km 내의 농장수	×	2.8260
	해발고도	○	1.4517
	철새도래지와와의 거리	×	1.3775
	하천과의 거리	×	1.1385
	도로와의 거리	○	1.2126
	사료업체와의 거리	○	1.4835
	도압장과의 거리	×	1.7567

라. 분석결과

- 오리농장의 HPAI 발생요인을 분석하기에 앞서 과대산포검정을 진행한 결과, 음이항 회귀모형의 과대산포 모수인 α 값은 1.1076으로 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타나, 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 이용하여 분석하였다¹⁰⁾.
 - α 값이 0이라는 귀무가설을 기각하여 오리농장의 HPAI 발생건수 자료는 분산이 평균보다 더 큰 과대산포 문제가 존재한 것으로 나타났다.

- 다음의 분석결과표에는 농장의 운영방식, 시설현황, 입지유형 등의 특성을 반영한 24개 변수를 모두 포함한 완전모형(Full model)과 후진제거법을 통해 선정된 16개 변수만을 포함한 축소모형(Reduced model)의 결과를 모두 제시하였다.

- 음이항 회귀모형의 완전모형(Full model)과 축소모형(Reduced model) 중 어떤 모형이 보다 타당한지는 log likelihood 값, AIC와 BIC 값의 비교를 통해 알 수 있는데, 일반적으로 log likelihood 값이 보다 크고, AIC와 BIC 값이 보다 작은 모형일수록 적합도가 더 높다는 것을 의미한다.

- log likelihood 값은 완전모형에서 -369.434, 축소모형(Reduced model)에서 -371.266으로 나타나, 축소모형에서 더 작은 값을 가지며, AIC와 BIC 값은 완전모형에서 790.868과 909.747로 나타난 반면, 축소모형에서는 각각 778.532와 860.833으로 더 작은 값으로 나타났다.

- 따라서 log likelihood 값은 완전모형이, AIC와 BIC 값은 일부 변수를 제외한 축소모형이 보다 적합한 모형으로 나타났다.

- 음이항 회귀모형의 완전모형과 축소모형의 회귀계수를 살펴보면, 계수값의 부호는 서로 일치하지만 그 크기와 통계적 유의성은 다소 차이가 있다.

10) 본 연구는 포아송 회귀모형도 적용하여 분석해보았다. 그 결과, 회귀 계수 값의 크기나 부호(방향), 그리고 통계적 유의성은 음이항 회귀모형과 매우 유사하게 나타났다.

- 완전모형에서는 농장의 조수익, 사육마릿수, 폐사율, 트리형 축사, 출하차량, 분뇨차량, 분뇨처리, 500m와 3km내의 농장수, 농장과 도로와의 거리 등 10개 변수가 10% 유의수준에서 통계적 유의한 것으로 나타났다.
 - 한편 축소모형에서는 이러한 변수뿐만 아니라 사육축종과 농장주의 사육경력, 해발고도, 농장과 사료업체와의 거리 변수를 포함하여 총 16개 변수가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.
- 음이향 회귀모형의 축소모형을 통해 분석한 결과, 오리농장의 조수익이 1백만 원 증가할 때 오리농장의 HPAI 발생건수는 0.1% 증가하는 것으로 나타났다.
- 축종에 관한 변수는 더미변수이며, 종오리를 기저변수로 설정하였다. 따라서 축종 변수에 대한 분석 결과는 육용오리 대비 종오리의 HPAI 발생건수가 64.38% 더 많다는 것을 의미한다.
- 농장주의 사육경력이 1년 많을수록 오리농장의 HPAI 발생건수는 1.9% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 점은 농장주의 사육경력이 긴 농장은 농장 시설환경이 사육경력이 길지 않은 오리농장에 비해 낙후되었을 가능성이 높은 것이 원인으로 판단된다.
- 한편 Kim et al(2018)의 연구에서는 농장주의 사육경력과 HPAI 발생은 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되어, 본 연구의 결과와 서로 다른 결과를 보이고 있다.
 - Kim et al(2018)은 43개 육용오리 농장에 국한하여 분석한 반면, 본 연구는 육용오리뿐만 아니라 종오리도 포함하여 총 715개 농장을 대상으로 분석하여, 분석대상의 차이로 인해 다른 결과가 나타난 것으로 판단된다.¹¹⁾
- 농장 사육마릿수가 1천 마리 증가할 때 HPAI의 발생건수는 1.83% 증가하는 것으로 나타났다.
- 이러한 분석결과는 Gilbert et al(2006)의 연구결과와 일치하다. Gilbert et al(2006)은 태국의 자유방목 오리의 사육규모와 HPAI 발생과의 상관관계 분석을 통해 오리의 사육마릿수 증가는 HPAI 발생 위험성을 높여준다고 제시하였다.
- 오리의 폐사율이 1% 높으면 HPAI의 발생건수는 4.96% 증가하는 것으로 나타났다.
- 사육시설 중 샌드위치 판넬형이나 기타 형태의 시설은 통계적 유의성이 없는 것으로 추정되었으나, 트러스형태는 통계적으로 유의한 것으로 추정되었다.
- 비닐하우형 축사에 비해 트러스형 축사인 농장의 HPAI 발생건수는 103.81% 많은

11) 육용오리농장의 평균 사육경력은 12.39년인데 반해 종오리농장의 평균 사육경력은 15.85년이였다.

것으로 추정되었으며, 이는 음성이나 안성 등 트러스트형태가 많은 중부지역에서 HPAI가 상대적으로 많이 발생하였기 때문인 것으로 보인다. 본 분석 결과 비닐하우스형 축사가 HPAI의 원인이라는 지적은 증명되지 않았다.

- 사료차량 농장내부 진입여부는 HPAI 발생에 유의미한 영향을 미치지 못하는 반면, 출하차량과 분뇨차량의 진입은 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다.
 - 출하차량과 분뇨차량이 농장에 진입할 경우가 진입하지 않을 때보다 HPAI 발생건수가 각각 177.87%, 147.69% 증가한 것으로 나타났다. 따라서 출하차량과 분뇨차량의 농장출입은 HPAI 확산에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

- 분뇨처리 방식도 HPAI 발생에 영향을 미치며, 위탁처리 농가의 HPAI 발생건수는 자가처리 농가에 비해 123.65% 높은 것으로 나타났다.
 - 이는 위탁처리업체가 여러 오리농장을 돌며 분뇨를 처리하기 때문에 HPAI 전파 가능성이 높아지는 것으로 판단된다.

- 특정 농장을 기준으로 500m 내에 농장이 1개 더 많으면 HPAI 발생건수는 11.94% 높아지며, 3km 내에 1개 더 많으면 HPAI 발생건수는 8.11% 높아지는 것으로 분석되었다.
 - 이로부터 농장 분포가 밀집될수록 HPAI 발생 위험성이 높으며, 농장 간 전파우려가 커진다는 것을 알 수 있다.

- 또한, Pfeiffer et al(2007)과 Martin et al(2011)의 분석결과와 같이, 농장의 해발고도는 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 해발고도가 1m 높을수록 HPAI 발생건수는 0.27% 감소하는 것으로 추정되었다.

- 농장과 도로, 사료업체와의 거리는 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.
 - 인근 도로와 1km 가까워질수록 HPAI 발생건수는 29.38% 증가하며, 사료업체와 1km 가까워질수록 HPAI 발생건수는 6.38% 증가하는 것으로 나타났다.
 - 이와 같이 도로와 가까운 농장일수록 HPAI 발생우려가 높은 분석결과는 한국을 대상으로 HPAI 전파요인을 분석한 안미란 외(2019), 태국의 HPAI 전파요인을 분석한 Paul et al(2011)의 연구결과와 일치한다.

<표 ②-56. 음이항 회귀모형의 분석결과>

변수		Full model		Reduced model	
		β	$\exp(\beta)$	β	$\exp(\beta)$
상수		-4.4010 ***	0.0123	-4.5040 ***	0.0111
운영방식	조수익	0.0010 **	1.0010	0.0010 **	1.0010
	후계농	-0.0716	0.9309	-	-
	고용인원	0.0242	1.0245	-	-
	축종(육용오리=1)	-0.3686	0.6917	-0.4404 *	0.6438
	사육경력	0.0163	1.0164	0.0188 *	1.0190
	마릿수	0.0175 **	1.0177	0.0181 **	1.0183
	폐사율	0.0561 ***	1.0577	0.0485 ***	1.0496
시설현황	트러스형 시설	0.6963 **	2.0063	0.7120 ***	2.0381
	샌드위치 판넬형 시설	0.2458	1.2786	0.2685	1.3080
	기타 시설	0.6128	1.8456	0.5328	1.7037
	사료차량	0.0892	1.0933	-	-
	출하차량	0.9353 **	2.5480	1.0220 **	2.7787
	분뇨차량	0.8892 **	2.4332	0.9070 **	2.4769
	분뇨처리(위탁처리=1)	0.7636 ***	2.1460	0.8049 ***	2.2365
환기방식	0.0090	1.0090	-	-	
입지유형	농장 500m내 농장수	0.0999 *	1.1051	0.1128 *	1.1194
	농장 3km내 농장수	0.0773 ***	1.0804	0.0780 ***	1.0811
	농장 10km내 농장수	-0.0511	0.9502	-	-
	해발고도	-0.0024	0.9976	-0.0027 *	0.9973
	철새도래지와와의 거리	-0.0130	0.9871	-	-
	하천과의 거리	0.1231	1.1310	-	-
	도로와의 거리	-0.3278 **	0.7205	-0.3479 **	0.7062
	사료업체와의 거리	-0.0511	0.9502	-0.0659 **	0.9362
도압장과의 거리	-0.0130	0.9871	-	-	
α	1.1076**				
loglikelihood	-369.434		-371.266		
AIC	790.868		778.532		
BIC	909.747		860.833		

주: ***, **, *는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.

마. 요약 및 시사점

- 연구는 오리농장의 운영방식, 사육시설, 입지유형 등 농장과 관련된 다양한 요인들을 종합적으로 고려하여, 이러한 요인들이 오리농장의 HPAI 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 이에 HPAI 발생빈도를 반영할 수 있는 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형의 이론적 배경을 정리하였으며, 모형의 적합도 검정을 통해 두 모형 중 보다 적절한 모형을 선정하였다.
- 농장의 운영방식, 사육시설, 입지유형 등과 관련된 모든 변수를 포함한 완전모형(Full model)과 후진제거법에 의해 선정된 변수만을 포함한 축소모형(Reduced model)을 구축하여 두 모형의 분석결과를 비교해 보았다.
 - 오리농장의 HPAI 발생빈도 자료에는 과대산포문제가 존재하여 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 활용하는 것이 보다 적절한 것으로 나타났다.

- 음이항 회귀모형의 축소모형에 대한 분석결과를 요약하면, 오리농장의 조수익이 많을수록, 종오리 농장일수록, 농장주의 사육경력이 길수록, 농장의 사육마릿수가 많을수록, 폐사율이 높을수록 HPAI 발생빈도가 높은 것으로 분석되었다.
 - 이는 조수익이 높은 농장일수록 오리 사육사육마릿수가 많고, 회전율이 높기 때문에 바이러스 전파 위험성이 높은 것으로 판단된다.
 - 종오리 농장의 HPAI 발생빈도가 높은 것은 종오리의 사육기간이 육용오리의 사육기간에 비해 상대적으로 길어 농장소독과 청소의 빈도가 적게 이루어지는 등 사육환경이 더 안 좋기 때문으로 판단된다.
 - 농장주의 사육경력이 길수록 HPAI 발생빈도가 높은 것은 사육경력이 높아짐에 따라 해당 농장의 건축연도도 오래됐을 가능성이 있고, 소독이나 방역시설, 방역의식의 미흡으로 인해 HPAI 발생건수가 높아질 수 있을 것으로 추측된다.
 - 폐사율과 HPAI 발생빈도가 양의 상관관계로 추정된 것은 쾌적한 사육환경이 조성되지 못하였거나 사육기술이 낮은 것에 기인할 것으로 판단된다.
 - 이러한 분석결과로부터 오리농장의 HPAI 사전예방을 위해 조수익, 종오리 농장, 사육경력, 사육규모와 폐사율이 높은 농장일수록 열악한 환경개선을 위한 적극적인 노력이 필요할 것으로 판단된다.

- 농장의 시설현황 중 트러스트형 시설 농장이 HPAI 발생에 취약한 것으로 나타났다.
 - 이는 음성과 안성 등 중부의 오리 밀집사육지역에서 HPAI가 많이 발생한 것과 연관이 있는 것으로 판단된다.
 - 또한 트러스트형 시설이 상대적으로 보온이나 차단방역에 취약하기 때문으로 판단되며, 트러스트형 시설 농장은 정기적인 소독과 세척을 통해 HPAI 예방중심의 방역활동을 적극적으로 추진하거나 샌드위치 판넬형 시설로 개선할 필요가 있어 보인다.

- 출하차량과 분뇨차량이 농장내부로 진입할 경우, HPAI 발생빈도가 상당히 높아지는 것으로 추정되었다.
 - 이로부터 축산차량에 의한 HPAI 전파 위험성이 매우 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 농장 방문 차량에 대한 방문기록을 작성하고, 차량의 출입관리를 강화하여 차량의 농장 진입을 최대한 줄여야 할 필요가 있다.
 - 뿐만 아니라 축산차량에 대한 세척 및 소독을 강화하여 축산차량에 의한 바이러스 노출을 최소화 할 필요가 있다.

- 분뇨처리 방식에 있어서 자가처리에 비해 위탁처리 방식이 HPAI 발생 위험성이 더 높은 것으로 나타났다.
 - 이는 위탁처리업체가 여러 농장을 돌며 분뇨를 가져가 처리하기 때문에 전파가능성

이 높은 것으로 판단된다. 분노위탁처리업체에 대한 방역 강화 조치가 필요하다.

- 농장의 입지유형에서 500m와 3km내의 농장수가 많을수록 오리농장의 HPAI 발생빈도가 높아지는 것으로 나타났으며, 그 중 500m 범위가 3km 범위보다 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.
 - 이러한 결과는 HPAI는 농장의 인접정도 또는 밀집도와 상호 연관성이 있으며, 농장의 분포가 밀집될수록 HPAI 발생 위험성이 더 크다는 것을 보여준다.

- 해발고도가 상대적으로 낮은 농장일수록 HPAI 발생우려가 큰 것으로 추정되었으며, HPAI 발생농장과 도로, 사료업체와의 거리가 가까울수록 HPAI 발생 빈도는 증가하는 것으로 분석되었다.
 - 이와 같은 분석결과는 오리농장 밀립지역에 대한 예찰 강화와 집중관리지역 지정 등 선제적 방역조치 강화가 필요하다는 시사한다.

- 오리농장의 HPAI 발생이 매우 높은 비중을 차지함에 따라 오리가 HPAI 전파 매개체로 지목받고 있으며, 오리산업은 큰 타격을 받고 있다. 오리농장의 HPAI 발생이 잦은 것에 대한 논의가 다양하게 제시되고 있으나, 이에 대한 연구가 뒷받침 되어 있지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 농장의 시설현황, 운영방식, 입지유형 등을 세분화하여, HPAI 발생빈도에 영향을 미치는 요인을 분석함으로써 오리농장에 대한 HPAI 방역 활동에 많은 시사점을 제공한다. 본 연구 결과가 오리농장의 방역강화와 오리산업의 지속가능한 발전에 유용한 정보가 될 것으로 기대된다.

②-7. 가축전염병 발생지역의 공간자기상관(공간적 군집 특성) 분석

가. 연구 목적

- 가축 질병 발생의 공간적 분포 특성을 파악하기 위해 HPAI와 FMD 발병 빈도에 대하여 공간통계 분석 방법인 공간자기상관(spatial autocorrelation) 분석을 수행하였다.
- 모든 것은 다른 모든 것과 관련을 맺지만, 가까운 것이 먼 것보다 더 밀접한 관련을 갖는다(Tobler, 1970). 즉, 공간상의 실체들은 공간에 무작위로 분포하지 않고 서로 영향을 주고받고 있으며 그 영향의 정도는 공간 객체 간의 거리나 인접성이 높을수록 더 커진다고 볼 수 있다.
- 이러한 인문사회적 또는 자연적 현상들이 지리적 공간상에서 갖는 상호의존성 및 상호작용을 공간자기상관이라 한다. 이 공간자기상관은 공간상에 분포하고 있는 객체들이 서로 인접해 있음에 따라 이 객체들이 갖는 값의 유사성도 또한 높아 가는 현상이다(Anselin and Bera, 1998).
- 그리고 이러한 공간상의 유사성 또는 차이를 측정하여 보여주는 것이 바로 공간자기상관이다(Lee and Wong, 2001).
- 따라서 본 과제에서는 공간자기상관 분석을 통하여 가축 질병 발생지역(행정구역) 간의 공간적 연관성을 알아봄으로써, 가축 질병 발생지역의 공간적 군집 특성을 알아보고자 한다.
- 분석 결과는 특정 지역에서 질병이 발생하였을 때 방역 범위설정을 위한 의사결정에 활용할 수 있으며, 질병의 확산 전파 예측 분석의 지역 특성 요인으로 반영될 수 있다.

나. 연구 방법

- 전체 연구지역에 대한 공간자기상관의 유무와 그 정도를 알아보기 위한 전역적(global) Moran's I 분석을 수행하였다. 그리고 지역 단위에서 국지적으로 공간군집이 형성되는 지역을 찾기 위해 LISA(local indicators of spatial association) 분석을 병행하여 수행하였다.

- 국지적인 공간군집 현상을 알아보는 분석방법인 LISA로는 국지적(local) Moran's I (Anselin, 1995)와 국지적 Geary's C_i (Anselin, 1995), 그리고 Getis-Ord's G_i^* 분석(Getis and Ord, 1992) 등이 대표적이다(이상일 등, 2010).
 - Moran's I 와 Geary's C_i 는 관측값의 높고 낮음에 상관없이 유사한 값의 공간적 군집을 찾아내는 데에는 매우 탁월하지만, 전체적인 핫스팟(hot spot)과 콜드스팟(cold spot)을 구분하지 못한다는 점이 한계이다.
 - 반면, Getis-Ord's G_i^* 는 공간적으로 유사한 값을 탐지하는 데는 다소 한계가 있지만, 핫스팟과 콜드스팟을 구분하는 데에는 탁월하다.
 - Moran's I 와 Geary's C_i 는 모두 중심 객체와 주변 객체를 비교하여 그 차이를 계산한다는 점에서 공통점이 있다. 반면, Moran's I 는 전체 평균값과 각 객체 값과의 차이를 계산하고, Geary's C_i 는 중심 객체의 값과 주변 객체 값과의 차이를 계산한다는 점에서 차이가 있다. 이에 비하여 Getis-Ord's G_i^* 는 중심 객체와 주변 객체들을 모두 포함하여 공간군집을 보이는 지역을 탐지한다(이상일 등, 2010; Mitchel, 2005).
 - 각 방법론의 이러한 특징으로 인하여, Moran's I 는 공간적 특잇값(outlier)을 찾아내는데 탁월하고, Geary's C_i 는 국지적인 분산의 측정에 탁월하다. 그리고 Getis-Ord's G_i^* 는 계산된 통계치로부터 핫스팟(양수 값)과 콜드스팟(음수 값)을 직관적으로 확인할 수 있다는 장점이 있다(이상일 등, 2010). 따라서 본 연구에서는 가축 질병 발생의 공간적 분포 특성을 파악하기 위해 Moran's I 와 Geary's C_i , Getis-Ord's G_i^* 방법을 모두 적용한 후 그 결과를 해석하였다.

- 국지적 공간군집 분석은 점(point) 객체가 아닌 면(polygon) 객체에 대한 분석이다. 따라서 연구지역의 최소행정구역 단위인 읍·면·동 단위로 화재 발생빈도를 계산하여 공간군집 여부를 분석하였다.

- 공간군집 분석을 위하여 GeoDa 1.12[Exploring Spatial Data with GeoDaTM]를 사용하였다.
 - 인접 지역에 대한 공간가중치 적용 방법에서는 인접한 모든 객체에 대하여 가중치가 반영되는 Queen contiguity를 적용하였고, 가중치 적용 범위를 결정하는 Order of contiguity는 '1'을 적용하였다.

0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
Linear	Rook	Bishop	Queen								

<그림 ②-39. 인접 객체에 대한 가중차 반영 방법>

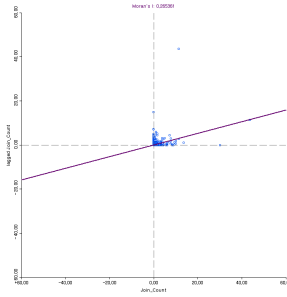
- 공간정보 구축, 편집, 기본적인 공간 분석, 지도화는 ESRI사의 ArcGIS 10.2를 사용하였다. 국지적 공간 분석과 전역적 공간자기상관 분석은 HPAI와 FMD로 구분하여 분석을 수행하였다.

다. 분석 자료

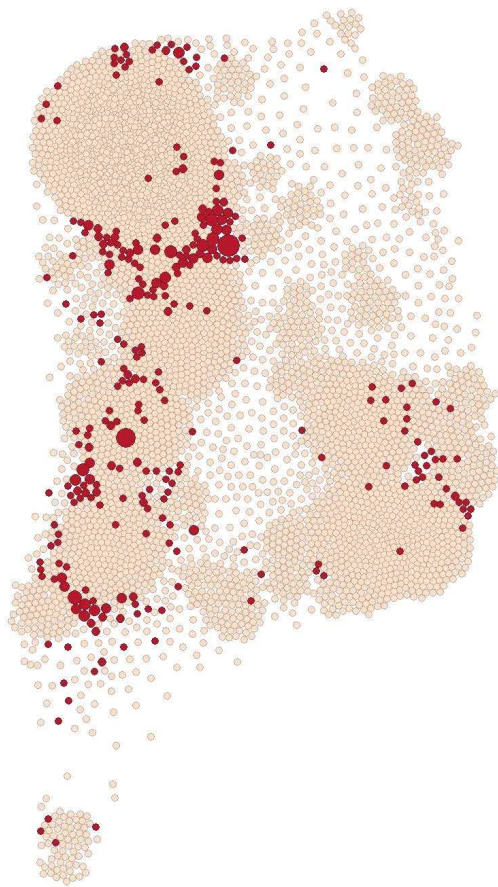
- 2003년 ~ 2016-17년 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 통합 데이터: 2003-04년, 2006-07년, 2008년, 2010-11년, 2014-15년, 2016-17년
 - 2000년대 이후 국내 발생 HPAI 전체 데이터를 통합하여 분석을 수행하였다.
- 구제역(FMD) 통합 데이터 : 2010-11년, 2014-15년
 - 구제역은 2010-11년과 2014-15년 발생 데이터를 통합하여 분석을 수행함과 동시에
 - 백신 미접종(2010-11년)과
 - 백신 접종(2014-15년)으로 구분하여서도 분석을 수행하였다.

라. 고병원성 조류인플루엔자 발병 지역의 공간자기상관 분석

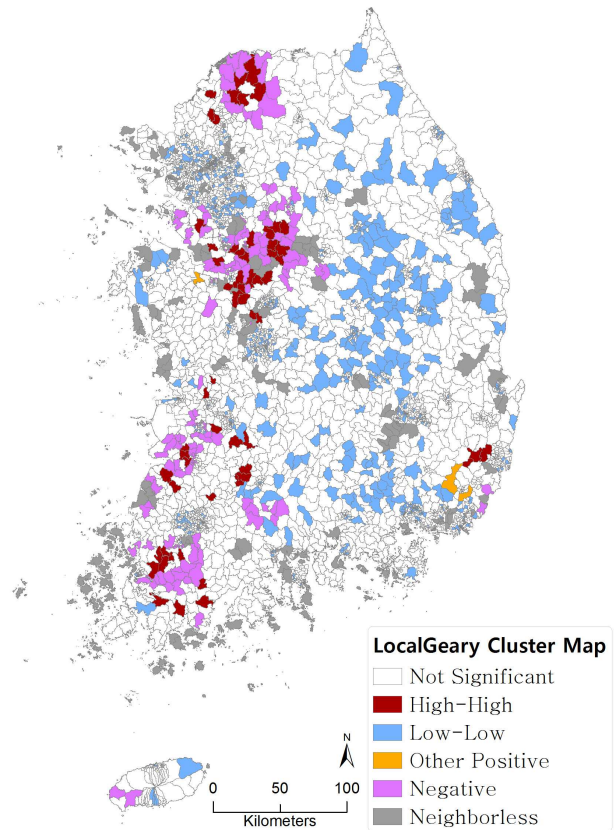
라-1. 2003년 ~ 2016-17년 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 통합 데이터



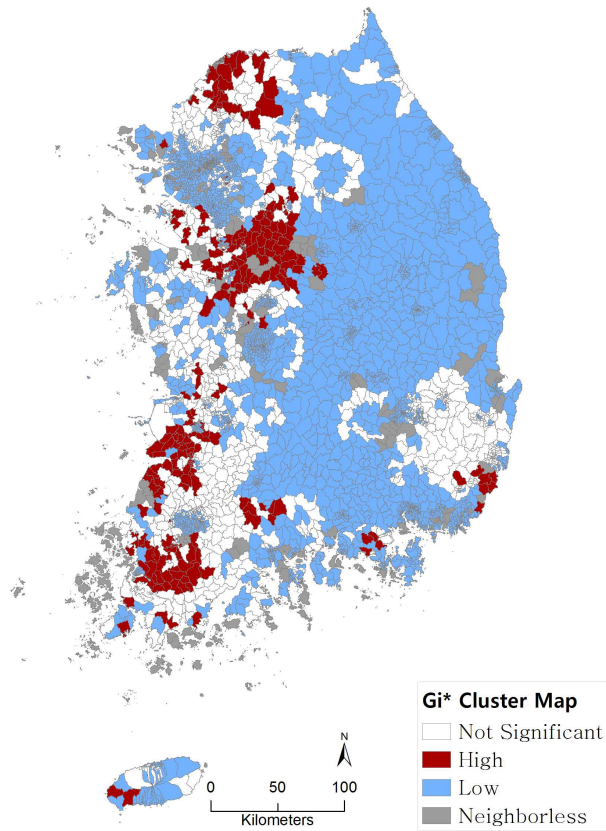
<그림 ②-40. HPAI Moran' s I : 0.265>



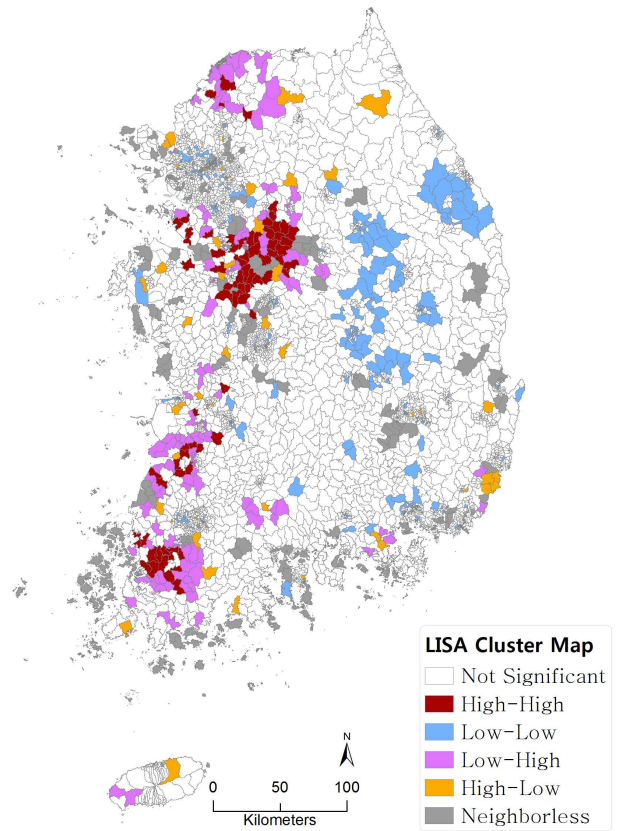
<그림 ②-41. 카토그램 : 읍면동 단위 HPAI 발생빈도>



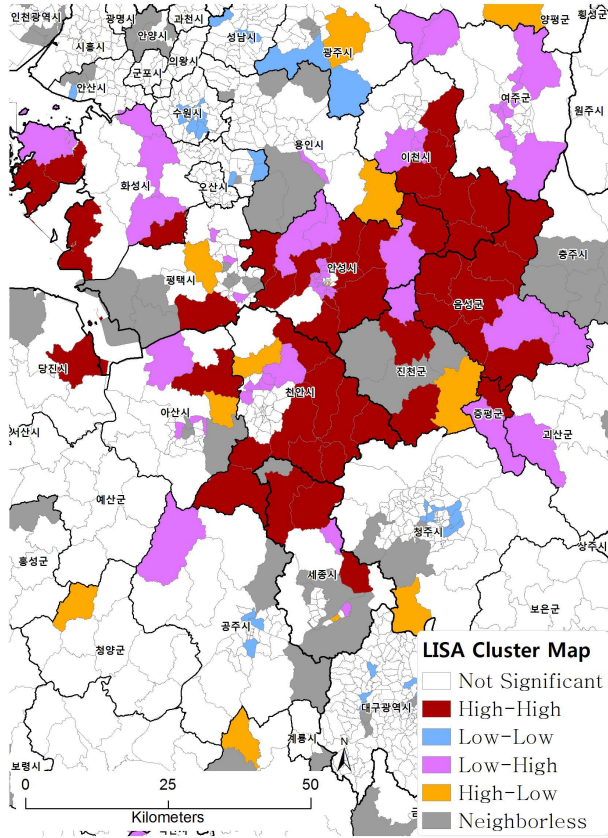
<그림 ②-42. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 LocalGeary Cluster Map>



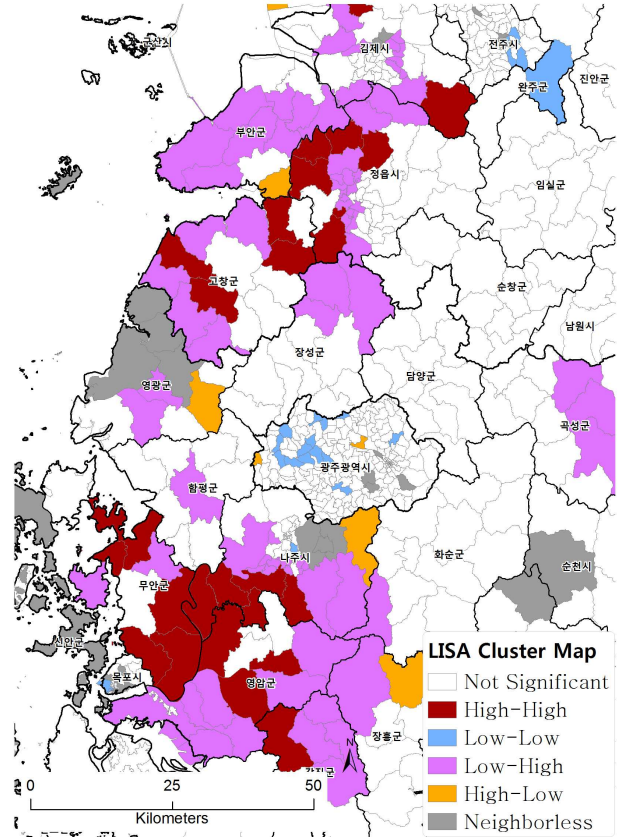
<그림 ②-43. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 Gi* Cluster Map>



<그림 ②-44. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map>



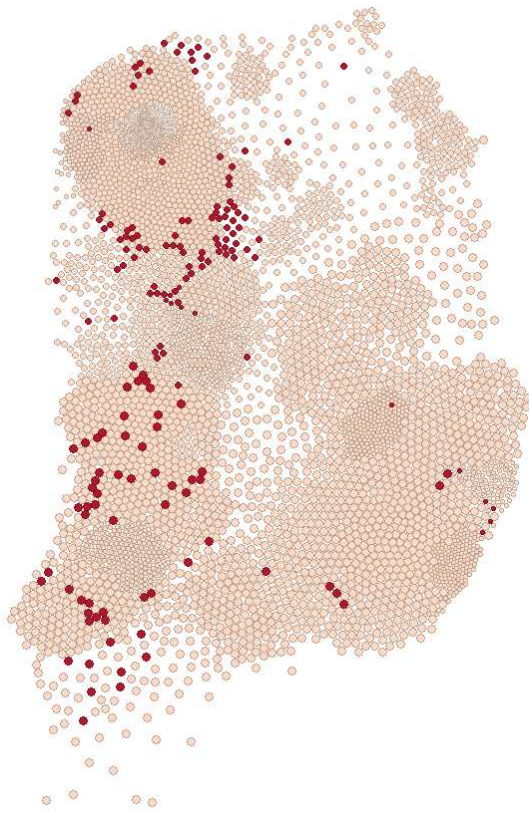
<그림 ②-45. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map : 경기도, 충청도 일대>



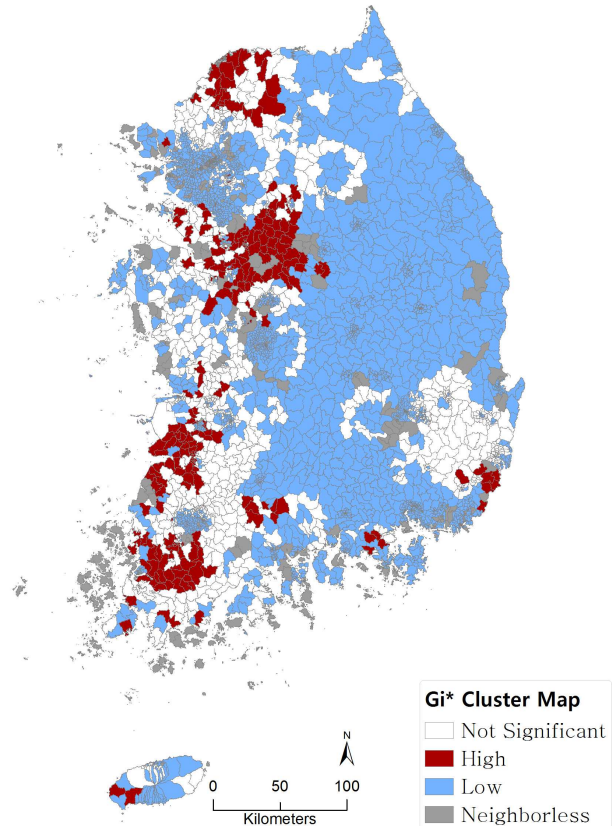
<그림 ②-46. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map : 전라도 일대>

라-2. 2016-17년 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 발생농가 데이터

- 공간자기상관 분석을 통해 2016-17년에 발생한 고병원성 조류인플루엔자 발생농가 데이터를 자세히 살펴보았다.

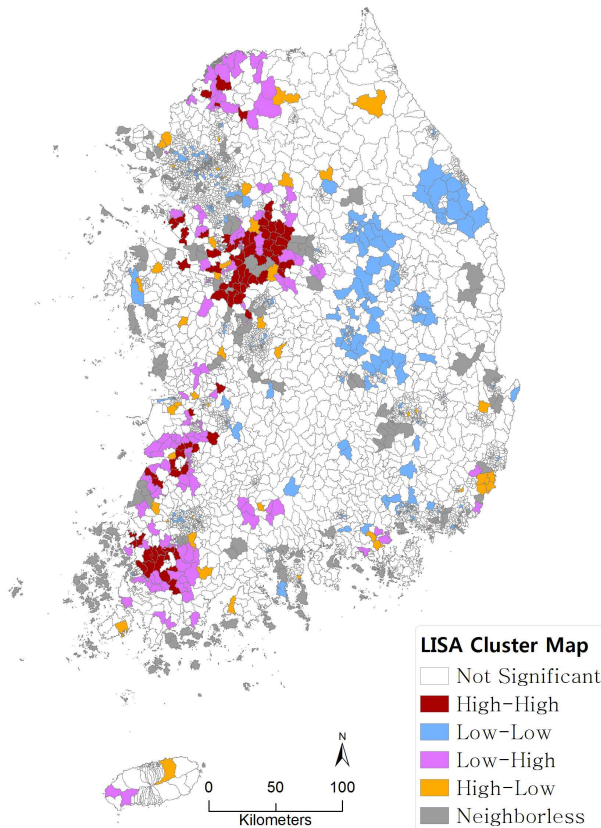


<그림 ②-47. 카토그램 : 읍면동 단위 HPAI 16-17 발생농가>

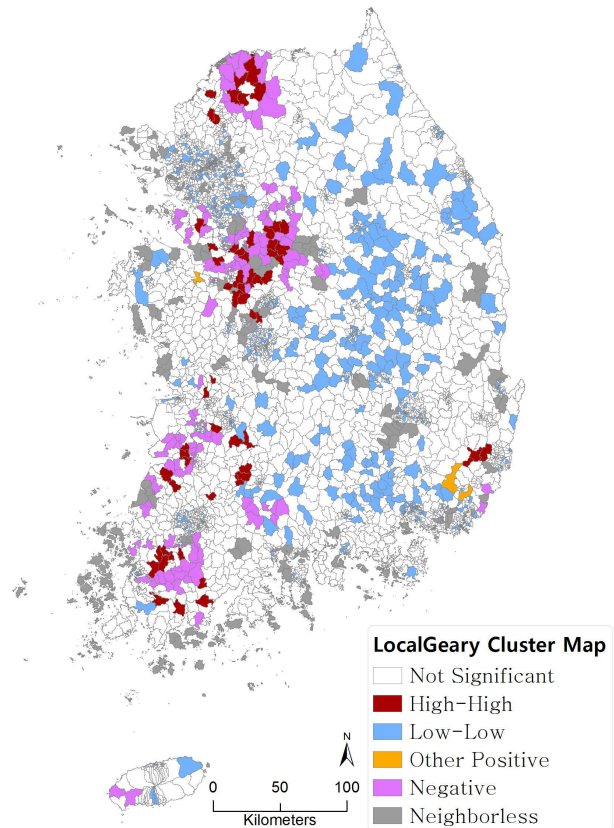


<그림 ②-48. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 Gi* Cluster Map>

- Gi* Cluster Map을 통해서 전체 농가를 대상으로 핫스팟과 콜드스팟을 찾아볼 수 있는데, ① 강원 북부-경기 북부 일대, ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대, ③ 전북 남부 일대, ④ 전남 남부 일대, ⑤ 경남 남부의 일부 지역에 특징적으로 HPAI가 발생하였으며, 핫스팟 주변이 아닌 모든 부분은 콜드스팟으로 나타났음을 확인할 수 있다.



<그림 ②-49. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map>



<그림 ②-50. 읍면동 단위 HPAI 발생빈도에 대한 LocalGeary Cluster Map>

○ Moran 's I Cluster Map을 통해 전체 평균값에 대한 특잇값들을 찾아낼 수 있다. ① 강원 북부-경기 북부 일대, ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대, ③ 전북 남부 일대, ④ 전남 남부 일대에 특잇값(High-High)을 가지는 지역이 분포한다. 하지만 단순히 핫스팟과 콜드스팟을 구분하는 G_i^* Cluster Map의 결과와 권역의 위치는 비슷하지만, 세부 읍면동의 결과에서 다소 차이를 보인다.

- ① 강원 북부-경기 북부 일대는 경기도 포천시, 연천군, 강원도 철원군에 전국 평균보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대는 경기도 평택시, 용인시, 이천시, 안성시, 화성시, 여주시, 충청북도 청주시, 진천군, 괴산군, 음성군, 충청남도 천안시, 아산시, 세종특별자치시에 전국 평균보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- ③ 전북 남부 일대는 군산시, 익산시, 정읍시, 김제시, 고창군, 부안군에 전국 평균보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- ④ 전남 북부 일대는 나주시, 강진군, 해남군, 영암군, 무안군에 전국 평균보다 많은 발생농가가 분포하였다.

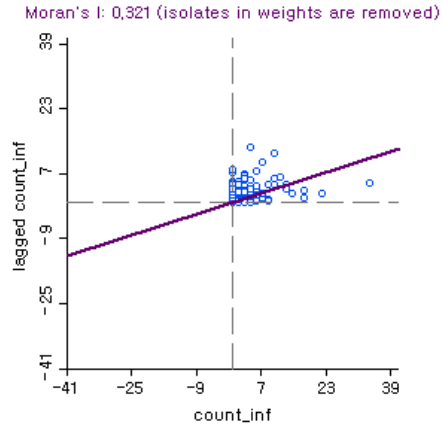
○ LocalGeary Cluster Map을 통해 각 권역 별로 특징적인 값들이 나타나는 것을 확인

할 수 있다. 다른 G_i^* Cluster Map과 Moran 's I Cluster Map이 전체 값에 대한 특
잇값을 찾아내는 것과는 다른 특징이다. ① 강원 북부-경기 북부 일대, ② 경기 남
부-충북 서부-충북 남부 일대, ③ 전북 남부 일대, ④ 전남 남부 일대, ⑤ 경남 남부
의 일부 지역에 특징적으로 HPAI가 발생했음을 확인할 수 있다.

- ① 강원 북부-경기 북부 일대는 경기도 포천시 영북면에 주변 지역보다 많은 발생
농가가 분포하는 한편, 경기도 양주시 남면, 은현면과 경기도 김포시 통진읍, 대곶
면에 주변 지역보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- ② 경기 남부-충북 서부-충남 북부 일대는 경기도 화성시 남양읍, 양감면, 평택시
포승읍, 청북읍, 고덕면, 오성면, 용인시 처인구 백암면, 안성시 보개면, 일죽면, 여
주시 능서면, 가남읍, 이천시 대월면, 설성면, 율면, 장호원읍, 충청북도 진천군 이
월면, 문백면, 음성군 삼성면, 맹동면, 충청남도 천안시 서북구 성환읍, 동남구 병천
읍, 동면, 성남면, 풍세면, 아산시 신창면, 청주시 흥덕구 오송읍, 논산시 노성면, 상
월면, 공주시 계룡면, 세종특별자치시 소정면, 전동면, 연동면에 주변 지역보다 많
은 발생농가가 분포하였다.
- ③ 전북 남부 일대는 전라북도 익산시 용동면, 함열읍, 군산시 옥산면, 김제시 공덕
면, 용지면, 정읍시 이평면, 고부면, 고창군 아산면, 임실군 신덕면, 임실읍에 주변
지역보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- ④ 전남 남부 일대는 전라남도 무안군 망운면, 일로읍, 나주시 동강면, 반남면에 주
변 지역에 주변 지역보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- ⑤ 경남 남부 일대는 경상남도 양산시 상북면, 고성군 마암면에 주변 지역보다 많
은 발생농가가 분포하였다.

마. 고병원성 조류인플루엔자에 대한 공간자기상관 분석 결과의 시사점

○ Moran's I 지수는 0.3 이상으로 유의미한 결과를 보였다.



<그림 ②-51. HPAI 16-17 발생농가 Moran's I : 0.321>

<표 ②-57. 읍면동 단위 HPAI 16-17 감염농가 특잇값>

광역시도	Gi* High		Moran's I High-High		Geary High-High	
	시군구	읍면동	시군구	읍면동	시군구	읍면동
대구광역시	동구	도동				
인천광역시	서구	공촌동				
울산광역시	남구	상개동				
	울주군	온산읍 언양읍				
경기도	평택시	서정동	평택시	팽성읍	평택시	포승읍
		장당동		포승읍		청북읍
		모곡동		청북읍		고덕면
		유천동		서탄면		오성면
		신대동		고덕면		
		소사동		오성면		
		용이동				
		팽성읍				
		안중읍				
		포승읍				
		청북읍				
		서탄면				
		고덕면				
		오성면				
		현덕면				
고양시	관산동					
덕양구						
과천시	막계동					
용인시	원삼면	용인시	백암면	용인시	백암면	
처인구		처인구		처인구		

	백암면				
이천시	단월동	이천시	장호원읍	이천시	장호원읍
	대포동		부발읍		대월면
	고담동		대월면		설성면
	장호원읍		모가면		울면
	부발읍		설성면		
	호법면		울면		
	대월면				
	모가면				
	설성면				
	울면				
안성시	금석동	안성시	공도읍	안성시	보개면
	사곡동		보개면		서운면
	당왕동		금광면		일죽면
	가사동		서운면		
	가현동		미양면		
	현수동		대덕면		
	중리동		일죽면		
	공도읍		삼죽면		
	보개면				
	금광면				
	서운면				
	미양면				
	대덕면				
	양성면				
	일죽면				
	죽산면				
	삼죽면				
고삼면					
월곶면					
김포시			김포시	통진읍	
				대곶면	
화성시	우정읍	화성시	우정읍	화성시	남양읍
	향남읍		남양읍		양감면
	남양읍		마도면		
	비봉면		팔탄면		
	마도면	양감면			
	팔탄면				
	장안면				
	양감면				
광주시	초월읍				
양주시	어둔동			양주시	은현면
	덕계동				남면
	광적면				
포천시	창수면	포천시	창수면	포천시	영북면
	영중면		영중면		
	일동면		이동면		
	이동면		영북면		
	영북면		관인면		
	관인면				
여주시	하동	여주시	가남읍	여주시	가남읍
	월송동		홍천면		능서면
	연라동		능서면		
	현암동				

		가남읍					
		점동면					
		홍천면					
		능서면					
		대신면					
연천군	연천읍	연천읍	연천군	연천읍			
		전곡읍					
		신서면					
양평군	지평면						
강원도	횡성군	횡성읍					
	철원군	철원읍	철원군	갈말읍			
		갈말읍					
		동송읍					
		서면					
근북면							
인제군	기린면						
충청북도	청주시 홍덕구	오송읍	청주시 홍덕구	오송읍	청주시 홍덕구	오송읍	
		강내면		강내면			
		옥산면					
	청주시 청원구	오창읍	청주시 청원구	오창읍			
		북이면		북이면			
	충주시	대소원면					
		노은면					
	옥천군	옥천읍					
	증평군	도안면					
	진천군	진천읍	진천군	진천읍	진천군	문백면	이월면
		덕산면		덕산면			
		초평면		초평면			
문백면		문백면					
백곡면		이월면					
이월면							
광혜원면							
괴산군	사리면	괴산군	소수면				
음성군	음성읍	음성군	금왕읍	음성군	맹동면	삼성면	
	금왕읍		원남면				
	소이면		맹동면				
	원남면		대소면				
	맹동면		삼성면				
	대소면		생극면				
	삼성면		감곡면				
	생극면						
감곡면							
충청남도	천안시 동남구	삼룡동	천안시 동남구	신방동	천안시 동남구	풍세면	
		신방동		목천읍		성남면	
		구룡동		풍세면		병천면	
		목천읍		광덕면		동면	
		풍세면		성남면			
		광덕면		수신면			
		북면		병천면			
		성남면		동면			
		수신면					
		병천면					

		동면					
천안시 서북구	성환읍	천안시 서북구	성환읍	천안시 서북구	성환읍	성환읍	
					직산읍	직산읍	
					입장면	입장면	
공주시	정안면			공주시	계룡면		
보령시	천북면						
아산시	실옥동	아산시	염치읍	아산시	아산시	신창면	
	기산동		배방읍				
	배미동		둔포면				
	득산동		인주면				
	점양동		선장면				
	염치읍						
	배방읍						
	송악면						
	음봉면						
	둔포면						
	영인면						
	인주면						
	선장면						
	도고면						
서산시	인지면						
논산시	은진면			논산시	광석면		
					노성면		
					상월면		
당진시	신평면						
청양군	비봉면						
홍성군	은하면						
세종특별자치시	조치원읍	세종특별자치시	연동면	세종특별자치시	세종특별자치시	연동면	
	연동면		연서면			전동면	
	연서면		전의면			소정면	
	전의면		전동면				
	전동면		소정면				
	소정면						
전라북도	전주시덕진구	용정동					
	군산시	사정동	군산시	육구읍	군산시	육산면	
		지곡동		회현면			
		육구읍					
		회현면					
		임피면					
		대야면					
		개정면					
	익산시	송학동	익산시	합열읍	익산시	합열읍	용동면
		만석동		황등면			
		금강동		용안면			
		합열읍					
		황등면					
		성당면					
용안면							
낭산면							

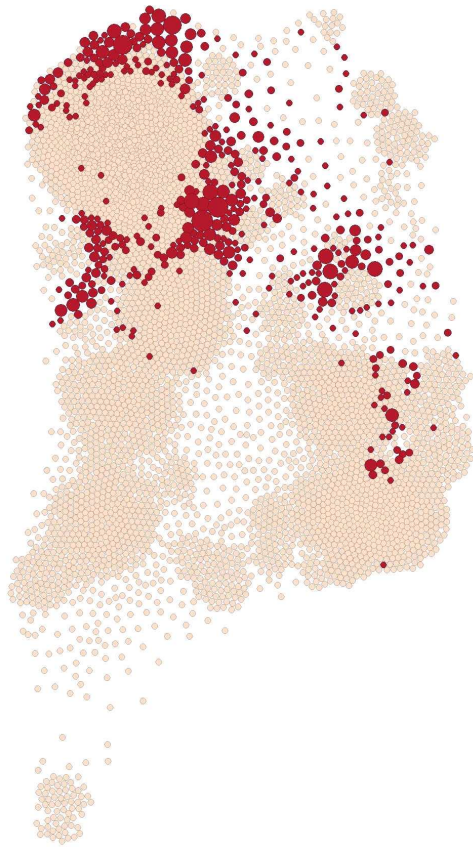
		삼기면					
		용동면					
	정읍시	하모동	정읍시	소성면	정읍시	고부면	
		상평동		고부면		이평면	
		삼산동		영월면			
		흑암동					
		용계동					
		공평동					
		신태인읍					
		입암면					
		소성면					
		고부면					
		영월면					
		덕천면					
	김제시	백산면	김제시	공덕면	김제시	용지면	
		백구면				공덕면	
		공덕면					
		청하면					
	완주군	삼례읍					
	임실군	운암면			임실군	임실읍	
		신평면				신태면	
	순창군	구림면					
	고창군	고창읍	고창군	무장면	고창군	아산면	
		고수면		성송면			
		무장면		신림면			
		해리면					
		성송면					
		심원면					
		홍덕면					
		성내면					
		신림면					
	부안면						
	부안군	주산면	부안군	줄포면			
		계화면					
		보안면					
		줄포면					
	나주시	왕곡면	나주시	왕곡면	나주시	반남면	
		반남면		반남면		동강면	
		공산면		공산면			
		동강면		동강면			
	곡성군	석곡면					
	구례군	용방면					
전라남도	장흥군	장흥읍					
		관산읍					
		용산면					
		안양면					
		부산면					
강진군	강진군	강진읍	강진군	신전면			
		군동면					
		신전면					
		성전면					
	해남군	화산면	해남군	산이면			

		옥천면				
		계곡면				
		황산면				
		산이면				
	영암군	신북면	영암군	신북면		
		시종면	영암군	시종면		
		서호면				
	무안군	몽탄면	무안군	일로읍	무안군	일로읍
		청계면		몽탄면		망운면
		운남면				
	함평군	업다면				
	장성군	남면				
	진도군	의신면				
경상남도	양산시	어곡동			양산시	상북면
	고성군	고성읍			고성군	마암면
		동해면				
	하동군	진교면				

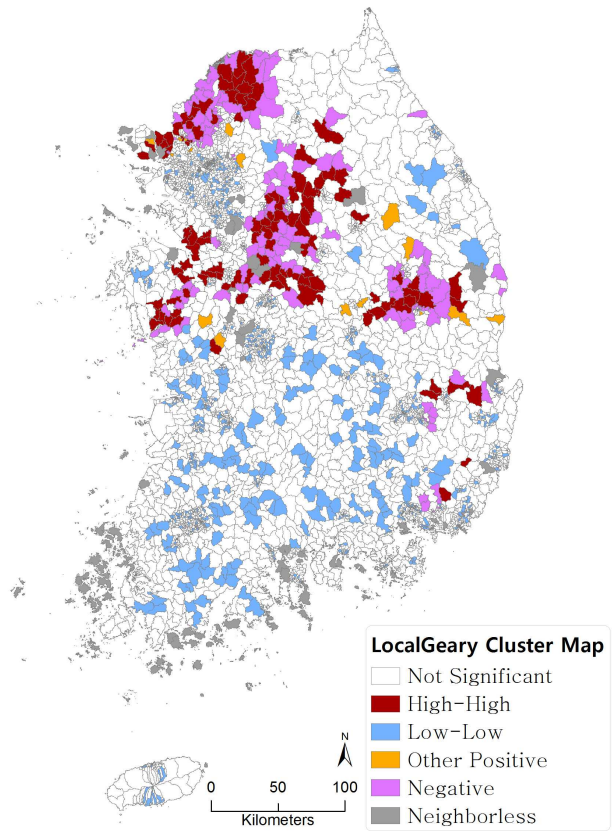
- <표 ②-57>을 살펴보면 G_i^* Cluster Map의 특잇값(High)가 가장 많고, 다음이 Moran's I Cluster Map의 특잇값(High-High), 다음이 Geary Cluster Map의 특잇값(High-High)인 것을 확인할 수 있다.
 - 이는 각 공간자기상관 분석법의 특징에 따른 것으로, G_i^* 는 전체 값들의 핫스팟과 콜드스팟을 나타내는 데, Moran's I는 전체 평균값 중에 특잇값을 찾아내는 데, 그리고 Geary는 좁은 지역의 특잇값을 찾아내는 데 특화된 특징을 가지고 있기 때문이다.
- 단순히 많은 감염농가가 분포한다는 것 만으로 각 지역의 핫스팟으로 선정된 지역들 보다는 전체 평균값보다 감염농가가 많이 분포하거나, HPAI가 빈발하는 각각의 지역 또는 권역 별로 특히 많이 발생하는(Geary High-High) 지역의 방역을 강화하는 등의 차별적인 방역정책이 필요한 것으로 보인다.

바. 구제역 발병 지역의 공간자기상관 분석

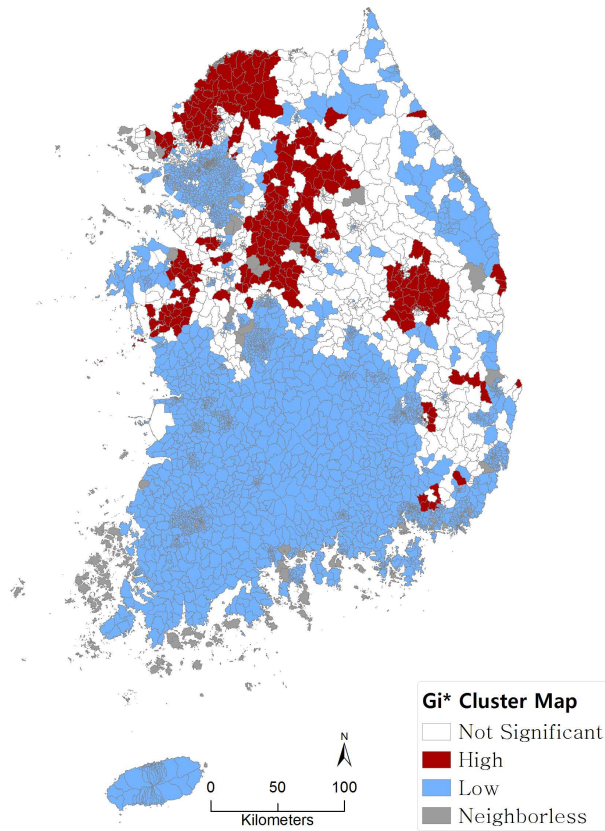
바-1. 2010-11년, 2014-15년 구제역(FMD) 통합 데이터



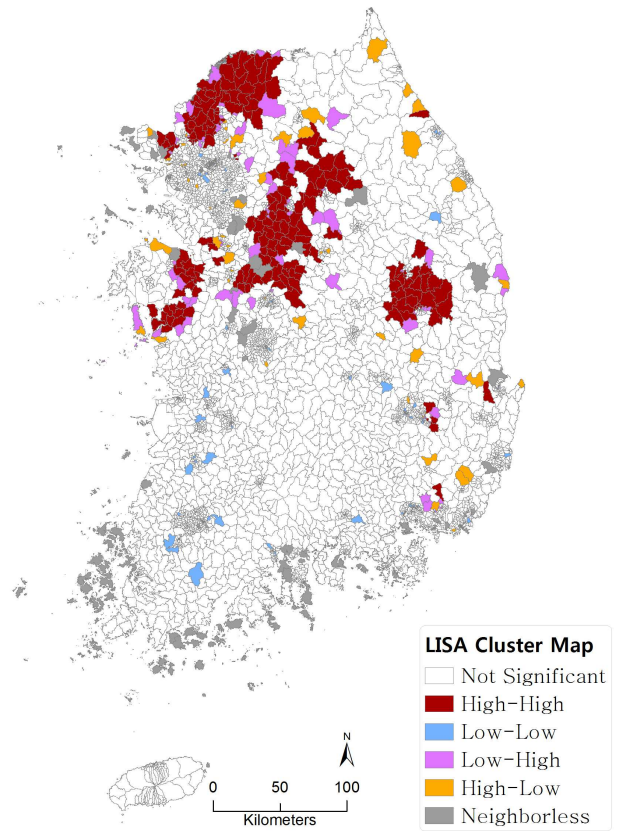
<그림 ②-52. 카토그램 : 읍면동 단위 전체 FMD 발생빈도>



<그림 ②-53. 읍면동 단위 전체 FMD 발생빈도에 대한 LocalGeary Cluster Map>

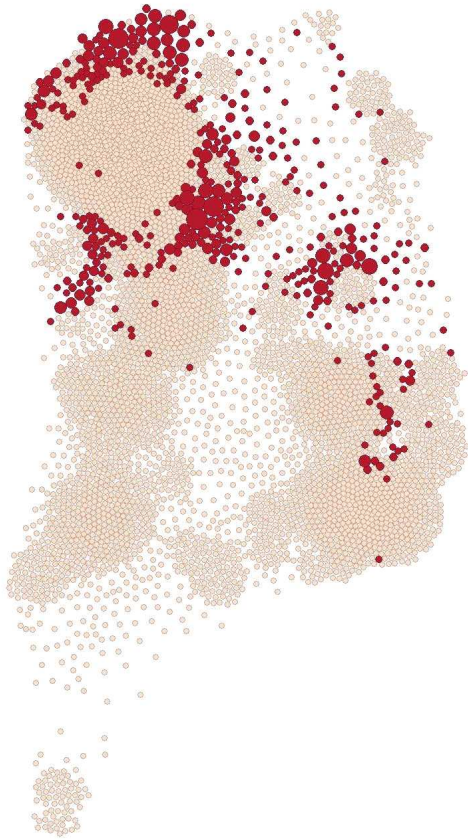


<그림 ②-54. 읍면동 단위 전체 FMD 발생빈도에 대한 G_i^* Cluster Map>

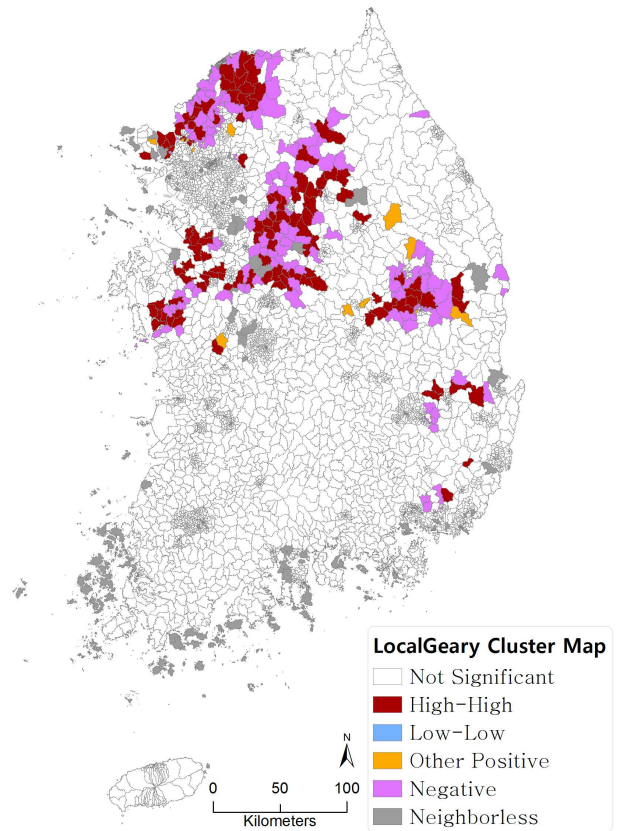


<그림 ②-55. 읍면동 단위 전체 FMD 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map>

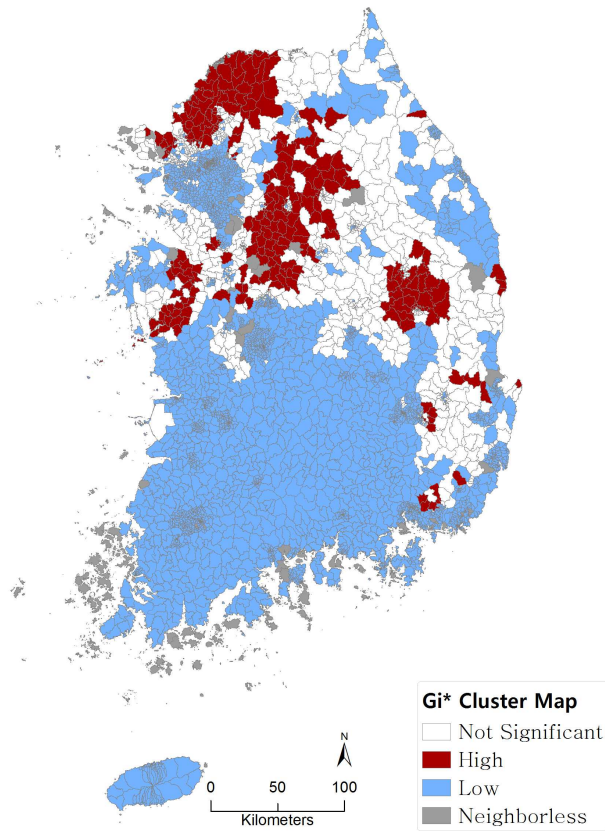
바-2. 2010-11년 구제역 : 백신 미접종



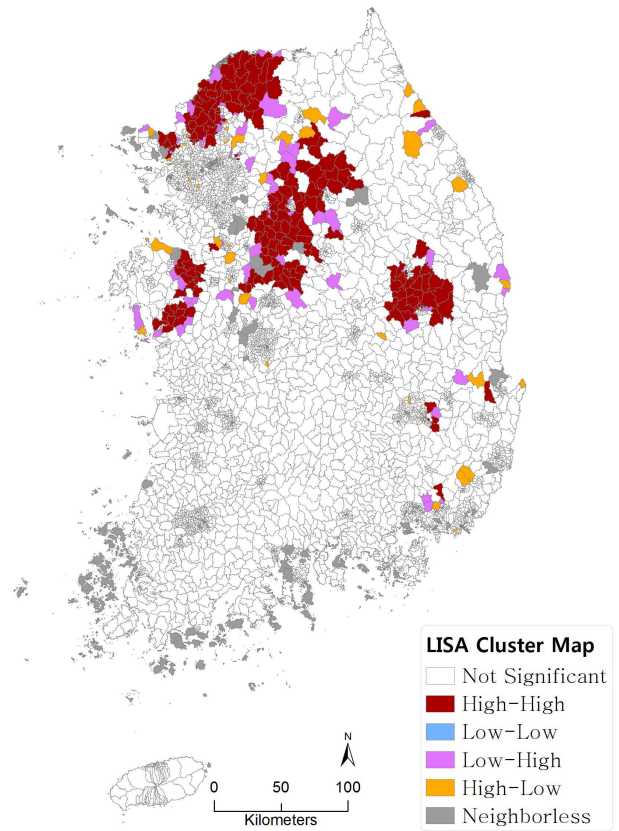
<그림 ②-56. 카토그램 : 읍면동 단위 2010-11년 FMD 발생빈도>



<그림 ②-57. 읍면동 단위 2010-11년 FMD 발생빈도에 대한 LocalGeary Cluster Map>

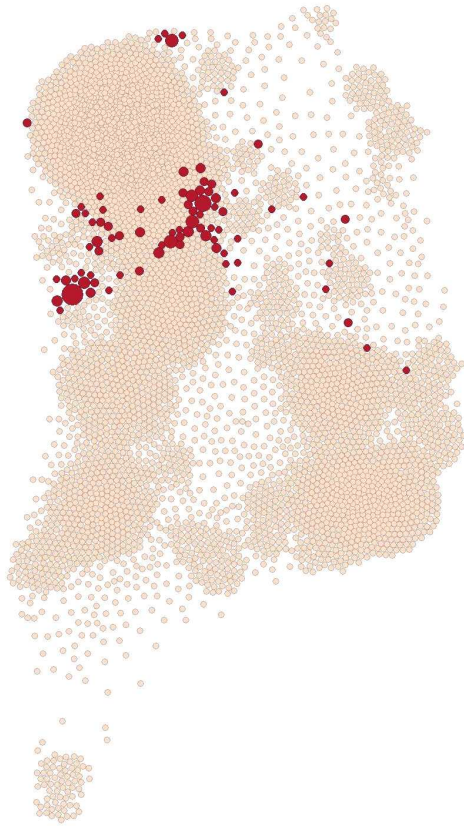


<그림 ②-58. 읍면동 단위 전체 2010-11년 FMD 발생빈도에 대한 Gi* Cluster Map>

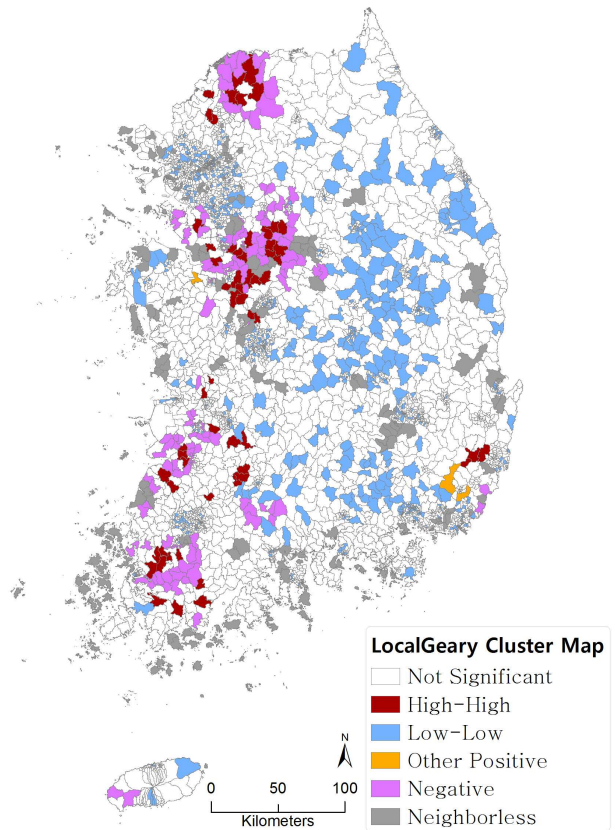


<그림 ②-59. 읍면동 단위 2010-11년 FMD 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map>

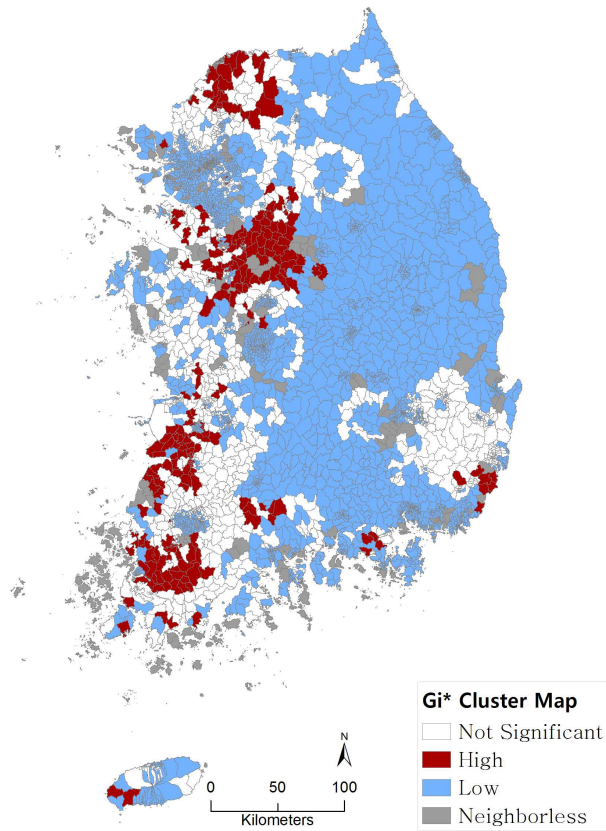
바-3. 2014-15년 구제역 : 백신 접종



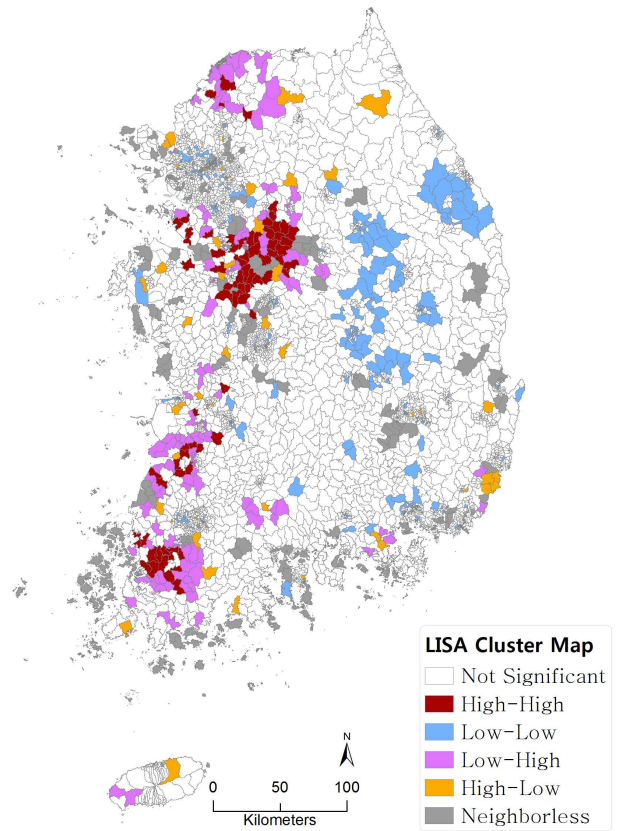
<그림 ②-60. 카토그램 : 읍면동 단위 2014-15년 FMD 발생빈도>



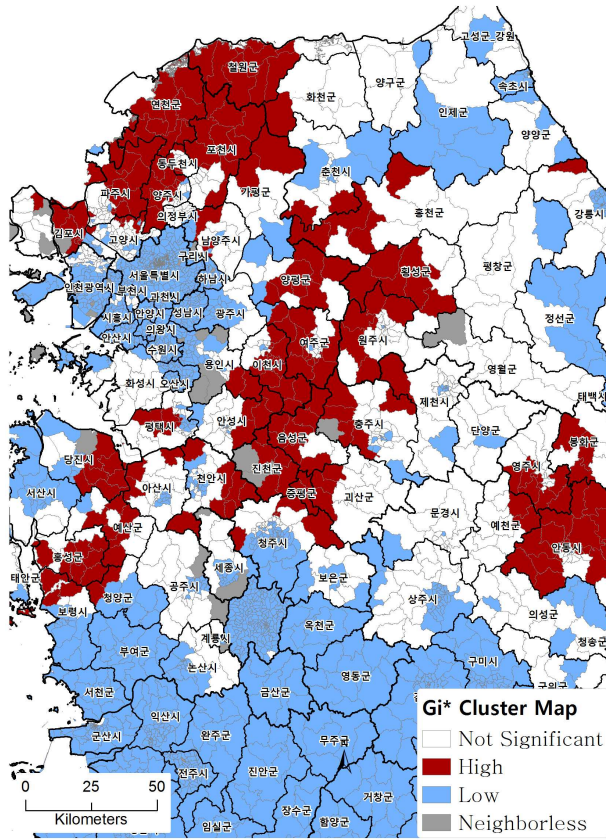
<그림 ②-61. 읍면동 단위 2014-15년 FMD 발생빈도에 대한 LocalGeary Cluster Map>



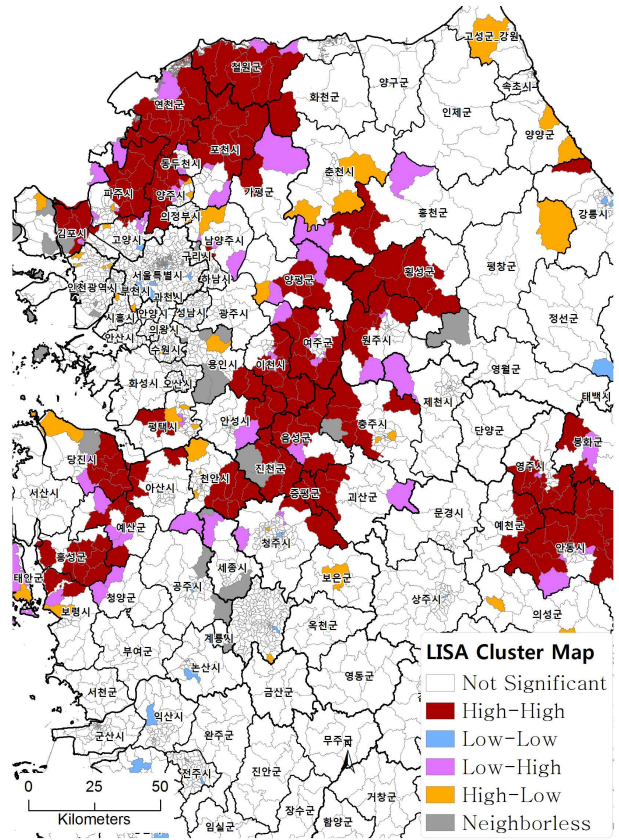
<그림 ②-62. 읍면동 단위 전체 2014-15년 FMD 발생빈도에 대한 Gi* Cluster Map>



<그림 ②-63. 읍면동 단위 2014-15년 FMD 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map>



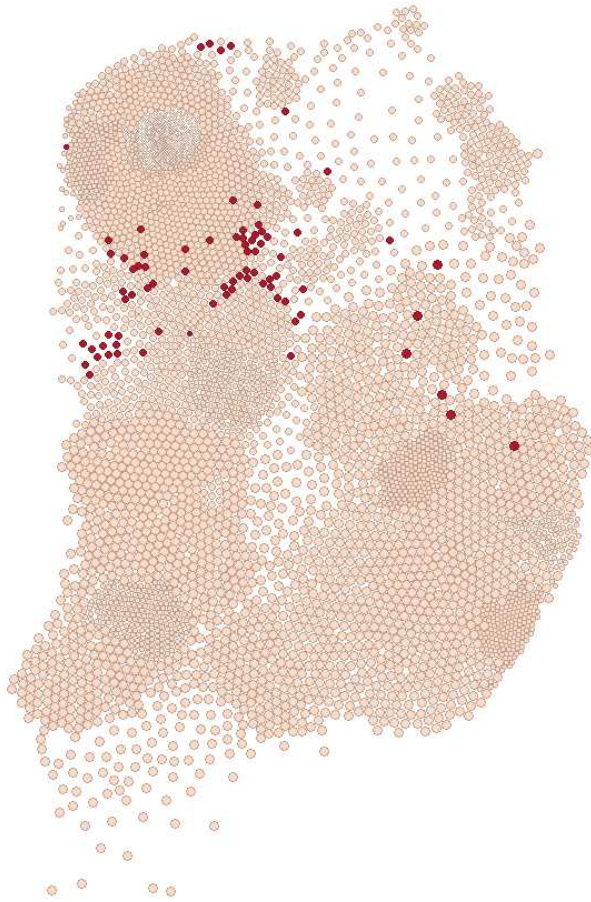
<그림 ②-64. 읍면동 단위 FMD 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map 확대>



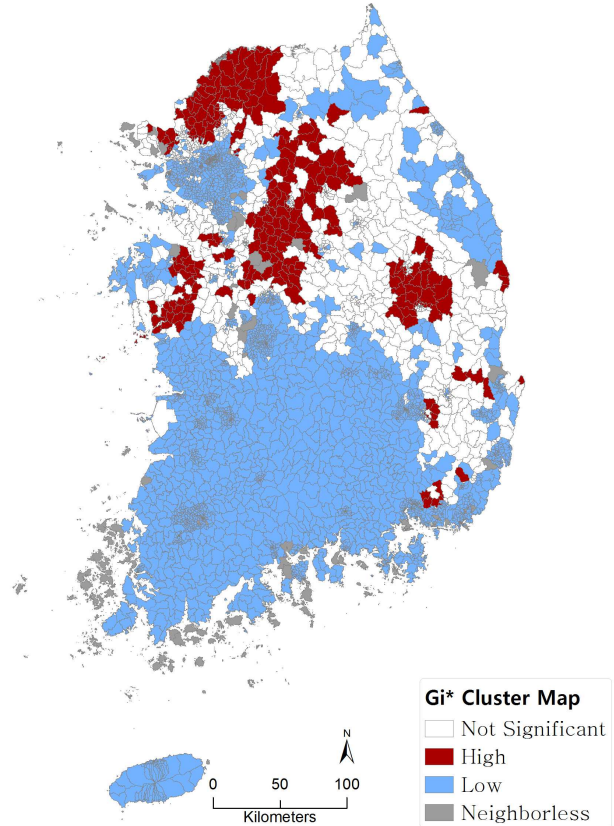
<그림 ②-65. 읍면동 단위 FMD 발생빈도에 대한 Moran's I Cluster Map 확대>

바-4. 2014-15년 구제역(FMD) 발생농가 데이터

- 공간자기상관 분석을 통해 2014-15년에 발생한 구제역 발생농가 데이터를 자세히 살펴보았다.

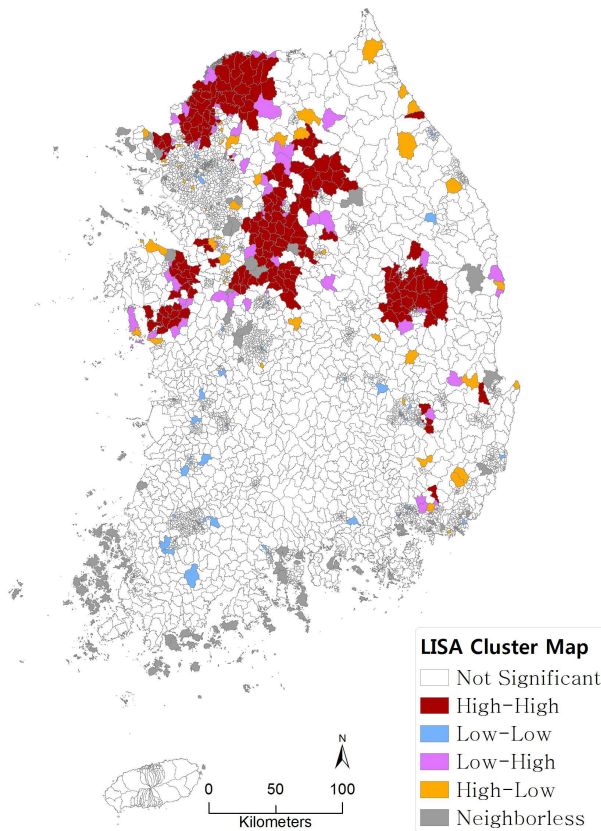


<그림 ②-66. 카토그램 : 읍면동 단위 FMD 14-15 발생농가>

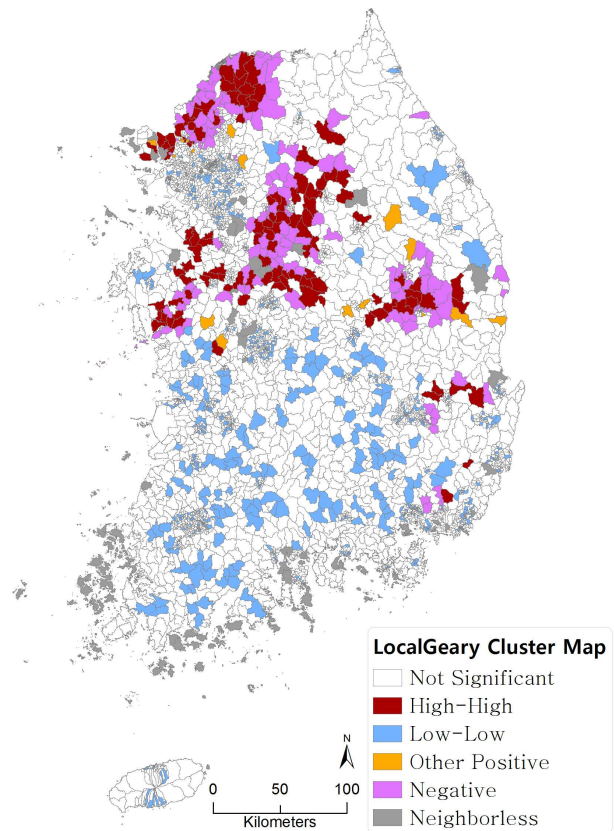


<그림 ②-67. 읍면동 단위 전체 FMD 발생빈도에 대한 Gi* Cluster Map>

- Gi* Cluster Map을 통해서 전체 농가를 대상으로 핫스팟과 콜드스팟을 찾아볼 수 있는데, ① 강원 북부-경기 북부 일대, ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대, ③ 경북 일대의 일부 지역에 특징적으로 FMD가 발생하였으며, 핫스팟 주변이 아닌 모든 부분은 콜드스팟으로 나타났음을 확인할 수 있다.



<그림 ②-68. 읍면동 단위 전체 FMD 발생빈도에 대한 LISA Cluster Map>



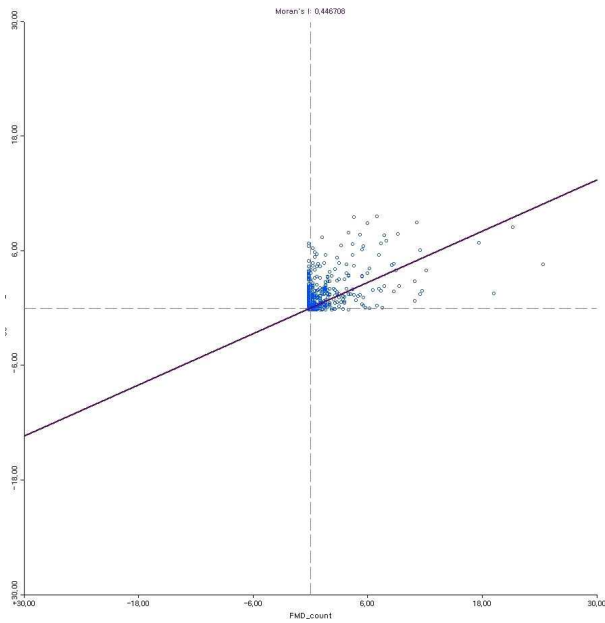
<그림 ②-69. 읍면동 단위 전체 FMD 발생빈도에 대한 LocalGeary Cluster Map>

- Moran 's I Cluster Map을 통해 전체 평균값에 대한 특잇값들을 찾아낼 수 있다. ① 강원 북부-경기 북부 일대, ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대에 특잇값 (High-High)을 가지는 지역이 분포한다. 하지만 단순히 핫스팟과 콜드스팟을 구분하는 G_i^* Cluster Map의 결과와 권역의 위치는 비슷하지만, 세부 읍면동의 결과에서 다소 차이를 보인다.
 - ① 강원 북부-경기 북부 일대는 경기도 포천시, 강원도 철원군에 전국 평균보다 많은 발생농가가 분포하였다.
 - ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대는 경기도 평택시, 용인시 처인구, 이천시, 안성시, 화성시, 여주시, 충청북도 청주시 상당구, 청원구, 증평군, 진천군, 괴산군, 음성군, 충청남도 천안시 동남구, 서북구, 보령시, 아산시, 홍성군에 전국 평균보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- LocalGeary Cluster Map을 통해 각 권역 별로 특징적인 값들이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 다른 G_i^* Cluster Map과 Moran 's I Cluster Map이 전체 값에 대한 특잇값을 찾아내는 것과는 다른 특징이다. ① 강원 북부-경기 북부 일대, ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대의 일부 지역에 특징적으로 HPAI가 발생했음을 확인할 수 있다.

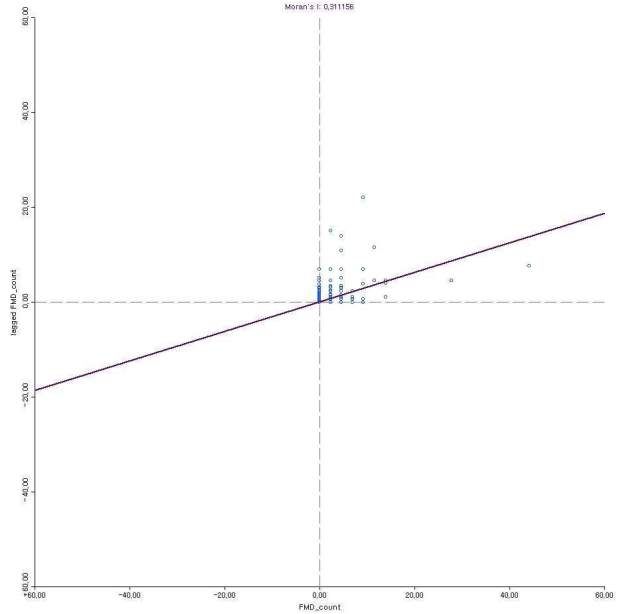
- ① 강원 북부-경기 북부 일대는 철원군 갈말읍에 주변 지역보다 많은 발생농가가 분포하였다.
- ② 경기 남부-충북 서부-충북 남부 일대는 경기도 평택시 포승읍, 청북읍, 오성면, 용인시 처인구 백암면, 이천시 장호원읍, 부발읍, 대월면, 안성시 일죽면, 화성시 우정읍, 남양읍, 장안면, 여주시 가남읍, 충청북도 청주시 청원구 내수읍, 복이면, 증평군 도안면, 진천군 진천읍, 이월면, 괴산군 청천면, 청안면, 충청남도 천안시 동남구 병천면, 공주시 신평면, 아산시 음봉면, 신창면, 홍성군 홍성읍, 금마면, 홍동면, 장곡면, 은하면에 주변 지역보다 많은 발생농가가 분포하였다.

사. 구제역에 대한 공간자기상관 분석 결과의 시사점

○ Moran's I 지수는 0.3 이상으로 유의미한 결과를 보였다.



<그림 ②-70. FMD 2010-11년(백신 미접종)
Moran's I : 0.446>



<그림 ②-71. FMD 2014-15년도(백신 접종)
Moran's I : 0.311>

<표 ②-58. 읍면동 단위 FMD 14-15 감염농가 특잇값>

Gi* High		Moran's I High-High		Geary High-High						
광역시도	시군구	읍면동	시군구	읍면동	시군구	읍면동				
인천광역시	강화군	길상면								
		화도면								
		양도면								
세종특별자치시		조치원읍								
		연서면								
		전의면								
		전동면								
경기도	수원시 권선구	탑동								
	평택시	서정동					포승읍			
		지산동					청북읍			
		유천동					오성면			
		팽성읍								
		안중읍								
		포승읍								
		청북읍								
		고덕면								
	오성면									
	용인시 처인구	유방동					용인시 처인구	원삼면	용인시 처인구	백암면
고림동		백암면								

		호동 해곡동 포곡읍 이동읍 남사면 원삼면 백암면 양지면				
	용인시 기흥구	동백동 중동				
	이천시	진리동	이천시	장호원읍	이천시	장호원읍
		안흥동		부발읍		부발읍
		갈산동		대월면		대월면
		단월동		모가면		
		대포동		설성면		
		고담동		울면		
		장록동				
		장호원읍				
		부발읍				
		백사면				
		호법면				
		마장면				
		대월면				
		모가면				
		설성면				
	울면					
	안성시	공도읍	안성시	일죽면	안성시	일죽면
		보개면		죽산면		
		금광면		삼죽면		
		미양면				
		양성면				
		일죽면				
		죽산면				
		삼죽면				
		고삼면				
	화성시	우정읍	화성시	우정읍	화성시	우정읍
		향남읍		남양읍		남양읍
		팔탄면		장안면		장안면
		장안면				
		양감면				
	포천시	이동면	포천시	관인면		
		영북면				
		관인면				
	여주시	연라동	여주시	가남읍	여주시	가남읍
		상거동				
		하거동				
		가남읍				
		점동면				
		홍천면				
	능서면					
강원도	춘천시	동산면				
	원주시	행구동				

충청북도	철원군	소초면						
		철원읍	철원군	김화읍	철원군	갈말읍		
		김화읍		갈말읍				
		갈말읍		동송읍				
				서면				
				근북면				
				근동면				
	청주시 상당구	산성동	청주시 상당구	미원면				
		낭성면						
		미원면						
	청주시 흥덕구	육산면						
	청주시 청원구	을량동	청주시 청원구	내수읍	청주시 청원구	내수읍		
		주성동		오창읍			북이면	
		주중동		북이면				
충주시	주덕읍							
	신니면							
	노은면							
	중앙탑면							
	소태면							
제천시	자작동							
보은군	보은읍							
	산외면							
증평군	증평읍	증평군	증평읍	증평군	도안면			
	도안면		도안면					
진천군	진천읍	진천군	진천읍	진천군	진천읍			
	덕산면		덕산면			이월면		
	초평면		백곡면					
	문백면		이월면					
		백곡면						
		이월면						
		광혜원면						
괴산군	감물면	괴산군	청천면	괴산군	청천면			
	문광면		청안면			청안면		
	청안면							
	사리면							
	불정면							
음성군	금왕읍	음성군	삼성면					
	소이면							
	맹동면							
	대소면							
	삼성면							

		감곡면					
	단양군	어상천면					
충청남도	천안시 동남구	북면	천안시 동남구	북면	천안시 동남구	병천면	
		성남면		수신면			
		수신면		병천면			
		병천면		동면			
		동면					
	천안시 서북구	차암동	천안시 서북구	성한읍			
		직산읍					
		입장면					
	공주시	사곡면			공주시	신평면	
	보령시	오천면	보령시	천북면			
		천북면					
		청소면					
		칭라면					
		주교면					
	아산시	실옥동	아산시	염치읍	아산시	음봉면	신창면
		기산동		음봉면			
		배미동		선장면			
		득산동		신창면			
		점양동					
		염치읍					
		송악면					
		탕정면					
		음봉면					
둔포면							
영인면							
인주면							
선장면							
도고면							
신창면							
당진시	우강면						
청양군	운곡면						
	화성면						
	비봉면						
홍성군	홍성읍	홍성군	홍성읍	홍성군	홍성읍		
	광천읍		광천읍		금마면		
	홍북읍		금마면		홍동면		
	금마면		홍동면		장곡면		
	홍동면		장곡면		은하면		
	장곡면		은하면				
	은하면		결성면				
	결성면		서부면				
	서부면		구항면				
	갈산면						
	구항면						
예산군	광시면						
	덕산면						
	신암면						
경상북도	경주시	안강읍					
	안동시	서후면					

		남후면		
영주시		상망동		
		조와동		
		부석면		
		화산면		
군위군		군위읍		
의성군		의성읍		
		사곡면		
		춘산면		
		가음면		
		금성면		
		봉양면		
봉화군		봉화읍		
		물야면		
		봉성면		

- <표 ②-58>을 살펴보면 G_i^* Cluster Map의 특잇값(High)가 가장 많고, 다음이 Moran's I Cluster Map의 특잇값(High-High), 다음이 Geary Cluster Map의 특잇값(High-High)인 것을 확인할 수 있다.
 - 이는 각 공간자기상관 분석법의 특징에 따른 것으로, G_i^* 는 전체 값들의 핫스팟과 콜드스팟을 나타내는 데, Moran's I는 전체 평균값 중에 특잇값을 찾아내는 데, 그리고 Geary는 좁은 지역의 특잇값을 찾아내는 데 특화된 특징을 가지고 있기 때문이다.
- 단순히 많은 감염농가가 분포한다는 것 만으로 각 지역의 핫스팟으로 선정된 지역들 보다는 전체 평균값보다 감염농가가 많이 분포하거나, FMD가 빈발하는 각각의 지역 또는 권역 별로 특히 많이 발생하는(Geary High-High) 지역의 방역을 강화하는 등의 차별적인 방역정책이 필요한 것으로 보인다.

②-8. 가축 질병 발생 농가 간 네트워크 분석

가. 연구 목적

- 특정 농가로 가축 질병이 유입되는 주요경로는 크게 사람(차량 포함)에 의한 경우와 야생 동물에 의한 경우로 구분할 수 있다. 구제역의 경우는 사람에 의한 전파·확산이 대부분을 차지하며, 고병원성 조류인플루엔자의 경우는 야생 조류(철새)에 의한 전파와 사람에 의한 전파로 구분된다.
- 사람에 의한 경우는 대부분 기존 발생 농가를 방문한 사람이나 차량에 의하여 해당 농가로 바이러스가 유입되는 과정을 거치게 되며, 이 경우 역학조사 과정에서 바이러스의 유입 경로가 확인된다. 그리고 바이러스를 전파한 농가 정보는 역학조사보고서에 기록된다.
- 조류인플루엔자의 경우 농가 인근에 철새 서식에 유리한 저수지, 하천, 갯벌 등의 환경이 조성되어 있고, 외부 농가와와의 특별한 접촉 기록이 없는 경우 일반적으로 철새 등 야생 조류에 의해 바이러스가 유입되었다고 예상하게 된다. 그리고 그러한 예측 결과가 역학조사보고서에 기록된다.
- 이러한 역학조사 결과에 근거하여 바이러스 전파의 연결 관계를 네트워크로 구성하게 되면, 질병의 전파·확산에서 중요한 역할을 한 농가나 철새 서식지 등을 시각화하여 확인할 수 있다. 그리고 그러한 농가가 갖는 특징을 분석함으로써 향후 가축질병이 발생하였을 때 방역 활동을 위한 의사결정 자료로 활용할 수 있다.
- 따라서 본 연구에서는 역학조사보고서에 근거하여 구제역과 고병원성 조류인플루엔자의 전파 확산 과정을 네트워크로 구성하여 분석하고 시각화하여, 그 결과를 방역 범위 설정을 위한 자료로 활용하고자 한다.

나. 연구 방법

- FMD와 HPAI의 역학조사보고서에 농가 단위로 기록되어 있는 질병의 유입 경로 정보를 이용하여 네트워크 분석을 수행하였다.
- 네트워크 분석을 위한 데이터는 Edge List 유형의 1-Mode Network로 구축하였다. 시간 순서에 따라 부여된 질병 발생 농장의 순번을 Key 필드 값으로 사용하였다.
- 철새 등 야생 조류에 의해 바이러스가 유입되었다고 판단되는 경우 바이러스를 전파한 철새의 서식지로 의심되는 인근의 하천, 저수지 정보가 역학조사보고서에 기록된다. 그러나 역학조사보고서에 하천이나 저수지 명칭이 누락 된 경우도 많다. 따라서 본 연구에서는 이 경우, 질병 발생 농가로부터 가장 가까이에 위치하는 일정 규모 이상의 하천(법정하천)과 저수지를 추출하여 바이러스를 전파한 오염원으로 사용하였다.
- 가축 질병의 전파는 시간에 따라 바이러스의 유입과 유출경로가 존재하는 방향성을 지니는 네트워크이다. 따라서 네트워크 분석 또한 방향성이 반영되도록 하였다.
- 네트워크 분석 소프트웨어는 NetMinor 4.4(CYRAM)를 사용하였으며, 분석 결과는 GIS 소프트웨어인 ArcGIS 10.2를 이용하여 지도로 시각화하였다.

	1-Mode Network							2-Mode Network																																																																																			
Matrix Type	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>B</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>C</td> <td></td> <td>3.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>F</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								1	2	3	4	5	6	1	A	B	1.0	1.0			2	B				2.0		3	C		3.0				4	D				1.0	2.0	5	E						6	F						<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>A</td> <td>Sport</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>B</td> <td>Movie</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>C</td> <td></td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>D</td> <td></td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>E</td> <td></td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>F</td> <td></td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>					1	2	3	1	A	Sport	1.0	2	B	Movie	1.0	3	C		1.0	4	D		1.0	5	E		1.0	6	F		1.0			
		1	2	3	4	5	6																																																																																				
1	A	B	1.0	1.0																																																																																							
2	B				2.0																																																																																						
3	C		3.0																																																																																								
4	D				1.0	2.0																																																																																					
5	E																																																																																										
6	F																																																																																										
	1	2	3																																																																																								
1	A	Sport	1.0																																																																																								
2	B	Movie	1.0																																																																																								
3	C		1.0																																																																																								
4	D		1.0																																																																																								
5	E		1.0																																																																																								
6	F		1.0																																																																																								
Edge List Type	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Source</td> <td>Target</td> <td>Weight</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>A</td> <td>C</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>B</td> <td>D</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>C</td> <td>B</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>D</td> <td>E</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>D</td> <td>F</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>								1	2	3	1	Source	Target	Weight	1	A	B	1.0	2	A	C	1.0	3	B	D	2.0	4	C	B	3.0	5	D	E	1.0	6	D	F	2.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Source</td> <td>Target</td> <td>Weight</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>A</td> <td>Sport</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>A</td> <td>Movie</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>B</td> <td>Movie</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>C</td> <td>Sport</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>C</td> <td>Cook</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>D</td> <td>Cook</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>E</td> <td>Movie</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>E</td> <td>Cook</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>F</td> <td>Sport</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>F</td> <td>Cook</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>					1	2	3	1	Source	Target	Weight	1	A	Sport	1.0	2	A	Movie	1.0	3	B	Movie	1.0	4	C	Sport	1.0	5	C	Cook	1.0	6	D	Cook	1.0	7	E	Movie	1.0	8	E	Cook	1.0	9	F	Sport	1.0	10	F	Cook	1.0
		1	2	3																																																																																							
1	Source	Target	Weight																																																																																								
1	A	B	1.0																																																																																								
2	A	C	1.0																																																																																								
3	B	D	2.0																																																																																								
4	C	B	3.0																																																																																								
5	D	E	1.0																																																																																								
6	D	F	2.0																																																																																								
	1	2	3																																																																																								
1	Source	Target	Weight																																																																																								
1	A	Sport	1.0																																																																																								
2	A	Movie	1.0																																																																																								
3	B	Movie	1.0																																																																																								
4	C	Sport	1.0																																																																																								
5	C	Cook	1.0																																																																																								
6	D	Cook	1.0																																																																																								
7	E	Movie	1.0																																																																																								
8	E	Cook	1.0																																																																																								
9	F	Sport	1.0																																																																																								
10	F	Cook	1.0																																																																																								

<그림 ②-72. 네트워크 데이터 구조의 유형(CYRAM, 2017)>

SOURCE	SOURCE2	TARGET	WEIGHT
철새	금자전	1	1
철새	한천	2	1
철새	한천	3	1
철새	영산강	4	1
	2 2	5	1
	6 6	5	1
	5 5	6	1
	2 2	6	1
	30 30	7	1
	31 31	7	1
철새	부연 저수지	8	1
	5 5	9	1
	6 6	9	1
	11 11	9	1
	12 12	9	1
	9 9	10	1
	12 12	10	1
	2 2	10	1
	12 12	11	1
	5 5	11	1
	9 9	11	1
	7 7	11	1
	9 9	11	1

<그림 ②-73. Edge List 유형의 1-Mode Network로 데이터 구축>

나-1. 연결 중심성(Degree Centrality)

- 중심성이란 네트워크 혹은 그룹 내에서 특정한 노드의 구조적 중요성을 계량화하는 방법이다.
- 연결 중심성이란 노드 간 직접적으로 연결된 정도 즉 인접한 연결 관계에 근거하여 국지적 수준에서 네트워크의 중심성을 분석하는 방법으로 특정 노드와 직접적으로 연결된 정도가 많은 노드일수록 연결 중심성이 높다고 말하며, 특정 노드와 직접적으로 연결된 링크의 수로 계산된다. 연결 중심성이 높다는 것은 전체 네트워크 수준에서 지배적 위치에 있어 다른 노드에 많은 영향을 미친다는 것을 의미한다.
- 가축질병 네트워크는 방향성(유입, 유출 관계)이 존재한다. 따라서, 연결 중심성은 유입 연결 중심성(바이러스가 외부로부터 유입된 경로의 다양성)과 유출 연결 중심성(바이러스가 외부로 유출되는 경로의 다양성)으로 세분할 수 있다.
 - 유입 연결 중심성(In-Degree Centrality)이 높다는 것은 해당 농가가 외부로부터 유입되는 바이러스를 차단하는데 취약함을 의미한다.
 - 유출 연결 중심성(Out-Degree Centrality)이 높다는 것은 해당 농가가 바이러스를 외부로 전파하는 슈퍼전파자의 역할을 함을 의미한다.
- 최초 바이러스가 유입된 농가에서 초기 방역에 실패하여 주변으로 인접전파가 활발히 발생할 경우 이 농장의 연결 중심성은 높아진다. 바이러스에 오염된 도축장(도계장)의 경우도 중심성이 높게 나타난다.

나-2. 네트워크에서의 역할(Node Type)

- 개별 농가 및 축산시설은 FMD 네트워크를 형성하는 과정에서 각자 역할(Node Type)을 수행하게 된다.
 - 개별 농가와 축산시설의 역할은 최초전파자(Transmitter), 수신-전파자(Ordinary), 전달자(Carrier), 수신자(Receiver)의 4가지 유형으로 구분할 수 있다
- 최초전파자(Transmitter)를 초기에 인지하고 차단 방역을 적절하게 수행하지 못하면, 해당 노드(축산시설 또는 농가)와 접촉한 주변 농가로 바이러스는 빠르게 전파된다.
- 수신-전파자(Ordinary)는 네트워크에서 일반적인 역할을 하는 노드로서, 질병발생 초기에 정확한 역학조사를 통하여 이러한 연결고리를 끊지 못하면, 질병은 급속하게 주변 지역으로 확산한다.
- 전달자(Carrier)는 오염된 농가나 축산시설로 한 곳으로부터 바이러스가 유입되고 이

렇게 유입된 바이러스를 제3의 농가로 한 곳으로 전파하는 역할을 수행한다.

- 전달자의 경우 일반적으로 장거리 전파 또는 다른 권역(집단)으로 바이러스를 전파하는 역할을 한다.

○ 수신자(Receiver)는 네트워크의 가장 끝단에 위치하는 노드로서, 바이러스의 전파·확산이 종료된 농가다.

- 수신자에 해당하는 농가들은 발생 농가 집단의 외곽 경계 부분에 위치하는 것이 일반적이다.

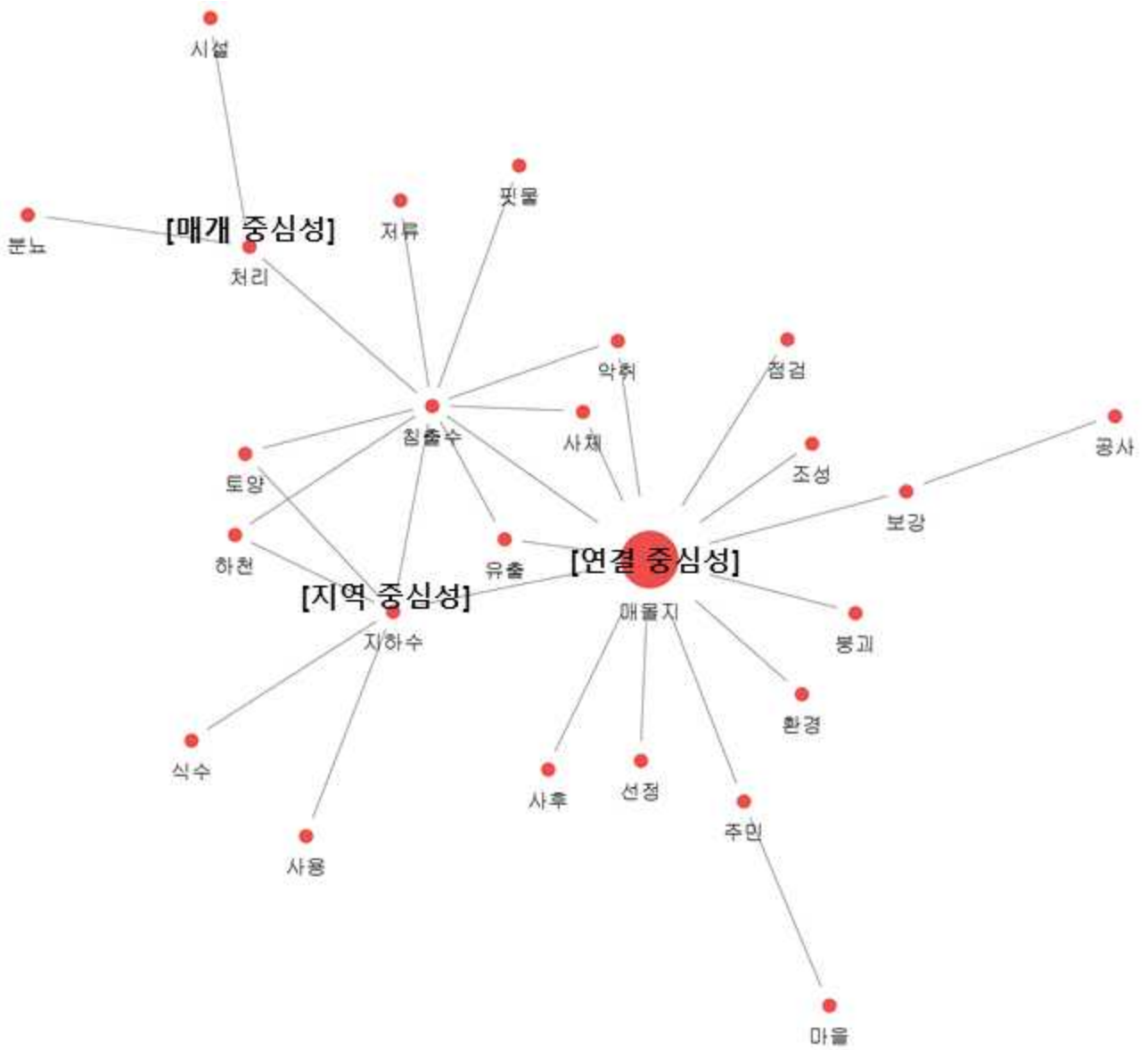
나-3. 매개 중심성(Betweenness Centrality)

○ 매개중심성은 직접 연결되어 있지 않은 노드 간의 관계를 매개하는 정도를 전체 네트워크 수준에서 평가하는 지표다. 노드 간 상호의존성(pair-dependency)에 근거하여 네트워크의 중심성을 분석하며, 한 노드가 다른 모든 노드 간의 최단 경로(geodesic path, shortest path)에 나타나는 횟수를 기준으로 계산된다. 즉 특정 노드가 다른 노드 쌍 간의 경로에 더 많이 나타날수록 매개 중심성이 높다고 말하며, 이 지표는 네트워크에서 노드의 영향력(브로커 역할)을 의미한다.

○ 질병의 전파를 차단하기 위해서는 매개 중심성이 높은 농가를 예측하고 이 농가와 접촉을 사전에 차단하는 것이 효과적이라는 것을 의미한다. 또한, 매개 중심성이 높은 노드는 집단의 안전성 측면에서 중요한 의미를 갖는데 이를테면 매개 중심성이 높은 노드를 제거하는 경우 전체 네트워크는 작은 서브 그룹으로 분할된다.

나-4. 지역 중심성(Community Centrality)

○ 한 노드가 그 연결된 집단(Community)의 형성에 얼마나 큰 영향을 미칠 수 있는지를 측정한다. 즉, 지역 중심성이 높을수록 이 노드는 Local Neighborhood에서 영향력이 높다. 이는 특정 지역에서 질병의 전파·확산에 중요한 역할을 한 농가를 찾아내는데 효과적이다.



<그림 ②-74. 네트워크 분석에서 중심성의 개념>

다. 분석 자료

- 2014-15 FMD 발생 농가

- 2016-17 HPAI 발생 농가

라. 2014-15년 FMD 발생 농가 네트워크 분석

라-1. 2014-15년 FMD 발생 농가 네트워크 특징

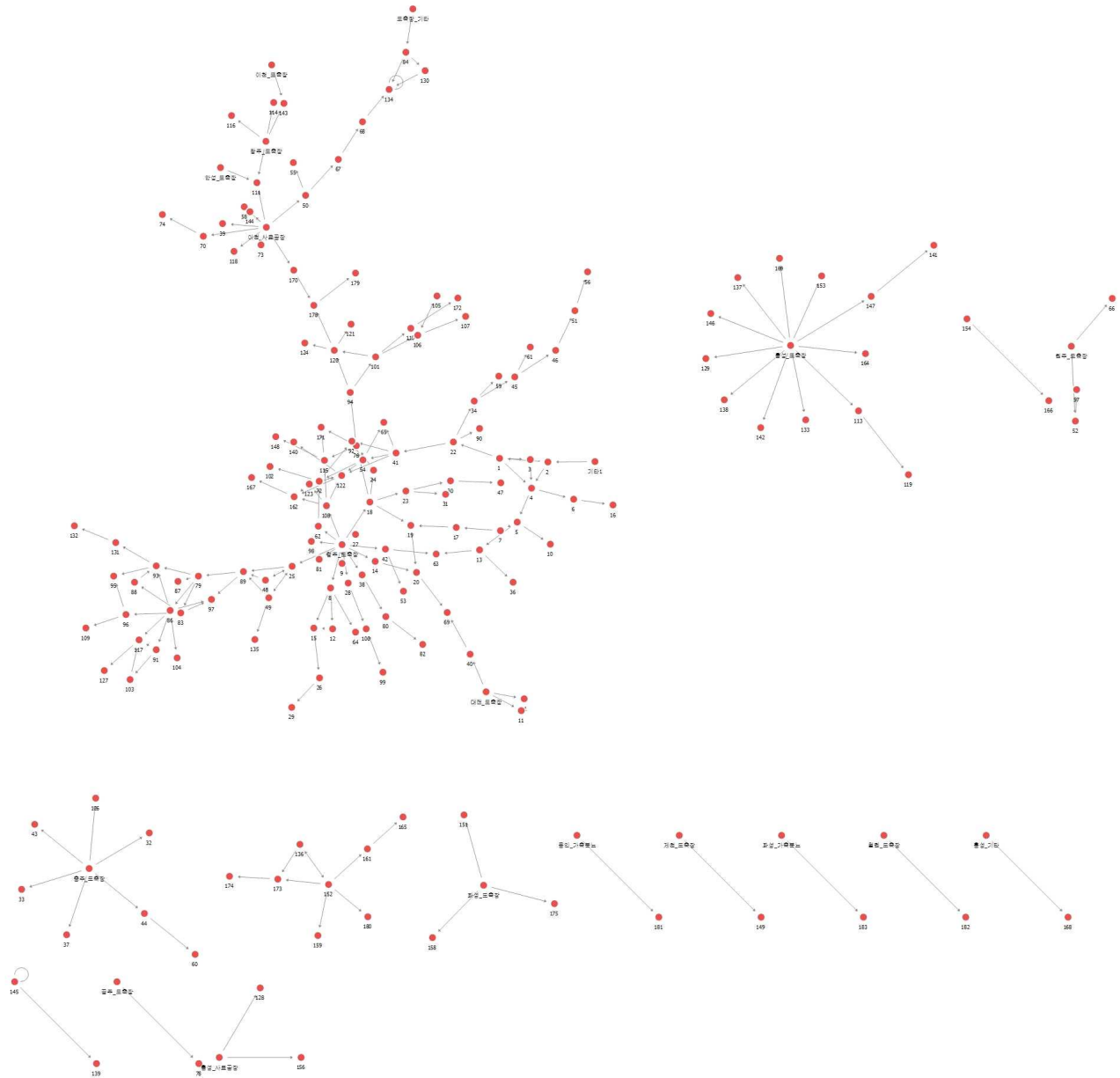
- 2014-15년 FMD 발생 농가의 질병역학 관계 네트워크는 크게 경기남부와 충청지역의 네트워크 집단과 그 외 도축장 등 축산시설과 연결된 단일 네트워크 등 모두 15개의 네트워크로 구성된다.
 - 충청도와 경기남부 지역에서 발생한 FMD가 213개 발생농가 중 167개(78.4%) 농가를 포함하는 가장 큰 네트워크를 형성한다.
 - 그 외 홍성도축장, 충주 도축장, 화성 도축장, 원주 도축장, 공주 도축장, 용인 가축분뇨시설, 홍성 사료공장 등을 중심으로 한 소규모 독립된 네트워크 들이 존재한다.
 - 도축장이나 사료공장 등 관련 축산시설과의 연결관계가 확인되지 않은 유입농가(152번 농가, 154번 농가, 145번 농가 등)의 경우는 해당 농가로 바이러스가 유입된 경로를 확인하지 못한 결과이다.

- 특히 청주의 도축장이 바이러스에 오염되면서 주변 도축장과 접촉한 주변 농가지역으로 광범위하게 바이러스가 전파된 후, 이들 농가와 접촉한 제3의 농가로 전파·확산되는 경향을 보였다.

- 그에 비하여, 2~3개의 노드로 구성된 단순 네트워크는 축산시설로부터 유입된 바이러스가 제3의 농가로 전파되지 않고 방역이 이루어진 사례를 보여준다.

- 따라서 2014-15년 FMD의 전파·확산을 볼 때, 도축장 등 축산시설이 오염된 상황에서 축산시설로부터 바이러스가 유입된 1차 감염 농가에 대한 방역 성과에 따라 조기 차단 또는 주변 지역으로의 광범위한 확산이라는 결과가 초래되었다.

- 충청도와 경기남부 일대에서 발생한 FMD 네트워크에서 연결중심성, 매개중심성, 지역중심성이 각각 높은 농가나 축산시설은 다음과 같다.
 - 연결중심성의 경우 도축장이 높게 나타났다. 즉, 도축장으로 유입된 바이러스가 도축장을 매개로하여 주변 농가로 확산되었음이 확인되었다.
 - 다만, 도축장으로의 바이러스 유입경로는 역학조사보고서에서 제시하지 못하고 있다.



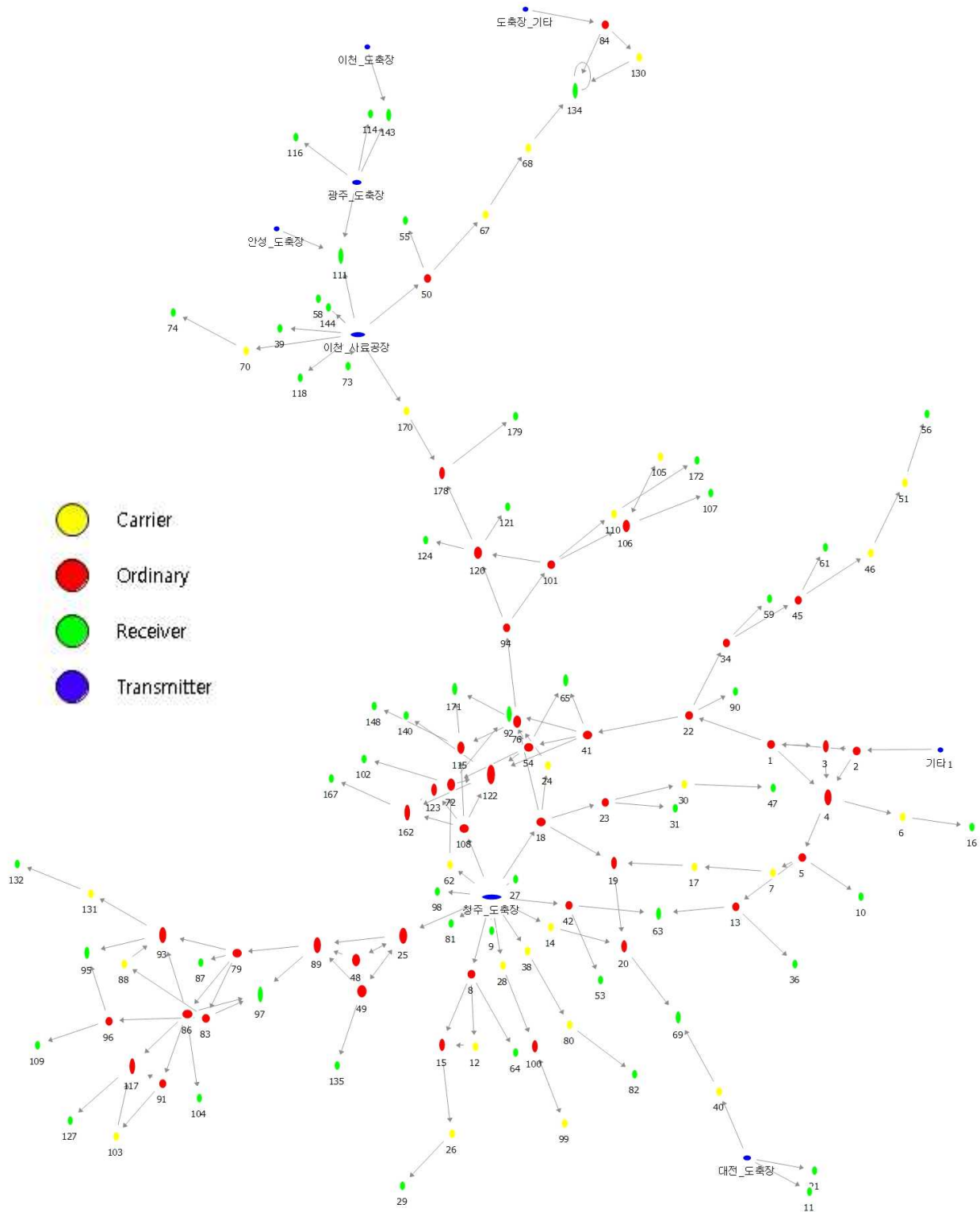
<그림 ②-75. FMD 2014-15년 : 발생 농가 네트워크>

라-2. 연결 중심성(Degree Centrality)

- 네트워크 분석에서 연결 중심성은 직접적으로 해당 노드(축산시설 또는 농가)와 연결된 노드(농가)가 많을수록 높다.
 - 질병의 전파·확산 네트워크는 방향성을 지니는 네트워크이므로, 연결 중심성 평가에는 바이러스의 유입과 유출이 모두 반영된다.
- 2014-15년 FMD 네트워크의 연결 중심성을 살펴보면, 바이러스 유입에 대한 정보가 없는 축산시설(도축장, 사료공장 등)보다는 유입과 유출에 관한 정보를 포함하고 있는 감염 농가에서 연결 중심성이 높게 나타났다.

- 이들 농가는 결과적으로 해당 지역에서 초기에 바이러스를 전파·확산시키는데 중요한 역할을 한 농가들이다.
 - 연결 중심성이 가장 높은 농가는 천안(122번)이었고, 진천(4번), 청주(25번), 홍성(89, 97, 117번), 충주(93번), 용인(111번), 보령(92번), 아산(162번), 안성(134번) 농가가 다음으로 높은 순위를 보였다.

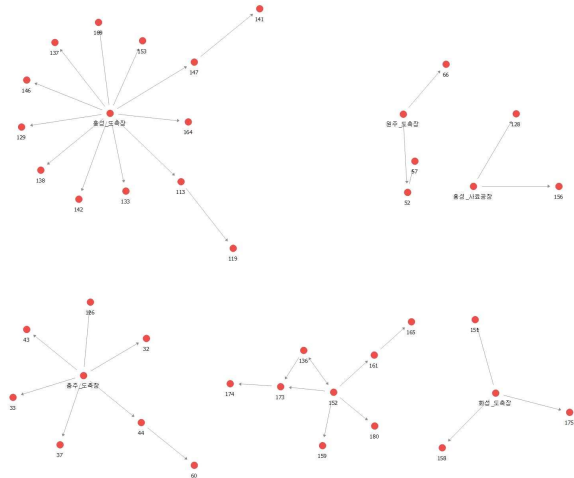
- 연결 중심성은 유입과 유출 특성에 따라 유입 중심성(In-Degree Centrality)과 유출 중심성(Out-Degree Centrality)으로 구분할 수 있다.
 - 유입 중심성은 바이러스가 외부로부터 많이 유입된 노드로 2014-15년 FMD의 경우에는 충청기도의 용인, 충청북도의 진천, 충청남도의 홍성, 천안에 위치한 농가가 바이러스 유입으로부터 취약한 농가로 나타났다.
 - 유출 중심성은 바이러스를 외부로 많이 전파 시킨 노드로 2014-15년 FMD의 경우에는 도축장과 사료공장 등의 축산시설이 주요 바이러스 유출원이었다.



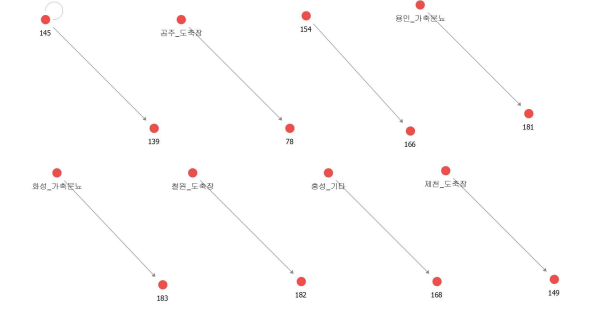
<그림 ②-76. 2014-15년 : 연결 중심성 네트워크(1)>

NUMBER OF NODE TYPE

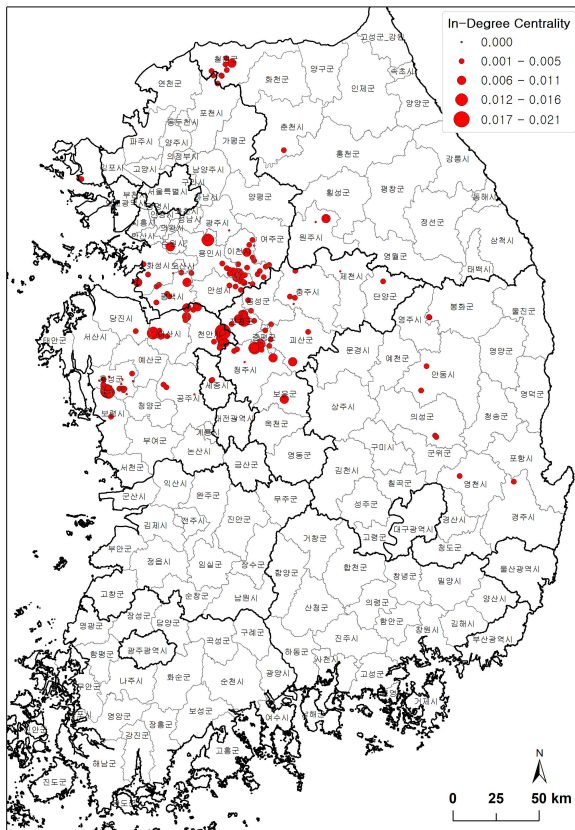
Isolate	Transmitter	Receiver	Carrier	Ordinary
0	21	89	31	47



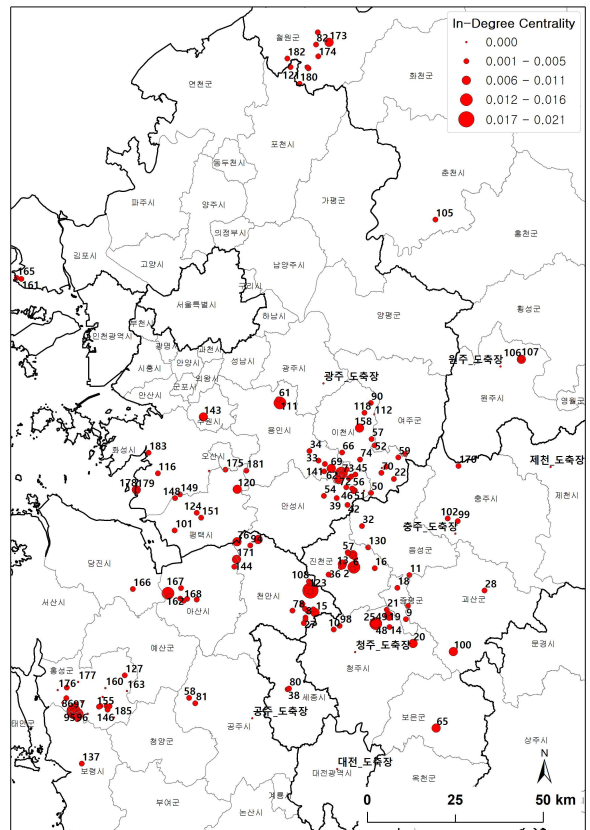
<그림 ②-78. FMD 2014-15년 : 연결 중심성 네트워크(2)>



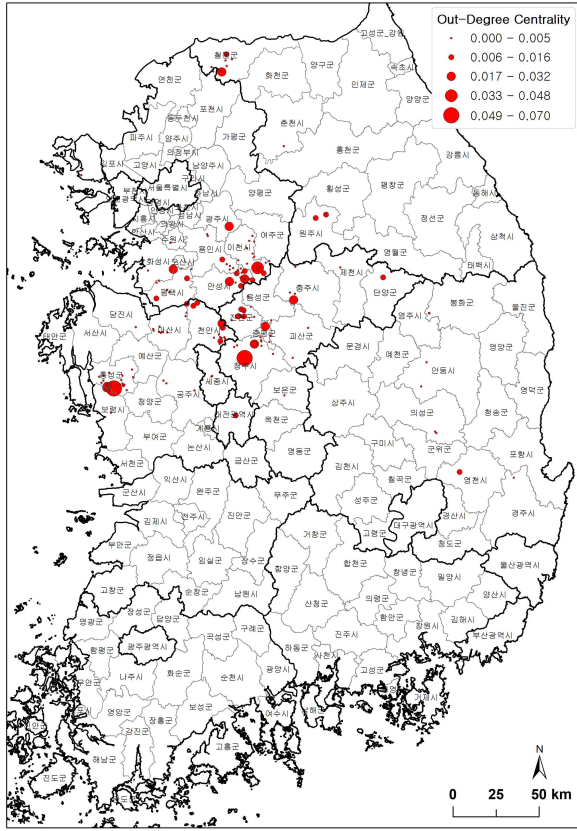
<그림 ②-79. FMD 2014-15년 : 연결 중심성 네트워크(3)>



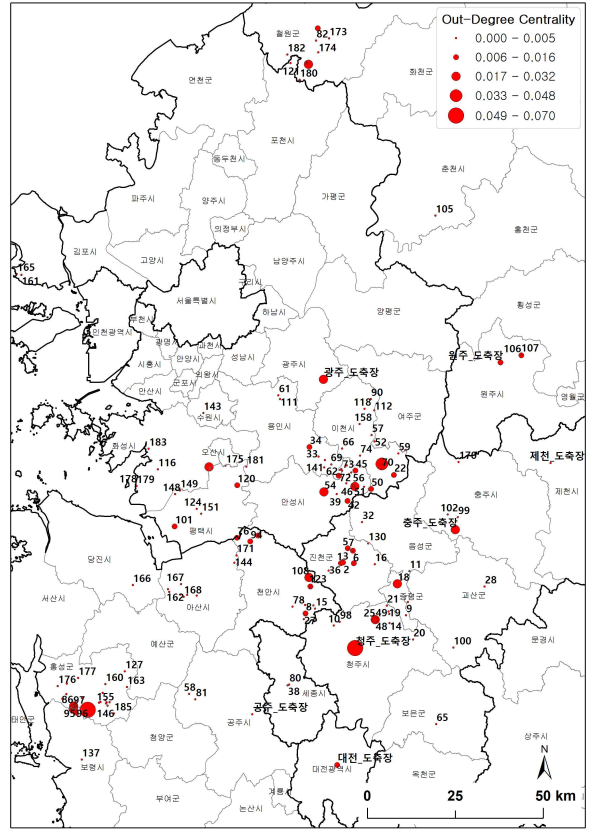
<그림 ②-80. FMD(2014-15) 바이러스 유입(In-Degree) 중심성>



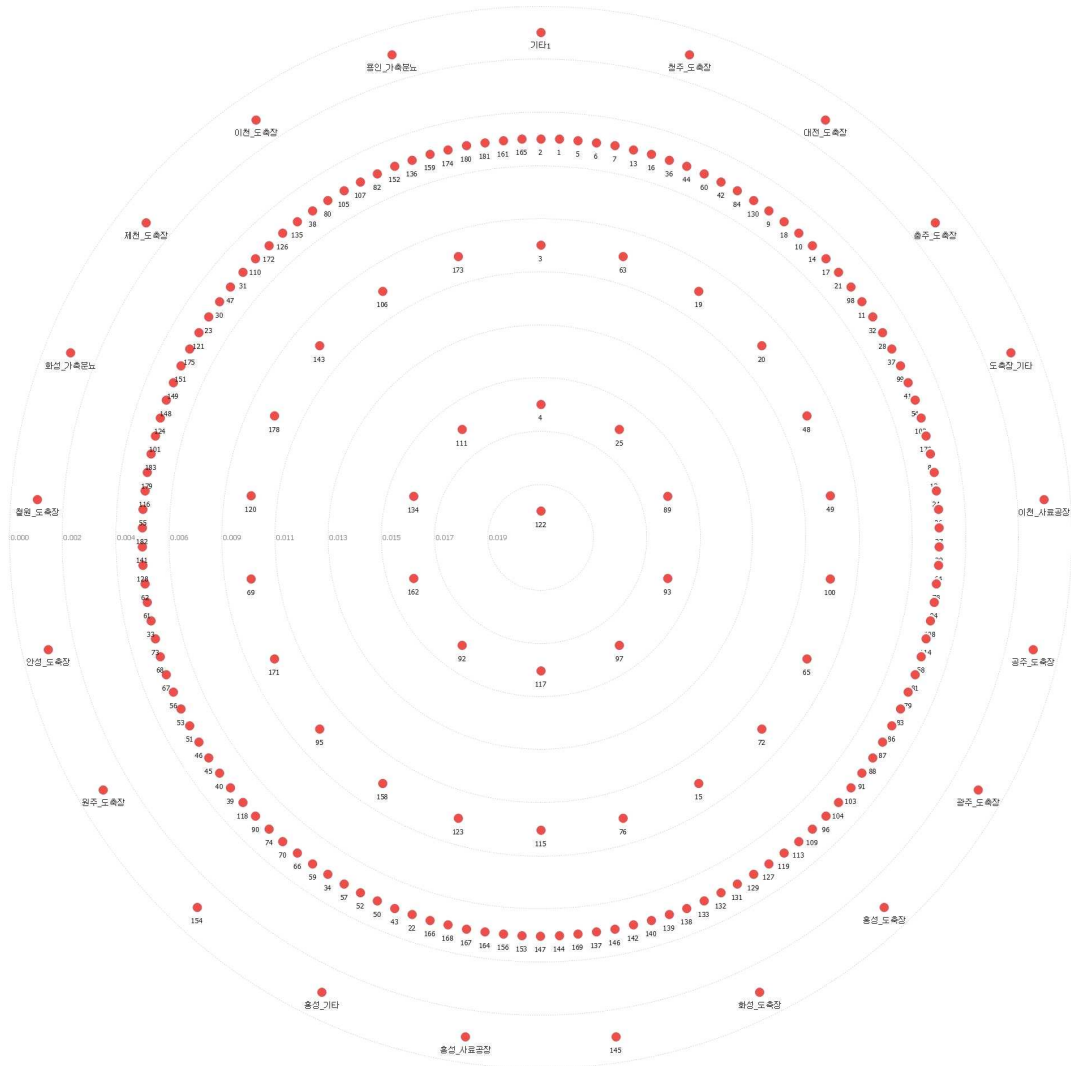
<그림 ②-81. FMD(2014-15) 바이러스 유입(In-Degree) 중심성 확대>



<그림 ②-82. FMD(2014-15) 바이러스
유출(Out-Degree) 중심성>



<그림 ②-83. FMD(2014-15) 바이러스
유출(Out-Degree) 중심성 확대>

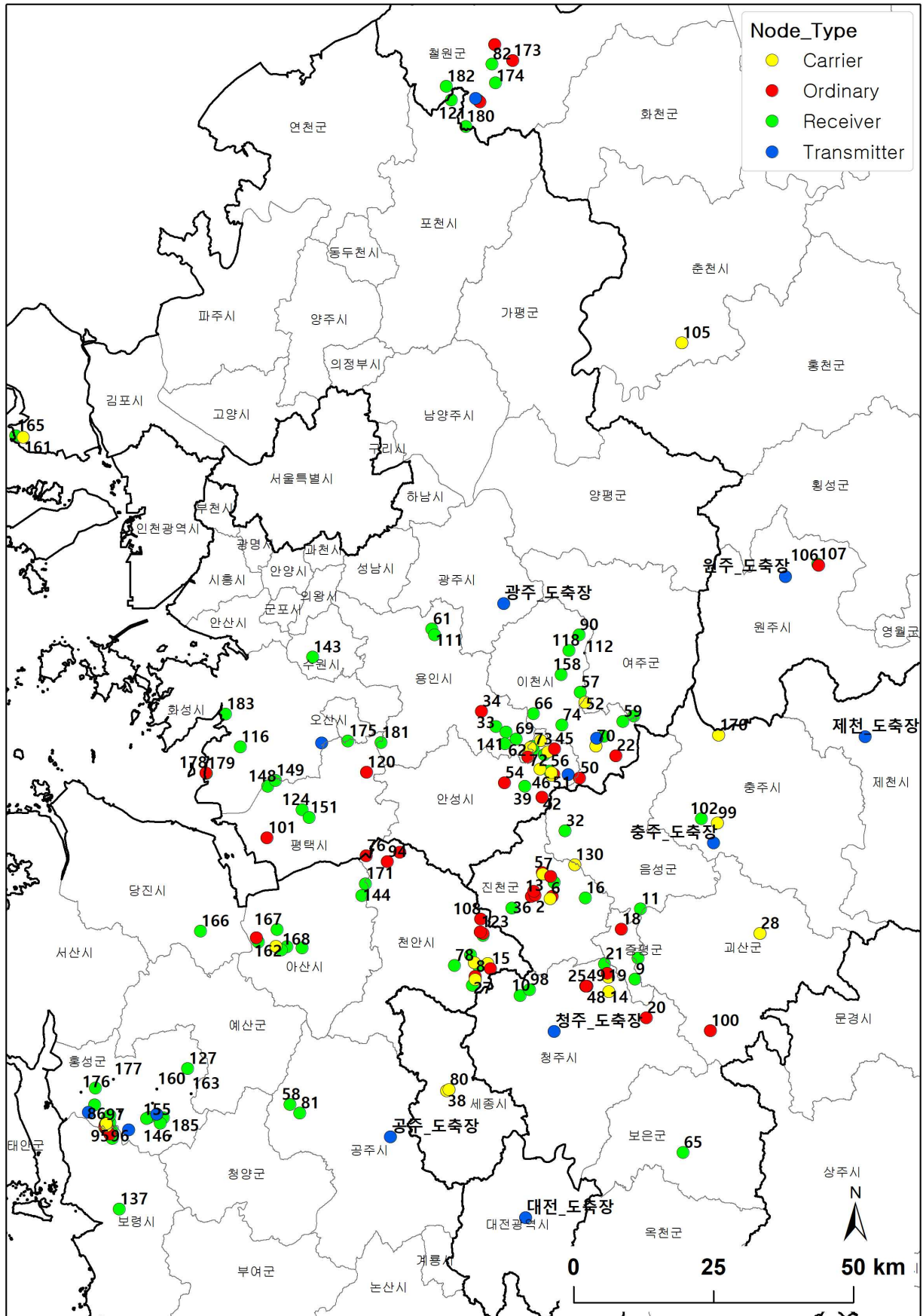


<그림 ②-84. MD 2014-15년 : 연결 중심성 동심원 지도>

라-3. 네트워크에서의 역할(Node Type)

- 2014-15년 FMD에서는 도축장과 사료공장과 같은 축산시설이 최초전파자 역할을 수행하였다.
- 질병발생 초기에 정확한 역학조사를 통하여 수신-전파자(Ordinary)들의 연결고리를 끊지 못하면 질병은 급속하게 주변 지역으로 확산한다.
 - 2014-15년 FMD에서는 경기도 안성과 충북 진천, 천안 지역에 수신-전파자가 집중적으로 분포한다.
 - 이들 농가는 주로 행정구역의 외곽 경계지역에 분포하는데, 이는 현재 행정구역 단위로 이루어지는 방역 정책의 변화가 필요함을 의미한다.
- 전달자(Carrier)의 경우 일반적으로 장거리 전파 또는 다른 권역(집단)으로 바이러스를 전파하는 역할을 한다.

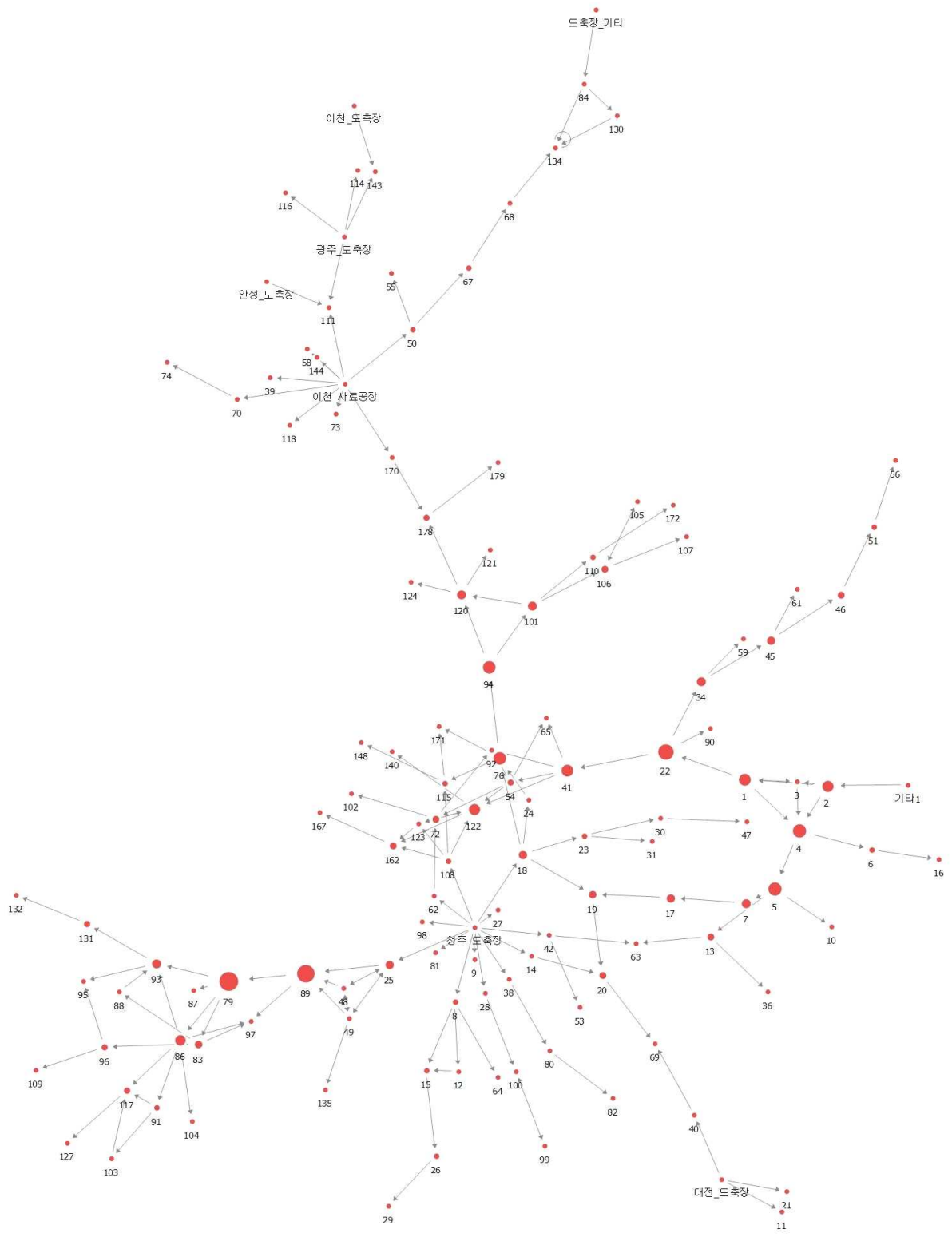
- 2014-15년 FMD의 경우 170번(이천 -> 화성) 농가가 그러한 역할을 수행하였다.
- 수신자(Receiver)는 네트워크의 가장 끝단에 위치하는 노드로서, 바이러스의 전파·확산이 종료된 농가로, 일반적으로 발생 농가 집단의 외곽 경계 부분에 위치한다.



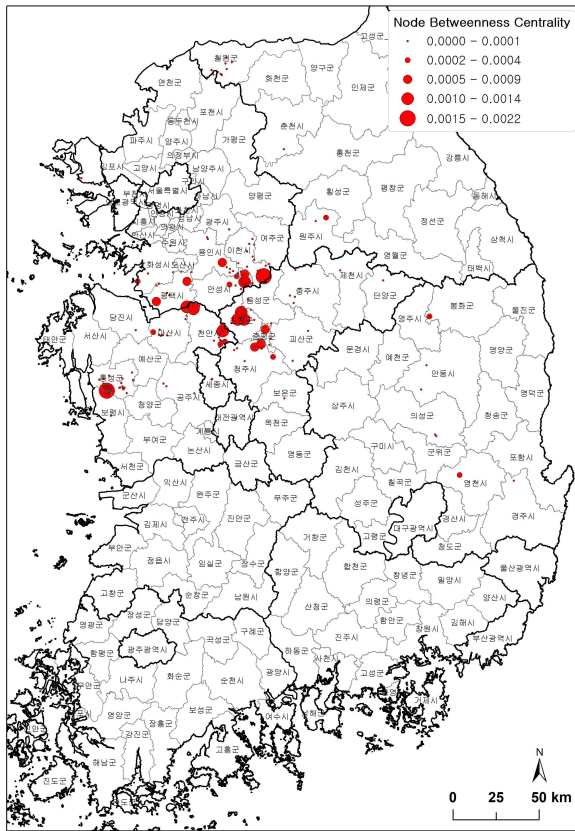
<그림 ②-85. FMD(2014-15) 네트워크에서 발생 농가의 역할>

라-4. 매개 중심성(Betweenness Centrality)

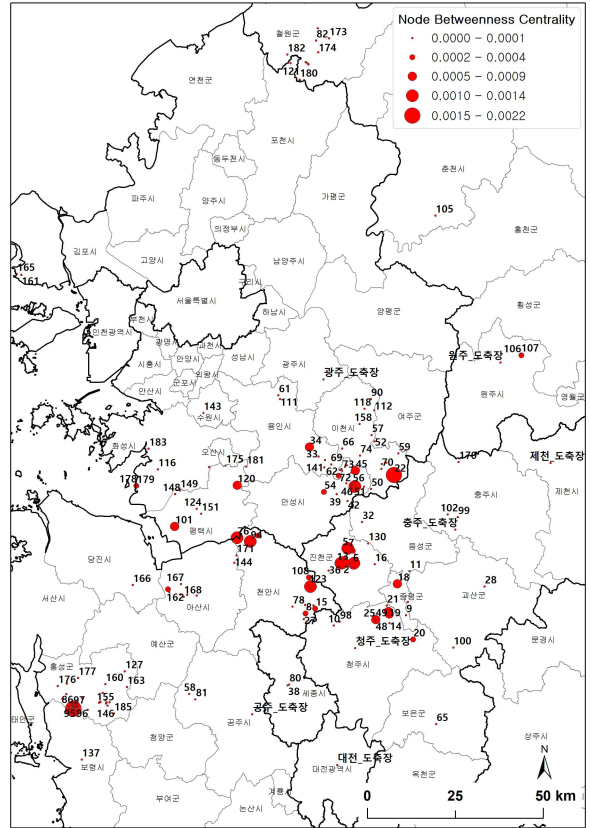
- 서로 다른 두 지역 사이의 연결고리를 하는 농가에서 매개 중심성이 높게 나타난다.
- 2014-15년 FMD의 경우에는 청주에서 홍성지역으로 바이러스를 전파한 홍성 소재 농가(89, 79번)의 매개 중심성이 높게 나타났다.
- 보령(92번)에서 평택(120번)으로 바이러스를 전파한 천안의 94번 농가도 매개 중심성이 높은 농가다.
- 진천(1번)으로부터 바이러스를 전파받아 안성(41번)과 용인(34번)으로 바이러스를 전파한 이천의 22번 농가 또한 매개 중심성이 높은 농가이다.
- 이처럼 매개 중심성이 높은 농가는 바이러스를 전파받아 행정구역 경계를 넘어서 타 권역을 오염시키는 주요 요인이다.



<그림 ②-86. FMD 2014-15년 : 매개 중심성>



〈그림 ②-87. FMD(2014-15) 매개 중심성〉



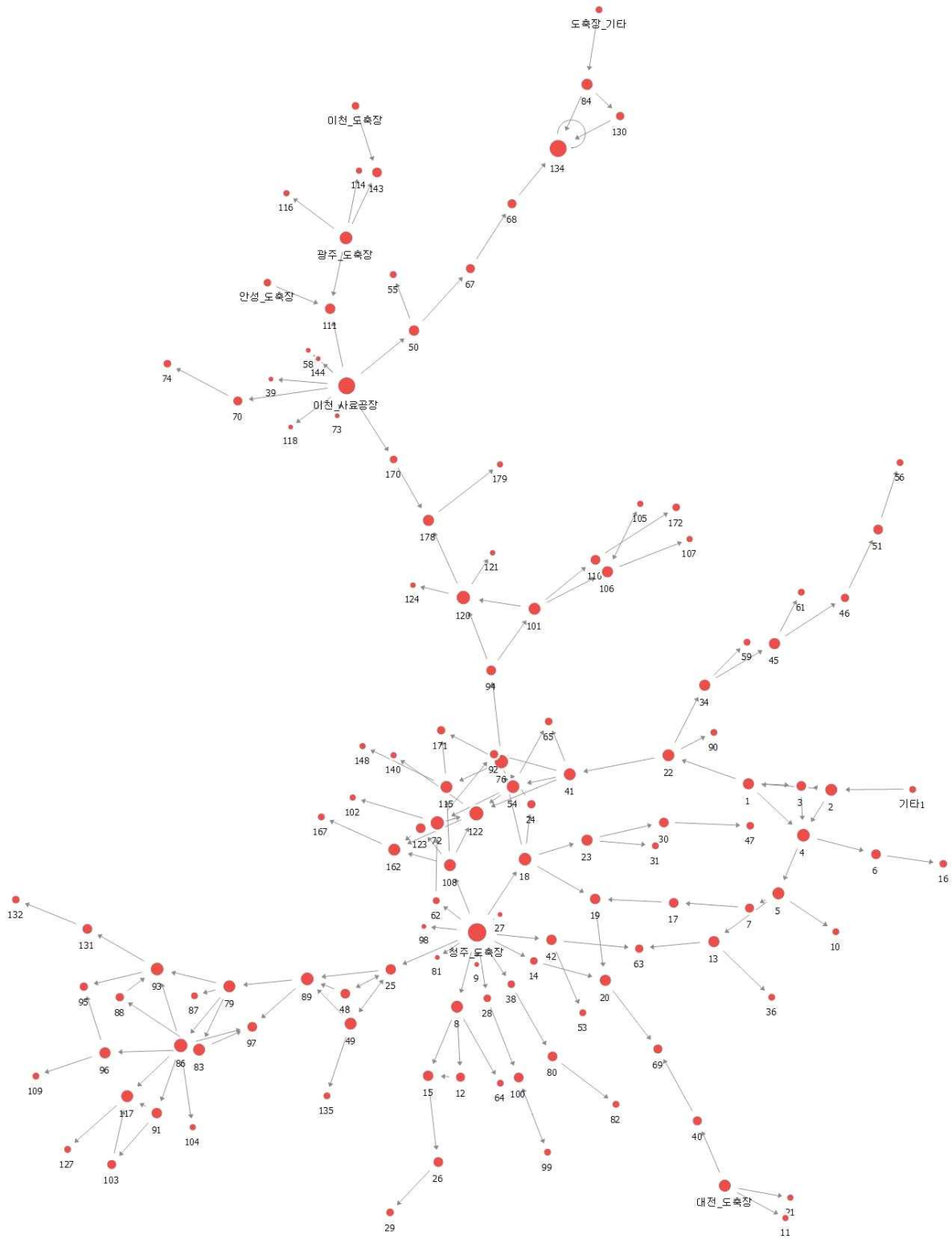
〈그림 ②-88. FMD(2014-15) 매개 중심성 확대〉

라-5. 지역 중심성(Community Centrality)

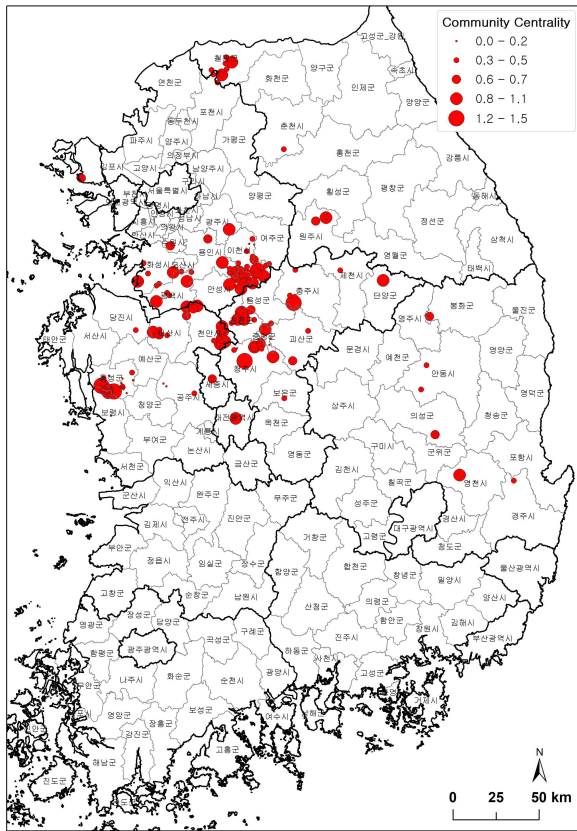
- 지역 중심성은 네트워크에서 특정 집단의 구심점 역할을 하는 노드를 의미하며, 2014-15년 FMD의 경우 도축장과 사료공장 등 축산시설들이 이러한 역할을 하였다.

- 그 외 134번(안성), 145번(홍성), 72번(용인), 76번(천안), 86번(보령), 120번(평택), 122번(천안), 152번(철원)의 지역 중심성이 높게 나타났다.

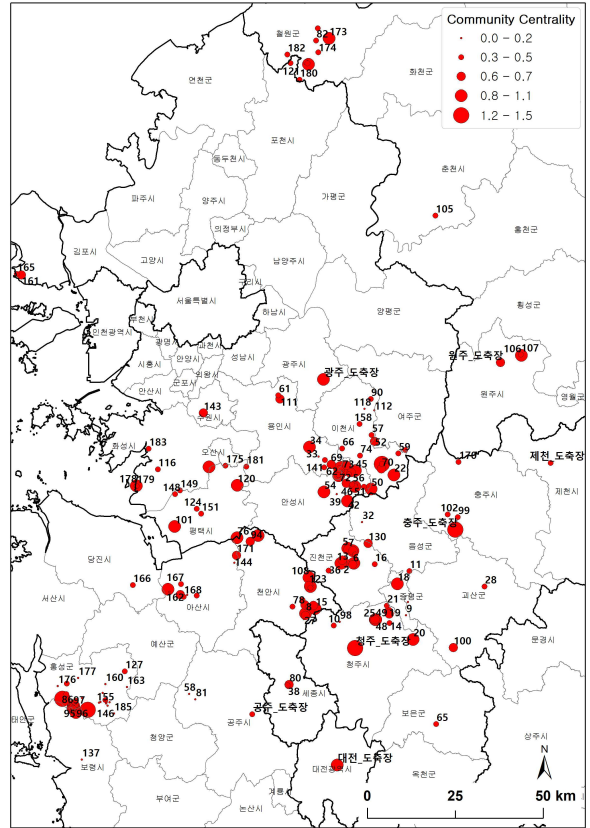
- 지역 중심성이 높은 농가들은 FMD 발생 시군별로 고르게 분포한다는 특징을 갖는데, 이는 해당 시군의 FMD 확산에 이들 농가가 핵심적인 역할을 하였음을 의미한다.



<그림 ②-89. FMD 2014-15년 : 지역 중심성>



<그림 ②-90. FMD(2014-15) 지역 중심성>



<그림 ②-91. FMD(2014-15) 지역 중심성 확대>

마. 2016-17 HPAI 발생 농가 네트워크

마-1. 2016-17년 HPAI 발생 농가 네트워크 특징

- HPAI 네트워크는 FMD 네트워크와 비교할 때, 네트워크 집단의 개수가 많다. 특히, 2~3개의 노드로 구성된 소규모 네트워크의 비율이 높은 것이 특징이다.
 - 2016-17년 HPAI는 크게 3개의 대집단과 10개 내외의 중집단, 그리고 다수의 소집단으로 구성된다.

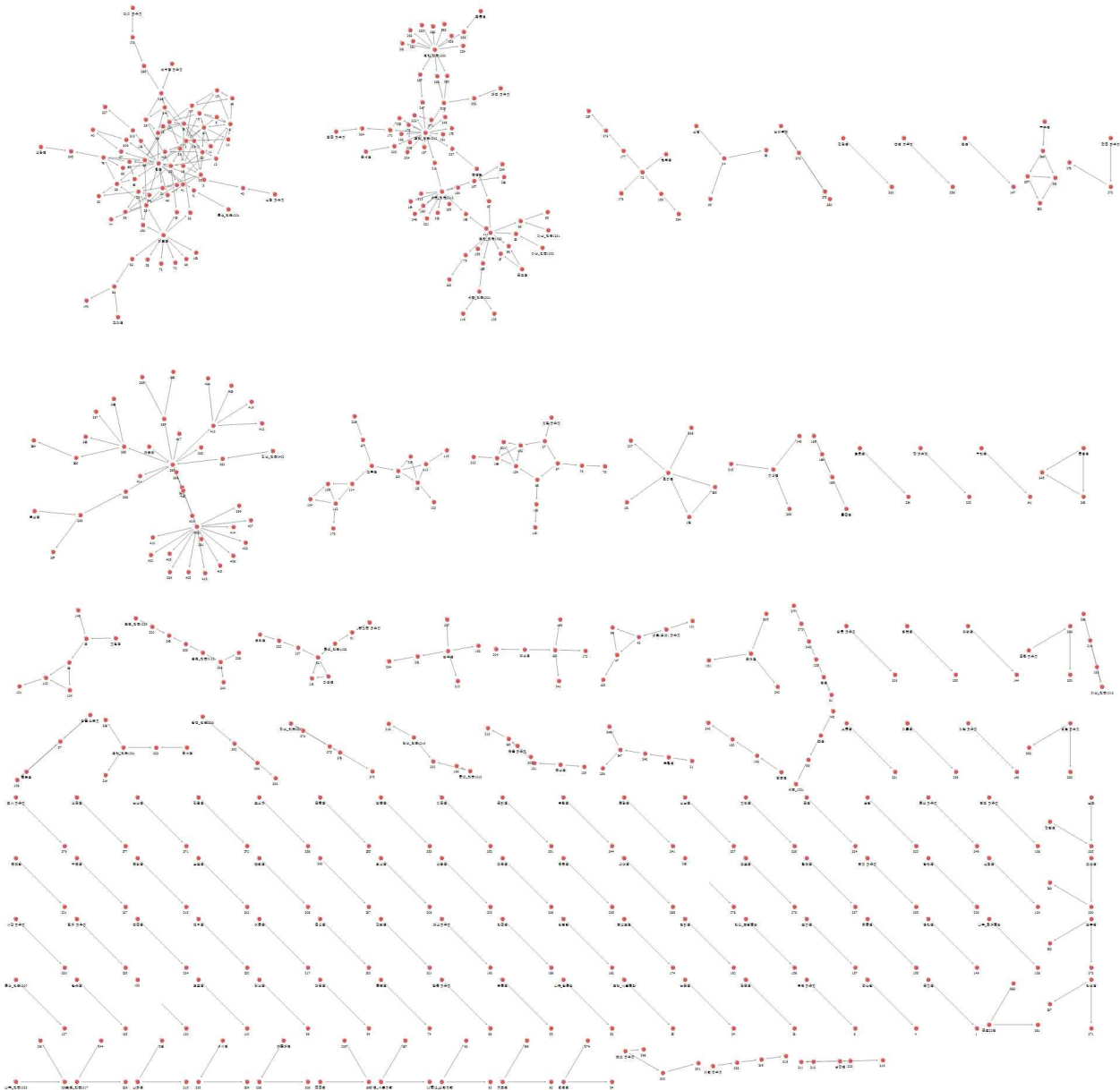
- 이러한 차이가 나타나는 가장 큰 이유는 HPAI의 경우 전국에 분포하는 철새를 통하여 농가로 직접 바이러스가 유입되는 사례가 많기 때문으로 판단된다.

- 또한, FMD와 비교할 때 바이러스 잠복 기간이 짧으므로 증상에 대한 조기 인지와 그에 따른 방역 조치가 빠르게 진행된 것도 단순 네트워크가 많은 이유일 것이다.

- 최초 바이러스 유입 지점이 하천이나 저수지인 경우가 대부분을 차지한다.

- 진천-음성 지역의 발생 농가를 제외하면 대부분 인접전파에 의한 감염 특성일 보임
 - 네트워크 상에서 단순한 부채살 모양을 띠는 경우가 여기에 해당한다.

- HPAI의 경우 2008년 이후 매년 빈번하게 발생함에 따라, 질병 발생 시 신속한 인지와 그에 따른 방역활동이 진행되었음을 네트워크를 통하여 확인할 수 있었다.

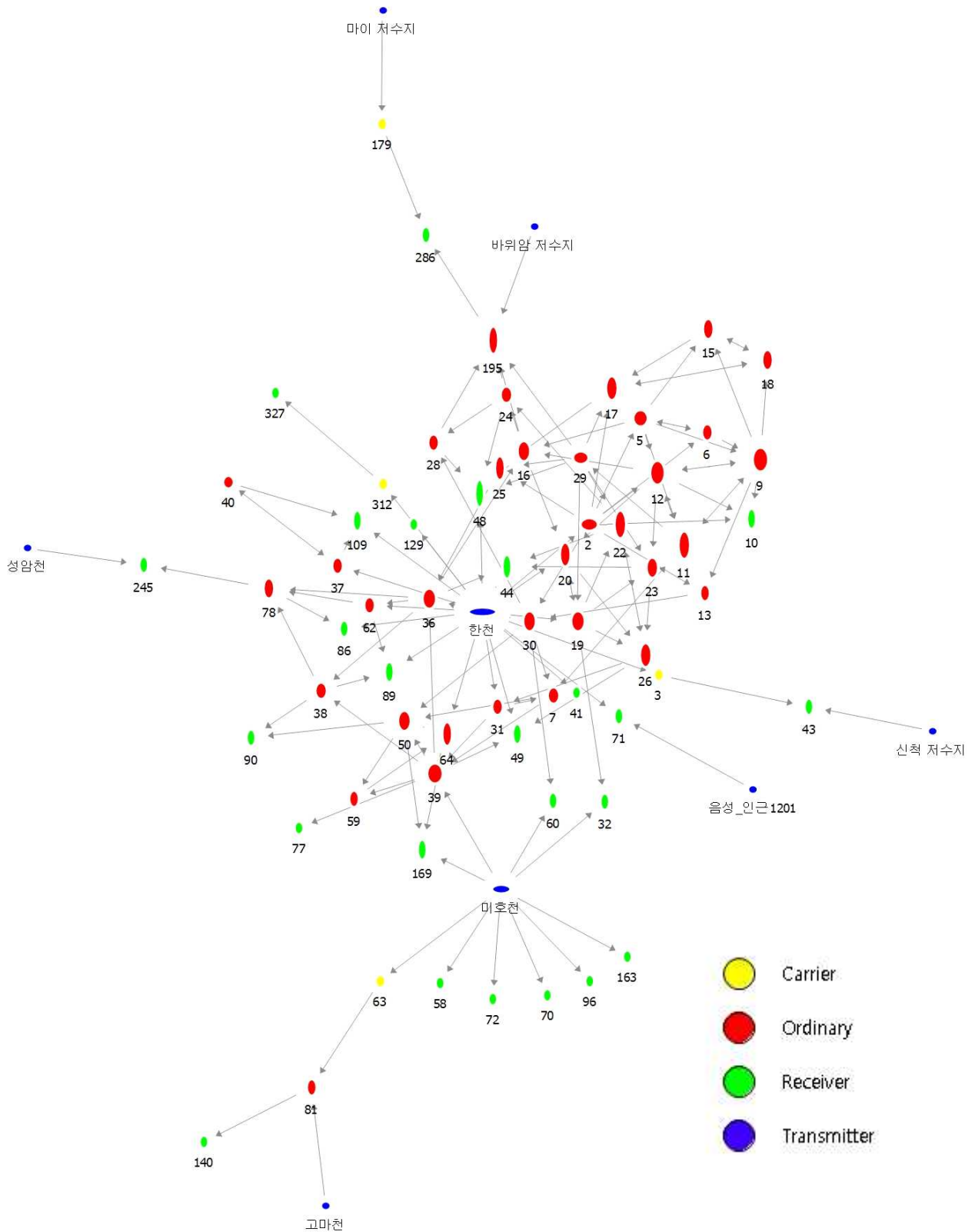


〈그림 ②-92. HPAI 2016-17년 : 발생 농가 네트워크〉

마-2. 연결 중심성(Degree Centrality)

- 2016-17 HPAI 네트워크 분석에서 도출된 3개의 대집단에 대하여 연결 중심성을 분석하였다.
- 연결 중심성 분석 결과 한천을 중심으로 한 충청북도 음성과 진천 일대에서 발생한 HPAI 네트워크가 가장 크며, 네트워크 관계 또한 가장 복잡하다.
 - 이렇게 복잡한 네트워크가 형성된 원인으로는 초기의 방역 실패와 해당 지역에 농가가 밀집함으로 인하여 농가 간 접촉이 빈번하게 발생하였기 때문이다.
 - 또한, 주변에 철새 서식에 유리한 하천이나 저주지 등이 다수 분포함으로 인하여 다양한 경로로 바이러스가 유입되었기 때문으로 추정된다.

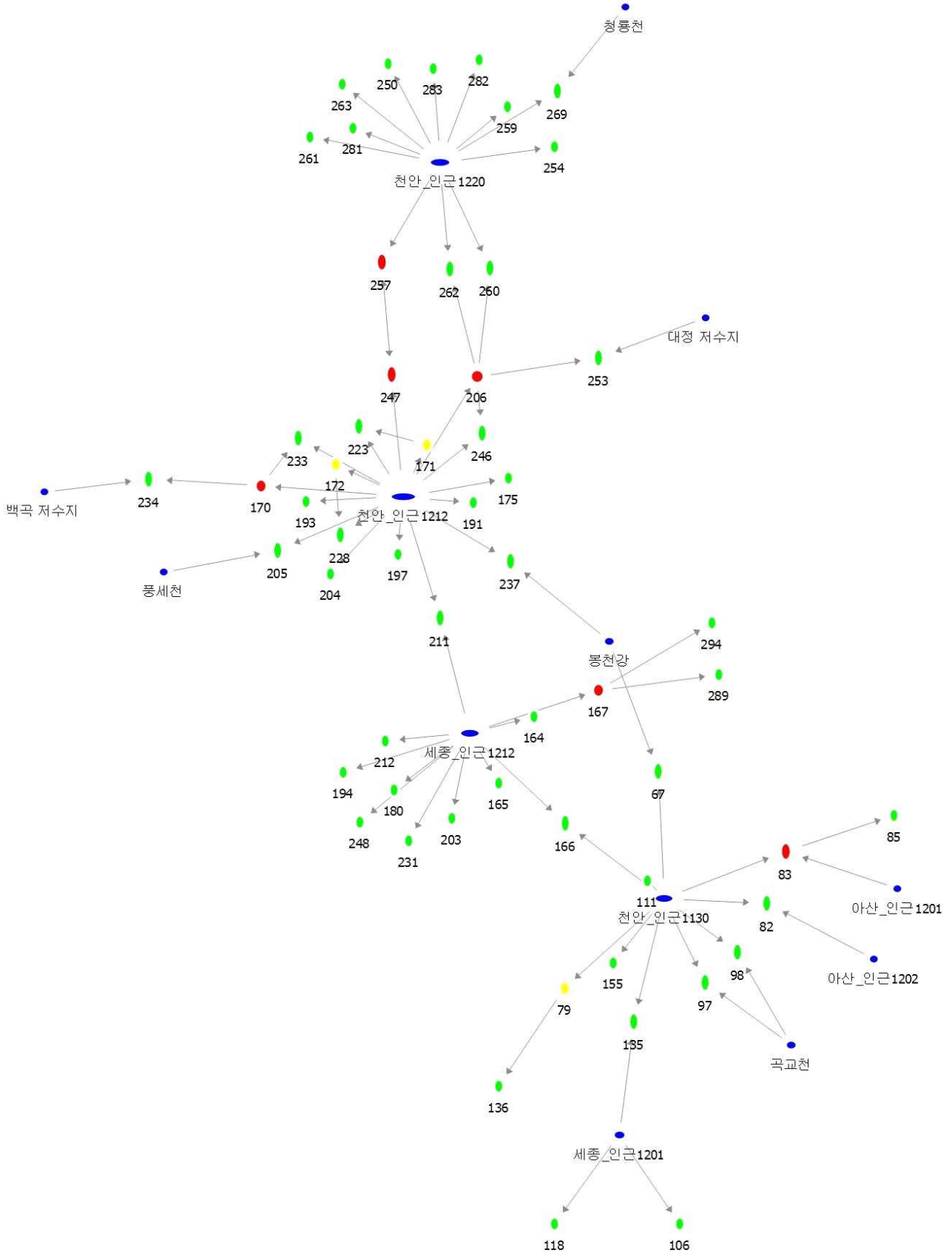
- 이 지역이 2016-17년 HPAI 발생 단계로 볼 때 초기에 해당한다는 점도 전파·확산에 영향을 미쳤을 것이다.
- 반면에 천안 지역에서 발생한 HPAI의 경우 대부분의 농가에서 초기에 바이러스의 유입을 인지하고 신속한 방역이 이루어졌기 때문에 2-3차 전파·확산이 이루어지지 않았다.
- 군산에서 발생한 HPAI는 제주도, 부산, 전라북도 임실 등 장거리 전파·확산의 경향을 보였다.
 - 군산의 388번 육계 농가는 제주도(386번), 부산(387번), 전라남도 장흥(366), 전라북도 임실(412번) 등으로 바이러스를 장거리 전파·확산시켰다는 점에서 특징적이다.
- 그 외, 고부천이 바이러스의 진앙지로 의심되는 전라북도 정읍의 경우도 비록 네트워크 규모는 작지만, 초기 방역에 실패함으로써 2-3차 감염이 진행된 사례이다.
- 연결 중심성 중 유입 중심성이 높은 지역은 충청북도 음성과 진천 일대로 나타났으며, 유출 중심성이 높은 지역은 전라북도 군산과 익산 지역으로 나타났다.
 - 따라서, 음성과 진천 지역의 경우 철새 등으로부터 바이러스가 유입되지 않도록 하기 위한 방역활동이 필요하며,
 - 군산과 익산 지역은 HPAI의 조기 발견 및 외부 확산을 최소화 하기 위한 방역활동이 필요하다.



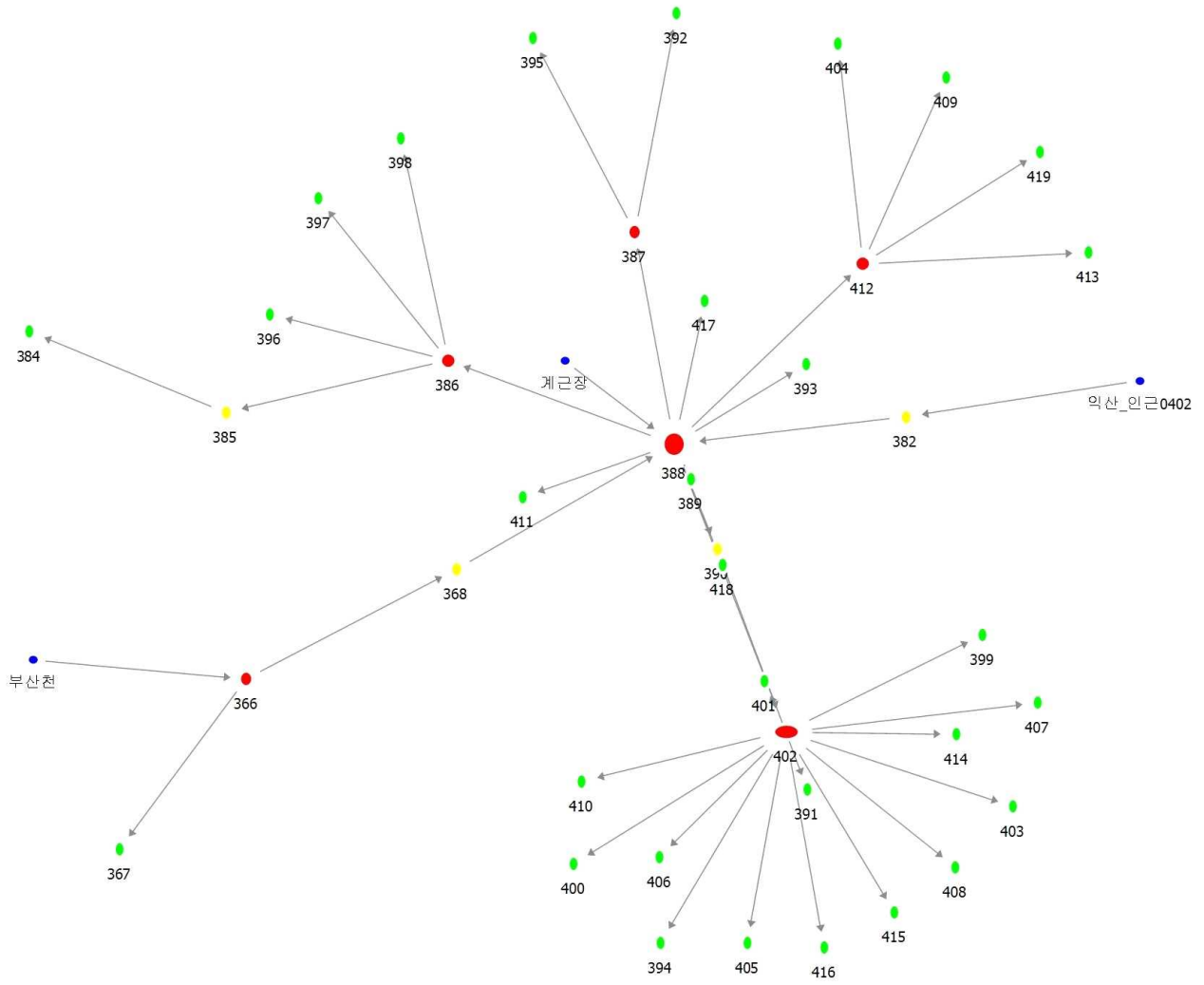
<그림 ②-93. HPAI 2016-17년 : 연결 중심성 네트워크(1)>

NUMBER OF NODE TYPE

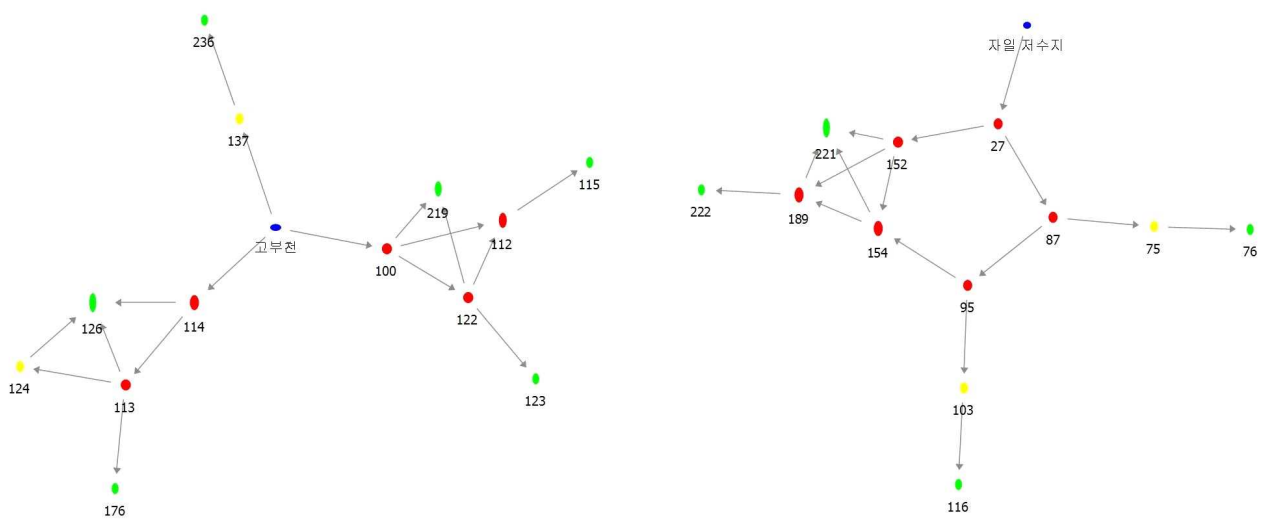
Isolate	Transmitter	Receiver	Carrier	Ordinary
0	160	289	48	77



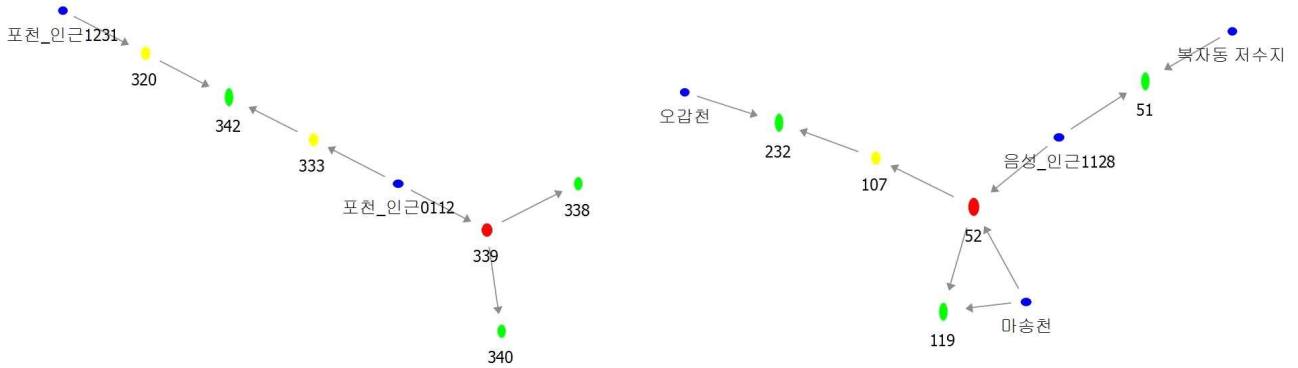
<그림 ②-94. HPAI 2016-17년 : 연결 중심성 네트워크(2)>



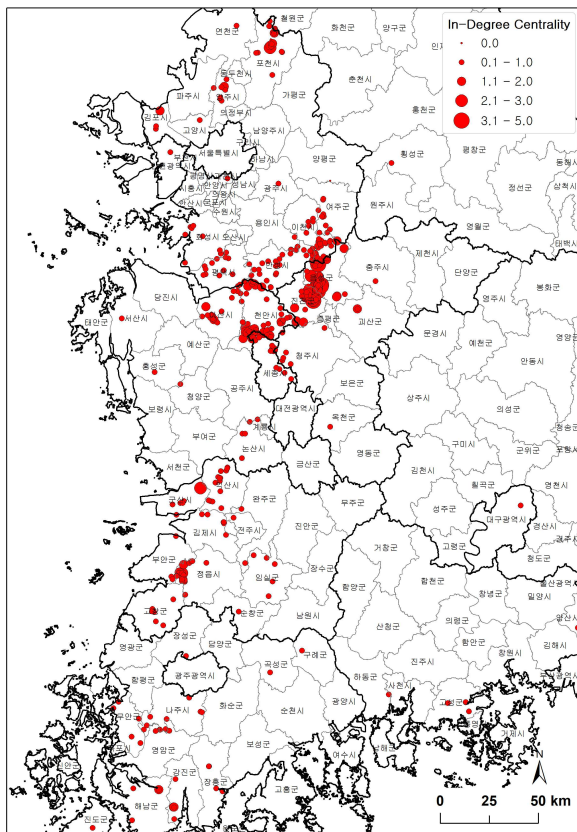
<그림 ②-95. HPAI 2016-17년 : 연결 중심성 네트워크(3)>



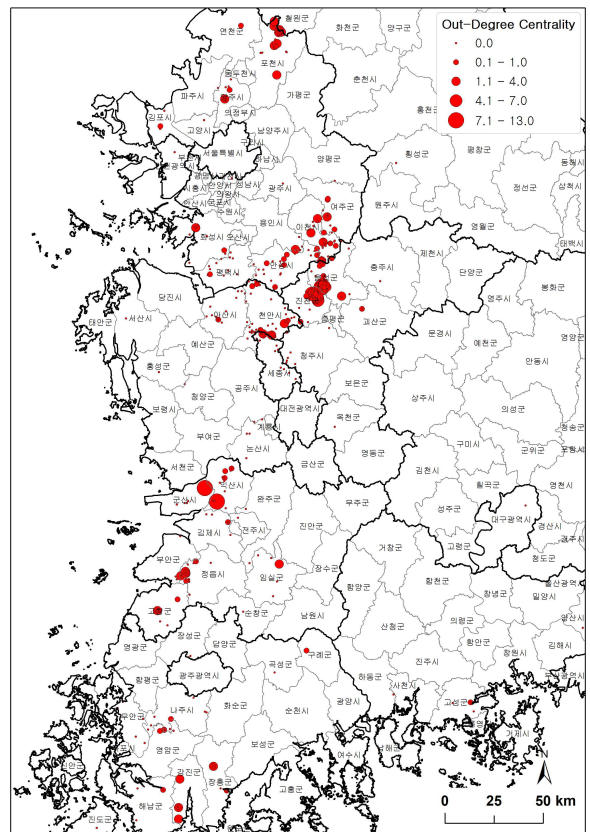
<그림 ②-96. HPAI 2016-17 : 연결 중심성 네트워크(4)>



<그림 ②-97. HPAI 2016-17년 : 연결 중심성 네트워크(5)>



<그림 ②-98. HPAI 2016-17년 연결 정도 : In-Degree>



<그림 ②-99. HPAI 2016-17년 연결 정도 : Out-Degree>

마-3. 네트워크에서의 역할(Node Type)

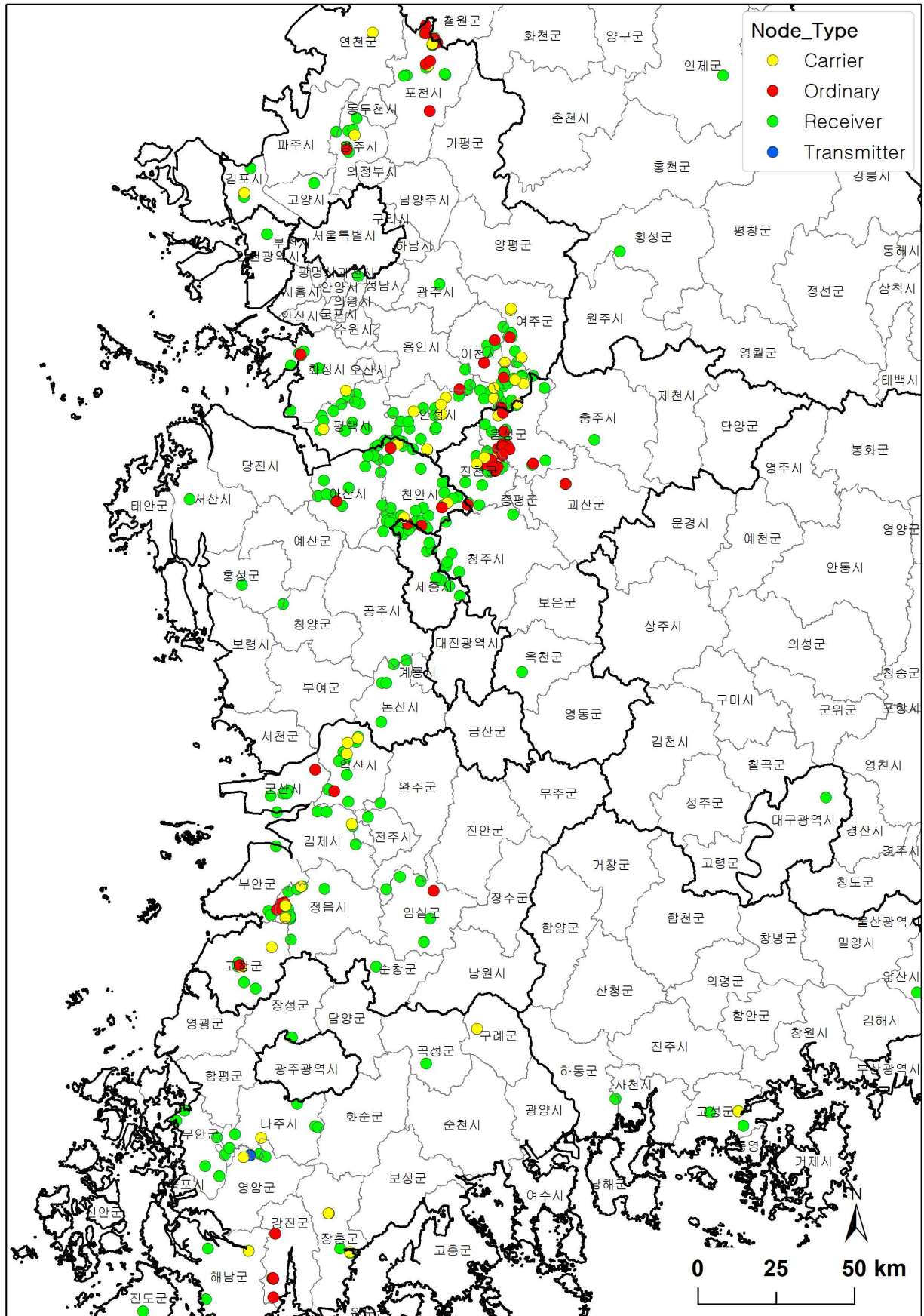
- 개별 농가 및 축산시설은 HPAI 네트워크를 형성하는 과정에서 각자 역할(Node Type)을 수행하게 된다.
 - 개별 농가와 축산시설의 역할은 최초전파자(Transmitter), 수신-전파자(Ordinary), 전달자(Carrier), 수신자(Receiver)의 4가지 유형으로 구분할 수 있다

- 최초전파자(Transmitter)를 초기에 인지하고 차단 방역을 적절하게 수행하지 못하면, 해당 노드(축산시설 또는 농가)와 접촉한 주변 농가로 바이러스는 빠르게 전파된다.
 - 2016-17년 HPAI에서는 하천과 저수지 등 철새 서식지역이 최초전파자 역할을 수행하였다.

- 수신-전파자(Ordinary)는 네트워크에서 일반적인 역할을 하는 노드로서,
 - 질병발생 초기에 정확한 역학조사를 통하여 이러한 연결고리를 끊지 못하면, 질병은 급속하게 주변 지역으로 확산한다.
 - 2016-17년 HPAI의 경우 수신-전파자가 주로 음성-진천 지역에 분포하는데, 이는 이 지역이 초기 바이러스의 전파·확산에 실패하였음을 의미한다.

- 전달자(Carrier)는 오염된 농가나 축산시설로 한 곳으로부터 바이러스가 유입되고 이렇게 유입된 바이러스를 제3의 농가로 한 곳으로 전파하는 역할을 수행한다.
 - 2016-17년 HPAI의 경우 경기남부 지역과 충청북도 지역의 농가들이 전달자 역할을 수행하였다.

- 수신자(Receiver)는 네트워크의 가장 끝단에 위치하는 노드로서, 바이러스의 전파·확산이 종료된 농가다.
 - 상대적으로 HPAI의 발생 빈도가 높은 경기 남부와 충청북도-충청남도-세종시 경계 지역에서 바이러스가 차단되었음을 확인할 수 있다.



<그림 ②-100. HPAI(2016-17) 네트워크에서 발생 농가의 역할>

마-4. 매개 중심성(Betweenness Centrality)

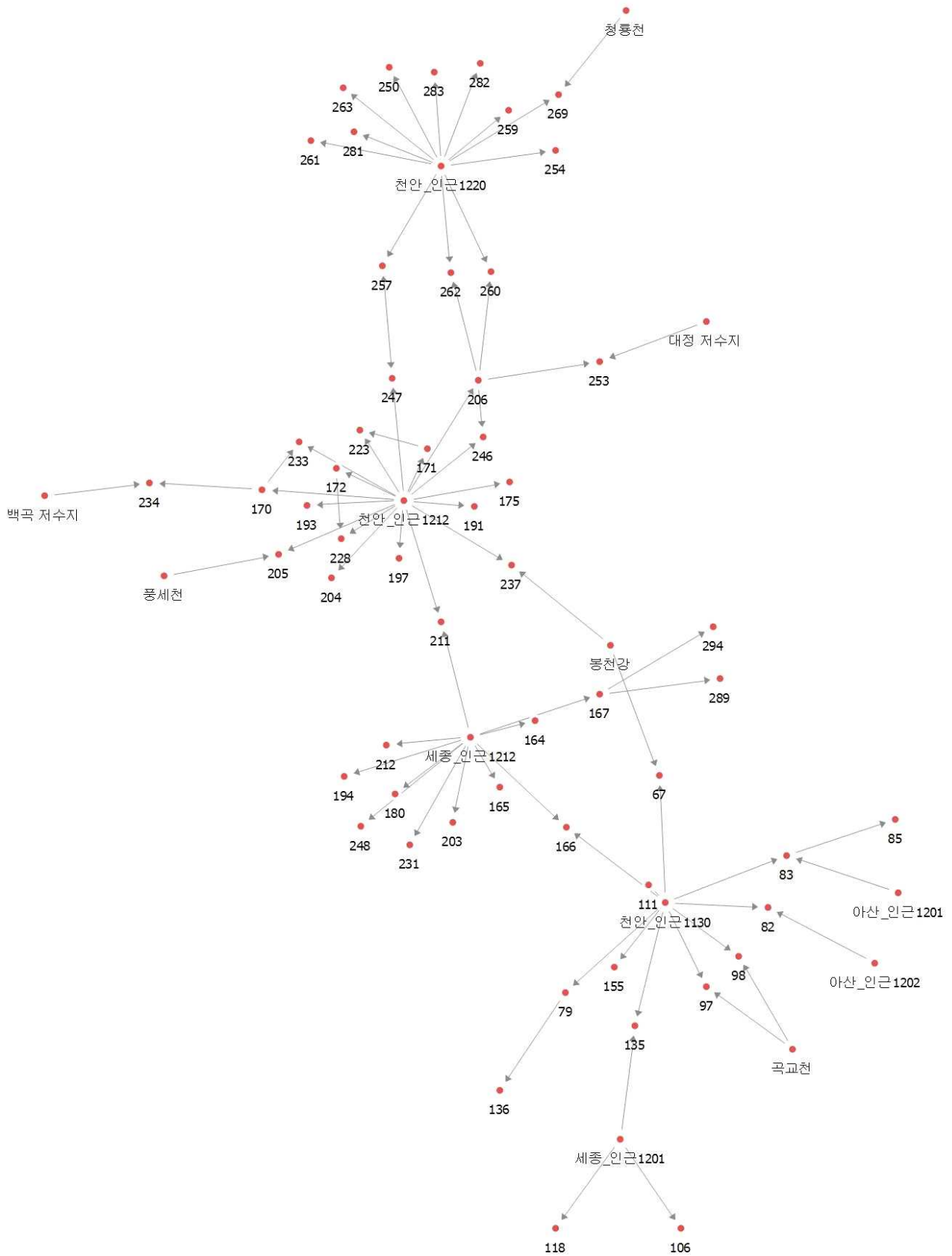
- 매개 중심성의 경우 HPAI 바이러스가 주변 집단으로 확산되는 과정에 연결고리를 하는 농가나 축산시설에서 높게 나타난다.

- 2016-17년 HPAI의 경우 초기 방역에 실패한 음성-진천 일대의 농가에서 매개 중심성이 높게 나타난다.
 - 충청북도 음성(7번, 16번, 11번, 26번, 31번)과 충청북도 진천(36번)에 입지하는 농가에서 상대적인 매개 중심성이 높게 나타났다.

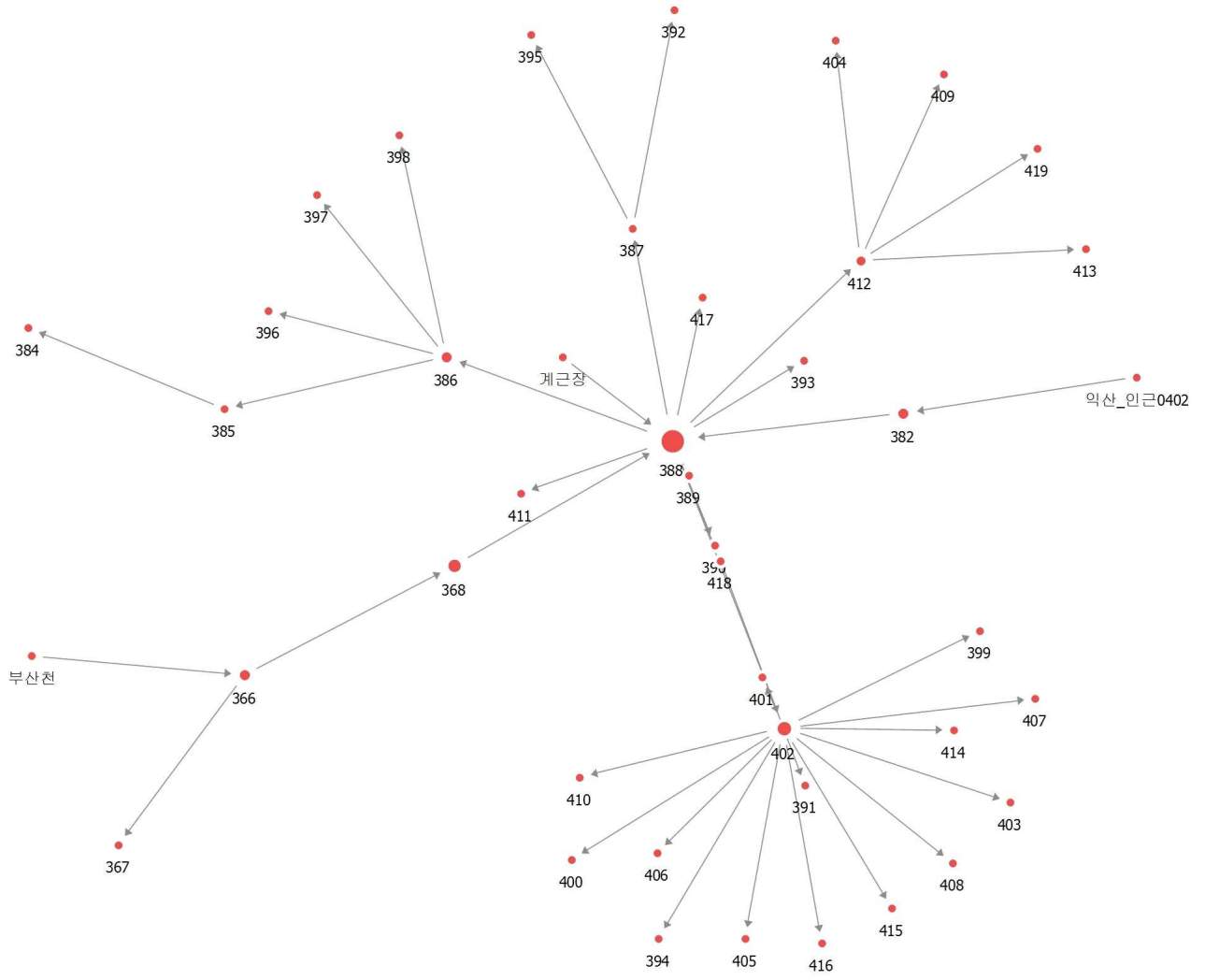
- 그 외, 바이러스를 장거리 전파·확산시킨 군산의 388번 농가에서 매개 중심성이 높게 나타났다.



<그림 ②-101. HPAI 2016-17년 : 매개 중심성 네트워크(1)>



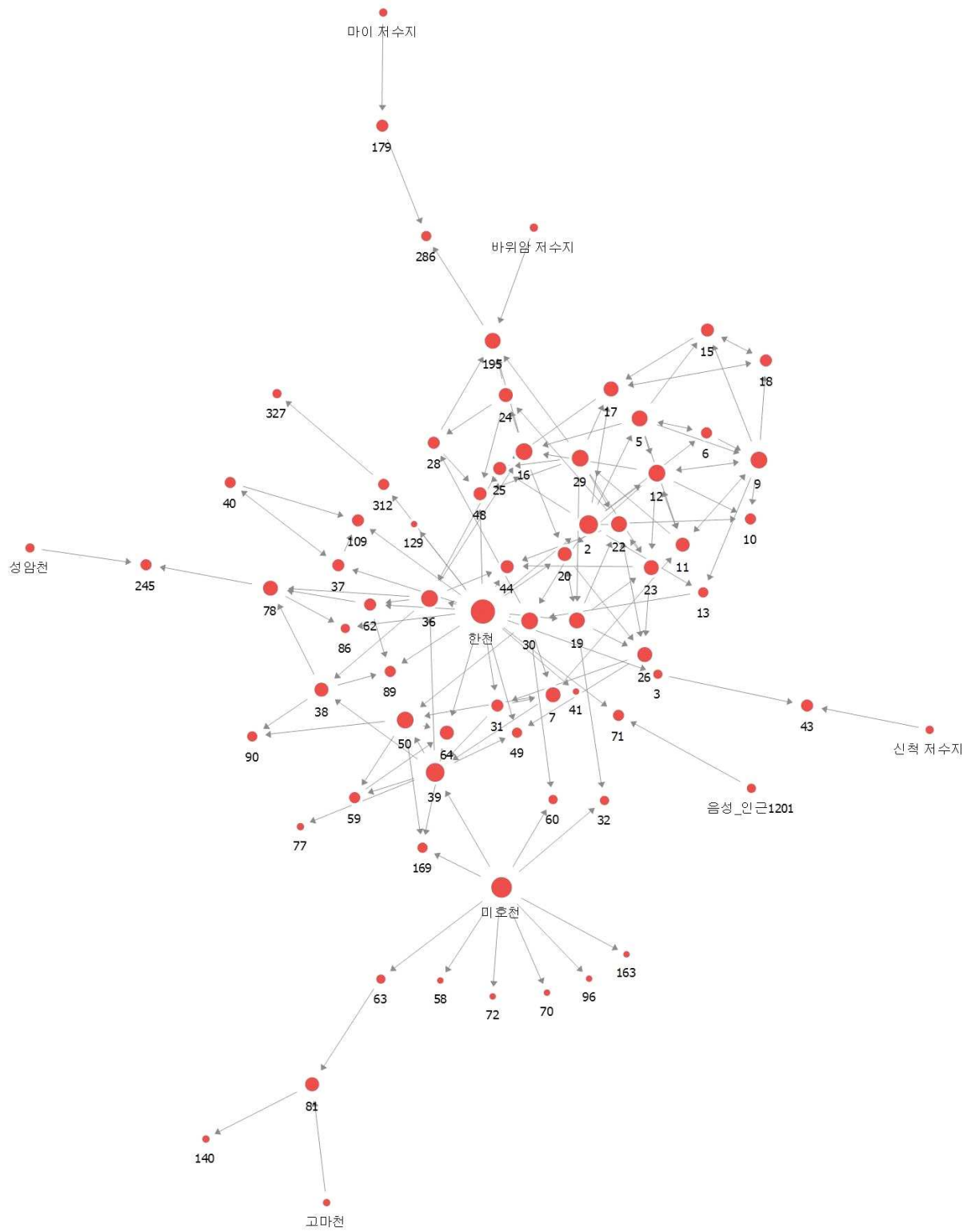
<그림 ②-102. HPAI 2016-17년 : 돼개 중심성 네트워크(2)>



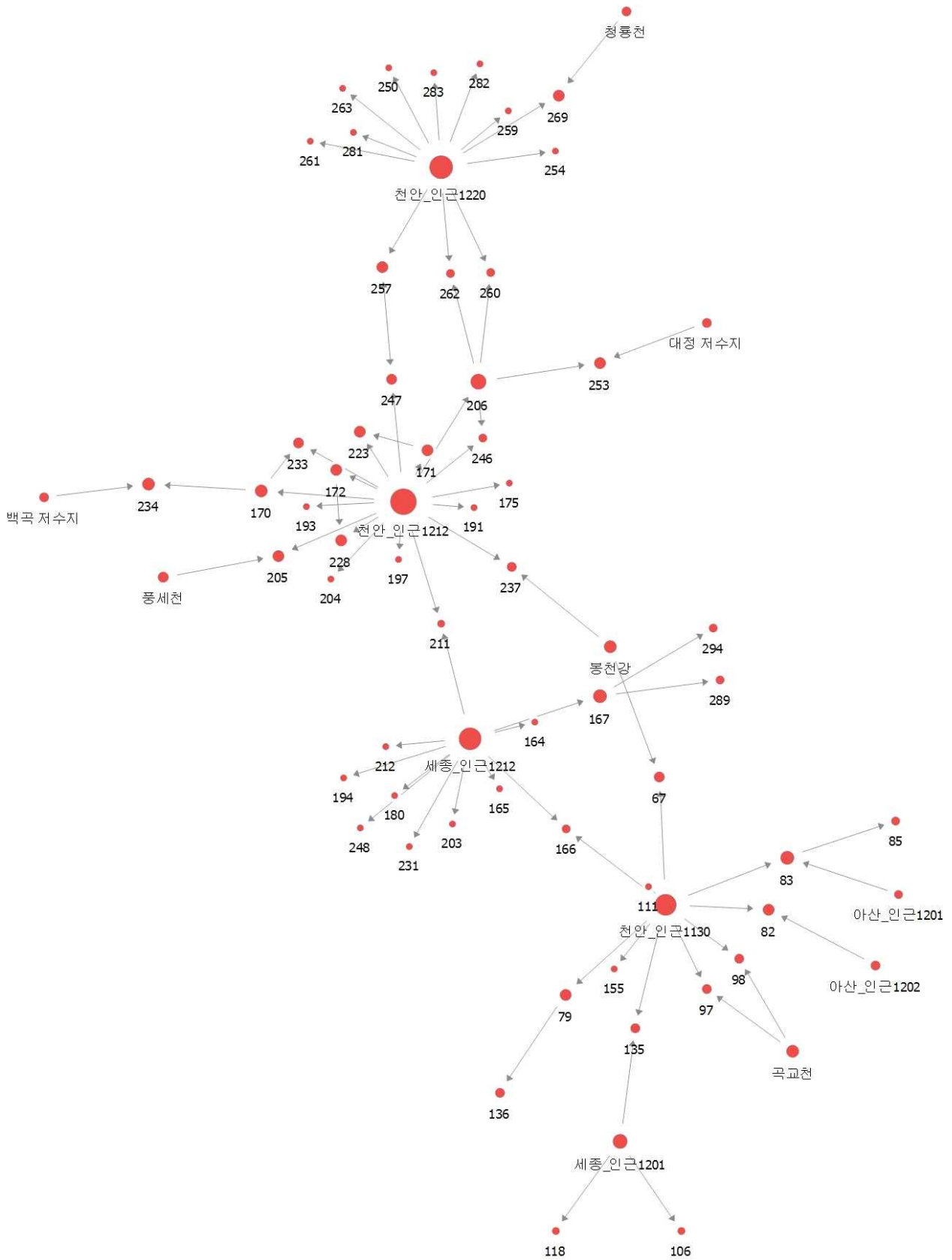
<그림 ②-103. HPAI 2016-17년 : 매개 중심성 네트워크(3)>

마-5. 지역 중심성(Community Centrality)

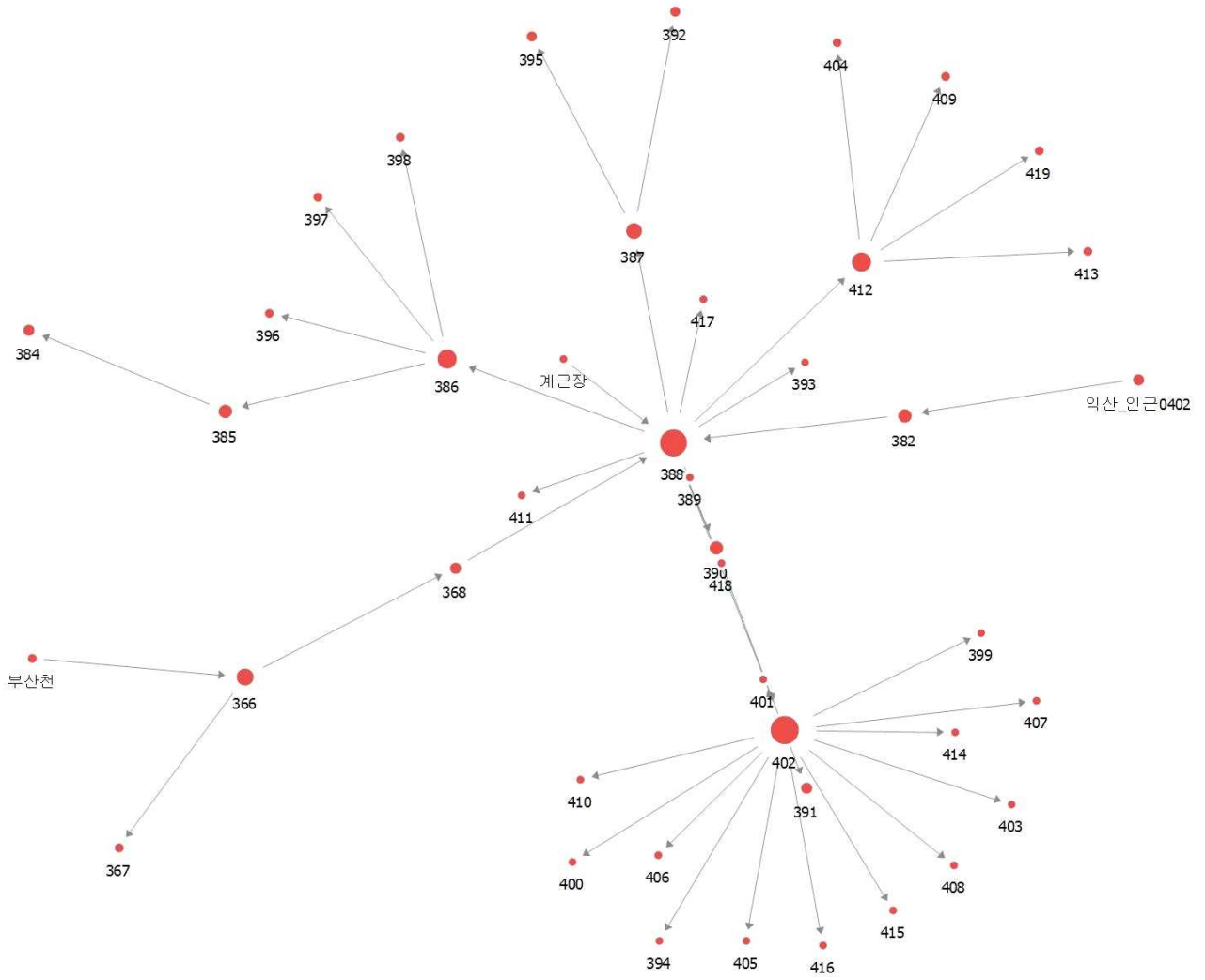
- HPAI의 경우 지역 중심성은 대부분 철새 서식지와 관련이 높은 하천이나 저수지에 서 높은 값을 보였다.
- 대부분의 경우 바이러스가 1차 확산에서 차단되었기 때문에 해당 권역에서 최초 HPAI 발생 농가가 지역 중심지 역할을 하였다.
- HPAI의 경우 FMD와 비교할 때, 초기 방역이 상대적으로 잘 진행되었다고 볼 수 있다. 따라서 특별하게 지역 중심성이 높은 농가는 나타나지 않았다.



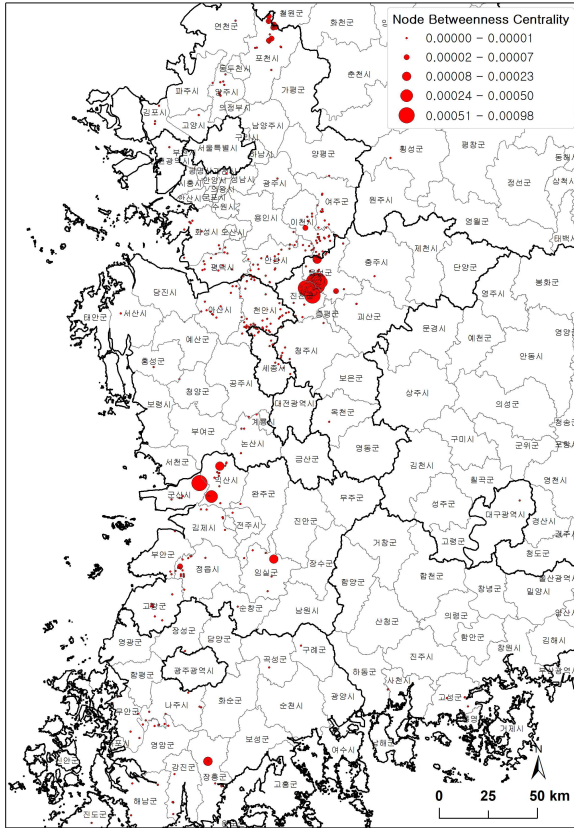
<그림 ②-104. HPAI 2016-17년 : 지역 중심성(1)>



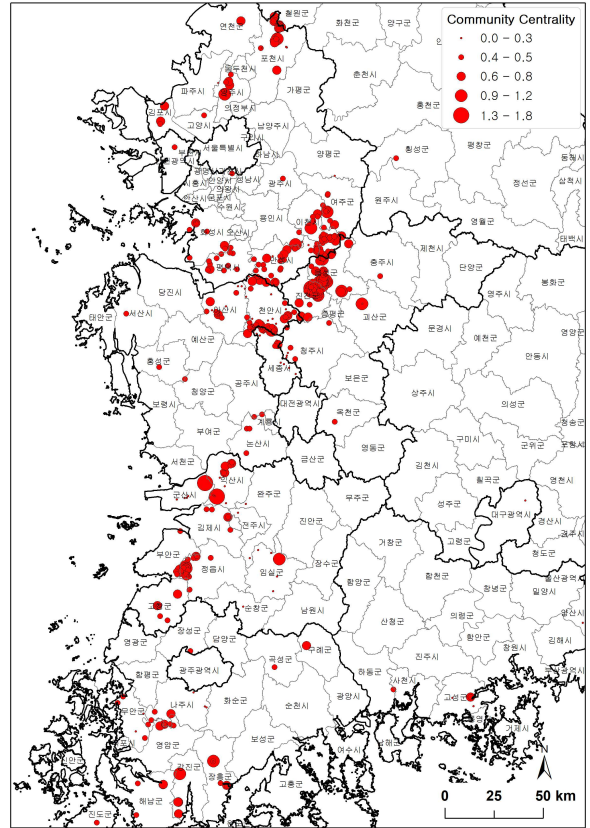
<그림 ②-105. HPAI 2016-17년 : 지역 중심성(2)>



<그림 ②-106. HPAI 2016-17년 : 지역 중심성(3)>



<그림 ②-107. HPAI 2016-17년 매개 중심성 : Betweenness Centrality>



<그림 ②-108. HPAI 2016-17년 지역 중심성 : Community Centrality>

바. 가축 질병 발생 농가 간 네트워크 분석 결과의 시사점

○ 바이러스 유입 경로의 다양성은 HPAI가 FMD에 비하여 월등하게 높게 나타났다.

- HPAI가 다양한 경로를 통하여 바이러스가 유입되었음을 확인할 수 있다. 이는 바이러스의 유입요인에 철새가 포함됨으로 인하여 나타난 결과로 판단된다.
- 반면에 FMD의 경우 사람 또는 차량에 의한 전파가 대부분을 차지하기 때문에, HPAI에 비하여 상대적으로 바이러스 유입 경로가 차량(사람)으로 명확하고 대부분 농가의 감염경로 또한 역학조사를 통하여 확인되었다.

○ FMD의 주요 감염원은 도축장, 사료공장, 분뇨처리시설 등 축산 관련 시설로 나타났으며, HPAI의 경우는 철새의 서식지 역할을 하는 저수지나 하천이 주요 감염원으로 조사되었다.

- FMD에서 문제가 된 도축장들은 거점 도축장이 아닌, 지역의 소규모 도축장으로 이들 도축장에 대한 관리가 필요하다.

○ 네트워크 분석에서 2~3개 노드(농가 또는 축산시설)로 구성된 단순한 네트워크는 상대적으로 신속한 방역 활동으로 주변 지역으로의 전파·확산이 차단된 사례에 해당

- 한다. 반면에 복잡한 네트워크는 초기 방역에 실패하여 인접 지역으로 바이러스가 전파·확산한 사례에 해당한다.
- 따라서 복잡한 네트워크를 보이는 지역과 관련 농가에 대한 분석을 통하여 향후 유사한 상황에서의 시행착오 최소화를 위한 방안 마련이 필요하다.
 - 2014-15년 FMD의 전파·확산을 볼 때, 도축장 등 축산시설이 오염된 상황에서 축산시설로부터 바이러스가 유입된 1차 감염 농가에 대한 방역 성과에 따라 조기 차단 또는 주변 지역으로의 광범위한 확산이라는 결과가 초래되었다.
- 역학조사보고서에 근거하여 네트워크 분석을 수행한 결과 바이러스가 유입된 경로를 명확히 제시하지 못한 사례들이 상당수 존재하는 것으로 나타났다.
- FMD의 경우 도축장으로 바이러스가 유입된 경로를 찾아내지 못하였고, 특정 농가에서 바이러스가 유입된 경로를 확인하지 못한 사례가 존재하였다.
 - HPAI의 경우 바이러스의 행정구역 간 이동에서 바이러스가 유입된 특정 농가가 아닌 시군명을 제시하고 있는데, 이러한 부분은 향후 역학조사에서 개선되어야 할 것으로 판단된다.
- FMD와 HPAI 모두 바이러스 유입에 취약한 지역과 바이러스의 전파·확산에 취약한 지역이 존재하였다. 이들 지역의 경우 기존의 차단 방역 상황에 대한 점검과 차별화된 차단 방역 방안의 모색이 필요하다.
- FMD는 비교적 좁은 공간 범위에서 복잡한 네트워크 관계를 보였고, HPAI는 보다 넓은 공간 범위에서 상대적으로 단순한 네트워크 관계를 보였다.
- 이러한 결과는 FMD의 경우 백신 접종에 따라 발병 초기 인지가 늦어지면서 전파·확산이 빠르게 진행되었기 때문일 것이다.
 - 반면에 HPAI의 경우는 광범위하게 분포하는 철새 도래지를 통하여 농가로 바이러스가 유입되면서 상대적으로 발생 지역이 넓게 나타났다. 그리고 초기 방역에 실패한 몇 곳을 제외하면 신속한 대응이 이루어지면서 주변 지역으로의 전파·확산이 최소화되었다.
- HPAI의 경우 인접전파 특성이 상대적으로 강하게 나타났다. 따라서 예방적 살처분의 필요성 또한 FMD에 비하여 더 높다.
- 네트워크 분석 결과, 차단방역 초기에는 예방적 살처분이 효과적이지만, 가축질병 발생 중기 혹은 지속적인 발생 시에는 예방적 살처분은 과도한 비용이 소모될 수 있다.
- 네트워크 분석을 통해 타겟을 지정하는 형태의 방역이 더욱 효과적일 수 있음을 도출하였다.

②-9. 데이터 구축 및 활용에 대한 정책제안

가. 가축방역에 활용하기 위한 축산차량 이동데이터의 가공 및 공개

안 식	정책건의/시행		
	※ 정부시책, 법령개정, 매뉴얼(지침), 시스템 반영 등		
과제명	방역지역(관리, 보호, 예찰구역) 설정의 타당성과 합리적 근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구		
건의명	가축방역에 활용하기 위한 축산차량 이동데이터의 가공 및 공개		
주관부처 (담당자)	농림축산검역본부 동물질병관리부 역학조사과 (이호성 사무관)	건의일자 (제출일)	2019년 10월 24일
시책명	축산차량의 지역 간 목적별 OD(Origin-Destination) 데이터 구축 및 공개	시행일 (시행예정일)	2019년 12월
주요내용 요약	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축산차량 이동데이터를 행정구역 단위로 가공함으로써, 개인정보 보호법에 따른 이용제약을 극복 ○ 축산차량 이동데이터를 최소 행정구역 단위의 OD(출발지-도착지)로 전환하여 공개 ○ 축산차량 OD 데이터를 이용하여 1년(또는 그 이상) 단위 축산차량 이동 목적별 권역 도출한 후 그 결과를 방역 정책에 반영 		
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 행정구역 단위로 가공된 데이터는 개인정보를 포함하지 않으므로, 축산차량 이동데이터에 대한 정보공개 요청에 적극적인 지원 가능 ○ 방역권역화 등 중앙부처의 방역 의사결정과 방역현장인 시/군 단위에서 방역활동에 활용함으로써, 축산차량 이동데이터의 활용도 극대화 ○ 가축방역 분야의 연구활성화로 업무 역량 및 국가 가축방역 경쟁력 강화 ○ 중·장기 방역계획 수립을 위한 기초자료로 활용 		
증빙자료 1 (하단별첨)	※ 제출 공문 및 건의내용		

나. 역학조사분석보고서 역학조사 결과 네트워크 데이터 구축

일 식	정책건의/시행 * 정부시책, 법령개정, 매뉴얼(지침), 시스템 반영 등		
과제명	방역지역(관리, 보호, 격리구역) 설정의 타당성과 합리적 근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구		
건의명	역학조사분석보고서 역학조사 결과 네트워크 데이터 구축		
주관부처 (담당자)	농림축산식품부 방역정책국 조류인플루엔자방역과 황성철	건의일자 (제출일)	2020년 12월 29일
시책명	기존 역학조사분석보고서에 포함되어 있는 가축질병 전파·확산 정보를 네트워크 분석이 가능한 형식으로 구축	시행일 (시행예정일)	2020년 12월 - 2021년 1월
주요내용 요약	<p>(1) 역학조사분석보고서의 전파·확산 정보(농장 단위별 발병원인 추정)의 전달 방법을 기존의 서술식에서 네트워크 파악이 가능한 Edged list 형태로 구축</p> <p>(2) 재가공된 전파·확산 Edged list를 필요시 분석에 즉시 활용가능한 DB로 구축</p> <p>(3) Edged list 자료를 통한 네트워크 분석 사항을 축적하여 차후에 발생하는 가축질병의 선제적 방역조치와 역학조사에 활용</p>		
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 역학조사 결과의 데이터베이스화 및 활용도 극대화 ○ 정보공개를 통한 가축방역 분야의 연구 활성화로 업무 역량 및 국가 가축방역 경쟁력 강화 ○ 중·장기 방역계획 수립을 위한 기초자료로 활용 ○ 기존 차량네트워크 데이터와 HPAI 발생 농가를 연계하면, 역학 분석을 위한 자료로 연계 활용 가능 		
증빙자료 (하단별첨)	* 제출 공문 및 건의내용		

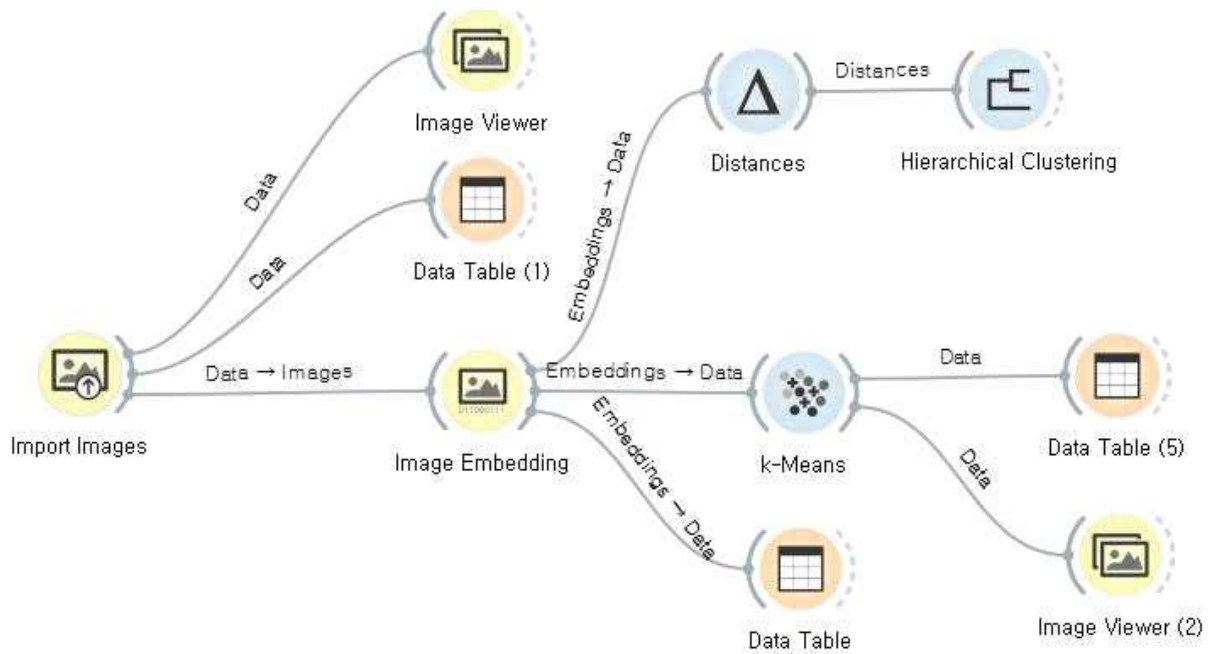
②-10. 가축 질병 발생 농가 주변 토지 피복 특성 분류

가. 연구 목적

- 철새에 의한 HPAI의 발병의 사례에서도 확인되었듯이, 축산 농가 주변의 토지 피복 상황은 가축 질병의 전파와 확산에 큰 영향을 준다. 따라서 농가 주변의 토지 피복 현황을 분석하여 가축 질병의 유입과 전파·확산을 예측에 필요한 의사결정 자료로 활용하여야 한다.
- 방역 활동을 위한 의사결정에 농가 주변의 토지 피복 상황을 반영하기 위해서는 토지 피복 상황에 대한 정량화 또는 분류가 필요하다. 그러나 농가별 토지 피복 상황은 모두 다르므로 사람이 이를 유형화하는 것은 쉽지 않으며, 유형화에 참여자의 관점에 따라 서로 다른 결론이 도출될 수 있다.
- 따라서 본 연구에서는 데이터 마이닝과 기계학습에 기반을 둔 방법을 적용하여, 객관성을 최대한 확보하고자 하였다.

나. 연구 방법

- 본 연구에서는 가축 질병 발생 농가 주변의 토지 피복 특성 분석을 위한 방법으로 군집화(clustering) 방법을 사용하였다.
- 군집화(clustering)는 데이터 안에 존재하는 의미 있는 그룹을 찾아내는 작업이다. 군집의 목표는 대상의 결과값을 예측하는 것이 아니라 단순히 데이터 안에서 자연적으로 생성될 수 있는 그룹을 찾아내는 것이다(Kotu and Deshpande, 2014).
 - 군집 분석은 항목, 사건, 개념 등을 군집이라고 하는 공통된 집단들로 분류하는 데이터 마이닝의 한 방법이다.
- 군집 분석은 분류 문제를 풀기 위한 탐구적 데이터 분석 방법이다. 목표는 사례(개별 농가 주변의 토지 피복 이미지)들을 연관성 정도가 높은 집단이나 군집으로 정렬하는 것이다. 군집 분석의 중요성은 불명확한 데이터 집단에서 의미 있고 유용한 연관 관계와 구조를 찾아낼 수 있다는 점이다(Delen, 2014).
- 개별 농가에 대한 토지 피복도 이미지 제작은 ArcGIS 10.2를 사용하였고, 이미지 분류를 위한 데이터 마이닝 분석은 orange 3.16 소프트웨어에 탑재되어있는 이미지 분석 모듈을 사용하였다.



<그림 ②-109. 데이터 마이닝 기법을 적용한 토지 피복 이미지 군집화 절차>

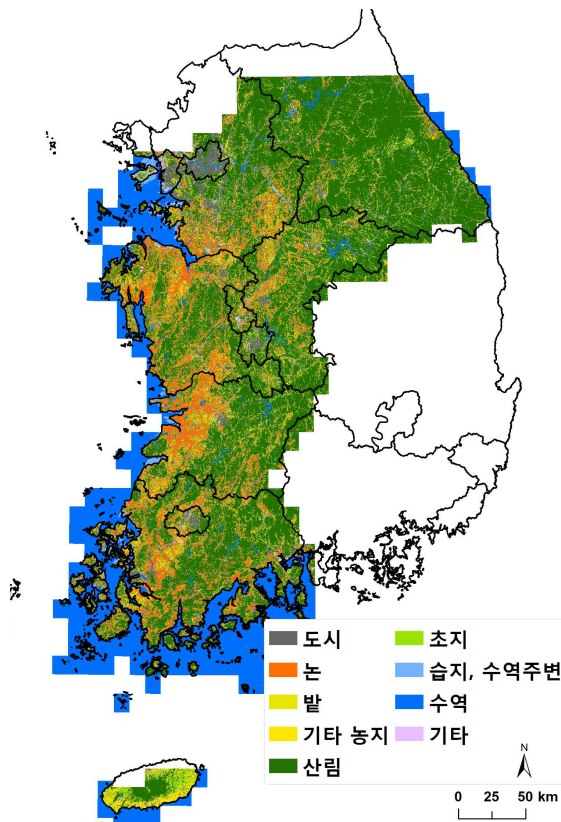
다. 분석 자료

- 2014-15 FMD 발생 농가
- 2016-17 HPAI 발생 농가

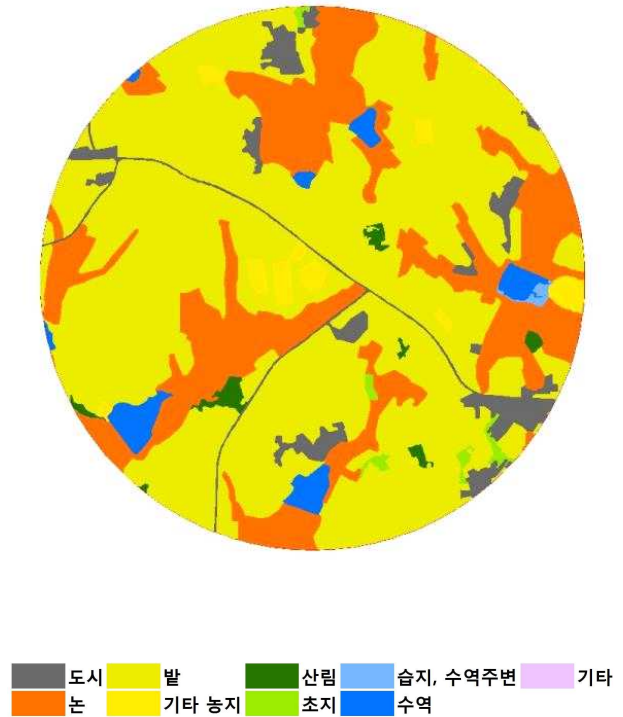
라. 가축 질병 발생 농가 토지 피복 특성 분류

라-1. 개별 질병 발생 농가 단위 토지 피복도 이미지 제작

- 가축 질병(HPAI, FMD) 발생 농가로부터 반경 1km에 해당하는 토지 피복도를 개별 농가 단위로 제작하였다.
 - 토지 피복도 자료는 환경부에서 가장 최근(2013년 기준)에 제작한 데이터를 사용하였다.
 - 2013년 토지 피복도의 경우 접경지역과 경상남북도, 제주도 일부 지역은 제작되지 않았다. 따라서 이들 지역에서 발생한 가축 질병 발생 농가는 제외하고 분석을 수행하였다.
- 토지 피복 이미지 분류의 효과를 높이기 위해 발생 농가 단위로 1km 버퍼를 설정한 후, 개별 농가 단위로 토지 피복 이미지를 Clip 하여 별도의 파일로 저장하였다.



<그림 ②-110. 토지피복도 (환경부, 2013년 기준)>

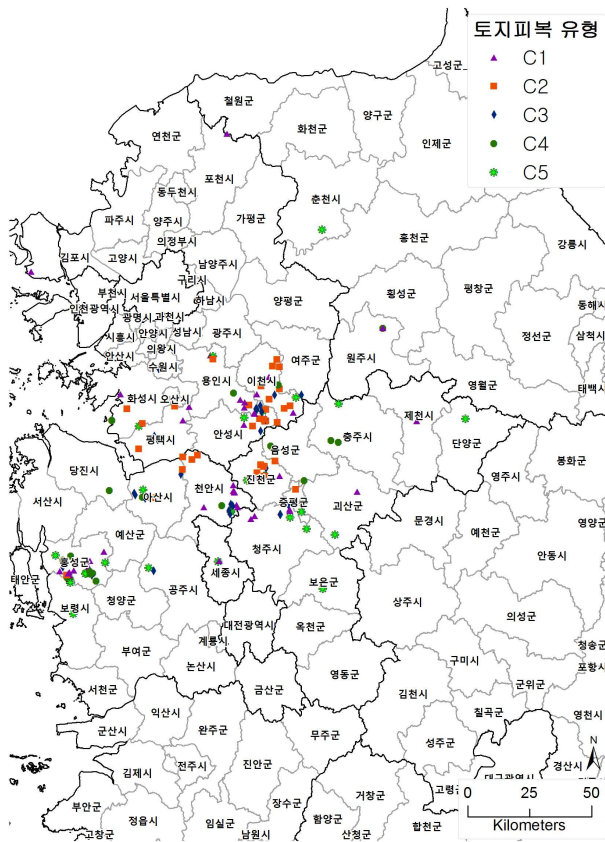


<그림 ②-111. HPAI 발생 농가 1의 토지 피복>

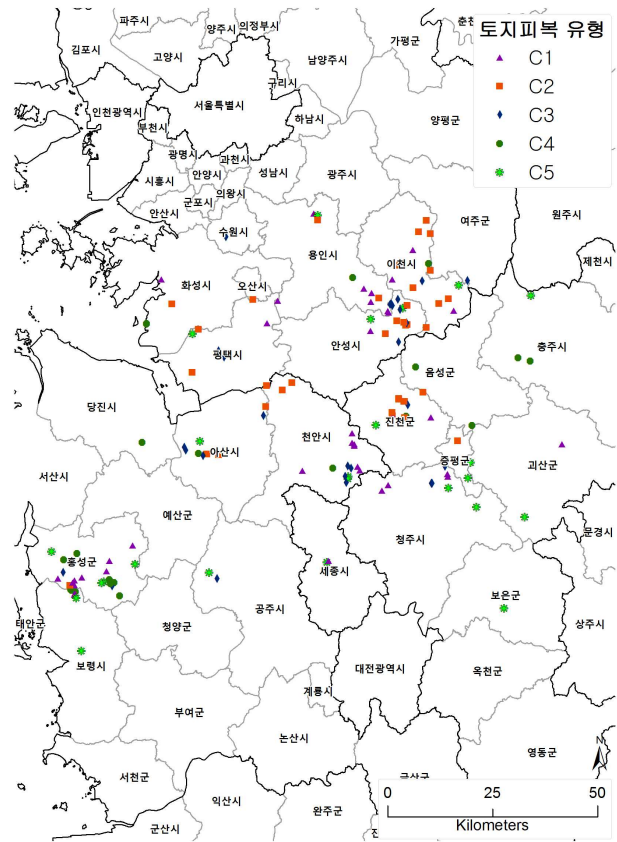
라-2. 개별 농가 단위 토지 피복 이미지 Embedding

- 이미지의 특성을 계량적으로 분해하는 과정이 이미지 Embedding이다. 본 연구에서는 구글에서 개발한 이미지 인식의 가장 최신 모델인 Inception-v3을 Embedder로 사용하여 토지 피복 이미지를 분해하였다.
 - Inception-v3는 구글에서 개발한 이미지 인식의 가장 최신 모델을 ImageNet의 Large Visual Recognition Challenge에서 훈련 시킨 모델이다.
- 이미지 Embedding을 통하여 개별 토지 피복 이미지는 데이터 마이닝이 가능한 2,000개 이상의 속성값을 지니는 데이터로 변환된다.

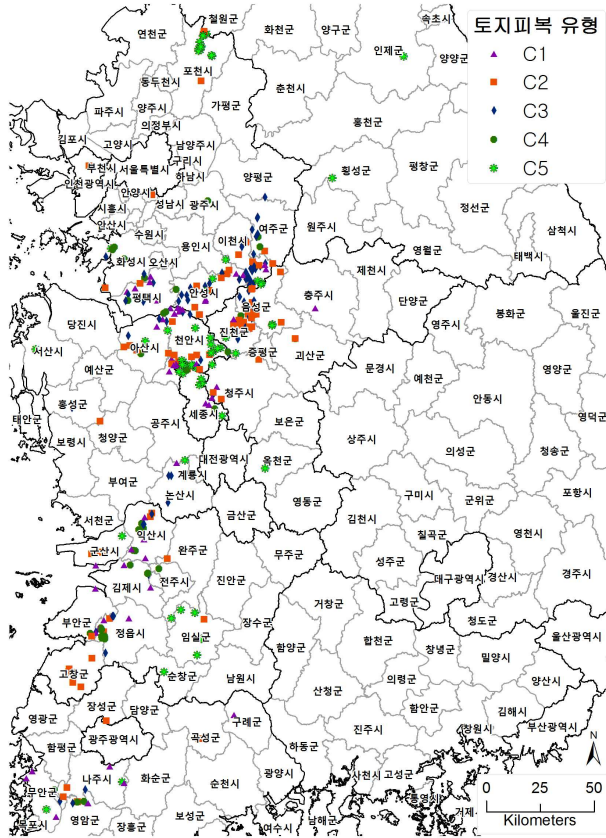
라-4. 군집화(분류) 결과 지도화



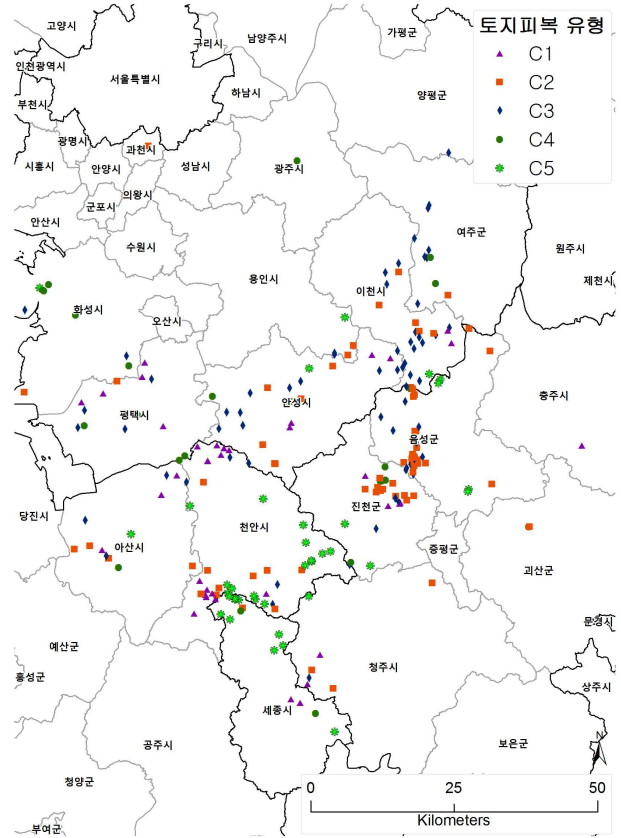
<그림 ②-115. 토지피복에 따른 FMD 발생가능 분류>



<그림 ②-116. 토지피복에 따른 FMD 발생가능 분류 : 확대>



<그림 ②-117. 토지피복에 따른 HPAI 발생능 분류>



<그림 ②-118. 토지피복에 따른 HPAI 발생능 분류 : 확대>

라-5. 가축 질병 발생 능가 토지 피복 특성 분류 시사점

- 토지피복 군집화 분석을 통해 발생능가의 토지피복 특성을 확인하고, 어떠한 군집을 가지는지 파악하려 하였으나 특징적이고 유의미한 군집을 파악할 수 없었다.

②-11. 가축 질병에 관한 신문기사 분석 : 텍스트 마이닝 기법 활용

가. 연구 목적

- HPAI, FMD와 같이 전염성이 강한 가축 질병의 방역 활동이 성공적으로 수행되기 위해서는 국민의 관심과 참여가 반드시 필요하다.
- 2008년 이후 HPAI와 FMD가 지속적으로 발생함에 따라 가축 질병에 대한 국민의 관심은 급격히 증가하였다. 그러나 ‘살처분’, ‘동물복지’ 등의 문제에서 볼 수 있듯이 방역 활동에 대한 부정적인 시각도 있는 것이 현실이다.
- 따라서 2010년 구제역 이후 방역 활동을 바라보는 우리 사회의 시선을 시기별로 구분하여 알아봄으로써 국민의 관심과 참여를 유도할 방법을 모색할 필요가 있다.
- 본 연구에서도 이러한 비정형 데이터를 방역지역 범위 설정에 참고할 수 있는 요인으로 활용하기 위해 텍스트 마이닝 기법을 활용한 신문기사 분석을 수행하였다.

김포 구제역 주변 농가, 예방적 살처분 방침에 반발

출고시간 | 2018/03/28 14:37



발생 농가 외에 인근 농가 돼지 5천300마리 살처분 예정
정부 "확산 막아야"...농가 "의심 중상 없어 시기상조"



경기 김포 돼지농가 구제역 확산→방역 작업
[연합뉴스 자료사진]

(김포=연합뉴스) 최은지 기자 = 국내 첫 돼지 A형 구제역이 발생한 경기도 김포시의 돼지 사육농가들이 예방적 살처분을 놓고 정부 당국과 갈등을 빚고 있다.

"소다잡을 수도 없고"...살처분 범위 놓고 고민 빠진 충북도

출고시간 | 2017/02/16 07:01



방역 요령 따라 선별적 살처분 들어가자 하루 3건 동시 발생
확진농장 일제 살처분..."황제 평성시기 도래" 선별 살처분 회귀

(청주=연합뉴스) 전창해 기자 = 울거울 조류 인플루엔자에 이어 구제역의 '진앙'이 된 충북도가 살처분 범위를 놓고 고민에 빠졌다.

지난 5일 보은군에서 첫 구제역이 발생한 이후 8일만에 6건이 더 늘었다.

그나마 아직까지는 기본 3km 방역대 내에서 머물고 있다는 게 불행 중 다행이다.

충북도로서는 더 이상의 확산은 무슨 수를 써서라도 막아야 최소한의 자존심을 지키는 길인 셈이다.

충북도가 살처분 범위를 놓고 고민에 빠진 이유이기도 하다.



AI 찾아들자 치솟던 달걀값 급락세
특란 30개들이 가격 4143원 → 1년 전에 비해 3314원 떨어져
산란계 살처분된 뒤 사육 물량 늘러땀 ... 하향곡선 지속될 듯

"AI 계속 발생하는데"...주민반발에 중단된 살처분
여과 인된 '배수처리수' 실개선 흘러...켄더링 처리 중지, 대기 기압류 수질만 수

"AI 연중 발생...무차별 살처분 못한다" 인근(반경 1km) 농장주 반발

기장군 발생지서 1km 떨어진 곳

출처:신문 김유복 기자 | 입력 : 2017-06-09 20:10:14 | 분기 2면

<그림 ②-119. 살처분을 이슈화한 신문기사 모음 : 연합뉴스(2017, 2018), 국제신문(2017) 등>

나. 연구 방법

- 데이터 마이닝(data mining)의 한 분야인 텍스트 마이닝은 방대한 텍스트 데이터와 같이 비정형적인 특성을 보이는 문서로부터 사람이 인식할 수 있는 의미 있는 정보를 추출하려는 방법이다.

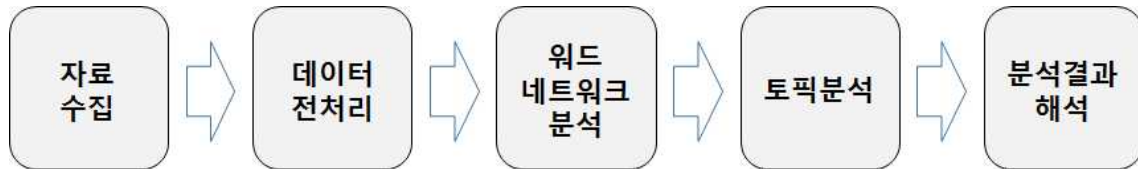
- 이러한 분석 결과로부터 우리는 기존 정보에서는 확인할 수 없었던 새로운 시각과 예측을 위한 경향을 발견할 수 있다(Reardon, 2014).

- 텍스트 마이닝을 위한 기법은 가장 기본적인 빈도 분석에서부터 소셜 네트워크 분석, 언어 네트워크 분석(semantic network analysis), 군집 분석(cluster analysis), 토픽 분석(topic modeling) 등 다양하다(한성수·양동우, 2017).
 - 최근의 연구 동향으로 볼 때 이러한 기법 중 소셜 네트워크 분석 방법을 문헌 분석에 적용한 언어 네트워크 분석과 토픽 분석 또한 그 적용 분야가 빠르게 확장되고 있다.

- 텍스트 마이닝에서 중요한 부분이 단어 간의 네트워크 관계를 분석하는 것인데, 이는 기존의 소셜 네트워크 분석 방법과 유사하다.
 - 소셜 네트워크는 노드(개체)와 노드를 연결하는 링크(관계)를 네트워크로 표현하는 구조이다.
 - 소셜 네트워크에서 노드는 일반적으로 사람에 해당한다. 즉, 개인과 개인의 관계를 네트워크 형태로 분석하고 시각화한 것이다. 이러한 소셜 네트워크에서의 분석 객체인 사람을 단어로 바꾼 것이 언어 네트워크다.
 - 이를 통하여 차별화된 위치를 점유하는 핵심 노드를 찾아낼 수 있고, 노드 간의 연결 관계와 연결 정도 등은 시각화된 링크로 확인할 수 한다.
 - 이러한 언어 네트워크의 단순하면서도 강력한 분석능력과 시각화는 지금까지 연구자의 전문지식과 제한된 통계적 분석 방법 등에 의존하던 연구 동향 분석 분야에서 새로운 방법론으로 빠르게 확산하고 있다.

- 언어 네트워크와 함께 중요한 문헌 분석 방법으로는 토픽 분석이 있다. 텍스트 마이닝 기법 중 토픽 모델링은 최근에 정립되어 빠르게 발전하고 있는 방법으로서(Jockers, 2014) 정책 및 의사결정을 위한 분석 분야에서 폭넓게 사용되고 있다(Jiang et al., 2016).
 - 토픽 분석 방법은 각 문서에 출현하는 단어들의 연관 관계를 이용하여 군집화하는 방법으로(한성수·양동우, 2017), 각 텍스트 문서는 다양한 토픽으로 구성되어 있다고 가정하여 문서에 포함된 토픽을 찾아내는 분석 방법이다(Blei, 2012).
 - 즉, 각 문헌을 토픽의 확률적 혼합체로 표현하고 각 토픽을 단어의 분포로 표현함으로써 문헌의 구조를 예측하는 문헌 분석 모델이다(박자현·송민, 2013).

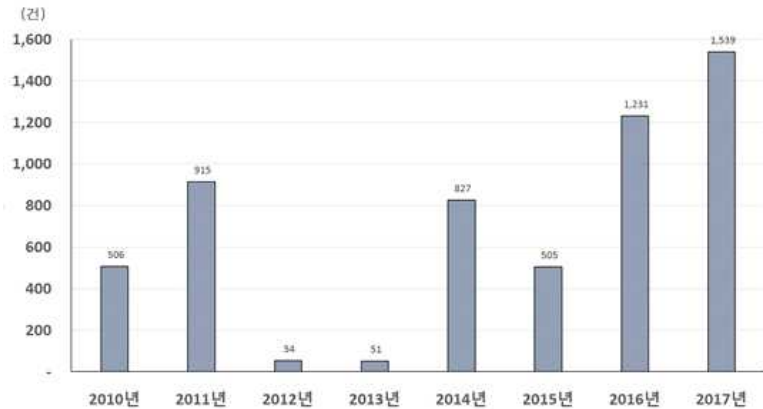
- 텍스트 마이닝 분석의 일반적인 절차는 데이터 수집, 텍스트 전처리, 분석(네트워크 분석, 토픽 분석 등), 결과 해석으로 진행된다. 가축 질병 관련 신문기사 분석에서도 이러한 기본적인 분석 틀을 적용하였다(그림 2).
- 본 연구에서는 이러한 텍스트 분석을 위한 소프트웨어로 NetMiner 4를 사용하였다.



<그림 ②-120. 텍스트 마이닝 분석 절차>

나-1. 분석 자료 수집

- 웹 크롤링(web crawling, 또는 web scraping) 방법으로 신문기사를 추출하였다.
 - 웹 크롤링이란 컴퓨터 소프트웨어 기술로 웹 사이트들에서 원하는 정보를 추출하는 것을 의미한다.
 - 엄청난 분량의 웹 문서를 사람이 직접 구별해서 모으는 일은 불가능에 가깝습니다. 따라서 웹 문서 검색에서는 사람이 일일이 하는 대신 이를 자동으로 수행해 줍니다. 이것이 웹 크롤링 방법이다.
- 중앙 일간지(12개)에 2010년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일 사이에 게재된 신문기사 중 네이버 뉴스 ‘살처분’ 키워드로 검색된 약 5,600건의 신문기사를 대상으로 하였다.
 - 경향신문(378), 국민일보(440), 내일신문(126), 동아일보(134), 매일일보(135), 문화일보(297), 서울신문(612), 세계일보(812), 아시아투데이(673), 조선일보(599), 중앙일보(624), 한겨레(469), 한국일보(329)
- 제목, 날짜, 내용(기사 본문)을 추출하였다.



<그림 ②-121. 신문기사 추출 >그림 ②-122. 연도별 살처분 관련 기사 수

나-2. 데이터 전처리

- 분석에 활용되는 데이터에 오류가 많다면 오류를 포함한 데이터를 활용할 경우 그 결과 또한 신뢰도가 낮을 수밖에 없다. 따라서 텍스트 분석에 있어서도 데이터의 전처리는 가장 중요하고 시간을 많이 투자하여야 하는 과정이다.
- 본 연구에서는 수집된 기사의 내용에 포함된 명사만을 분석에 이용하였다. 따라서 개별 신문기사 파일에서 조사와 술어(동사), 기호, 숫자, 외국어 등을 제외하고 명사만 추출하였다.
 - ‘가축 전염병인 구제역이 8년 만에 다시 발생했다.’ => 가축, 전염병, 구제역, 발생
- 이렇게 추출된 명사 중 의미가 없거나 초록 작성 시 관례적으로 사용되는 단어들은 제외하였다. 즉, ‘기자’, ‘이번’, ‘올해’ 등의 단어는 제외어로 처리하여 분석에서 배제하였다.
- 같은 의미의 단어는 유의어로 지정하여 통일하였다. 예를 들어, ‘농지’와 ‘농경지’는 ‘농경지’로 통일하고 ‘강원’과 ‘강원도’는 ‘강원도’로 통일하였다. 또한, 두 개의 단어가 하나의 의미로 쓰이는 경우(예, 스텐드 스틸) 지정어로 처리하여 하나의 단어로 처리되도록 하였다.
- 이와 같이 본 연구에서 적용된 텍스트 전처리 규칙은 별도의 유의어, 제외어, 지정어 등으로 정의한 후 지속적으로 갱신하여 분석 결과의 정확도를 높였다.

나-3. 빈도 분석

- 이렇게 전처리가 완료된 후 신문기사에서 추출된 단어들에 대하여 빈도 분석을 수행하였다. 그리고 단어의 출현 빈도에 따라 크기를 차별화하여 표현하는 워드 클라우드

드(word cloud)로 시각화하였다. 워드 클라우드를 통하여 상대적으로 출현 빈도가 높은 단어를 직관적으로 확인할 수 있다.

나-4. 워드 네트워크 분석

- 네트워크를 구성하는 기본 단위는 두 단어 사이의 관계이다. A, B 두 단어의 관계는 방향성이 없는 경우와 SNS(Social Network Services)에서와 같이 방향성이 의미를 갖는 경우가 있다. 기사들 사이에는 위계체계가 존재하지 않으므로 단어 간의 순서나 방향은 큰 의미가 없다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 무방향 네트워크로 분석하였다.
- 전처리 단계에서 정리된 자료는 ‘논문×주제어’ 행렬의 이원모드 네트워크(2-mode network)이므로 주제어 간의 관계만을 분석하기 위해 주제어들의 공출현(co-occurrence) 빈도에 기초하여 ‘주제어×주제어’ 행렬의 일원모드 네트워크(1-mode network)로 변환하였다(유효현·신세안, 2015).
 - 이 과정에서 창크기(window size)는 ‘5’로 연결빈도 임계치(link frequency threshold)는 ‘3’으로 설정하여 워드 네트워크를 생성하였다.
- 워드 네트워크 생성을 통하여 문서에서의 ‘단어’ × ‘단어’에 대한 공출현 매트릭스가 생성된 후 연결 중심성(degree centrality), 매개 중심성(betweenness centrality) 등 각종 분석 지표들을 도출해 내고 그 결과를 시각화하였다. 이때 노드는 단어를 노드와 노드를 연결하는 링크는 해당 단어 쌍이 동시에 출현한 빈도를 나타낸다(이준기·하민수, 2012).
- 본 연구에서는 추가적으로 ‘살처분’이라는 단어가 주위의 다른 단어들과 어떠한 연결 관계를 갖는가를 살펴보았다.

나-5. 토픽 분석

- 토픽 분석이란 각 단어가 통계적으로 특정 토픽에 포함될 확률을 파악하여 문서의 주제를 추정하는 기법으로서, 텍스트 분석에서 널리 활용되는 방법이다.
 - 문서는 다양한 하위 주제(Topic)로 구성된다.
 - 그리고 각 하위 주제는 여러 개의 단어로 구성된다. 예를 들어, ‘The government announced plans to launch regulation for abuse of power by the administration and stock price manipulation’ 라는 문장에서 ‘government’, ‘administration’, ‘regulation’ 와 ‘stock’, ‘price’ 는 각각 ‘정치’ 와 ‘경제’ 주제를 반영할 확률이 높은 단어다.
 - 그러므로 이 문장은 정치와 경제라는 하위 주제를 내포하고 있다고 추정할 수 있으며, 문장 전체를 봤을 때 ‘정치’ 주제에 가까운 단어들이 확률적으로 더 많이 등

장하고 있으므로 해당 문장을 ‘정치’에 대한 문장으로 분류된다(CYRAM, 2018).

- 토픽 분석의 장점은 연구자가 토픽의 수만 정하여 주면 선행 지식이나 분류 작업 없이 대량의 문서를 빠르고 명료하게 처리할 수 있다는 것이다(남춘호, 2016). 이러한 토픽 분석에는 다양한 세부 모델들이 있지만, 본 연구에서는 토픽의 수에 따라 잠재된 토픽을 추출하는 LDA(Latent Dirichlet Allocation) 모델을 적용하였다.
 - LDA 모델은 Blei 등이 제안한 확률 그래픽 모델로서 대량의 문서들을 통계학적으로 처리해 검색 등에 활용할 수 있는 분석 방법이며(한성수·양동우, 2017), 의미적으로 일관성 있는 토픽들을 생성한다는 장점을 지니고 있다(Mimno and McCallum, 2012).
 - 본 연구에서는 빈도 분석과 네트워크 분석의 결과를 고려하여 토픽의 수를 ‘5’로 정하여 각 기간 단위로 토픽 분석을 수행하였다.

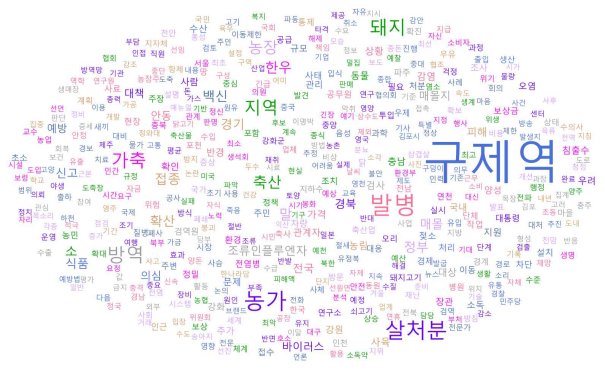
다. 분석 자료 구분

- 가축 질병(FMD, HPAI) 발생 시기를 고려하여 2년 단위의 4시기로 구분(2010-11, 2012-13, 2014-15, 2016-17)하여 분석을 수행하였다.
 - 2010-11년 : HPAI(807억원), FMD(27,383억원) 동시 발생
 - 2012-13년 : HPAI, FMD 미 발생
 - 2014-15년 : HPAI(2,381억원), FMD(655억원)
 - 2016-17년 : HPAI(2,295억원), FMD(150억원)

라. 가축 질병 신문기사 분석

라-1. 빈도 분석

○ 워드 클라우드



<그림 ②-123. 워드 클라우드 : 2010-11년>



<그림 ②-124. 워드 클라우드 : 2012-13년>



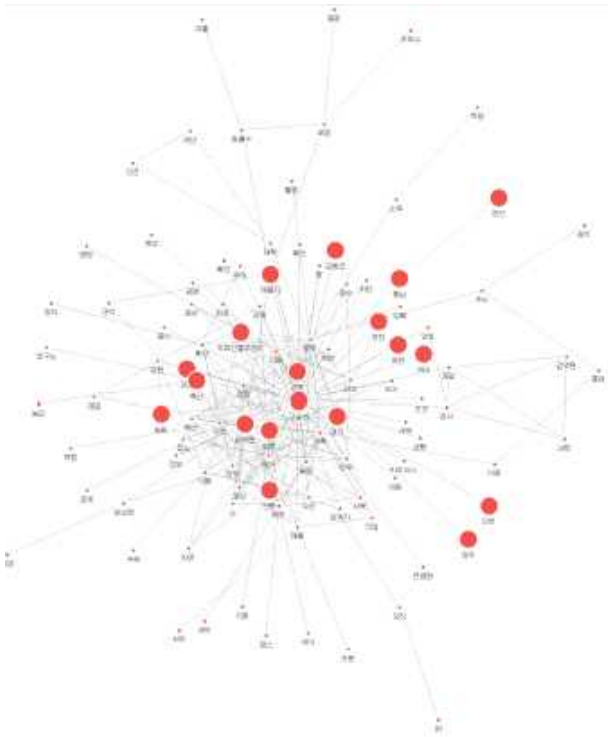
<그림 ②-125. 워드 클라우드 : 2010-11년>



<그림 ②-126. 워드 클라우드 : 2010-11년>

라-2. 워드 네트워크 분석

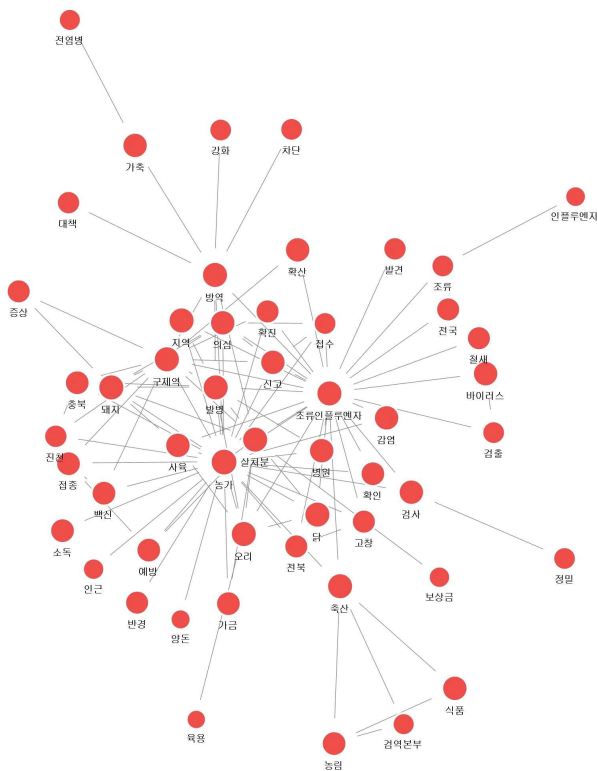
○ 워드 네트워크



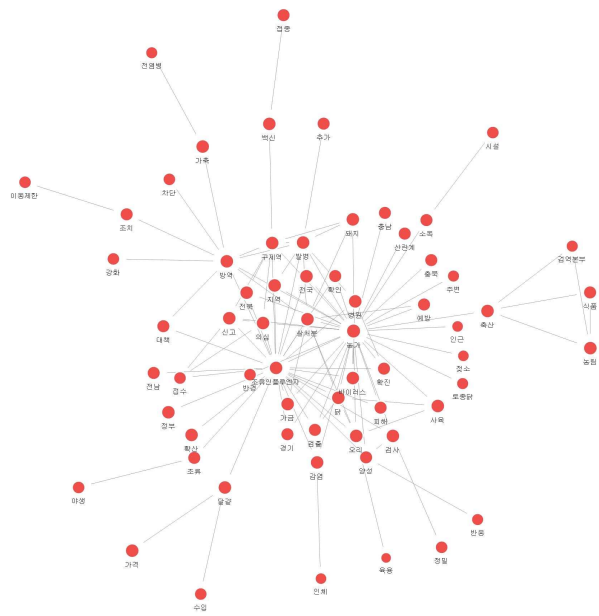
<그림 ②-127. 워드 네트워크 : 2010-11년>



<그림 ②-128. 워드 네트워크 : 2012-13년>



<그림 ②-129. 워드 네트워크 : 2014-15년>



<그림 ②-130. 워드 네트워크 : 2016-17년>

○ 위드 네트워크 중심성 분석

<표 ②-59. 위드 네트워크에 대한 연도별 중심성>

[연결 중심성]

[매개 중심성]

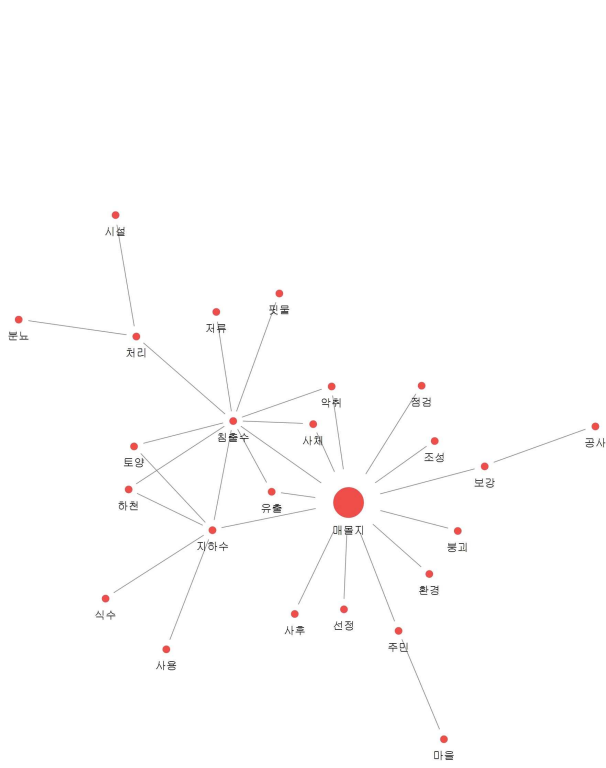
순위	2010~2011				2012~2013				2014~2015				2016~2017			
	키워드	빈도	연결 정도	연결 중심성	키워드	빈도	연결 정도	연결 중심성	키워드	빈도	연결 정도	연결 중심성	키워드	빈도	연결 정도	연결 중심성
1	구제역	9,863	1,651	0.014	감염	149	60	0.020	농가	7,752	905	0.342	HPAI	16,632	1,543	0.850
2	발병	4,213	897	0.006	HPAI	170	53	0.016	HPAI	6,594	819	0.310	농가	17,485	1,526	0.346
3	살처분	3,560	747	0.005	동물	215	95	0.015	발병	4,074	582	0.220	방역	7,136	1,009	0.229
4	지역	2,574	648	0.005	살처분	164	53	0.011	구제역	3,667	535	0.202	발병	7,810	958	0.217
5	방역	2,989	802	0.005	돼지	182	62	0.011	방역	2,984	526	0.199	살처분	6,765	841	0.191
6	농가	3,732	882	0.005	발병	115	44	0.009	살처분	3,167	486	0.184	달걀	4,093	762	0.173
7	돼지	2,945	637	0.004	농가	125	48	0.008	축산	2,083	417	0.158	정부	2,751	668	0.152
8	가축	2,749	712	0.004	구제역	132	41	0.008	오리	2,424	354	0.134	달	4,265	657	0.148
9	농장	2,092	535	0.003	가축	102	37	0.007	지역	1,594	340	0.129	동물	2,536	643	0.146
10	경기	1,391	383	0.003	축산	77	30	0.005	달	1,729	304	0.115	축산	3,668	642	0.146
11	한우	1,624	491	0.002	소	102	29	0.005	돼지	2,173	298	0.113	구제역	5,183	642	0.146
12	백신	1,533	386	0.002	중국	88	28	0.004	가축	1,116	287	0.109	지역	3,635	613	0.139
13	축산	1,508	402	0.002	접촉	23	11	0.004	바이러스	1,480	276	0.104	바이러스	3,294	510	0.116
14	축산	1,939	689	0.002	전염병	54	21	0.004	식품	1,397	267	0.101	사육	3,126	508	0.115
15	HPAI	1,159	310	0.002	신종	66	20	0.004	감염	1,345	253	0.096	가금	3,399	505	0.115
16	검종	1,574	391	0.002	식품	36	11	0.004	사육	1,176	238	0.090	확산	2,699	475	0.108
17	매물	1,278	315	0.002	사람	126	42	0.004	동물	759	236	0.089	오리	3,426	450	0.102
18	의심	993	201	0.002	농림	27	7	0.004	확산	1,168	233	0.088	가축	2,023	448	0.102
19	신고	1,139	271	0.002	가금	57	23	0.004	달	945	228	0.086	감염	2,435	443	0.101
20	대상	669	179	0.002	환자	34	12	0.003	정부	722	220	0.083	백신	2,156	424	0.096

라-3. 토픽 분석

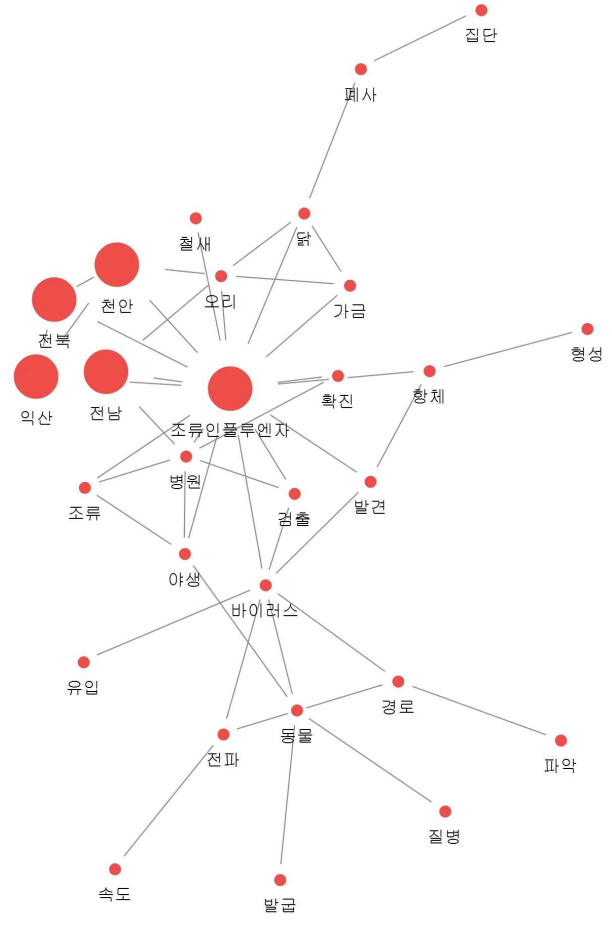
○ 토픽 : 2010-11년

<표 ②-60. 2010-11년 토픽>

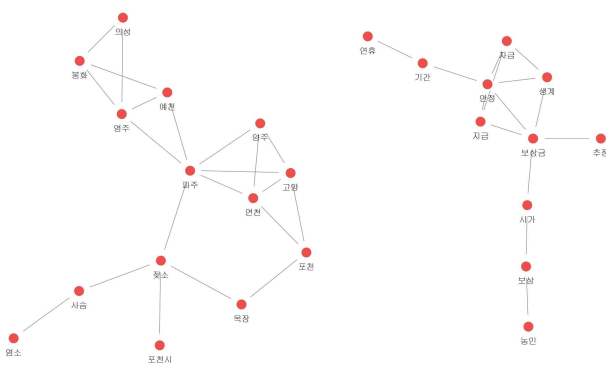
번호	토픽 명	토픽 관련 주요 단어
T1	매물지	매물지, 침출수, 환경, 주민, 지하수, 처리, 마을
T2	조류인플루엔자	조류인플루엔자, 바이러스, 닭, 오리, 전남, 충북, 병원
T3	피해보상	보상금, 젓소, 포천, 연천, 농민, 방문, 보상
T4	대응	장관, 동물, 대통령, 정책, 국민, 인간, 주장
T5	가격	가격, 경제, 축산업, 돼지고기, 공급, 우유, 생산



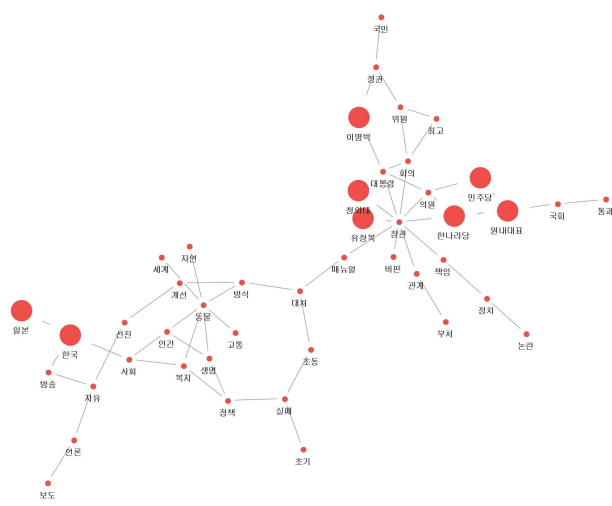
<그림 ②-131. 2010-11년 토픽 1 : 매몰지>



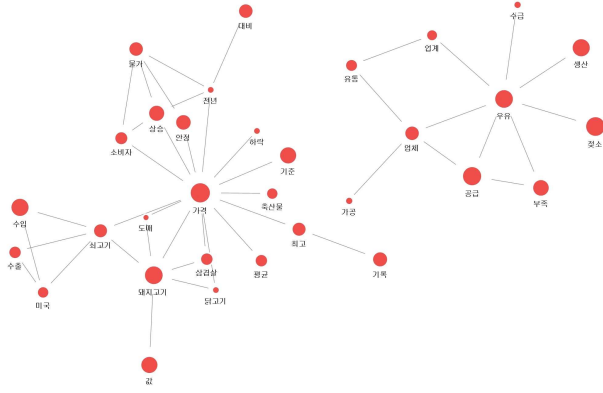
<그림 ②-132. 2010-11년 토픽 2 : 조류인플루엔자>



<그림 ②-133. 2010-11년 토픽 3 : 피해보상>



<그림 ②-134. 2010-11년 토픽 4 : 대응>

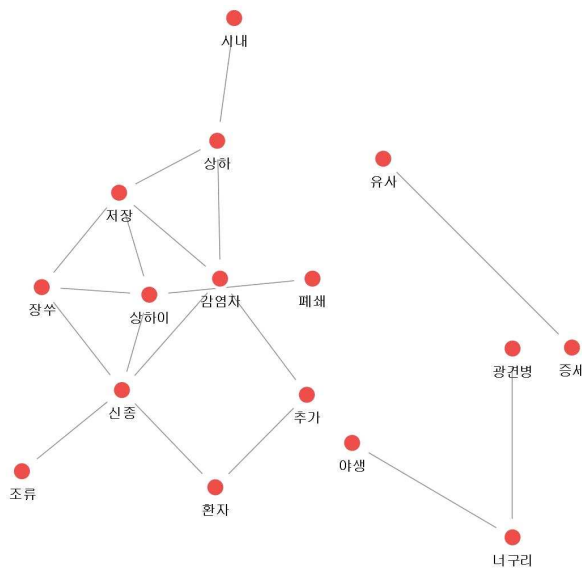


<그림 ②-135. 2010-11년 토픽 5 : 가격>

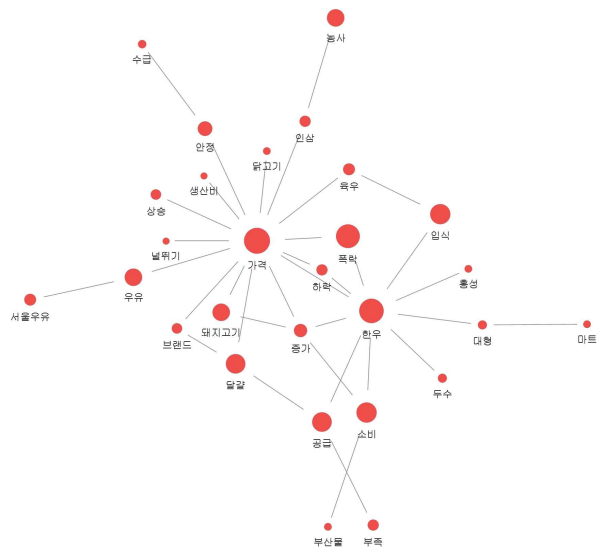
○ 토픽 : 2012-13년

<표 ②-61. 2012-13년 토픽>

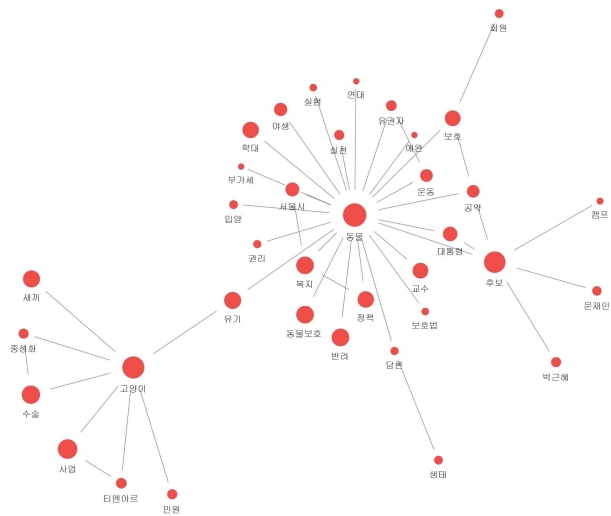
번호	토픽 명	토픽 관련 주요 단어
T1	인수공통 전염병	신중, 조류, 상하이, 아이, 이야기, 작가
T2	축산 물가	가격, 한우, 폭락, 달걀, 입식, 공급, 소비
T3	동물복지	동물, 고양이, 복지, 후보, 사업, 사회, 수술
T4	질병	백신, 접종, 고기, 광우병, 미국, 젓소, 결핵
T5	안전	원전, 사고, 피해, 공장, 주민, 실시, 시인



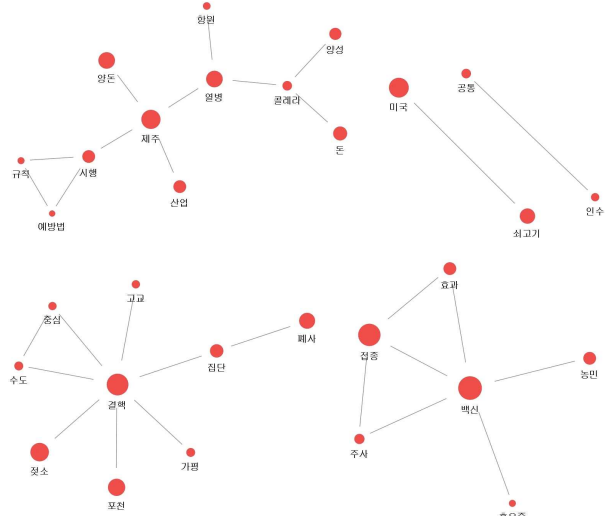
<그림 ②-136. 2012-13년 토픽 1 : 인수공통 전염병>



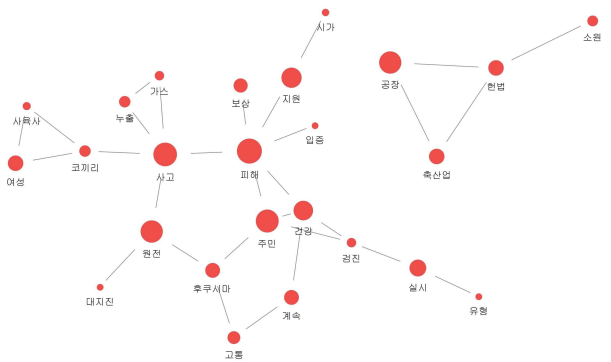
<그림 ②-137. 2012-13년 토픽 2 : 축산 물가>



<그림 ②-138. 2012-13년 토픽 3 : 동물복지>



<그림 ②-139. 2012-13년 토픽 4 : 질병>

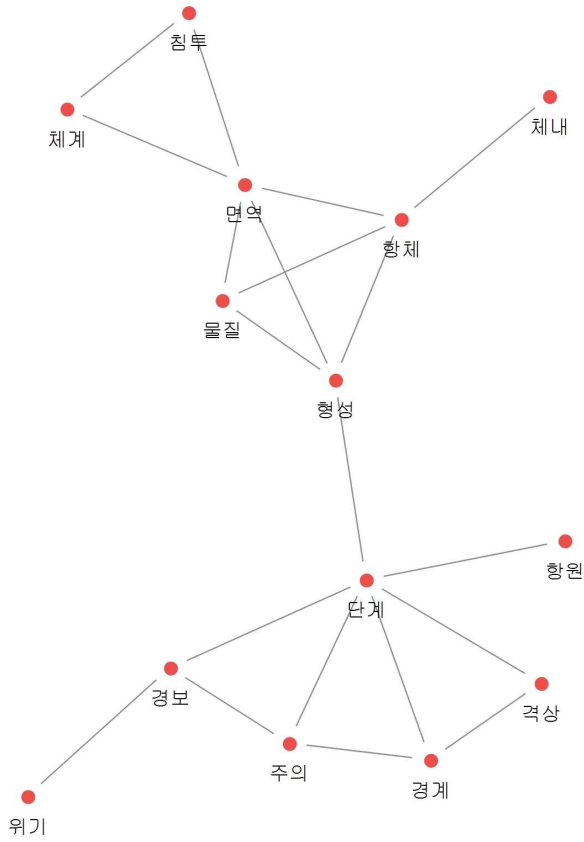


<그림 ②-140. 2012-13년 토픽 5 : 안전>

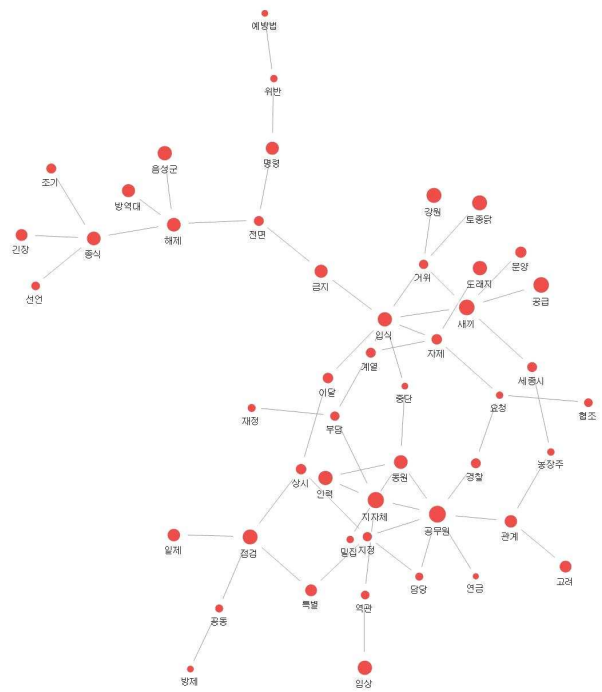
○ 토픽 : 2014-15년

<표 ②-62. 2014-15년 토픽>

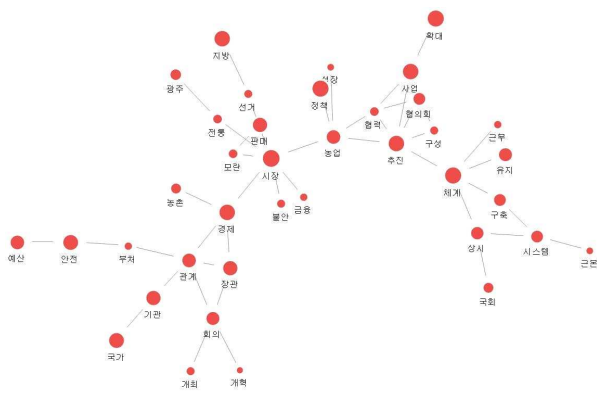
번호	토픽 명	토픽 관련 주요 단어
T1	구제역	항체, 양돈, 경남, 홍성, 육용, 의성, 고양어
T2	방역	환경, 인간, 질병, 야생, 복지, 동물원, 사회
T3	조류인플루엔자	공무원, 지자체, 강원, 음성군, 도내, 처분, 새끼
T4	시장	시장, 추진, 정책, 경제, 지방, 사업, 연휴
T5	가축 질병 문제	가격, 달걀, 사체, 사료, 가창오리, 오염, 규모



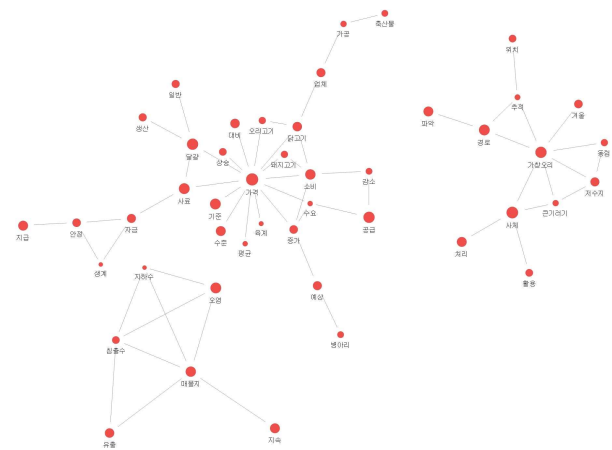
<그림 ②-141. 2014-15년 토픽 1 : 구제역>



<그림 ②-142. 2014-15년 토픽 3 : 조류인플루엔자>



<그림 ②-143. 2014-15년 토픽 4 : 시장>

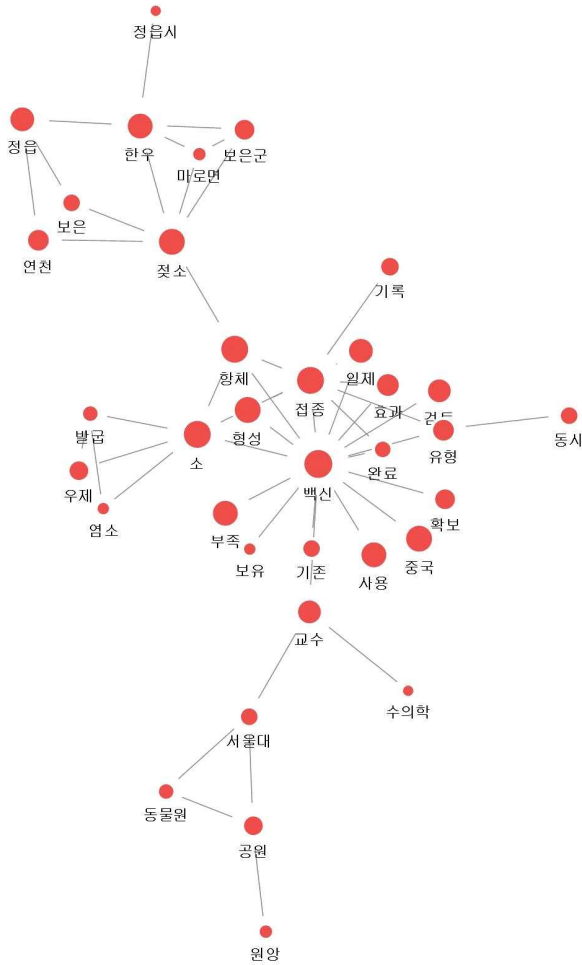


<그림 ②-144. 2014-15년 토픽 5 : 가축 질병 문제>

○ 토픽 : 2016-17년

<표 ②-63. 2016-17년 토픽>

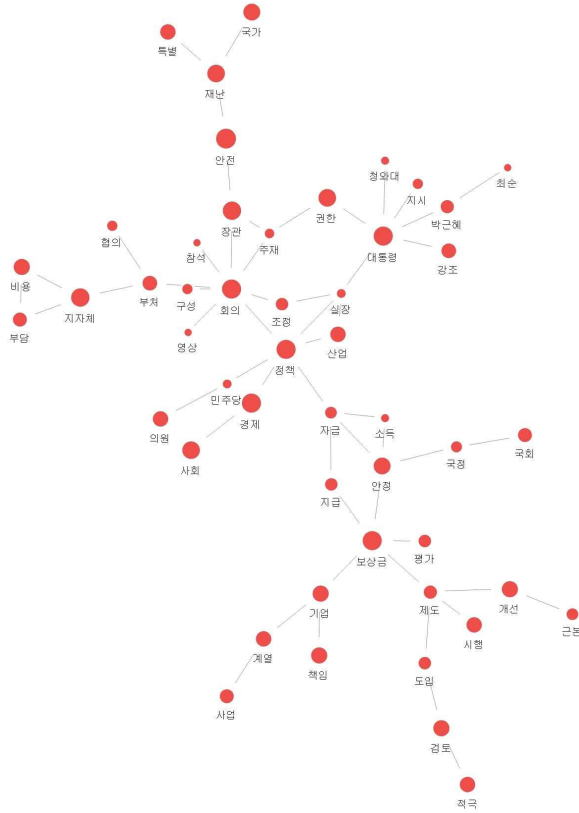
번호	토픽 명	토픽 관련 주요 단어
T1	백신	백신, 접종, 소, 항체, 젖소, 형성, 전염병
T2	동물복지	동물, 고양이, 질병, 보호, 인체, 인간, 독감
T3	정책	대통령, 안전, 장관, 회의 정책, 복지, 보상금
T4	달걀	달걀, 수입, 가격, 생산, 살충제, 소비자, 업체
T5	조류인플루엔자	제주, 천안, 경남, 포천, 군산, 토종닭, 오골계



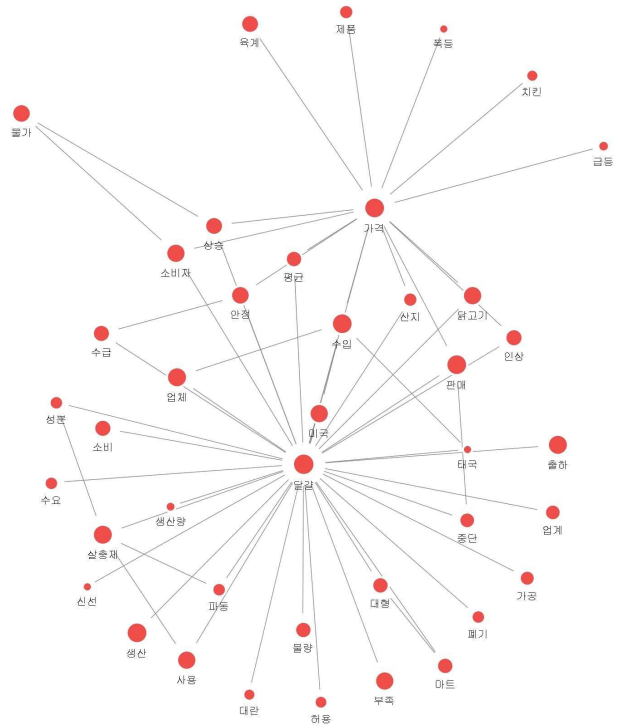
<그림 ②-145. 2016-17년 토픽 1 : 백신>



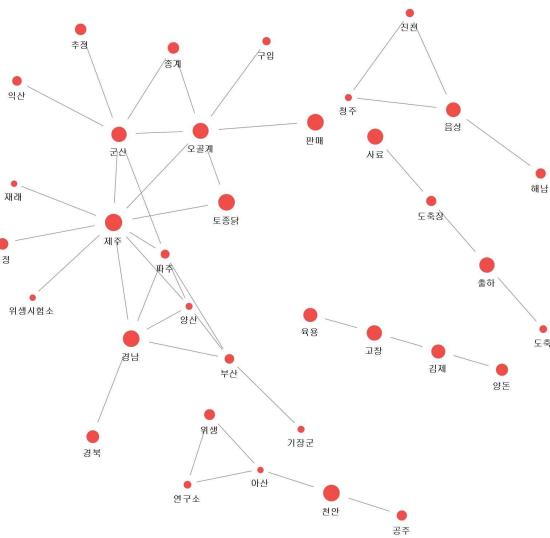
<그림 ②-146. 2016-17년 토픽 2 : 동물복지>



<그림 ②-147. 2016-17년 토픽 3 : 정책>

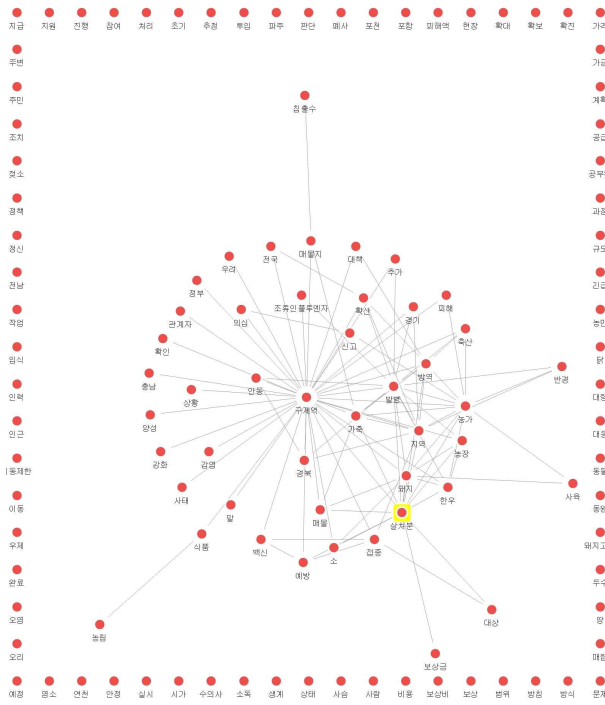


<그림 ②-148. 2016-17년 토픽 4 : 달갈>

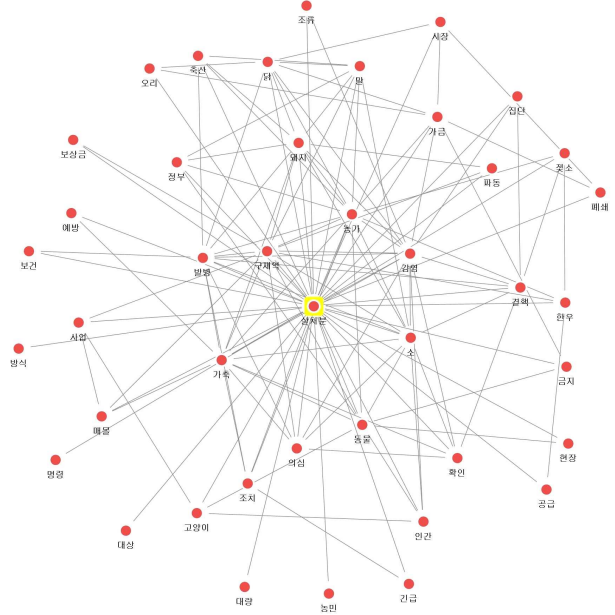


<그림 ②-149. 2016-17년 토픽 5 : 조류인플루엔자>

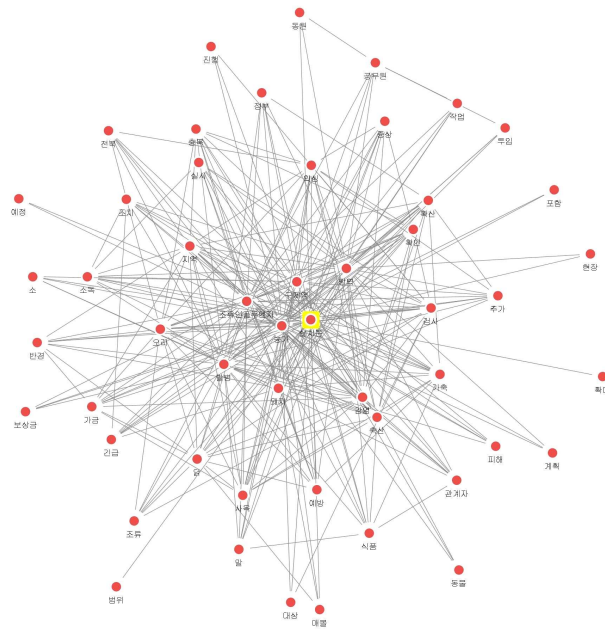
라-4. ‘살처분’ 연관 네트워크 분석



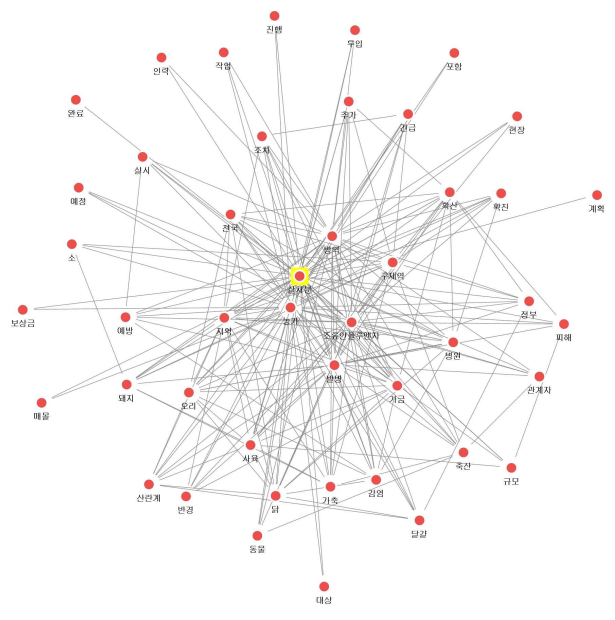
<그림 ②-150. 살처분 연관 네트워크 : 2010-11년>



<그림 ②-151. 살처분 연관 네트워크 : 2012-13년>



<그림 ②-152. 살처분 연관 네트워크 : 2014-15년>



<그림 ②-153. 살처분 연관 네트워크 : 2016-17년>

마. 가축 질병 신문기사 분석 결과의 시사점

- 텍스트 마이닝 분석 결과 시기별로 구제역과 조류인플루엔자, 살처분 등 핵심 주제가 공통으로 도출되었다.

- 2010년에 구제역에서 출발하여 최근에는 조류인플루엔자와 관련된 텍스트들이 중심이 되고 있다.
 - 이러한 결과는 2011년 이후 구제역은 백신 접종이 이루어지면서 피해 규모가 작아졌지만, 조류인플루엔자의 경우 지속해서 농가에 피해를 주고 있기 때문으로 판단된다.
 - 2019년 아프리카돼지열병이 국내에서도 발생함에 따라, 2019년 이후의 키워드에는 아프리카돼지열병 관련 키워드가 주를 이룰 것이다.

- 분석 시기별로 단어의 빈도와 토픽(주제)에 변화가 나타났다.
 - 가축질병 발생에서 시작하여 시간이 경과함에 따라 살처분, 동물복지, 환경오염, 인수공통 전염병 등 다양한 분야로 관심이 확대되었다.
 - 미국산 소고기, 달걀 파동, 일본 원전사고 등 가축질병이 먹거리 안전과 연계되는 경향을 보였다.

- 가축질병과 관련된 논의가 살처분에서 환경오염, 동물복지 등으로 확대되고 있음을 확인할 수 있었다.
 - 이는 일방적인 살처분이 가져온 환경문제와 함께 살처분 과정에서 야기되는 동물복지 등 지금까지 사회적으로 합의되지 못하였던 내용들이 점차 부각하고 있음을 의미한다.
 - 따라서 향후에는 방역의 내용에 예방적 살처분의 필요성에 대한 홍보와 함께 환경오염을 최소화하기 위한 방안과 동물복지에 대한 고려가 함께 포함되어야 할 것이다.

②-12. 국제기구와 해외 주요 국가의 방역지역 설정 기준 분석

가. 연구 목적

- 국제기구(OIE, FAO 등)와 관련 분야 주요 선진국(미국, EU 국가, 일본 등)의 방역지역 설정 기준과 범위를 조사한 후, 해외 사례의 국내 적용 가능성을 분석하였다.

나. 연구 방법

- 해외 사례조사를 위한 현지 조사 비용(국외 출장 비용 등)이 연구비에 포함되어 있지 않으며, 기존 선행연구(보고서 등)에서 관련 내용으로 해외 조사 등을 수행하였으므로, 본 연구에서는 문헌 조사 중심으로 해외 사례조사를 진행하였다.

다. 주요 선진국의 예방적 살처분 범위

- 먼저, 우리나라는 발생농장으로부터 반경 500m를 오염지역, 3km를 위험지역, 10km를 경계지역으로 방역지역을 설정하고 있다.
- EU는 발생농장으로부터 반경 500m 내 감수성동물을 살처분하고 3km, 10km를 각각 보호지역과 예찰지역으로 지정하여 역학적 감염의심 감수성동물을 살처분한다.
- 네덜란드는 발생농장으로부터 반경 3km를 예방구역, 10km를 예찰구역으로 설정하고, 발생농장 주변지역 또는 주의가 필요한 지역을 완충지역으로 설정한다.
- 태국은 발생농장의 감염동물을 먼저 살처분하고, 반경 3km 내 모든 농가를 예찰검사하며 10km 내 농가현황을 파악하고 임상증상을 확인함과 동시에 이동을 제한한다.
- 미국은 발생농장 및 역학적 연관농장의 감수성동물을 24시간 이내 살처분하고, 발생농장으로부터 3km이내를 감염지역으로, 3~7km를 완충지역으로, 10km를 예찰지역으로 지정하나 역학적 위험요인에 따라 확대 또는 축소될 수 있다.
- 캐나다는 발생농장으로부터 3km를 감염지역으로, 10km를 제한지역으로 지정한다.
- 일본은 3km를 이동제한지역, 10km를 반출제한지역으로 지정하고, HPAI 바이러스의 감염이 확인된 가금을 살처분한다.
- 한편 FAO(국제연합식량농업기구)에서는 HPAI 감염축과 감염우려 가축의 살처분 조치를 권고하고 있으며, 감염정도를 정확히 파악하지 못했을 경우 의심이 되는 동물의 예방적 살처분 조치를 권고하고 있다.

〈표 ②-64. 주요국·기관 별 방역지역 설정 범위(HPAI)〉

국별	방역지역 설정 범위
대한민국	- 500m 오염지역, 3km 위험지역, 10km 경계지역 지정
EU	- 500m 내 감수성동물(사육밀도 높을 때 확대 적용) - 보호지역 3km, 예찰지역 10km 지정 - 역학적 감염의심 감수성 동물(3, 10km 포함) ※ 반경 3km 모든가금 예방살처분, 반경 10km내 칠면조 살처분('03년, 네덜란드)
네덜란드	- 1km 농가 살처분 - 3km 모든 농가 예찰검사 및 이동제한 - 10km 농가현황 파악 및 임상증상 확인, 이동제한
태국	- 발생농장 감염동물 - 최대 발생농장 반경 5km 이내 감수성동물 예방살처분
미국	- 발생 및 역학적 연관농장의 감수성동물(24시간 이내) - 3km 감염지역, 3~7km 완충지역 지정 - 10km 예찰지역 지정 - 위와 같은 기본적인 법칙을 따르나, 역학적 위험요인에 따라 거리 확대 또는 축소할 수 있음 ※ 감염지역(infected zone) : 발생농장 및 역학적 연관농장을 포함한 2mile(3km) 이내 지역
캐나다	- 3km 감염지역, 10km 제한지역 지정
일본	- 3km 이동제한지역, 10km 반출제한지역 지정 - HPAI 바이러스의 감염이 확인된 가금 - 임상검사·정밀검사 결과 및 역학조사 결과 환측으로 의심된다고 판정한 가금
FAO	- HPAI의 신속박멸을 위하여 감염축과 감염 우려되는 가축의 살처분 조치를 권고 - 다만, 감염 정도를 정확히 파악하지 못했을 경우 의심이 되는 동물의 예방적 살처분 조치를 권고

자료 : 농림축산식품부, 2016

라. 국내 적용 분석

- 주요 선진국의 예방적 살처분 범위를 살펴볼 때, 각 지역마다 500m~3km의 살처분 범위를 가지고 있다.
- 각 지역마다 농가 밀집도가 다르고, 농가 별 사육두수가 다르기 때문에 지역 실정에 적합하다고 생각되는 살처분 범위를 지정하고 있는 것으로 보인다.
- 현재 우리나라의 조류인플루엔자 긴급행동지침(SOP)에서는 예방적 살처분 범위를 3km로 규정하고 있다.

- 다음의 표에서 2016-2017년 발생한 HPAI의 감염농가 반경 거리에 따른 전체농가, 감염농가 수를 살펴볼 수 있다.

<표 ②-65. 주HPAI 2016-2017 감염농가 반경 거리 별 전체농가, 감염농가 수>

구분	반경 500m		반경 1000m		반경 2000m		반경 3000m	
	농가 수	사육 두수	농가 수	사육 두수	농가 수	사육 두수	농가 수	사육 두수
전체 농가	690	36,249,895	1,088	53,365,748	2,173	96,336,788	3,357	151,341,938
감염 농가	633	34,650,129	893	46,361,894	1,613	80,826,748	2,259	117,272,314
감염비율 (%)	91.74	95.59	82.08	86.88	74.23	83.90	67.29	77.49

- 거리가 증가할수록 농가 수, 감염농가 수, 사육두수가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 전체농가 대비 감염농가의 비율 또한 증가하는 것을 볼 수 있다. 특징적인 것은, 농가 수 보다 사육 두수의 비율이 더 높게 나타나는 것이며 이로 말미암아 대형 농가가 밀집한 곳에서 감염비율이 높게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

③ 농장의 입지 유형별 방역지역 설정 모델 개발

③-1. 방역지역 설정 경제성 평가 모델 개발

가. 연구 목적

- 본 장에서는 앞장에서 개발한 가금농장의 축종별 사육규모, 사육밀집정도, 방역범위 내의 농장특성, 입지유형 등 농장별 특성과 지리적 특성이 질병발생에 미치는 영향과 개별 가금농가의 발생확률을 이용하여 질병별(HPAI, 구제역), 축종별(우계류, 가금류), 지역별 방역지역 설정 모델을 구축하는 것을 목적으로 한다.

나. 연구 방법

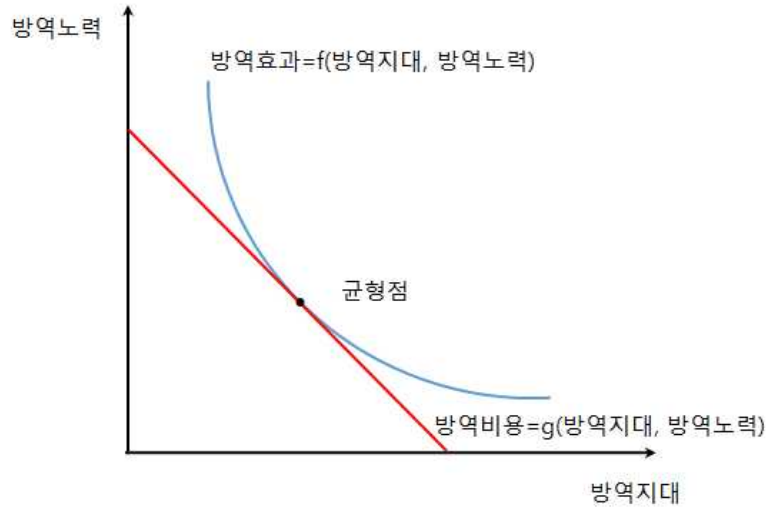
나-1. 이론적 배경

- 가축질병 발생 시 방역효과를 극대화하고 방역비용을 최소화(또는 주어진 예산 하에서)하는 방역지역설정 균형모델을 개발하기 위해 경제학의 기초 이론인 효용(이윤) 극대화 모형을 방역효용 모형에 적용하여 적정(균형) 방역지역 설정 모형을 구축하였다.
- 방역의 사회편익(PW: Prevention Welfare)을 극대화하고 방역비용을 최소화하는 방역모형을 수식으로 포시하면 아래와 같다.

$$Max PW = f(\text{방역지역}, \text{방역노력}, \dots) \quad (7-1)$$

$$s.t. \text{ cost} = g(\text{살처분비용}, \text{방역활동비용}, \dots)$$

- 방역의 사회편익(PW)은 방역지역과 방역노력의 함수로 정의할 수 있으며, 방역지역의 설정과 방역노력은 살처분에 따른 비용과 방역활동에 관련한 비용에 의해 제약을 받는다. 즉, 방역의 사회편익을 극대화하기 위해 방역지역을 넓게 설정하고 방역노력을 강도 있게 진행한다면, 살처분비용과 방역활동비용이 증가하게 되며, 반대로 방역지역을 좁게 설정하고 방역노력의 강도를 낮추면 살처분비용과 방역활동비용은 감소할 수 있으나 방역의 효과는 극대화할 수 없을 것이다.
- 따라서 주어진 예산 하에서 적정한 방역지역의 설정과 방역노력의 강도 설정을 통해 방역의 효율성을 극대화하는 방역활동의 극대화를 꾀하는 전략을 수립해야 할 것이다. 이를 그림으로 나타내면 아래와 같다.



<그림 ③-1. 방역효과와 방역비용의 균형 모델>

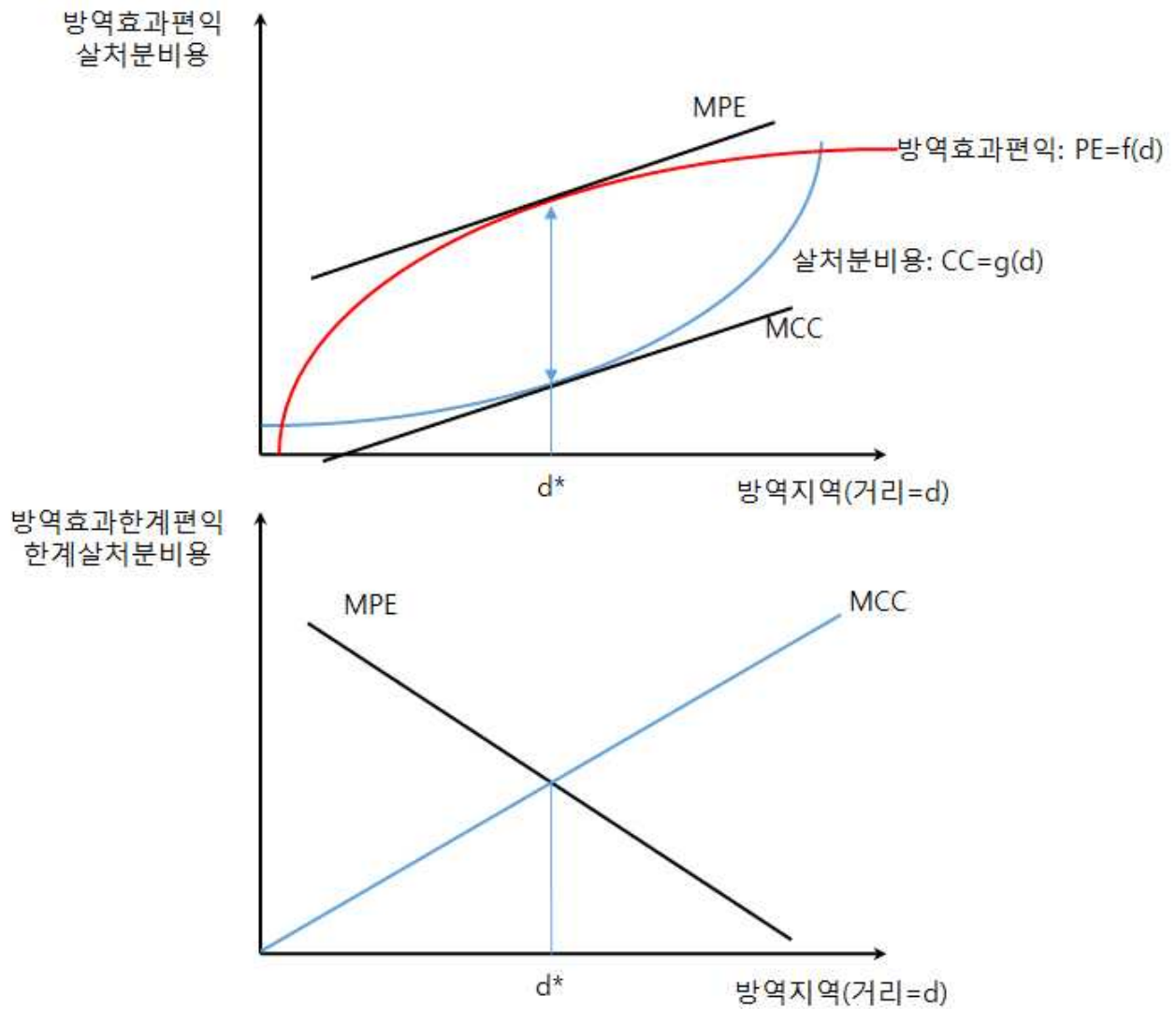
- 위의 그림에서 살펴보면 파란선으로 표시된 방역효과는 방역지대와 방역노력을 크게 할수록 바깥쪽으로 이동하는데 이는 방역효과가 높아지는 것을 의미한다. 하지만 방역지대의 확대와 방역노력의 강도를 높임에 따라 비용이 증가하기 때문에 무한정 확대할 수 없고 주어진 예산 하에서 방역지역과 방역노력을 설정해야 한다. 결과적으로 주어진 예산선(빨간선)과 방역효과가 접하는 균형점에서 방역지대와 방역노력의 강도를 결정해야 한다.
- 이러한 방역효과 극대화 모형으로부터 우리는 적정수준의 방역지역과 방역노력을 설정할 수 있는데 논의를 간단히 하기 위해 방역노력은 고정된 것으로 간주하고 방역지대만을 전략변수(strategy variable)로 고려하여 모형을 설정하기로 한다. 방역노력의 경우 질병발생 전이나 발생 시 일정하게 지켜야 하는 행동요령으로 그 수준은 일정하다고 가정하는 것은 큰 무리가 아닐 것으로 판단된다. 다만 본 연구의 주제인 방역지역 설정 시 관심사인 살처분 범위(보호지역의 범위)를 얼마로 할 것인가에 논의의 초점을 맞추도록 한다.
- 위와 같은 모형의 단순화를 통해 이제 방역의 효과와 방역지역 설정(살처분 거리)에 따른 비용함수로 논의를 좁힐 수 있다. 즉, 방역효과편익(PE)과 살처분비용함수(CC : Culling Cost)는 거리의 함수로 표현할 수 있다.

$$PE = f(d) \tag{7-2}$$

$$CC = g(d) = h(d)*w \tag{7-3}$$

- 여기서 PE 는 방역효과편익, f , g 는 함수, d 는 방역지역설정(살처분) 거리, h 는 살처분 마릿수, w 는 살처분 가축의 가치(가격)을 의미한다.

- 방역효과편익(PE)은 거리의 단조감소함수이며, 살처분에 따른 비용함수(CC : Culling Cost)는 거리의 단조증가함수이다. 즉, 방역의 효과편익(PE)이 단조감소함수라는 것은 살처분 거리를 증가시키에 따라 효과는 증가하지만 방역거리가 확대됨에 따라 방역의 효과는 감소하는 추세로 증가한다는 의미이다. 그리고 살처분에 따른 비용함수(CC : Culling Cost)가 단조증가함수라는 것은 살처분 거리를 증가시키에 따라 살처분 대상 면적(πr^2)은 거리의 제곱함수로 증가하기 때문에 살처분 마릿수는 더 빠르게 증가하기 때문이다. 이를 그래프로 나타내면 아래와 같다.



<그림 ③-2. 방역효과편익과 살처분비용을 고려한 방역효과 극대화 거리>

나-2. 실증 모형

- 방역의 사회편익을 극대화하기 위해서는 우선 방역효과편익함수와 살처분비용함수를 설정하고, 이 두 함수를 이용하여 방역효과한계편익곡선과 한계살처분비용곡선이 만나는 점을 찾아야 한다.
- 방역효과편익함수는 앞에서 살펴보았지만, 지금까지 어느 연구에서도 방역의 효과를 함수형태로 도출한 연구는 없다. 따라서 본 연구에서는 방역효과편익함수의 형태를 고려하여 방역효과한계함수를 아래와 같이 설정하였다.

$$MPE = Pr(d) * h(d) \tag{7-4}$$

- 여기서 MPE 는 방역효과한계함수이며, Pr 은 HPAI나 구제역과 같은 질병발생 시 인근지역의 농장이 질병에 걸릴 확률(전파확률)을 의미하여, h 는 거리에 따른 전체 사육마릿수를 의미한다.

- 전파확률 Pr 은 아래 식 (7-5)와 같이 거리의 지수함수로 가정하였으며, 선형모형으로 추정하기 위해 양변에 자연로그를 취하였으며, 최종적으로 식(7-6)을 추정하였다.

$$Pr_i = e^{\alpha d_i} \tag{7-5}$$

$$\ln(Pr_i) = \alpha d_i + \epsilon_i \tag{7-6}$$

- 여기서 α 는 추정계수를 의미하며, ϵ 는 추정오차항을 의미한다.

- 다음으로 살처분비용함수이다. 만일 살처분비용함수를 아래의 <식 7-7>과 같이 정의할 경우 한계살처분비용은 거리에 대한 미분을 통해 아래의 <식 7-8>과 같이 유도될 수 있다.

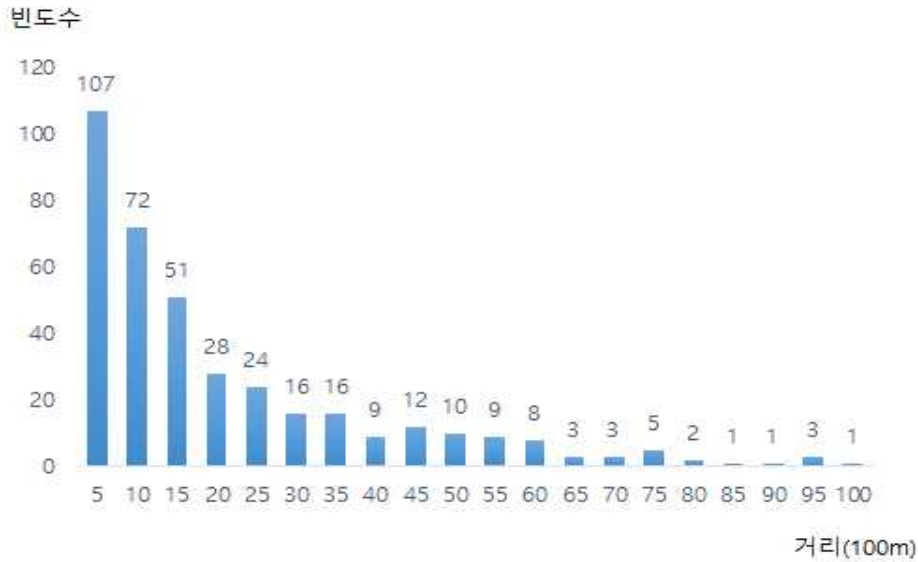
$$CC = g(d) = h(d) \times w = \beta \pi d^2 \times w \tag{7-7}$$

$$\frac{\partial CC}{\partial d} = MCC = 2 \beta \pi d \times w \tag{7-8}$$

- 여기서 β 는 추정계수를 의미하며, π 는 원주율, w 는 가금류의 가치(가격)으로 1을 가정한다.

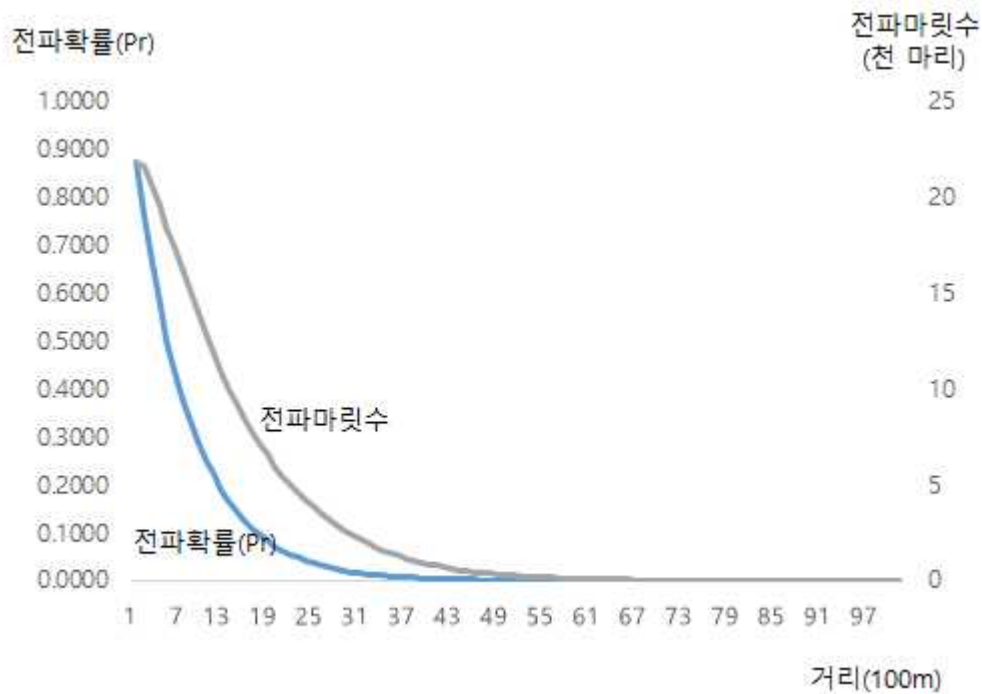
다. 분석결과

- 방역효과편의함수를 1차 미분한 방역효과한계함수를 추정하였다. 가축질병의 전파확률을 의미하는 P_r 은 2016/17년 HPAI 발병농가 자료를 이용하여 추정하였다. 2016/17년 HPAI가 걸린 농가들 간의 가장 가까운 거리를 측정하여 거리별(100m) 발생농가수를 전체 걸린농가수(10km)로 나누어주어 거리별로 전파확률을 추정하였다.



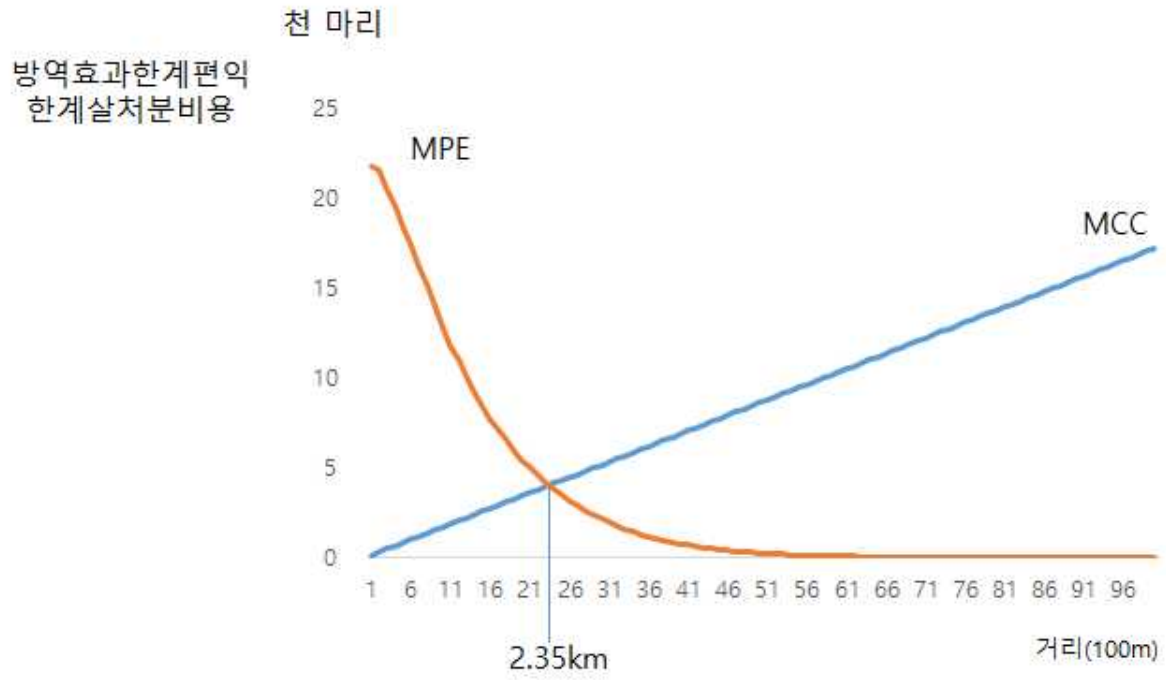
<그림 ③-3. HPAI 발생농가의 인근 발생농가와의 거리별 빈도>

- 식 (7-6)의 추정결과는 계수값 α 는 -0.1381, 표준오차는 0.0052, t값은 -26.3380으로 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하였으며, 결정계수 $R^2=0.8751$ 이었다.
- 추정결과 어느 농장에 HPAI가 발생할 경우 그 농장으로부터 500m거리에 있는 농장으로의 전파확률은 0.5014였으며, 1km거리 농장의 전파확률은 0.2514, 3km거리 농장의 전파확률은 0.0159, 10km거리 농장의 전파확률은 0.000001로 추정되었다.
- 방역효과한계함수(MPE)를 나타내는 추정된 전파확률에 해당거리에서의 평균 가금류 사육마릿수를 곱한 전파마릿수는 HPAI가 발생한 농장으로부터 500m거리일 경우 18,392마리였으며, 1km거리일 경우 12,859마리, 3km거리일 경우 2,158마리, 10km거리일 경우 1마리로 추정되었다.
- 추정된 계수를 이용한 전파확률(P_r)과 전파확률에 개별농장에서 해당 거리까지의 사육마릿수를 곱하여 계산한 전파마릿수, 즉 방역효과한계함수(MPE)를 그래프로 나타내면 <그림 ③-4>와 같다.



<그림 ③-4. HPAI발생에 따른 거리별 전파확률 및 전파마릿수 추정결과>

- 개별농가로부터의 거리 당 사육마릿수 자료를 이용하여 $\beta\pi$ 를 추정하였다. 분석의 편의상 $\beta\pi$ 를 하나의 계수로 가정하여 추정하였으며, 추정계수는 0.0862로 표준오차는 0.001, t값은 88.7231로 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. $R^2=0.9886$ 으로 매우 높게 나타났다.
- 추정된 방역효과한계편익곡선과 한계살처분비용을 그래프로 나타내면 아래와 같다. 방역효과한계편익은 방역지역거리(살처분거리)가 확장될수록 감소하는 모습을 보여주고 있으며, 한계살처분비용은 방역지역거리(살처분거리)가 확장될수록 증가하는 모습을 보여주고 있다.
- 방역의 사회편익을 극대화시키는 점은 이 방역효과한계편익곡선(MPE)과 한계살처분비용(MCC)이 교차하는 점으로 거리는 2.35km로 추정되었다.
- 따라서 본 분석으로부터 HPAI 발생 시 적절한 살처분 거리는 2.35km로 계산되었으며, 이는 현재 HPAI 긴급행동지침(SOP)의 기준 3km보다는 적게 나타났다. 하지만 최근의 Lee et al(2019)의 연구 결과인 2.24~2.65km와는 유사하게 나타났다.

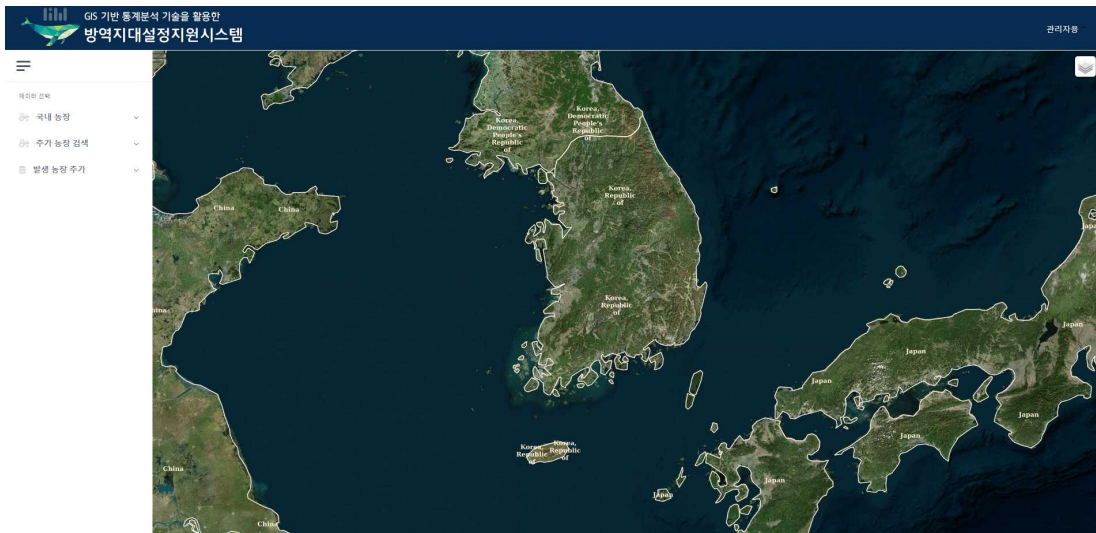


<그림 ③-5. 방역효과한계편익과 한계살처분비용의 균형점>

④ GIS 기반 통계분석 기술을 활용한 방역지대 설정 지원 시스템 개발

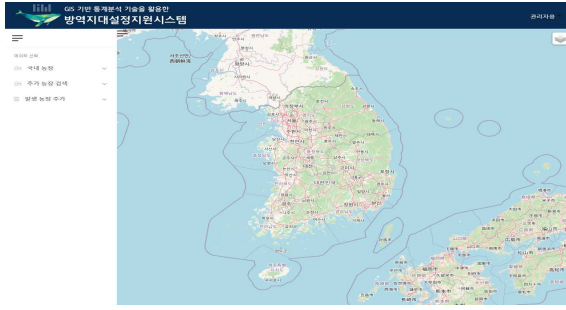
④-1. 방역지대 설정 지원 GIS 분석플랫폼 시스템 개발

- 최적의 방역지대 설정에 대한 타당성을 검토를 지원하기 위해, 가축질병 발생과 확산의 공간특성 및 개별 농장의 특성 정보를 제공할 수 있는 GIS 기반의 방역지대 설정 지원 시스템을 구축
- 가축질병 발생과 확산의 공간특성과 축산농장의 사육규모, 입지유형 등을 고려한 최적의 방역지역을 설정을 지원하기 위한 다양한 시각화 자료를 제공할 수 있도록 구현
- 본 연구진(동국대학교)에서 수행한 개별농장의 질병발생 확률 추정값을 적용하여 고위험농장의 분포를 파악하고 방역지대 설정 시 해당 정보를 통합하여 의사결정에 활용할 수 있도록 구현
- 개별 농장의 질병발생 확률은 농장의 시설현황, 운영방식, 입지유형 등 다양한 특성이 가축질병 발생에 미치는 영향을 분석한 결과로 본 연구진(동국대학교)의 분석값을 모든 농장에 적용해 공간 DB로 구성
- 웹 기반의 사용자 친화적인 UX/UI를 구현하여 명확한 정보 확인과 신속한 의사결정이 가능하도록 구현
- GIS 기반 통계분석 기술을 활용한 방역지대 설정 지원 시스템 서비스 운영
- <http://qz.kware.co.kr> (데모 시스템 온라인 운영)



<그림 ④-1. 웹 기반 방역지대 설정지원 시스템 초기 접속화면>

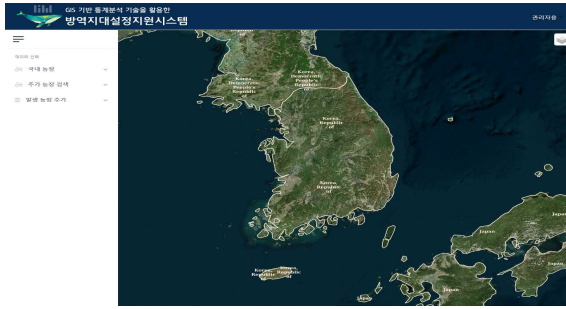
- 방역지대 설정 지원 시스템은 사용자가 상황에 최적화된 MAP을 선택하여 사용할 수 있도록 구현 (OpenStreetMap.Mapnik, Bing Maps Roads, Bing Maps Satellite, Bing Maps Satellite with Labels - 4종류의 MAP 제공)



<그림 ④-2. Open StreetMap.Mapnik>



<그림 ④-3. Bing Maps Roads>



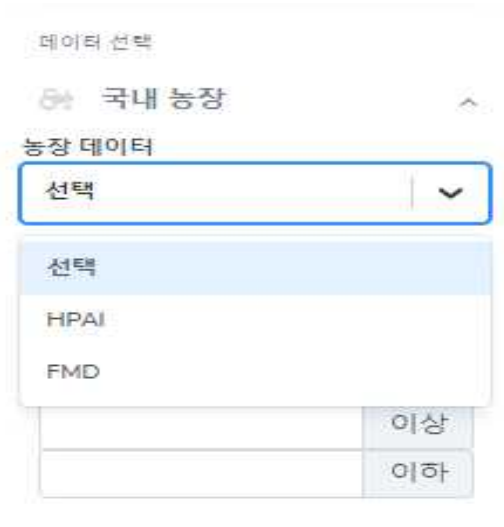
<그림 ④-4. Bing Maps Satellite>



<그림 ④-5. Bing Maps Satellite with Labels>

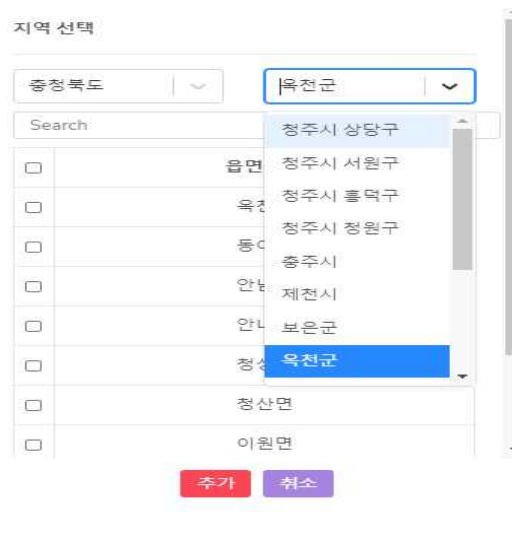
가. 국내 농장 검색 및 방역 지대 검색

- 지역별 농장 검색 및 농장별 특성 정보 검색 기능 구현
- 질병 발생 농장 기준 설정 거리 내 위치한 농장 검색 기능 구현 및 농장 간 방문 네트워크 정보 시각화
- 질병 발생농장 기준 방역지역 설정 시 지정 거리 외곽 인접 농장의 발생위험도 평가 결과를 반영한 방역지역 설정 기능 구현
- 설정 반경 내 농장 목록, 농장 특성 정보 및 총 농장 수와 총 사육두수 산출 제공
- 국내 농장 검색은 농장 데이터, 지역, 사육두수, 직접검색 4가지 데이터 선택 가능
 - 농장 데이터 : HPAI, FMD 선택



<그림 ④-6. 농장데이터 선택>

- 지역 선택 : 사용자가 시/도, 시/군/구, 읍/면/동 단위로 지역을 선택하여 조회할 수 있도록 지원 (관심 지역을 다중 선택하여 정보 조회)



<그림 ④-7. 지역 선택 UI>

- 축종 선택 : 닭-산란계, 닭-육계, 닭-종계, 돼지, 육용오리, 종오리 체크박스로 구현

<input type="checkbox"/>	축종 11
<input type="checkbox"/>	닭-산란계
<input type="checkbox"/>	닭-육계
<input type="checkbox"/>	닭-종계
<input type="checkbox"/>	돼지
<input type="checkbox"/>	육용오리
<input type="checkbox"/>	종오리

<그림 ④-8. 축종 선택 UI>

- 사육 두수 : 마릿수를 최솟값, 최댓값 정하도록 구현

사육두수

1	이상
100000	이하

<그림 ④-9. 사육두수 설정 UI>

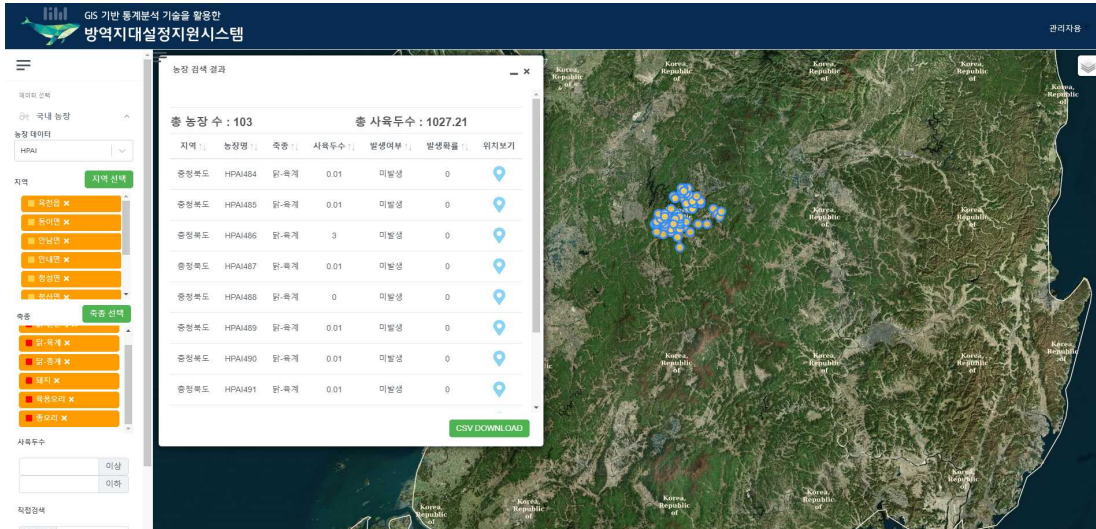
- 농장 직접 검색 : 농장명, 주소를 작성하여 검색 구현

직접검색

농장명	
주소	

<그림 ④-10. 농장 직접검색 UI>

- 데이터 선택 후 지도에 표기 시 농장 검색 결과와 GIS 위에 농가 표기
- 농장 검색 결과는 총 농장 수, 총 농가에서 사육중인 두수 표기
- 농장 검색 결과 데이터 테이블은 지역, 농장명, 축종, 사육두수, 발생여부, 발생확률, 위치보기를 표기



<그림 ④-11. 농장 검색 결과 표시 예>

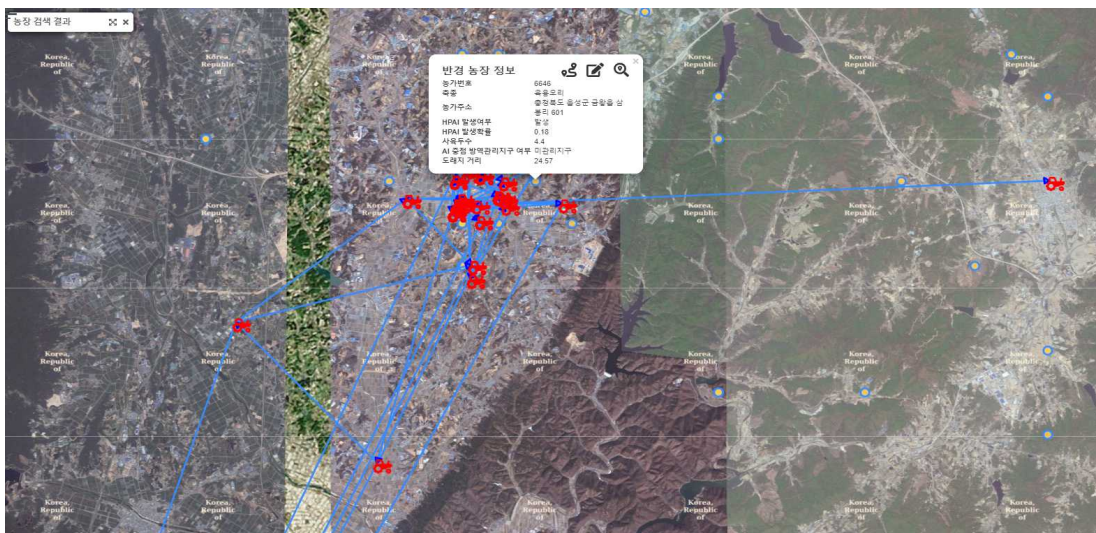
<표 ④-1. 농장 검색 결과 값 (예시)>

범례	Data
지역	충청북도
농장 명	HPAI6882
축종	닭-산란계
사육 두수	100
발생 여부	발생
발생 확률	0.01

- GIS 농장 선택 시 농가번호, 축종, 농가주소, 발생여부, 발생확률, 사육두수, 중점 방역관리지구 여부, 도래지 거리 데이터 상세보기 구현
 - 확산 네트워크 확인 기능 : HPAI, FMD 발생 농가 간 연관성 분석 및 축산차량 이동 데이터 시각화 구현
 - 해당 농장 수정 기능 : 선택한 농가 발생위험률, 축종, 사육두수, 발생 여부, 중점 방역관리지구 여부 수정 가능
 - 해당 농장 주변 검색 기능 : 선택한 농가를 기준으로 (사용자 설정 살처분 대상) 반경 내 위치한 농장을 검색하여, 지도위에 위치를 표시하고 해당 농장들의 특성정보 및 반경내 농가 수, 사육두수 정보를 제공(검색 결과의 업무 활용 지원을 위해 CSV 다운로드 기능 구현)
 - 또한, 반경 범위 외곽 근접 지역의 농장별 질병발생 위험률을 고려한 추가 방역지대를 자동으로 시각화하여 의사결정에 활용할 수 있도록 제공

<표 ④-2. 반경 농장 정보 상세보기 (예시)>

범례	Data
농가번호	6646
축종	육용오리
농가주소	충청북도 음성군 금왕읍 삼봉리 601
HPAI 발생여부	발생
HPAI 발생확률	0.18
사육두수	4.4
AI 중점 방역관리지구 여부	미관리지구
도래지 거리	24.57



<그림 ④-12. 농장 검색 - 확산 네트워크 보기>

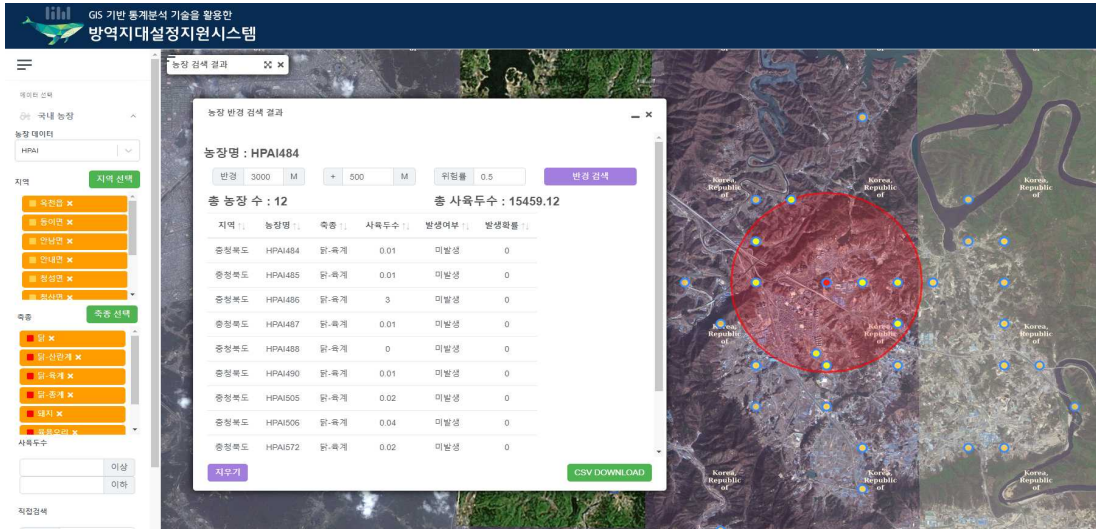
농장 정보 변경 - x

농가번호 <input type="text" value="6882"/>	HPAI 발생위험율 <input type="text" value="0.01"/>
축종 <input type="text" value="닭-산란계"/>	사육두수 <input type="text" value="100"/>
HPAI 발생여부 <input type="text" value="발생"/>	AI 중점 방역관리지구 여부 <input type="text" value="미관리지구"/>
농가주소 <input type="text" value="충청북도 옥천군 옥천읍 구일리 720"/>	
위도 <input type="text" value="127.6"/>	경도 <input type="text" value="36.29"/>

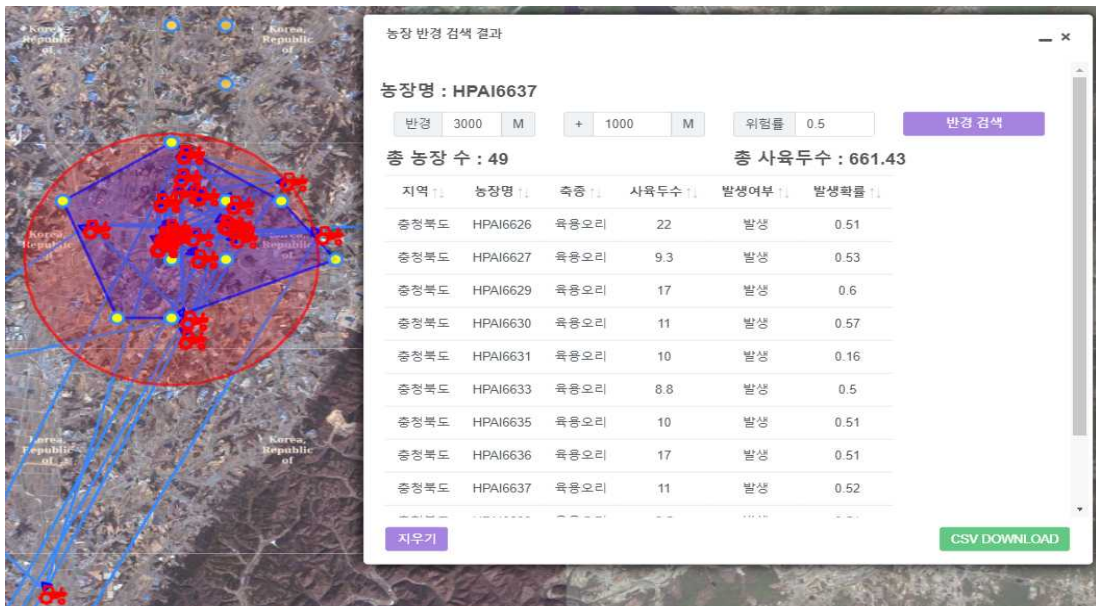
* 주소등록 방식을 아래에서 선택하세요.

검색방법 v 주소 검색

<그림 ④-13. 농장 정보 변경>



<그림 ④-14. 농장 반경 검색>



<그림 ④-15. 확산 네트워크 & 농장 반경 검색>

나. 발생 농장 추가

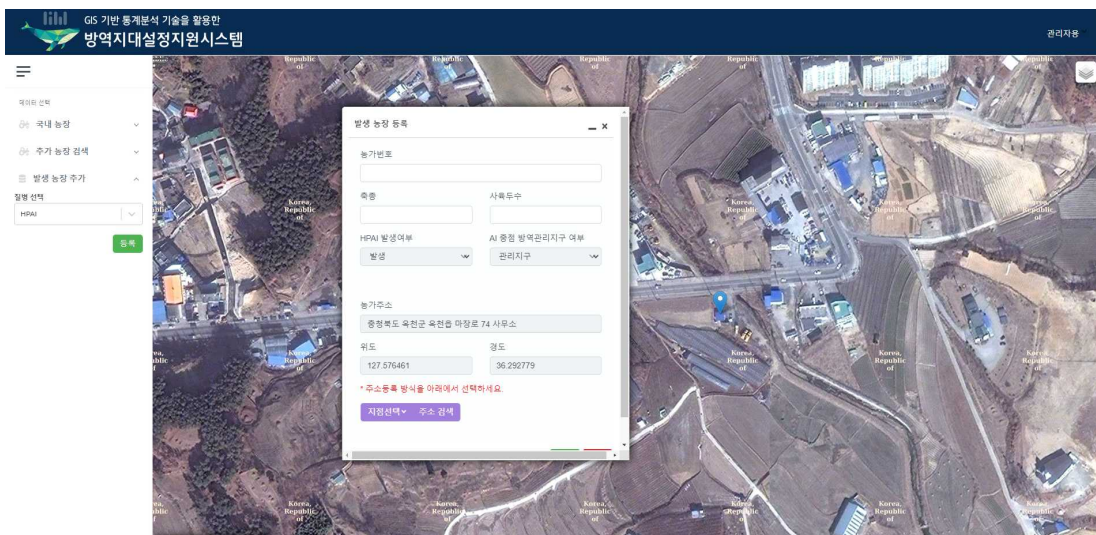
- 발생농장 및 바이러스 검출 위치 사용자 등록 및 공간 DB 자동구축 기능 구현
- 사용자가 직접 질병이 발생한 농장을 추가 할 수 있도록 기능 구현
- 발생 농장 추가는 HPAI, FMD 질병 선택 후 “등록” 버튼을 통해 발생 농가를 추가
 - 사용자가 농가번호, 축종, 사육두수 작성
 - HPAI 발생여부와 AI 중점 방역관리지구 등 부가정보 설정 지원
 - 농가 공간정보 입력 방식은 사용자의 편의성 강화를 위해 ‘주소 입력’, ‘좌표 입력’, ‘지도 위 지점 선택’의 세가지 방법을 제공

〈표 ④-3. 발생 농장 등록 (예시)〉

범례	Data
농가번호	311844
축종	닭
사육두수	15456
발생 여부	운영정책으로 인한 기능 중단
중점 방역관리 지구 여부	운영정책으로 인한 기능 중단
농가주소	충청북도 옥천군 옥천읍 마장로 78
위도	127.576928
경도	36.292874

〈그림 ④-16. 발생 농장 추가 주소 검색 - 주소입력〉

〈그림 ④-17. 발생 농장 추가 주소 검색 - 좌표입력〉



〈그림 ④-18. 발생 농장 추가 주소 검색 - 지도 위 지점 선택〉

다. 추가 질병 발생 농장 검색

- 사용자가 추가한 질병 발생 농장을 별도의 리스트로 관리하여 쉽게 재확인이 가능하도록 구성
- 추가 질병 발생 농장 검색은 HPAI, FMD 질병 선택 후 “농장 선택” 버튼을 통해 추가한 농가를 검색
 - 사용자가 시/도, 시/군/구, 읍/면/동 단위로 지역을 선택하여 조회할 수 있도록 지원 (관심 지역을 다중 선택하여 정보 조회)
 - 농장 데이터 테이블은 농장번호, 축종, 사육두수, 주소 보기 구현

<표 ④-3. 추가 질병 발생 농장 검색 (예시)>

범례	Data
농가번호	311844
축종	닭
사육두수	15456
주소	충청북도 옥천군 옥천읍 마장로 78

시/도 v

시/군/구 v

Search

<input type="checkbox"/>	농장번호 <small>††</small>	축종 <small>††</small>	사육두수 <small>††</small>	주소 <small>††</small>
<input type="checkbox"/>	8888888	돼지	10000	서울특별시 서초구 서초대로70길 51 (서초동) 서초2동주민센터
<input type="checkbox"/>	3333333	돼지	1000	충청북도 증평군 증평읍 장동로 110 증평삼일아파트 104동
<input type="checkbox"/>	888888	돼지	1000	강원도 화천군 화천읍 상승로 19 화천군교육청
<input type="checkbox"/>	311844	닭	15456	충청북도 옥천군 옥천읍 마장로 78 도서소매점
<input type="checkbox"/>	4444444	돼지	1	충청북도 청주시 상당구 미원면 운교길 56
<input type="checkbox"/>	1111111	돼지	10000	서울특별시 은평구 갈현로39길 16 (갈현동)

1

추가
취소

<그림 ④-19. 추가 질병 발생 농장 검색>

- 사용자가 추가한 질병 발생 농장을 별도의 목록에서 선택하여 지도위에 시각화 할 수 있도록 구현
- 사용자가 추가한 농장은 기존 농장과 구분하여 검은색 포인트로 하도록 구현하였으며, 사용자 반응형 컴포넌트로 구성하여 사용자의 마우스 반응에 추가 농장 정보 제공
 - 해당 농장 주변 검색 기능 : 선택한 농가를 기준으로 (사용자 설정 살처분 대상) 반경 내 위치한 농장을 검색하여, 지도위에 위치를 표시하고 해당 농장들의 특성정보

및 반경내 농가 수, 사육두수 정보를 제공(검색 결과의 업무 활용 지원을 위해 CSV 다운로드 기능 구현)

- 또한, 반경 범위 외곽 근접 지역의 농장별 질병발생 위험률을 고려한 추가 방역지대를 자동으로 시각화하여 의사결정에 활용할 수 있도록 제공



<그림 ④-20. 추가 질병 발생 농장 검색 상세보기>

2-3. 연구개발 성과

가. 논문게재 성과

연도	논문명	저자명	학술지명	vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
2019	가금 농장의 특성에 따른 HPAI 위험요인 분석	안미란, 지인배, 배선학, 박선일, 김상태	농촌경제	42(3)	국내	KCI 등재지
2019	Spatial-temporal Distribution of Coastal Drowning and Geographical Characteristics of Accident Spots, on The East Coast of Korea	김창환, 배선학	Journal of coastal research : JCR	91(special)	국외	SCI (1.053)
2020	Analysis of changes in social awareness in livestock stamping out using newspaper articles	박선일, 배선학	예방수의학회지	44(1)	국내	KCI 등재지
2020	Region classification based on livestock vehicle movement data by community detection method	신대용, 박선일, 권교현, 김동현, 배선학	예방수의학회지	44(4)	국내	KCI 등재지
2020	고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 발생농가 입지특성	김동현, 배선학	한국지리정보학회지	23(4)	국내	KCI 등재지

나. 특허성과

연도	특허명	출원인	출원국	등록번호
2019	축산 질병 발생 분석을 위한 빅 데이터 관리 및 시스템	케이웨어(주), 남준	대한민국	10-2019-0128598
2020	메타정보를 관리하는 데이터 관리 서버 및 그 제어방법	케이웨어(주), 남준, 정진호	대한민국	10-2020-0186394

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표 및 달성여부

가. 연구개발 목표 및 달성여부

- 최종 목표 : 현행 방역지역 범위설정의 문제점과 타당성을 평가하고, 그 결과에 근거하여 국내 지리적 특성과 축산환경을 고려한 방역지역 범위 설정 모델을 정립한 후 국가 방역업무에 즉시 활용할 수 있도록 GIS 기반의 방역지역 설정 시스템으로 개발함

○ 세부 목표 및 달성여부

분야	세부 목표	주요 내용	달성 여부	연구결과
방역지대 설정	○ 국제기구(OIE, FAO 등)와 관련분야 주요 선진국의 사례 분석을 통한 국내 적용 가능성 분석	- 주요국가(미국, 영국, 일본 등)의 적용 기준 조사	○	(2-2-②-12)
		- 해외 사례의 적용 기준을 국내 발생 사례에 적용 시 효과 및 비용 추정		
현행 방역기준 평가	○ 기존 질병발생 실증 데이터를 이용한 방역지대 설정 문제점 및 개선방안 도출	- 질병 발생 농장 데이터와 역학분석 결과를 활용한 실증 평가	○	(2-2-②-2 ~ 2-2-②-6)
		- 축산차량 이동 데이터를 이용한 발생 농장 간 네트워크 분석		(2-2-②-8)
		- 야생조류 서식지(주요 철새 도래지)와의 인접도와 질병발생 확률 관계 분석	○	(2-2-②-2 ~ 2-2-②-6)
		- 주요 축산시설(도축장, 도계(압)장 등)과의 인접도와 질병발생 확률 관계 분석		
○ 현행 방역지역 범위에 대한 질병 확산 차단 효과 분석	- 현행 방역지대 설정에 따른 질병 확산 차단 효과 분석	○	(2-2-②-2 ~ 2-2-②-6)	
	- 축산시설과 야생조류 서식지 인접도에 따른 질병 확산 차단 효과 분석			
○ 현행 방역지역 범위에 대한 경제적 타당성을 분석	- 현행 방역지대 설정에 따른 경제적 타당성(비용) 분석	○	(2-2-③)	
	- 축산시설과 야생조류 서식지 인접도에 따른 경제적 타당성(비용) 분석			

방역 기준 개선	○ 농장의 입지 환경 유형화 및 유형별 질병발생 및 경제성 평가와 일반화	- 농장 입지 환경 유형별 질병 확산 특성 분석 및 일반화	○	(2-2-③)
		- 농장 입지 환경 유형별 경제적 타당성(비용) 분석 및 일반화		
시스 템 구현	○ 가축질병 발생 시 방역지역 최적화를 위한 모델 개발	- 농장 입지 환경 유형의 일반화 결과를 반영한 개별 농장 단위 방역지역 최적화 기준 제시	○	(2-2-③)
		- 질병 확산차단과 경제성(비용 최소화)을 동시에 고려한 방역지역 설정 모델 개발		
시스 템 구현	○ 개별 농장의 특성이 반영된 방역지역 자동설정 시스템 개발	- 신속한 의사결정이 가능한 시스템 개발	○	(2-2-④)
		- KAHIS와 연계가 가능한 GIS 기반의 의사결정지원시스템 개발		

나. 연구성과 목표 및 달성도

성과목 표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍 보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책 활용	홍보 전시	
												SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	20												20	20	10	20	10		
최종목 표	1											4	6	4	2	2	1		
1차년도															1				
2차년도												2	3	2		1			
3차년도	1											2	3	2	1	1	1		
소 계	1											4	6	4	2	2	1		
달성실적	2							2				1	4	15	4	2	2	1	
달성도(%)	100											100	100	100	100	100	100		
종료 1차년도												1							
종료 2차년도												1						1	
소 계												2						1	
합 계	1											6	6	4	2	2	1	1	

3-2. 관련 분야 기여도

가. 현행 방역권역에 대한 평가와 방역권역 설정의 타당성 검증

○ 기존 발생 가축질병에 대한 분석과 방역 진행에 대한 평가

- 기존 발생 가축질병에 대한 다각적인 분석을 통해 가축질병 조기 차단 성공 지역과 실패 지역의 차이점을 통해 방역정책 변화 가능성 도출

○ 방역권역 선정의 근거 마련

- 발생농장 간 네트워크 분석, 축산농가의 거리 변화에 따른 방역 권역, 축산차량 이동 데이터를 통한 방역 권역 구분 등의 복합적인 제안
- 방역권역 경제성 평가를 통한 기존 방역 지역(3km)에 대한 타당성 검증
- 지역 별 차별적인 방역대책 수립의 필요성 확인
- 확실한 근거를 통한 방역정책과 방역권역의 변화 가능성 확인

나. 방역지역 설정 지원 시스템을 통한 방역정책 의사결정 지원

○ 기존 역학조사 전파확산 경로를 구체적으로 파악하고 시각화

- 시스템 구현을 통해 공간상에서 가축질병 전파·확산 상황 파악 가능
- 신규 가축질병 발생 시 방역 의사결정과 역학조사에 활용 가능
 - 지역별 농장 검색 및 농장별 특성 정보 검색 지원
 - 가축질병 발생농장 기준 설정 거리 내 위치한 농장 검색 지원
 - 설정 반경 내 농장 목록, 농장특성 정보 및 총 농장 개수와 총 사육두수 산출 지원
 - 농장 간 방문 네트워크 정보 시각화 지원
 - 질병 발생농장 기준 방역지역 설정 시 지정 거리 외곽 인접 농장의 발생위험도 평가결과를 반영한 방역지역 설정 지원
 - 신규 발생농장 및 바이러스 검출 위치 사용자 등록 및 공간 DB 자동구축

○ 획일화된 지정 거리 방역지역이 아닌, 지역별 차별화 방역지역 선정의 근거 마련

- 예시) 신규 가축질병이 발생 → 방역지역 설정 지원 시스템을 통해 기본적인 농장과 그 주변의 특성 파악 → 과거 질병발생 자료 확인 → 지정거리 및 외곽 인접 농장의 발생위험도 평가결과 확인 → 농장 간 방문 네트워크 확인 → 방역지역 선정

다. 데이터 구축의 필요성 확인

○ GIS 기반 데이터 구축의 필요성과 활용방법 제안

- 역학조사보고서의 내용을 문서가 아닌 개인정보보호법에 저촉되지 않으며 역학조사관이나 개별 연구진이 쉽게 접근하고 활용할 수 있는 공간정보 데이터로 구축할 필요성

확인

- 해당 내용을 정책제안(가. 가축방역에 활용하기 위한 축산차량 이동데이터의 가공 및 공개, 나. 역학조사분석보고서 역학조사 결과 네트워크 데이터 구축)하여 데이터 활용의 용이성에 기여

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 모든 세부 목표를 성실히 달성하였습니다.

4. 연구결과의 활용 계획 등

4-1. 연구 성과의 활용방안

가. 방역지역 설정 지원 시스템을 통한 방역정책 의사결정 지원

- 기존 역학조사 전파확산 경로를 구체적으로 파악하고 시각화하여 과거의 전파확산 정보로부터 방역지역 선정에 토대가 될 정보를 신속하게 파악
- 파악된 정보를 통해 방역 당국의 신속하고 타당한 의사결정 지원
- 실제적으로 즉시 방역지역 선정 의사결정에 도움을 줄 수 있음

나. 기존 시스템(KAHIS, 자체개발 소프트웨어 등)과의 연계를 통한 방역지역 선정

- 기존 시스템과의 연계를 통한 다양한 분석과 실제 가축질병 발생 시 방역지역 선정에 다각적인 검토사항을 제공

다. 데이터의 구축 및 가공에 대한 정책건의 및 시행

- 기존에 제안한 축산차량 이동데이터의 가공 및 공개와 역학조사보고서의 전파확산 정보 데이터화 지원
- 가축방역 분야의 연구활성화 및 중장기 방역계획 수립을 위한 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 기대

라. 연구개발에 사용한 연구방법론을 통한 타 연구에의 응용

- 네트워크 분석, 공간자기상관 등의 분석 방법론은 타 연구에서 중요한 연구방법으로 사용될 수 있음
- 가축질병 전파확산 자료, 축산차량 이동데이터 등 다양한 자료를 통한 네트워크 분석 결과와 경험은 타 연구에 응용될 수 있음

4-2. 추가 연구의 필요성

가. 농장 주변 토지이용에 관한 연구

- 농장 주변 토지이용에 대한 기계학습 분석과 그에 따른 유형화를 시도하였으나 유의미한 결과가 도출되지 못함
- 토지피복도의 부정확성, 미구축 지역 존재, 분류 강도 등이 유의미한 결과를 도출하는데 걸림돌이 되었을 수 있음
- 가축농가 주변의 상황이 바이러스 유입에 영향을 끼치기 때문에, 분석 방법론의 변화와 발전이 있을 때 추가 연구를 진행해야 할 필요성이 있음

나. 예방적 살처분의 효과 검증에 관한 연구

- 기존의 예방적 살처분의 효과를 좀 더 명확히 할 필요성이 있음
- 예방적 살처분의 효과를 명확히 한다면, 예방적 살처분이 필요한 지역과 타겟 방역을 실시해야 하는 지역을 명확하게 구분하여 정확한 매뉴얼을 제시할 수 있음

붙임. 참고문헌

기상청. 『기후자료』 .

국가통계포털. 2012-2017. 『농림업생산지수』.

농림축산식품부. 『AI 긴급행동지침(SOP)』 .

농림축산식품부. 『AI 방역관리지구 지정 및 운영 계획(안)』 .

농림축산식품부. 2018. 『2017/18년 AI 역학조사보고서』. 역학조사위원회.

농림축산검역본부, 국가가축방역통합시스템(KHIS).

농림축산검역본부, 『통계현황: 축산차량등록제』 .

통계청. 『가축사육동향』 .

통계청. 『지역통계총괄』 .

통계청. 2017. 『전국 철새도래지 야생조류인플루엔자 예찰 강화』 .

환경공간정보서비스 <https://egis.me.go.kr>

CYRAM <http://www.netminer.com>

GeoDa <https://geodacenter.github.io>

NetMiner <http://www.netminer.com>

SatScan <http://www.satscan.org>

강호제. 2008. 핫스팟 분석기법(Hot Spot Analysis): 공간분석의 기초, 최근린군집분석과 국지모란지수의 이해와 활용. 국토연구 324:116-121.

곽기영, 2014, 소셜네트워크분석, 서울: 청람.

김동현, 배선학. 2020. “고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 발생농가 입지특성”, 한국지리정보학회지 23(4):140-155.

김창환, 배선학, 2019. “Spatial-temporal Distribution of Coastal Drowning and Geographical Characteristics of Accident Spots, on The East Coast of Korea”, Journal of coastal research(JCR) 91(Special):326-330.

남영은, 서지현, 최가영, 이경준. 2018. “음이향회귀모형을 이용한 꽃게 출하량에 관한 연구.” 『Journal of The Korean Data Analysis Society』 제20권 제6호. pp. 2941-2951. 한국자료분석학회.

남춘호, 2016, 일기자료 연구에서 토픽모델링 기법의 활용가능성 검토, 비교문화연구, 22(1), 89-135.

박선일, 문운경, 고경일, 이민파. 2017. 가축전염병 확산방지 역학조사 및 폐사축 매몰지 안전관리 시스템 개발 보고서.

박선일, 박홍식, 정우석, 이경주. 2016. “가축질병 방역활동 지원을 위한 국가동물방역통합시스

- 템 시공간 정보활용.” 『한국지리정보학회지』 제19권 제4호. pp. 186-198. 한국지리정보학회.
- 박선일, 배선학, 2018. 텍스트 분석 기법을 활용한 DMZ 연구 동향 분석, 한국지역지리학회지, 24(3):406-417.
- 박선일, 배선학, 2020. “Analysis of changes in social awareness in livestock stamping out using newspaper articles”, 예방수의학회지 44(1):19-27.
- 박자현, 송민, 2013, 토픽모델링을 활용한 국내 문헌정보학 연구동향 분석, 정보관리학회지, 30(1), 7 - 32.
- 서지영, 김석관, 성지은, 정교민, 이미영. 2011. 전염성 동물질환에 대한 과학기술적 대응방안. 정책연구, pp.1-229.
- 송창선. 2015. 『야생조류의 조류인플루엔자 바이러스에 대한 감수성 비교 연구(I)』. 국립환경과학원.
- 신대용, 박선일, 권교현, 김동현, 배선학. 2020. “Region classification based on livestock vehicle movement data by community detection method”, 예방수의학회지 44(4):161-168.
- 안미란, 지인배, 배선학, 박선일, 김상태. 2019. “가금 농장의 특성에 따른 HPAI 위험요인 분석.” 『농촌경제』 제42권 제3호. pp. 173-192. 한국농촌경제연구원.
- 이상일, 조대현, 손학기, 채미옥. 2010. 공간 클러스터의 범역 설정을 위한 GIS-기반 방법론 연구 -수정 AMOEBA 기법-. 대한지리학회지 45(4):502-520.
- 이성우, 민성희, 박지영, 윤성도. 2005. 『로짓·프라빗모형 응용』. 박영사.
- 이종원. 2016. “계량경제학”
- 정경수, 김민경, 송창선. 2016. AI 방역체계 개선방안 후속대책연구.
- 정재풍, 최종후. 2014. “교통사고건수에 대한 포아송 회귀와 음이항 회귀모형 적합.” 『Journal of the Korean Data Analysis Society』 제16권 제1호. pp. 165-172. 한국자료분석학회.
- 지인배, 조재성, 김현중, 김동훈, 김선현, 최용훈. 2019. 『오리사육시설 개선방안 조사연구』. 오리자조금관리위원회.
- 지인배, 김현중, 한봉희. 2015. 『구제역 발병 농가 실태와 정책 과제』. 한국농촌경제연구원.
- 한성수, 양동우, 2017, 텍스트마이닝을 이용한 창업 관련 연구 동향 분석, 벤처창업연구, 12(5), 1-12.
- 한유리, 배선학, 박선일, 2012, 시공간 클러스터링을 이용한 2010-2011 국내 발생 구제역 전파 분석, 강원대수의과대학 학사학위 논문집, 1-18.
- Alkhamis, M.A., A.M. Perez, H. Yadin and N.J. Knowles. 2009. Temporospatial Clustering of Foot-and-Mouth Disease Outbreaks in Israel and Palestine, 2006-2007. *Transboundary and Emerging Diseases* 56:99-107.
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Method and Models*, Dordrecht: Kluwer Academic

Publichers.

- Anselin, L. 1995. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis* 27(2):93-115.
- Anselin, L. and Anil K. Bera. 1998. “Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics,” in Aman Ullah and David Giles(eds.). *Handbook of Applied Economic Statistics*. New York. pp. 237-289.
- Blei, D., 2012, Probabilistic topic models. *Communications of the ACM*, 55(4), 77-84.
- Burnham, Kenneth P., and David R. Anderson. (2004). “Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection.” *Sociological methods & research* vol.33, no.2, pp.261-304.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. 1986. “Econometric Models Based on Count Data. Comparisons and Applications of Some Estimators and Tests.” *Journal of applied econometrics*. vol.1, no.1, pp.29-53.
- Cox, D. R. 1983. “Some Remarks on Overdispersion.” *Biometrika*. vol.70, no.1, pp. 497-505.
- De Jong, P., & Heller, G. Z. 2008. 『Generalized linear Models for Insurance Data』. Cambridge Books.
- Delen, D., 2014. *Real-world data mining: applied business analytics and decision making*. FT Press. 데이터마이닝: 데이터를 정보로, 정보를 지식으로 전환 (허선, 신동민 역). 서울: 시그마프레스. (원서출판 2016).
- Desvaux, S., Grosbois, V., Pham, T. T. H., Fenwick, S., Tollis, S., Pham, N. H., ... & Roger, F. (2011). Risk factors of highly pathogenic avian influenza H5N1 occurrence at the village and farm levels in the Red River Delta Region in Vietnam. *Transboundary and Emerging Diseases*, vol.58, no.6, pp.492-502.
- Djunaidi, H., & Djunaidi, A. C. (2007). The economic impacts of avian influenza on world poultry trade and the US poultry industry: a spatial equilibrium analysis. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, vol.39, no.2, pp.313-323.
- Fang, L. Q., de Vlas, S. J., Liang, S., Looman, C. W., Gong, P., Xu, B., ... & Cao, W. C. (2008). Environmental factors contributing to the spread of H5N1 avian influenza in mainland China. *PloS one*, vol.3, no.5, pp.e2268.
- Firestone, S. M., Christley, R. M., Ward, M. P., & Dhand, N. K. (2012). Adding the spatial dimension to the social network analysis of an epidemic: Investigation of the 2007 outbreak of equine influenza in Australia. *Preventive veterinary medicine*, vol.106, no.2, pp.123-135.
- Gaidet, N., Cappelle, J., Takekawa, J. Y., Prosser, D. J., Iverson, S. A., Douglas, D. C., ... & Newman, S. H. (2010). Potential spread of highly pathogenic avian influenza H5N1 by

- wildfowl: dispersal ranges and rates determined from large scale satellite telemetry. *Journal of Applied Ecology*, vol.47, no.5, pp.1147-1157.
- Geary, R.C., (1954), "The Contiguity Ratio and Statistical Mapping", *The Incorporated Statistician*, vol.5, pp.115-145.
- Getis, A. and J.K. Ord. 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis* 24(3):189-206.
- Gilbert, M., Chaitaweesub, P., Parakamawongsa, T., Premashthira, S., Tiensin, T., Kalpravidh, W., ... & Slingenbergh, J. 2006. Free-Grazing Ducks and Highly Pathogenic Avian Influenza, Thailand. *Emerging Infectious Diseases*, vol.12, no.2, pp.227.
- Jeong, J., Kang, H. M., Lee, E. K., Song, B. M., Kwon, Y. K., Kim, H. R., ... & Jeong, W. (2014). Highly pathogenic avian influenza virus (H5N8) in domestic poultry and its relationship with migratory birds in South Korea during 2014. *Veterinary microbiology*, vol.173, no.3-4, pp.249-257.
- Jiang, H., Qiang, M. and Lin, P., 2016, Finding academic concerns of the Three Gorges Project based on a topic modeling approach. *Ecological indicators*, 60, 693-701.
- Jockers, M. L., 2014, *Text analysis with R for students of literature*, New York: Springer.
- Khan, A., Ullah, S., Mitz, J. 2011. "Statistical Modelling of Falls Count Data with Excess Zeros." *Injury Prevention*. vol.17, pp. 266-270.
- Kilpatrick, A. M., Chmura, A. A., Gibbons, D. W., Fleischer, R. C., Marra, P. P., & Daszak, P. (2006). Predicting the global spread of H5N1 avian influenza. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.103, no.51, pp.19368-19373.
- Kim, W. H., An, J. U., Kim, J., Moon, O. K., Bae, S. H., Bender, J. B., & Cho, S. 2018. "Risk Factors Associated with Highly Pathogenic Avian Influenza Subtype H5N8 Outbreaks on Broiler Duck Farms in South Korea." *Transboundary and Emerging Diseases*. vol.65, no.5, pp.1329-1338.
- Kotu, V. and Deshpande, B., 2014. *Predictive analytics and data mining: concepts and practice with rapidminer*. Morgan Kaufmann. 데이터 과학: RapidMiner를 활용한 데이터 마이닝 (권영호, 이정선, 고재문, 온승엽, 한명목 역). 서울: 한티미디어. (원서출판 2016).
- Kulldorff, M., 2010, *SaTScan User Guide*.
- Kulldorff M. and N. Nagarwalla. 1995. Spatial disease clusters: Detection and Inference. *Statistics in Medicine* 14:799-810.
- Lee, Jonggul, Ko, Y., and Jung, E. (2019). Effective control measures considering spatial heterogeneity to mitigate the 2016-2017 avian influenza epidemic in the Republic of Korea. *PLOS ONE*.
- Lee, Jay & David W. S. Wong. 2001. *Statistical Analysis with ArcView GIS*. John Wiley &

Sons, Inc.

- Loth, L., Gilbert, M., Osmani, M. G., Kalam, A. M., & Xiao, X. (2010). Risk factors and clusters of highly pathogenic avian influenza H5N1 outbreaks in Bangladesh. *Preventive veterinary medicine*, vol.96, no.1-2, pp.104-113.
- Martin, V., Pfeiffer, D. U., Zhou, X., Xiao, X., Prosser, D. J., Guo, F., & Gilbert, M. 2011. "Spatial distribution and risk factors of highly pathogenic avian influenza (HPAI) H5N1 in China." *PLoS Pathog.* vol.7, no.3, pp.e1001308.
- Mimno, D. and McCallum, A., 2012, Topic models conditioned on arbitrary features with dirichlet-multinomial regression. arXiv preprint arXiv:1206.3278.
- Mitchel, A., 2005. *The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spartial measurements and statistics.* ESRI Guide to GIS analysis.
- Moran, P.A.P., (1950), "Notes on Continuous Stochastic Phenomena", *Biometrika*, vol.37, pp.17-23.
- Paul, M., Wongnarkpet, S., Gasqui, P., Poolkhet, C., Thongratsakul, S., Ducrot, C., & Roger, F. 2011. "Risk Factors for Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) H5N1 Infection in Backyard Chicken Farms, Thailand." *Acta tropica*, vol.118, no.3, pp.209-216.
- Pfeiffer, D. U., Minh, P. Q., Martin, V., Epprecht, M., & Otte, M. J. 2007. "An analysis of the spatial and temporal patterns of highly pathogenic avian influenza occurrence in Vietnam using national surveillance data." *The Veterinary Journal*, vol.174, no.2, pp.302-309.
- Reardon, S., 2014, Text-mining offers clues to success. *Nature*, 509(7501), 410.
- Si, Y., de Boer, W. F., & Gong, P. (2013). Different environmental drivers of highly pathogenic avian influenza H5N1 outbreaks in poultry and wild birds. *PloS one*, vol.8, no.1, pp.e53362.
- Tiensin, T., Ahmed, S. S. U., Rojanasthien, S., Songserm, T., Ratanakorn, P., Chaichoun, K., ... & Thanapongtham, W. (2009). Ecologic risk factor investigation of clusters of avian influenza A (H5N1) virus infection in Thailand. *The Journal of infectious diseases*, vol.199, no.12, pp.1735-1743.
- Tobler, W. 1970. "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region," *Economic Geography*, 46 (Supplement): 234-240.
- Tran, C., Yost, R., Yanagida, J., Saksena, S., Fox, J., & Sultana, N. (2013). Spatio-temporal occurrence modeling of highly pathogenic avian influenza subtype H5N1: A case study in the Red River Delta, Vietnam. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol.2, no.4, pp. 1106-1121.
- Wang, Y., Li, P., Wu, Y., Sun, X., Yu, K., Yu, C., & Qin, A. 2014. The Risk Factors for Avian

- Influenza on Poultry Farms: A Meta-Analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, vol.117, no.1, pp.1-6.
- Ward, M. P., Maftai, D., Apostu, C., & Suru, A. (2008). Environmental and anthropogenic risk factors for highly pathogenic avian influenza subtype H5N1 outbreaks in Romania, 2005 – 2006. *Veterinary research communications*, vol.32 , no.8, pp.627-634.
- Ward, M. P., Maftai, D. N., Apostu, C. L., & Suru, A. R. (2009). Association between outbreaks of highly pathogenic avian influenza subtype H5N1 and migratory waterfowl (family Anatidae) populations. *Zoonoses and public health*, vol.56, no.1.
- Yupiana, Y., de Vlas, S. J., Adnan, N. M., & Richardus, J. H. 2010. “Risk Factors of Poultry Outbreaks and Human Cases of H5N1 Avian Influenza Virus Infection in West Java Province, Indonesia.” *International Journal of Infectious Diseases*. vol.14, no.9, pp. e800-e805.

<별첨작성 양식>

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 방역지역 설정(관리,보호,예찰) 타당성과 합리적 근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구				
	(영문) A study on establishing rational basis for setting up quarantine zone				
주관연구기관	강원대학교		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 강원대학교	
참 여 기 업	동국대학교, 케이웨어(주)			(성명) 배선학	
총연구개발비 (586,800천원)	계	586,800	총 연구 기간	2018.04.26. ~ 2020.12.31.(2년9월)	
	정부출연 연구개발비	440,000	총 참 여 연구 원 수	총 인원	12
	기업부담금	146,800		내부인원	12
	연구기관부담금	-		외부인원	-
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현행 방역지역의 범위설정의 문제점과 타당성을 평가하고, 그 결과에 근거하여 국내 지리적 특성과 축산환경을 고려한 방역지역 범위설정 모델을 정립한 후 국가 방역업무에 즉시 활용할 수 있도록 GIS기반의 방역지역 설정 지원 시스템으로 개발 <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실증 데이터 구축을 통해 다양한 데이터 수집 - 가축질병 발생 농가의 시공간 군집 분석, 네트워크분석, 토지피복분석, 등을 통해 발생 농장의 분류 및 유형화 과정 실행 - 가축 질병에 관한 신문기사의 텍스트마이닝, 국제 기구와 해외 주요 국가의 방역지역 설정 기준을 분석하여 방역정책 수립에 참고자료로 활용 - 방역지역 설정의 경제성 평가 모델과 네트워크 분석 모델을 개발하여 통합, 방역지역 설정 지원 모델을 개발 - GIS를 기반으로 하는 방역지역 설정 지원 시스템 구현 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현행 방역지역 설정에 대한 평가와 방역지역 설정의 타당성 검증 - 실제 사용자(방역당국)가 방역지역을 설정하고자 할 때 의사결정을 지원하는 수단으로 활용 - GIS기반의 데이터 구축의 필요성과 활용방법 제안 					

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	318045-3		
사업구분	농식품기술개발사업				
연구분야	동물질병관리		과제구분	단위	
사업명	가축질병대응기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	방역지역(관리, 보호, 예찰구역) 설정의 타당성과 합리적 근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구		과제유형	개발	
연구기관	강원대학교, 동국대학교, 케이웨어(주)		연구책임자	배선학	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2018.04.26.~ 2018.12.31.	120,000	40,000	160,000
	2차연도	2019.01.01.~ 2019.12.31.	160,000	53,400	213,400
	3차연도	2020.01.01.~ 2020.12.31.	160,000	53,400	213,400
	계		440,000	146,800	586,800
참여기업	케이웨어(주)				
상대국	-	상대국연구기관	-		

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2021.01.31.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
강원대학교	부교수	배선학

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	배선학
----	-----

1. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수)

방역에 관련된 경제요인과 방역 효과와의 관계 검토를 통해 현행 방역권역에 대한 평가와 방역권역 설정의 타당성을 검증하여 방역정책과 방역권역의 수립에 확실한 근거를 마련하였습니다. 방역의 경제성을 방역정책 평가에 활용했다는 것이 유사 과제 대비 강점입니다. 이러한 방역정책 평가를 통해 기존의 역학조사 전파확산 경로를 구체적으로 파악하고 시각화하여 방역정책 의사결정을 지원할 수 있는 방역지역 설정 지원 시스템을 구축하였습니다.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수)

방역지역 설정 지원 시스템의 KAHIS 연동 및 자체 소프트웨어와의 연동을 통해, 기존 발생한 가축질병의 전파확산 기록을 확인하고 신속한 방역정책 수립의 의사결정을 지원해 신속한 차단방역이 이루어질 수 있도록 하여 가축질병의 조기차단과 방역선진화에 기여할 수 있습니다. 실제로 과제 진행 중 검역본부와의 연계를 통해 축산차량이동데이터의 네트워크 분석을 방역업무에 적용하는 시도가 진행되었습니다.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수)

기존의 획일화된 지정거리 방역지역 선정이 아닌, 지역별 차별화 방역지역 선정의 근거를 마련하였습니다. 기존의 지정거리 방역 및 예방적 살처분은 지역 주민의 반발과 같은 비난의 대상이 되어왔으며, 해당 연구에서 밝힌 방역 지역의 타당성과 이에 따른 지역별 차별화 방역지역 선정은 이러한 상황의 극복에 도움이 될 수 있습니다. 연구개발결과 중 축산차량 이동데이터 활용, 역학조사 분석보고서 결과 데이터 구축에 관한 내용은 정책건의를 통해 이미 활용할 준비를 마친 상태입니다.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (우수)

연구계획서 상 연구 상세목표를 모두 달성하였으며, 해당 결과는 최종 목적인 '방역지역 범위설정 문제점과 타당성 평가', '방역지역 범위설정 모델 정립', 'GIS 기반의 방역지역 설정 지원 시스템 개발'의 목적을 달성하기에 적합하였습니다. 연구 초·중반, 개인정보보호법 등의 이유로 데이터 확보의 어려움이 있었습니다. 이에 일부 일정 진행상 차질을 겪었으나, 현업 담당자와의 긴밀한 연계를 통해 정확한 데이터베이스 구축을 위해 노력하였습니다. 또한 가축 질병분야 유사 과제 수행 연구진들과 연합 발표회, 공동 세미나를 개최 및 참가하였으며 검역본부 담당자와 업무협의를 진행하였습니다.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (우수)

해당 과제의 학술적 연구방법론을 통해 연구 목표로 하였던 KCI 등재지 논문 4편뿐만 아니라, SCI 논문 1편 또한 성과로 제출하였습니다. 학술대회 발표는 목표로 하였던 6건 이외에 9건을 추가로 발표하여 총 15건 진행하였습니다. 특히 2019년 지리정보학회 추계학술대회와 2020년 지리정보학회 추계학술대회에서 각각 우수논문상을 수상, 총 2회 수상하여 연구 성과의 우수성을 증명하였습니다.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
국제기구(OIE, FAO 등)와 관련분야 주요 선진국의 사례 분석을 통한 국내 적용 가능성 분석	10	100	해외 사례 분석 결과, 지역별 차등 방역지역 선정의 사례가 있으며 이에 따라 방역지역 설정 타당성 평가에 활용하여 유의미한 결과 도출
기존 질병발생 실증 데이터를 이용한 방역지대 설정 문제점 및 개선방안 도출	10	100	기존 질병발생 지역의 차단방역 성과의 차이를 확인하여 지역 별 차별적 방역정책 수립의 타당성을 확보
현행 방역지역 범위에 대한 질병 확산 차단 효과 분석	10	100	SOP에서 지정하는 3km의 거리가 방역비용과 효과의 균형 측면에서 타당함이 있음을 확인
현행 방역지역 범위에 대한 경제적 타당성을 분석	10	100	SOP에서 지정하는 3km의 거리가 방역비용과 효과의 균형 측면에서 타당함이 있음을 확인
농장의 입지 환경 유형화 및 유형별 질병발생 및 경제성 평가와 일반화	10	100	농장 입지와 질병발생과의 상관관계 도출
가축질병 발생 시 방역지역 최적화를 위한 모델 개발	20	100	방역지역의 설정의 경제성, 지리정보, 과거 질병발생 기록 등을 통한 최적 방역지역 설정의 의사결정 지원 모델 개발
개별 농장의 특성이 반영된 방역지역 자동설정 시스템 개발	30	100	농장 별 특성이 반영된 방역지역 설정 지원 시스템 개발
합계	100	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

연구계획서 상 상세목표를 모두 성실히 달성하였으며, 연구 성과에서도 목표치를 상회하는 연구 성과를 달성하였습니다. 현행 방역권역에 대한 평가와 그 타당성을 검증하였으며 방역권역을 설정하는 방역당국의 의사결정에 즉시 도움이 될 수 있는 GIS기반의 방역지역 설정 지원 시스템을 구현하였습니다. 해당 시스템이 방역지역을 합리적으로 지정할 수 있도록 지원하기를 기대합니다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

연구 초기, 개인정보보호법 등의 이유로 데이터 확보에 어려움을 겪었습니다. 이에 일정 상 일부 차질이나, 연구 대상의 일부 변경 등 이슈가 있었습니다. 하지만 현업 담당자와의 긴밀한 연계를 통해 정확한 데이터베이스 구축을 위해 노력하였습니다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

실제 검역본부의 현업 담당자와의 연계를 통해 방역업무에 적용하려는 시도가 있었던 만큼, 연구 결과를 즉시 활용할 수 있는 상태라고 생각합니다.

IV. 보안성 검토

1. 연구책임자의 의견

별도의 보안성이 필요하다고 판단되지 않음

2. 연구기관 자체의 검토결과

별도의 보안성이 필요하다고 판단되지 않음

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	동물질병관리	
연구과제명	방역지역 설정(관리,보호,예찰) 타당성과 합리적 근거 마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구			
주관연구기관	강원대학교		주관연구책임자	배선학
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	440,000	146,800	-	586,800
연구개발기간	2018. 04. 26. ~ 2020. 12. 31.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 국제기구(OIE, FAO 등)와 관련분야 주요 선진국의 사례 분석을 통한 국내 적용 가능성 분석	해외 사례 분석 결과, 지역별 차등 방역지역 선정의 사례가 있으며 이에 따라 방역지역 설정 타당성 평가에 활용하여 유의미한 결과 도출
② 기존 질병발생 실증 데이터를 이용한 방역지대 설정 문제점 및 개선방안 도출	기존 질병발생 지역의 차단방역 성과의 차이를 확인하여 지역 별 차별적 방역정책 수립의 타당성을 확보
③ 현행 방역지역 범위에 대한 질병 확산 차단 효과 분석	SOP에서 지정하는 3km의 거리가 방역비용과 효과의 균형 측면에서 타당함이 있음을 확인
④ 현행 방역지역 범위에 대한 경제적 타당성을 분석	SOP에서 지정하는 3km의 거리가 방역비용과 효과의 균형 측면에서 타당함이 있음을 확인
⑤ 농장의 입지 환경 유형화 및 유형별 질병발생 및 경제성 평가와 일반화	농장 입지와 질병발생과의 상관관계 도출
⑥ 가축질병 발생 시 방역지역 최적화를 위한 모델 개발	방역지역의 설정의 경제성, 지리정보, 과거 질병발생 기록 등을 통한 최적 방역지역 설정의 의사결정 지원 모델 개발
⑦ 개별 농장의 특성이 반영된 방역지역 자동설정 시스템 개발	농장 별 특성이 반영된 방역지역 설정 지원 시스템 개발

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기타 (타연 구활 용등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	20												20	20	10	20	10			
최종목표	1											4		6	4	2	2	1		
연구기간내 달성실적	2							2				1	4	15	4	2	2	1		
달성율(%)	100											100		100	100	100	100	100		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	GIS 공간통계분석
②	네트워크 분석(커뮤니티 발견법)
③	공간군집 분석(Moran's I, Getis-ord, Gi*)
④	공간계량경제모형을 활용한 공간분석
⑤	로지스틱회귀분석
⑥	포아송회귀분석
⑦	OCG 국제표준 기반 가축질병 관련 공간빅데이터 통합분석 및 시각화 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복	외국기술 제	외국기술 소화·흡수	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장으로 결	정책 자료	기타
①의 기술					v			v	v	
②의 기술					v			v	v	
③의 기술					v			v	v	
④의 기술					v			v	v	
⑤의 기술					v			v	v	
⑥의 기술					v			v	v	
⑦의 기술				v				v	v	

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	밀도분석, 거리 추정 등 지리적 요건 파악을 통한 가축질병 발생농가 유형화 지원
②의 기술	기존 질병발생 지역의 차단방역 성과 차이 확인, 지역 별 차별적 방역정책 수립의 타당성 확보
③의 기술	축산차량이동데이터, 가축질병 발생 데이터 등을 행정구역 별 공간자기상관성을 추정하여 방역 권역 별 방역정책 수립 지원, 가축질병 발생의 군집범위 분석을 통해 최적의 방역범위를 제시
④의 기술	시·군별 가금류 사육규모, 지역별 기후적 특성, 지리·환경적 특성, 인구·사회학적 특성이 가축질병 발생에 미치는 과급효과 분석을 통해 고위험지역을 파악하여 가축질병의 지역확산을 억제하기 위한 시사점 도출
⑤의 기술	농장단위 축종별 사육규모, 사육밀집정도, 방역범위 내의 농장 특성, 농장의 입지유형 등이 질병 발생에 미치는 영향을 분석하고 개별 농장별 질병 발생확률을 추정하였으며, 실제 발생농장과 발생확률이 높은 농장의 분포를 시각화
⑥의 기술	오리농장과 관련된 특성을 시설현황, 운영방식, 입지유형으로 구분하여 이러한 특성이 질병발생 빈도에 미치는 영향을 분석하여, 오리농가의 방역기능가화를 위한 대응방안 제시
⑦의 기술	가축질병 관련 빅데이터의 공간적 관계분석을 통해 질병의 전파와 확산에 대한 대응 지원에 활용

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치	20												20	20	10	20	10		
최종목표	1											4	6	4	2	2	1		
연구기간내 달성실적	2							2			1	4	15	4	2	2	1		
연구종료 후 성과창출 계획												2						1	

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 가축질병대응기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 가축질병대응기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.