

발간등록번호

11-1541000-001355-01

보안과제(), 일반과제 (O)

과제번호 109022-3

고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입 및 전파확산경로 예측을
위한 가금 산업의 유통 감시 네트워크 시스템 개발
(Development of a lookout network system on domestic fowl
industry for predicting HPAI(highly pathogenic avian influenza)
outbreak and dispersion)

서울대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입 및 전파확산경로 예측을 위한 가금 산업의 유통 감시 네트워크 시스템 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012 년 4 월 9 일

주관연구기관명 : 서울대학교

주관연구책임자 : 이 인 복

협동연구기관명 : 농림수산식품검역검사본부

협동연구책임자 : 문 운 경

협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 강 문 성

협동연구기관명 : 공주대학교

협동연구책임자 : 정 남 수

연 구 원 : 서 일 환

연 구 원 : 이 형 진

요 약 문

I. 제 목

고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입 및 전파확산경로 예측을 위한 가금 산업의 유통 감시 네트워크 시스템 개발에 관한 연구

Development of a lookout network system on domestic fowl industry for predicting HPAI(highly pathogenic avian influenza) outbreak and dispersion

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 최종 목적은 가금 산업에서 생산·도축·가공·판매 등 유통과정 전반에 걸쳐서 가금류 이동, 가금 산업관련 물품(사료, 약품 등) 이동 및 생축 가금의 수송차량(어리장 차량 등) 등에 의하여 고병원성조류인플루엔자(HPAI)가 가금 사육농장내로 유입 및 전파 확산될 수 있는 각종 위험요소를 분석하고 이를 사전에 효과적으로 제거 또는 차단할 수 있는 질병 예찰을 위한 효과적인 감시 네트워크 시스템 개발과 질병 발생 시 효과적인 대응전략 및 방역관리 방안을 제시하기 위한 기초 자료를 마련하고자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

과거 고병원성조류인플루엔자(HPAI)의 발생 지역을 연구 대상지역의 선정한 후 해당 지역에 대한 역학조사결과, 철새도래지, 가금 사육현황, 대기환경 및 야생조류의 이동 등에 대한 기초 자료를 확보하였다. 가금 사육농장내로 유입되는 각종 위험요인과 HPAI 발병 초기에 전파확산 차단을 위한 가금 산업의 물류 운송과정, 공기 유동에 의한 병원체의 전파, 야생조류의 이동 등에서 나타나는 각종 위험요인에 대한 효과적인 제거 또는 차단할 수 있는 방역 관리 프로그램 개발하고자 하였다.

이를 위하여 우선 과거 HPAI 발생 및 관련 가금산업 및 유통에 대한 정밀 역학조사를 수행 하였으며, HPAI의 국내 유입을 분석하기 위하여 주요 철새도래지에 대한 철새의 이동상황 및 조류상 조사를 수행하였다. 이를 바탕으로 과거 HPAI 발생농장 및 발생지역, 철새서식처, 가금 산업들에 대한 위험요인 조사를 바탕으로 HPAI 발생과의 상관성을 연구하였다.

기존의 역학조사로 분석이 어려운 HPAI 바이러스의 공기 중 유입 및 전파에 관한 기상, 지형, 농장의 위치 등을 고려한 공기 유동학적 분석을 통한 확산 예측 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 HPAI 발생농장 및 축산관련차량에서 발생하는 공기오염물질의 공기유동현상을 분석하여 입력조건으로 활용하였다. HPAI 발생농장에서 인근 농장으로의 확산은 GIS 정보를 바탕으로 발생지역의 상세지형을 설계하고 농가, 도로망 등을 적용하여 다양한 환경조건에 따른

HPAI의 확산을 모의하였으며, 풍향빈도 분석과의 연계를 통하여 특정 기간에의 HPAI 확산을 예측하기 위한 공기유동학적 모델을 개발하였다.

가금류 또는 가금 산물들의 상시 유통경로를 사전에 파악하여 효과적으로 감시할 수 있는 네트워크 시스템 개발을 통해 HPAI의 국내 발생 시 발생농장 및 발생지역과 가금산업의 물류의 유통과정에서 인적·물적자원을 통한 전파 및 확산되는 경로를 사전 예측하는 HPAI 확산시물 레이션을 구축하고, 구축된 가금산업의 물류의 유통을 감시하는 네트워크 시스템을 통해 예측되는 주요 위험요소들을 사전에 제거 및 차단하기 위한 선택과 집중적인 주요 방역중점관리요소(허브 지점)들에 대하여 전략적인 방역대책수립을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다. 환경인자와 함께 가축질병 발생 기록, 지리정보시스템에서 획득이 가능한 발병경로자료를 수집하여 가축질병 네트워크 구성과 가중치를 산정하고, 또한 지역통계자료, 기상자료 등을 수집하여 지역적 상황을 고려한 위험우선순위를 설정하여 질병의 시급성과 위험도를 고려한 최적관리방안을 제시하고자 하였다. 이를 통하여 질병 전파를 차단할 수 있는 효과적인 방법, 적정 위치 선정 등 질병 발생 관리 및 방역 대책을 위하여 효과적으로 사용될 수 있다.

IV. 연구개발결과

본 연구에서는 HPAI의 유입에서부터 확산까지의 메커니즘을 분석하고, 질병의 전파를 예측 및 예방할 수 있는 네트워크 모델을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 기존에 발생한 HPAI 사례들에 대한 추가적인 정밀 역학조사를 수행하였으며, 지역별 가금산업의 유통 현황 전반에 대한 조사사업을 수행하였다. 또한 중국, 몽골, 대만, 태국 등 우리나라와 인접한 HPAI 발생국에 대한 HPAI 발생 위험요소인 철새도래지, 가금사육농장, 재래시장, 공항만 등에 대한 현지 방문 역학 조사를 통하여 각 나라의 HPAI 발생 위험성과 철새도래지와 가금사육농가간의 관련성 등을 분석하였다.

고병원성조류인플루엔자(HPAI)의 국내 유입 위험요소는 아시아-오스트렐리아 철새이동경로를 따라 가을철과 겨울철에 오리류 등 월동조류(겨울철새)가 시베리아, 몽골, 북중국, 알래스카, 캐나다 등 지역으로부터 월동을 하기 위해 우리나라로 도래하여 서식을 하거나 또는 동남아시아 지역으로 남하하는 과정에서 나그네새(통과새)로서 잠시 체류 서식하는 과정에서 고병원성조류 인플루엔자의 발병 위험요소가 국내로 유입되고 있고, 반대로 봄철에 동남아시아에서 월동했던 오리류 등의 월동조류가 북중국, 몽골, 시베리아 등 지역으로 번식을 위해 북상하는 과정에서 우리나라를 통과하면서 잠시 체류 서식하는 과정에서 국내로 유입되거나 또는 여름철새가 국내에서 번식을 하기 위해 국내로 도래하는 과정에서 고병원성조류인플루엔자를 유입시킬 수 있다.

전 세계적으로 각국의 HPAI의 유입 원인과 국가간 대륙간의 전파요인으로 가장 먼저 주목하는 것은 야생조류인 철새였고, 또한 그 동안 우리나라에서 발생했었던 HPAI의 역학조사결과에서도 HPAI의 발생 시의 국내 유입 원인은 철새에 의한 것으로 대부분 추정되었다. 그리고,

HPAI 발생 이후 국내 전파의 위험요소는 생축 가금류(닭, 오리, 메추리 등), 계란(종란, 부화란, 식용란 등) 및 가금육(닭고기, 오리고기 등) 등과 이들을 운반하는 사람과 차량 등 가금 산업의 각종 물류(사료, 동물약품, 왕겨, 톱밥, 분변 등)의 유통과정에서의 인적·물적자원들의 이동에 의한 것이었다. 또한 철새도래지에서 가금사육농장으로의 HPAI 유입과정은 철새의 직접적인 이동보다는 철새도래지 또는 가금사육농가 주변에서의 낙곡(볍씨 등) 등을 먹이로 섭취하는 과정에서 철새와 직접 접촉한 텃새(참새, 비둘기, 까치, 까마귀 등)와 야생쥐·야생고양이·방견·족제비·샐·너구리 등의 야생동물 또는 철새가 배설해 놓은 분변과의 인적·물적자원(사람, 농기구, 차량, 텃새, 야생쥐·야생고양이·방견·족제비·샐·너구리 등의 야생동물)이 접촉된 후 가금사육농장의 축사내로 유입되는 과정에서 HPAI가 발생하고 있다. 대부분의 가금사육농가로의 HPAI 발병 위험요소의 유입경로는 첫째, 까치, 참새 등의 텃새가 HPAI에 감염된 철새와 직접 접촉 또는 철새가 배설해 놓은 오염된 분변과 깃털 등과 접촉한 후 가금사육농가로 텃새가 유입되는 과정, 둘째, 오염된 철새 분변 및 깃털 등과 접촉된 야생쥐, 야생고양이, 방견, 샐, 족제비, 너구리 등의 야생동물들의 가금사육농가의 유입되는 과정, 셋째, 오염된 철새 분변또는 깃털 등과의 사람 및 차량(농기구 등) 등이 접촉한 후 가금사육농가로의 유입되는 과정, 넷째, 오염된 철새 분변과 깃털 등이 바람 등에 의해 비산되는 과정에서 공기유동물질(오염된 먼지·분변·깃털 등)이 가금사육농가의 축사내로 유입되는 과정 등에서 HPAI 발생 가능성이 매우 높다.

그리고, HPAI 가 국내로 유입된 이후 HPAI 발생농장으로부터 생축 가금류 및 생산물(계란·부화란·종란 등)과 가금육의 직·간접적인 이동되는 가금 산업의 물류의 유통과정 또는 오염된 위험요소들과 접촉된 사람, 차량(농기구 등), 야생조수류 등 이동과정에서 오염된 조류인플루엔자의 병원체가 전파 및 확산되고 있다.

따라서, 국내로 유입되는 철새로부터의 HPAI 발생 위험요인을 사전에 조사 및 분석하여 해당 위험요인을 사전에 제거 및 차단하기 위해서 철새도래지별로 가금사육농가의 현황조사를 통해 각 철새도래지별로 인근의 가금사육농가간의 HPAI 발병 위험요소를 정밀 분석하여 철새도래지별 맞춤형 방역대책을 마련하고자 하였다. 또한 국내로 유입된 HPAI 가 가금사육농가에서 발생된 이후 국내에서 가금 산업의 물류의 유통과정에서 또 다시 타 가금사육농가로의 HPAI 발병 위험요소가 유입과 전파 및 확산되어 가는 다양한 경로를 사전에 예측할 수 있는 가금 산업의 유통 감시 네트워크 시스템을 개발하고자 하였다.

다양한 확산 요인에 따른 HPAI 확산을 예측하기 위한 통합형 네트워크 모델의 설계대상 지역은 상세한 역학조사결과를 기반으로 2008년도 HPAI 최다 발생지역인 전북 김제를 선정하였다. 기존의 역학조사로 분석이 어려웠던 공기 중 HPAI의 전파 및 확산을 전산유체역학 시뮬레이션을 활용하여 예측하고자 하였다. HPAI 발생지역에서의 주변 지형 및 차량의 이동에 의한 공기 유동학적인 확산 현상을 분석하기 위하여 문헌 및 현장실험 결과를 토대로 하여 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 바탕으로 HPAI 가 기상 및 환경 조건에 따라 인근 지역으로 확산되는 경향을 예측함으로써 추후 HPAI 발생 시 공기 중 확산을 예측할 수 있는 기초모델을 개발하였다. 과거 HPAI가 발생한 사례를 바탕으로 농장의 위치, 발생순서 등 막대한

데이터를 제 2세부과제를 통하여 제공 받아 시뮬레이션 모델의 설계 및 초기 입력데이터로 활용하였고, 또한 검증에 위한 기초데이터로 활용하였다. 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 개발하기 위하여 지리정보시스템(GIS)상의 지형 정보를 바탕으로 농장 및 산, 구릉, 나무 등의 영향을 상세하게 고려할 수 있는 3차원의 지형을 설계하였으며 다양한 지형 격자 형성 알고리즘을 바탕으로 이를 부피를 가지는 계산 영역으로 설계하였다. 또한 초기 입력 조건 입력 및 시뮬레이션 모델의 정확도를 향상시키기 위하여 높이별 풍속 및 난류 프로파일, 대기 안정도, 방풍림의 다공성 매체를 통한 적용 등을 UDF (User defined function)을 사용하여 적용하였다. 이를 통하여 예상이 가능한 환경 조건을 3가지 풍속과 8가지 풍향으로 나누어서 각 환경 조건별로 각 농장에서 발생하는 병원체의 확산을 모델링 하였으며, 동시에 도로에서의 확산 가능성을 고려하여 공기 중으로 HPAI 가 확산되는 경향을 예측하고자 하였다. 시뮬레이션 모델의 검증을 위하여 2008년 HPAI 발생 사례를 바탕으로 당시의 기상을 기상청 자료를 바탕으로 정밀 분석하여 풍향 및 풍속에 따른 풍환경 빈도 매트릭스를 구성하고, 동일한 환경 조건에 따른 농장별 및 도로에서의 발생에 대한 총 960개의 모의결과를 바탕으로 공기 중 확산 예측 매트릭스를 구현하였다. 이들을 사용하여 발생 농장에서부터 인근 농장으로의 HPAI 의 공기 중 확산 가능성을 예측하였다. 이와 같은 결과는 제 3세부과제에서 수행하는 통합형 네트워크 모델에 활용되었다.

네트워크 모델은 제2세부과제에서 제공하는 상세한 역학조사보고서를 대상으로 하여 HPAI 사례에 대한 주요인에 대한 DB 구축하였다. 이를 기반으로 동물 약품 및 사료 차량의 이동에 대한 기초적인 자료를 확보하고 각 농장간의 이동성을 기반으로 점과 선으로 표현한 네트워크의 기초를 설계하였다. 또한 제3세부과제에서 제공하는 공기 중 전파 예측 결과를 결합하여 통합형 네트워크 모델을 개발하였다. 이를 활용하여 질병의 발생 시 다양한 요인에 따라서 질병이 확산되는 양상을 분석할 수 있었으며, 인근의 다른 농장들과의 연결성이 높은 허브 농장을 선정함으로써 이들 농장의 적극적인 사전 예방 및 질병 발생 시 효과적인 방역을 통하여 전체적인 질병의 전파 위험도를 낮추고자 하였다.

주요 위험 요인으로 확인된 교통망, 동물약품, 가축사료, 농장관계자 출입 등의 요인을 이용한 단일 네트워크를 통합하여 구성하고 공기 유동 영향을 농장의 속성요소로 구분지어 연결선에 가중치를 추가하는 방식으로 통합 네트워크를 구성할 것으로 기본 모델을 결정했다. 대상농가간의 연결선으로 구성할 수 있는 자료를 기반으로 선형 네트워크 모델을 연결선의 값 유무에 따라 가중, 비가중 네트워크로 구분하여 각각 개발했으며 사육농가 주변의 위험 확산 요인을 반영하기 위해 야생조수류의 활동성을 반영한 공간 확산 네트워크 모델을 몬테카를로 시뮬레이션을 기반으로 구축했다. 또한 농장간 특성과 가금산업관련 차량의 이동경로에 따라 농가간 영향도가 달라지는 점을 고려하여 비대칭 영향도 행렬을 이용한 행위자 기반 모형을 구축하여 모의했다. 각 세부팀을 통해 얻은 자료를 다양한 모델을 이용해서 모의하고 실제 사례와 비교, 검증하였다.

선형 네트워크 모델을 사용하여 주요 허브 지점(방역중점관리요소)을 산출하여 확산 차단의 효과를 실제 사례와 비교하여 그 효용성을 검증하였으며, 선형 확산 모델에서 주변 농가와의

지리적 근접성이 간과된 점은 공간 확산 네트워크와 공기 영향도 행렬을 이용한 중심성 분석을 이용해서 보완하고자 했다. 그리고 행위자 기반 모형을 통해서 확산 요인의 통계적 상관성을 분석한 비대칭 영향도 행렬을 적용하여 모의의 정확성을 향상시킬 수 있었다. 본 연구에서는 주요 농가를 우선적으로 통제하고 실제 확산 양상과 비교했을 때 감염 농가와 확산 속도와 감염 농가를 줄이는 등 보다 효과적으로 질병 확산을 차단할 수 있음을 확인하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 실용화 · 산업화 계획(기술실시 등)

- HPAI 바이러스의 확산 및 전파와 공기 유동과의 역학적 관계 규명 및 공기 유동학적 시뮬레이션을 통한 환경 요인에 따른 확산 예측이 가능한 모델을 활용하여 각종 전염성 질병의 공기 중 확산과 오염된 공기유통물질과의 접촉 등을 포함하는 인적, 물적자원의 이동과 철새도래지 및 가금 산업(닭·오리도축장, 닭·오리 부화장, 종계장, 종오리농장, 사료공장, 약품회사, 분뇨처리장 등)의 다양한 위험요소에 대한 대응전략에 관한 표준 네트워크 시스템을 제안함으로써 다양한 질병위험에 대하여 효율적으로 대처가 가능한 최적 관리 질병확산네트워크 시스템 개발 가능함.
- 개발된 네트워크 시스템을 이용하여 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입과 전파 및 확산 위험요인에 대한 전략적 방역관리를 통하여 HPAI를 효과적으로 차단할 수 있다. 또한 HPAI 발생 시에 신속한 역학조사 및 실효성 높은 HPAI의 방역대 설정을 위한 기초자료로 적극 활용이 가능함.
- 추가적인 감염축 발생 예방과 살처분 대상 가축의 발생의 최소화 등으로 환경오염 방지 및 가금사육농가와 관련 산업의 피해를 최소화하는 등 가금 산물(가금육, 가금육가공품, 계란 등)에 대한 안전성과 안정성 확보를 통한 공중보건위생향상으로 국가 신인도 제고에 크게 기여할 것으로 판단됨.

2. 교육 · 지도 · 홍보 등 기술확산 계획 등

- 가금사육농가로 HPAI가 유입되는 다양한 경로와 HPAI가 발병된 가금사육농가에서부터 전파 및 확산되는 다양한 위험요소인 공기, 인적·물적자원의 교류, 차량의 이동, 야생조수류 등에 중점위험요소관리(HACCP)를 통한 실효성 높은 방역관리방안을 마련하여 가금사육농가에 대하여 적극적인 HPAI 예방지도 및 HPAI 발생 시 신속한 역학조사 수행과 국가 가축방역정책수립의 기초자료로 활용코자 함
- HPAI 예방 및 방역 관리를 위해 가금 산업의 물류의 유통경로 및 가금사육농장의 가금질병과 철새도래지 등에 대한 병원체의 오염 정도 등 전반적인 사항들에 대한 정기적인 모니터링의

필요성, 광범위한 통합적 네트워크 모델의 개발을 통한 전략적인 조류인플루엔자의 방역 관리 등에 대한 정책건의 자료로 활용.

3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등

- 국내 논문 투고 현황 : 총 5편 투고 및 투고 예정
- 국외 논문 투고 현황 (SCI급) : 총 5편 투고 및 투고 예정
- 학술 논문 발표 현황 : 국내 6차례 및 국외 2차례 수행함. 추가적으로 다수의 발표 예정

4. 추가 연구, 타 연구에 활용 계획 등

- 가축사육농가의 각종 질병에 대한 발병의 위험도 평가를 통한 가축질병의 발병요인 제거 및 차단을 통해서 노출된 위험요소에 대하여 전략적 집중 관리를 통한 예방중심의 방역 대책 수립 및 방제프로그램 개발 가능하다. 또한 추후 다른 가축전염성 질병에도 응용 가능하기 때문에 국가적인 가축질병 통합관리시스템을 개발하기 위한 기초모델로써 사용 가능함.
- 각 농장별로 축종, 사육두수, 사육연령, 농장 수, 환기 구조 등의 기초적인 데이터는 물론 거래하는 사료회사, 약품회사, 의사 등 인적·물적자원의 교류 대상 및 방문 빈도, 사육 환경 및 관리 방안 등에 대한 상시적인 모니터링 시스템의 구축이 필요.
- 본 연구에서 개발한 통합 네트워크 모델을 시도 단위 및 전국적인 단위로 확장이 가능하며, 각 지역에서 도축 또는 생산되는 가축의 이동 및 축산관련인의 이동, 인적·물적자원의 이동을 지역단위로 분석하여 전염성 질병의 발생 시에 발생지역으로부터 타 지역으로 확산되는 가능성을 최소화 할 수 있도록 사전 방역을 실시할 수 있는 네트워크 관련 정보를 확보 연구.
- 질병 전파에 대한 각 요인별로 위험도를 분석하기 위하여 공기 중 질병의 확산, 차량의 이동에 따른 확산, 사람에 의한 확산, 인근 야생조수류를 통한 전파 및 확산 등의 상대적인 위험도를 평가하는 기준 마련이 필요.
- HPAI의 국내 유입원이 되는 철새에 대하여 국내외 철새번식처 및 월동지에 대한 계절별 상세한 추가적인 조사와 국내로 유입되는 겨울철새와 여름철새들간의 지역별 위험요소관리 방안 등에 대하여 추가적인 연구 필요.
- 금번 연구의 경우는 고병원성조류인플루엔자(HPAI)의 예방 및 방역대책 수립을 위하여 국내에서 처음으로 HPAI 확산 시뮬레이션을 개발과정에서 2008년도 전북 김제지역의 HPAI 발생사례를 적용한 경우에 해당되며, 2010년도와 2011년도 발생사례는 전국의 20여 곳 이상에서 철새 등 야생조류에서 단 기간에 세계적으로 가장 많이 HPAI 발생한 바가 있다. 그리고, 그 동안 국내 HPAI 발생사례를 분석하면, 종오리농장, 육용오리농장, 산란 계농장, 토종닭농장, 재래시장 등의 다양한 곳으로부터 전국적으로 HPAI 확산된 사례이

며, 이들 가금 산업의 물류의 유통경로가 제각기 다르기 때문에 반드시 추가적인 HPAI 확산 시뮬레이션이 조속히 개발되어야 한다. 또한 진정한 HPAI 국내 확산시뮬레이션 모델 개발을 위해서 동 연구결과 수행과정에서 얻어진 각종 기술과 노하우 등과 2010년도와 2011년도에 발생된 HPAI 역학조사자료, 진단자료 및 방역자료 등을 추가로 이용할 경우 많은 연구성과 도출과 국가동물방역통합시스템(KAHIS)상에 구축 중인 조류인플루엔자 확산시뮬레이션 모델 개발에 동 연구결과를 연동시킬 경우에 실효성 높은 HPAI 확산시뮬레이션 모델이 개발될 것으로 예측되고 있음

SUMMARY

(영문요약문)

Development of a lookout network system on domestic fowl industry for predicting HPAI (Highly pathogenic avian influenza) outbreak and dispersion

The main purpose of this project has been focused on analysis of risk factors for HPAI inflow and spread between farms by means of poultry distribution process including production, slaughter, manufacturing process, and selling. It was considered the movement of poultry related productions with feeds and medicines as well as livestock transport vehicles. Because HPAI could be rapidly spread between farms resulting in numerous economic loss to farm owners as well as government for preventive measure against epidemics and compensation, HPAI disease surveillance system is essential to reduce the possibility of HPAI outbreak by blocking the risk factors.

The experimental site was selected in Kimje area where HPAI was broke out in 2008 with numerous economic loss. The basic data was gathered from specific epidemiological survey during HPAI outbreak, migratory bird habitat near the farms, status in livestock farming, atmospheric conditions, movement of wild animals, and so on. For blocking the initial HPAI spread considering risk factors entering the farms, prevention management program was developed to reduce the risk factors for HPAI spread considering the distribution in poultry industry, airborne spread of pathogen, animal movement, livestock transport vehicles, specific topographical effects, etc.

First of all, specific epidemiological investigation was conducted for HPAI outbreak in 2008, poultry industries and distribution system in the experimental site. The investigation of migratory bird movement in habitat near farms and avifauna were carried out to analyze the domestic inflow of HPAI pathogen. Airborne spread of HPAI could not be analyzed by field experiments or epidemiological investigation due to invisible characteristics and difficulties in measurement. Therefore, CFD (Computational fluid dynamics) was used to simulate the airborne particle movements including HPAI pathogen with consideration of meteorological conditions, specific topographical information, locations of nearby farms, main road and so on. The HPAI spread was simulated according to the locations of infected farms and weather conditions including wind speed and wind directions. The simulated results were combined with wind frequency matrix to predict the airborne spread of HPAI between farms. Using the simulated airborne spread of HPAI and specific epidemiological investigation data, overall network system was developed to watch

the poultry distribution system for prevention of HPAI outbreak by means of strategic prevention program of HPAI considering appropriate domestic conditions. The livestock disease network system was composed by various risk factors and each weighted value by means of gathering the environmental factors, epidemiological investigation for previous HPAI outbreak, GIS information, and so on. The hazardous ranking was decided to make an optimum disease management system considering urgency and degree of risk with the data of rural statistical data and weather data. This system can be used for effective management of livestock disease spread in government preventive measures against epidemics.

CONTENTS

제 1 장 Research project outline	26
제 2 장 Current status of domestic and foreign researches	28
제 3 장 Contents and results	29
1 절. Experimental procedures and connection between research groups	29
2 절. Development of aerodynamic model for analysis of airborne disease spread considering weather and topographical information	34
1. Introduction and research objectives	34
2. Literature reviews	36
가. Airborne dispersion mechanism and research background of HPAI	36
나. Field experiments of virus dispersion	37
다. Physical and chemical characteristics of aerosols from livestock house	38
라. Disease dispersion modelling	40
3. Materials and methods	46
가. Experimental site	46
나. Instruments for field experiments	49
다. Computational fluid dynamics tools	51
(1) Mesh design	52
(2) Turbulent model	53
(3) Theories for model design	55
(4) Atmospheric stability	57
(5) Parallel modelling	60
라. Experimental procedure	62
(1) Weather conditions	62
(2) Dispersion from the road nearby the livestock farms	62
(3) Analysis of aerosol generated from the farms	66
(4) Development of the CFD model	67
(가) Design for 3D computational domain	67
(나) Boundary and input conditions	68
4. Results and discussions	74
가. Weather conditions	74
(1) Average weather conditions during recent 20 years	74
(2) Weather conditions during the HPAI outbreak	77
나. Field experiment for aerosol dispersion from the road	81
다. Analysis of aerosol generated from the livestock farms	85
라. Development of the CFD model	91
(1) Design for 3D computational domain	91
(2) Application of trees used for wind break	95
(3) Modelling of farms according to its size	98
(4) Validation of the model	101
(5) Design of 3D topographical surface	107

마. Airborne dispersion of HPAI simulated by CFD modeling	113
(1) Aerosol dispersion by its size distributions	113
(2) Aerosol dispersion by weather conditions	143
(3) Three dimensional matrix with application of weighting factors	144
(4) Algorithm development of CFD modeling	149
(5) Validation of CFD model using weather data during 2008	150
5. Conclusions	167
3 절. Evaluation of risk factors and preventive measures for inflow and dispersion of HPAI	170
1. Current state of poultry rearing and distribution system	170
가. Current state of poultry rearing	170
(1) Duck	170
(2) Chicken	171
(3) Breeding chicken	171
(4) Layer chicken	172
(5) Korean chicken	172
(6) Quail	173
(7) Ornament poultry	173
나. Distribution system in Korean chicken	174
(1) Distribution system and industry	174
(가) Background of Korean chicken industry	174
(나) Current state of rearing	174
(다) Current state of consumption	175
(2) Cultural distribution and mass production area of Korean Chicken	176
(3) Current state of old chicken	176
(4) Current state of consumption in the area where had HPAI outbreak	177
(가) Honam region (Jeonnam, Jeonbuk)	177
다. Permanent and traditional markets	178
라. Current state of slaughter	179
마. Locations of poultry related facilities	180
바. Poultry disease inspection and preconsideration	185
(1) Disease inspection results for poultry	185
(2) Blood inspection results for poultry	185
(3) Preconsideration of migratory bird and poultly in traditional market	186
사. Occurrences of HPAI	186
(1) Epidemiological investigation of HPAI in Korea	186
(2) Epidemiological investigation of LPAI in Korea	188
(3) Occurrences of HPAI in overseas countries from 2008	188
2. Investigation of bird movement and its avifauna	191
가. Investigation of major migratory bird habitat	191
나. Survey method of avifauna and the results	191
(1) Line Transect Method	192
(2) Point Census Method	192
다. Poultry disease inspection for migratory bird and wild bird	194

(1) Result of disease inspection for wild bird in 2010	194
(2) Result of disease inspection for wild bird in 2009	195
(3) Result of disease inspection for wild bird in 2008	196
라. Result of regional avifauna investigation	196
(1) Gyeonggi-do	196
(2) Incheon	197
(3) Gangwon-do	197
(4) Chungcheongnam-do	198
(5) Daejeon	198
(6) Chungcheongbuk-do	199
(7) Jeollabuk-do	199
(8) Jeollanam-do	200
(9) Gwangju	200
(10) Gyeongsangnam-do	200
3. Current status of poultry rearing in Kimje and major migratory bird habitat	201
가. Current status of major migratory bird habitat	201
나. Current status of poultry farms within 5 km from previous HPAI infected farms	202
다. Current status of poultry farms within 5 km from the migratory bird habitat	204
라. Investigation of daily vehicle movement in the experimental site	209
마. Current status of distribution system of poultry	210
(1) Production and distribution of Korean chicken	211
(가) Rearing and shipment system for Korean chicken	212
(나) Rearing and shipment system for duck	214
① Farm management system	218
② Standard production and shipment system	218
(다) Rearing and shipment system for quail	220
4. Development of model for estimation of AIv production rate by infection degrees	221
가. Estimation of infectious period	221
(1) Comparison of HPAI spread time line	221
(2) Time comparison from HPAI notification to confirm	222
(3) Emission period of HPAI virus	223
(4) Annual HPAI outbreak and restrict period	224
나. Preventive measures period by poultry species	225
(1) Preventive measures period by poultry species in 2003/2004	225
(2) Preventive measures period by poultry species in 2006/2007	226
(3) Preventive measures period by poultry species in 2008	227
다. Conclusion	228
5. Current status of small scale distribution of poultry in experimental site	229
가. Current status of Korean chicken distribution in Honam	230
(1) Current status of Korean chicken in Gwangju	230
(2) Current status of Korean chicken in Jeollanam-do	230
(3) Uniqueness in Jeollabuk-do during 2008 HPAI outbreak	231
(4) Current status of Korean chicken in Jeollabuk-do	232

(5) Distributors in Honam region	233
나. Current status of Korean chicken distribution in Yeungnam region	233
다. Current status of Korean chicken distribution in metropolitan	234
6. Epidemiological investigation and risk analysis in HPAI infected farms and site	235
가. Investigation of HPAI risk factors : Retrospective study	235
(1) Propagation factor from infected farm in 2003/2004	235
(2) Propagation factor from infected farm in 2006/2007	236
나. Analysis of HPAI risk factors: Case-control study	242
(1) Statistical analysis	244
(2) Result by risk factors	244
(3) Risk analysis of HPAI outbreak	248
(4) Risk analysis of HPAI by survey	251
(5) Prevention by farm owners	253
7. Investigation of risk factors for domestic HPAI inflow	254
가. Investigation of risk factors for HPAI inflow from nearby contries	257
(1) Investigation of transboundary route of migratory bird movement	257
(가) Domestic wild bird	257
(나) Migratory bird passing thought the Korea during spring	259
(다) Movement route by avifauna	259
(2) Tracking duck movement from China	260
(3) Tracking big swan from Japan	262
(4) Tracking big swan from Russia	263
나. Forecasting of wild bird	263
다. Risk analysis of migratory bird	266
라. Epidemiological investigation of HPAI from wild bird in 2010/2011	267
(1) Detection of HPAI from owls in Cheonsuman	268
(2) Detection of HPAI from wild duck in Mankyeong river	269
(3) Joonam reservoir	270
8. Investigation of HPAI risk factors for nearby countries	272
가. Mongolia	272
나. China	273
다. Taiwan	277
(1) Animal disease control organization and current status of livestock	277
(2) Animal quarantine in airport	278
(3) Movement of migratory bird and its avifauna	278
(가) Bird and its habitat in Taiwan	278
(4) Field investigation of major bird habitat	281
(가) Taijiang National Park	281
(나) Tainan superintendent ecological care	283
(다) Egret habitat	284
(5) Investigation of risk factor in poultry farm	286
(가) Chicken farm	286
(나) Duck farm	287

(다) Traditional market	288
라. Thailand	288
(1) Animal quarantine in airport	289
(2) Movement of migratory bird and its avifauna	289
(3) Bird and its habitat in Thailand	292
가) Coastal wetlands habitat	292
(나) Thailand national park	294
(다) Rice paddy area	295
(4) Investigation of risk factor in poultry farm	296
가) Chicken farm	296
(나) Traditional market	297
(다) Poultry sale near road and mosque	298
마. Investigation of HPAI risk factors in four countries related with Korea	299
(1) Analysis of risk factors in migratory bird habitat	299
(2) Analysis of risk factors in poultry farms	302
(3) Analysis of risk factors in permanent market	305
(4) Analysis of risk factors in international airport	308
4 절. Analysis of HPAI risk factor between bird habitat and poultry farm	310
1. Risk factors between farms in each migratory bird habitat	311
가. Seoul, Incheon, Gyeonggi region	311
(1) Risk factor and personalized prevention in Sihwa lake	312
(2) Risk factor and personalized prevention in Imjin river	313
(3) Risk factor and personalized prevention in Namhan river	315
나. Gangwon region	317
(1) Risk factor and personalized prevention in Bukhan river	317
(2) Risk factor and personalized prevention in Hantan river	319
(3) Risk factor and personalized prevention in Hwajin-po	321
(4) Risk factor and personalized prevention in Youngrang lake	323
(5) Risk factor and personalized prevention in Gyeonpo lake	325
다. Chungbuk region	327
(1) Risk factor and personalized prevention in Chungju lake	327
(2) Risk factor and personalized prevention in Daecheong lake	329
(3) Risk factor and personalized prevention in Backgok stream	330
(4) Risk factor and personalized prevention in Miho stream	332
라. Daejeon, Chungnam region	333
(1) Risk factor and personalized prevention in Asan bay	333
(2) Risk factor and personalized prevention in Gokgyo stream	336
(3) Risk factor and personalized prevention in Poongse stream	338
(4) Risk factor and personalized prevention in Cheonsu bay	340
(5) Risk factor and personalized prevention in Ganwol lake	342
마. Jeonbuk region	344
(1) Risk factor and personalized prevention in Gumkang lake	344
(2) Risk factor and personalized prevention in Mangyeong river	345

(3) Risk factor and personalized prevention in Dongjin river	348
(4) Risk factor and personalized prevention in Donglim lake	349
(5) Risk factor and personalized prevention in Seomjin river	351
바. Gwangju, Jeonnam region	352
(1) Risk factor and personalized prevention in Seomjin river	352
(2) Risk factor and personalized prevention in Yongsan river	354
(3) Risk factor and personalized prevention in Yongsan lake	356
(4) Risk factor and personalized prevention in Kumho lake	358
(5) Risk factor and personalized prevention in Gocheonam lake	359
사. Daegu, Gyeongbuk region	360
(1) Risk factor and personalized prevention in Andong lake	360
(2) Risk factor and personalized prevention in Hyongsan river	361
아. Busan, Ulsan, Gyeongnam region	363
(1) Risk factor and personalized prevention in Taehwa river	363
(2) Risk factor and personalized prevention in Ulsuk island	364
(3) Risk factor and personalized prevention in Joonam lake	366
(4) Risk factor and personalized prevention in Nakdong river	367
(5) Risk factor and personalized prevention in Daega lake	369
(6) Risk factor and personalized prevention in Geoje island	371
자. Jeju region	372
(1) Risk factor and personalized prevention in Hadori	372
(2) Risk factor and personalized prevention in Ojori	373
2. Region customized field prevention model of HPAI	375
가. Seoul, Incheon, Gyeonggi region	375
(1) Seoul	375
(2) Incheon	377
(3) Gyeonggi	378
나. Gangwon region	381
(1) Gwangwon northwestern	381
(2) Gwangwon northeastern	382
다. Chungbuk region	384
(1) Chungbuk north central region	384
(2) Chungbuk south region	385
라. Daejeon, Chunnam region	386
(1) Daejeon	386
(2) Chunnam	387
마. Jeonbuk region	388
(1) Western Jeonbuk	388
(2) Eastern Jeonbuk	389
바. Gwangju, Jeonnam region	390
(1) Gwangju, southwestern Jeonnam	390
(2) southeastern Jeonnam	391
사. Daegu, Gyeongbuk region	392

(1) Daegu, north Gyeongbuk	392
(2) Southeastern Gyeongbuk	393
아. Busan, Ulsan, Gyeongnam region	394
(1) Busan, Ulsan, Gyeongnam	394
(2) Midwestern Gyeongnam	395
자. Jeju region	396
(1) Seogwipo	396
(2) Jeju	397
5 절. Development of Network System for Predicting the Spread of HPAI	399
1. Introduction	399
가. Research for the Spread of Disease	401
(1) Research for the Network theory	401
(가) Social Network	401
(나) Information Network	402
(다) Scientific Network	404
(라) Biological Network	404
(2) The Spread of Disease Model	405
(가) SIR Model	405
(나) SIS Model	407
나. The Complex Network Model	408
(1) Agent Based Model	408
(2) Application of Agent Based Model	413
다. Purpose of the Research	415
2. Body	417
가. Link Transmission Network Model	417
나. Data Analysis of Risk Factors for the Spread of HPAI	417
(1) Target Area	418
(2) Epidemiological Situation on the Target Area	419
(3) Set Links among the Nodes on the Target Area	420
(4) Configuration of HPAI Transmission Network	421
(가) Link Factor	422
(나) Configuration of the Link Transmission Network Model	425
(5) Determination of the Correlation Coefficients with Statistical Analysis	428
(가) Probabilistic Analysis of the Multi-factor	428
① Selection of Variables in the Analysis	431
② Description of the General Model	431
③ The Collection of Observational data	431
④ Set of the Quantitative Criteria	432
⑤ Set of the Load Factor	438
(나) Analysis of the Target Area	439
(다) Analysis of the Centrality in the Target Area	445
① Centrality	445
② Non-weighted Network	446

③ Weighted Network	453
④ Verification of the Link Transmission Network Model	466
다. Space Transmission Network Model	474
(1) Monte Carlo Simulation	475
(2) Configuration of the Space Transmission Network Model	475
(3) Development of System	477
(가) Research for the Network System	479
(나) Transmission Network	486
(다) Space Transmission Network Model	490
① Kruskal Algorithm	493
② Recursion Function	495
라. Analysis of Diffusion using ABM	501
3. Conclusion	504
6 절. Result and Utilization	506
1. Inflow of HPAI into the Domestic Premises and Analysis of the Propagation Phase	506
2. Analysis of the Transmission Factors	507
가. Classification of the Transmission Factors	507
나. The Method and Supplementation of the Transmission Factor	509
(1) Spread in the Air	509
(2) Spread in the Personal Exchange	510
(3) Spread in the Movement of the Car	510
3. Customized On-site Preventive Measures	511
가. Analysis of Existing Prevention Measures	511
나. Coping Strategies in the HPAI	511
다. Preventive Measures	511
4. Multidisciplinary Research Results and Present of the Future Research Directions	512
제 4 장 Achievement of the Research and Contribution to the Interested Field	514
1. Yearly Achievement of the Research	514
2. Contribution th the Interested Field	515
제 5 장 Plans for the Research and Development Results	516
1. Practical Industrialization Plan (Technical Implementation, etc.)	516
2. Education. Map. Promotion, Technology Diffusion Plan etc.	516
3. Patents, Breed, Paper Plan including Securing Intellectual Property Rights	516
가. The Present submitted Domestic Paper	516
나. The Present submitted SCI Paper	517
다. The Present Paper Introduced on the Conference	517
라. The Present Specialized Magazine and Advertisements	518
4. Further Research, Application Plan for the Interested Study	518
제 6 장 Collected the Scientific and Technical Information in the Research	519
제 7 장 Reference	519

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	26
제 2 장 국내외 기술개발 현황	28
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	29
1 절. 연구 진행 방법 및 각 세부과제별 연계 방안	29
2 절. 질병 확산에 대한 기후 및 지형적 요인 분석을 위한 공기유동학적 모델 개발	34
1. 연구 필요성 및 목적	34
2. 연구사	36
가. 고병원성 조류 인플루엔자(HPAI)의 공기 중 확산 근거 및 확산 메커니즘 분석	36
나. 바이러스의 확산 분석을 위한 현장실험 사례 분석	37
다. 공기 오염물질의 물리, 화학적 특성	38
라. 질병 확산 모델 관련 연구	40
3. 재료 및 방법	46
가. 연구 대상 지역	46
나. 현장실험 장비	49
다. 전산유체역학 시뮬레이션 툴	51
(1) 격자 설계	52
(2) 난류 모델	53
(3) 시뮬레이션 모델 설계 이론	55
(4) 대기 안정도	57
(5) 병렬 처리 모델링	60
라. 연구 방법	62
(1) 기상 데이터 분석	62
(2) 도로 인근 확산 분석	62
(3) 농장에서 발생하는 공기오염물질 분석	66
(4) 전산유체역학 시뮬레이션 모델 개발	67
(가) 연구 대상지역에 대한 3차원 계산 영역 설계	67
(나) 시뮬레이션 입력 조건 및 경계조건 설계	68
4. 연구 결과 및 고찰	74
가. 기상 데이터 분석	74
(1) 20년 평균 기상 분석	74
(2) 과거 HPAI 발생 시기 기상 분석	77
나. 도로 인근 확산 실험	81
다. 농장에서 발생하는 공기오염물질 분석	85
라. 전산유체역학 시뮬레이션 모델 개발	91
(1) 연구 대상지역에 대한 3차원 계산 영역 설계	91
(2) 방풍림 모델 적용 방안	95
(3) 규모별 농장 모델링 방안 마련	98
(4) 모델의 부분적 검증	101
(5) 3차원 지형 설계	107
마. 전산유체역학 시뮬레이션 모델로 예측한 공기 중 질병 확산	113

(1) 입자별 확산 경향	113
(2) 환경조건에 따른 확산 현상 분석	143
(3) 가중치를 적용한 3차원 매트릭스 구현	144
(4) CFD 모델링 결과 분석을 위한 알고리즘 개발	149
(5) 2008년도 기상 자료를 적용하여 과거 HPAI 발생 사례를 바탕으로 CFD 모델 검증	150
5. 결론	167
3 절. 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입 및 전파확산경로에 대한 위험요인평가 및 방제연구 ·	170
1. 가금 사육실태 및 유통시스템 조사	170
가. 가금별 사육실태	170
(1) 오리	170
(2) 닭	171
(3) 종계	171
(4) 산란계	172
(5) 토종닭	172
(6) 메추리	173
(7) 관상용 가금류	173
나. 토종닭 산업 유통현황 조사	174
(1) 유통 및 산업 현황	174
(가) 토종닭 산업화의 배경	174
(나) 토종닭 사육실태	174
(다) 토종닭 소비실태	175
(2) 토종닭 국내 최대 생산지 및 유통 문화	176
(3) 노계(폐계)의 유통실태	176
(4) HPAI 발생지역별 토종닭 유통실태 소비실태	177
(가) 호남권(전남·전북) HPAI 발생지역	177
다. 상설 및 정기(5일장) 채래시장	178
라. 도축현황	179
마. 가금 관련 산업시설 위치 조사	180
바. 사육 가금류의 병성감정현황 및 예찰	185
(1) 사육 가금류의 병성감정결과	185
(2) 사육 가금류의 혈청검사결과	185
(3) 철새 및 채래시장 등 가금류에 대한 예찰	186
사. 조류인플루엔자 발생현황	186
(1) 국내 고병원성 조류인플루엔자 발생현황 조사	186
(2) 국내 저병원성 조류인플루엔자 발생현황	188
(3) 고병원성 AI 해외발생 동향 ('08년 이후 ~ '10.2.5. 현재)	188
2. 조류 이동 상황 및 조류상 조사	191
가. 주요 철새도래지 조사 결과	191
나. 조류 상 조사방법 및 결과	191
(1) 선조사법(Line Transect Method)	192
(2) 정점조사법(Point Census Method)	192
다. 철새 등 야생조류에 대한 병성감정결과 ('08.하반기·'10.02.05. 18:00 현재: 48건 306수)	194
(1) 2010년 철새 등 야생조류 병성감정현황	194

(2) 2009년 철새 등 야생조류 병성감정결과	195
(3) 2008년 하반기 철새 등 야생조류 병성감정결과	196
라. 지역별 조류 상 조사결과	196
(1) 경기도 지역	196
(2) 인천광역시 지역	197
(3) 강원도 지역	197
(4) 충청남도 지역	198
(5) 대전광역시 지역	198
(6) 충청북도 지역	199
(7) 전라북도 지역	199
(8) 전라남도 지역	200
(9) 광주광역시 지역	200
(10) 경상남도 지역	200
3. HPAI 발생지역 및 주요 철새도래지에 대한 가금 사육실태 및 분포현황 조사	201
가. 주요 철새도래지(철새 관측지)와 가금 사육농가 현황	201
나. 과거 HPAI 발생지역과 주요 철새도래지별 5km 이내 가금사육농가 현황	202
다. HPAI 발생지역의 철새도래지(관측지)로부터 5km 이내 가금류 사육농가 분포현황	204
라. 시범지역(익산·김제·정읍)의 일별(월별) 어리장 차량이동 상황조사	209
마. 가금 산업별 분포 및 관련 물류 유통실태 조사	210
(1) 토종닭 생산 및 유통체계	211
(가) 토종닭 사육 및 출하체계	212
(나) 오리 생산 및 유통체계	214
① 사양형태 별 농장 경영 시스템	218
② 생산에서 출하까지의 기본 사육형태	218
(다) 메추리 생산 및 유통체계	220
4. HPAI 감염정도에 따른 가금류의 AIV 배출량과 전파속도 예측 모델 개발	221
가. 발생농장의 감염시기 추정 분석	221
(1) 고병원성조류인플루엔자(HPAI) 전파속도(바이러스 확산기간) 비교	221
(2) HPAI 의심축 신고일로부터 확진까지 기간 비교분석	222
(3) HPAI 바이러스 배출기간 비교분석 결과	223
(4) 연도별 HPAI 발생과 이동제한기간 비교분석 결과	224
나. 품종별 방역조치 소요기간 비교분석	225
(1) 2003/2004년도 품종별 방역조치 소요기간 비교분석	225
(2) 2006/2007년도 품종별 방역조치 소요기간 비교분석	226
(3) 2008년도 품종별 방역조치 소요기간 비교분석	227
다. 연도별 방역조치 소요기간 종합분석 결과	228
5. HPAI 발생지역의 소규모 가금류 중간상인의 유통실태조사	229
가. 호남지역 토종닭 유통시스템 조사	230
(1) 광주, 전남지역 토종닭 유통 조사	230
(2) 전남지역 토종닭 유통 조사	230
(3) '08 HPAI 발생 전후 전북지역의 특이사항	231
(4) 전북지역 토종닭 유통 조사	232
(5) 호남지역 기타 유통업체	233

나. 영남지역 토종닭 유통시스템 조사	233
다. 중부권(수도권)지역 토종닭 유통시스템 조사	234
6. HPAI 발생농장 및 발생지역과 철새도래지에 대한 역학조사 및 위험평가	235
가. HPAI 발생 위험요소 조사 : Retrospective study	235
(1) 2003/2004년도 HPAI 발생농장 전파요인	235
(2) 2006/2007년도 HPAI 발생농장 전파요인	236
나. HPAI 발생 위험요소 조사 : 농장 수준의 환례-대조군 연구(Case-control study)	242
(1) 통계 분석	244
(2) 요인 별 분석 결과	244
(3) HPAI 발생 위험평가	248
(4) 농장설문조사를 통한 HPAI 발생 위험평가	251
(5) 축주/고용인 방역사항	253
7. HPAI 국내 유입 위험요인 조사 및 분석	254
가. 주변 국가별 HPAI 국내 유입 위험요인 조사 및 분석	257
(1) HPAI 발생국 현황조사와 국가간 철새 이동경로 조사	257
(가) 국내 도래하는 야생조류 조사	257
(나) 봄철 한반도를 통과하는 철새와 HPAI	259
(다) 조류 그룹별 이동 경로	259
(2) 중국에서 오리류의 이동경로 추적결과	260
(3) 일본 발생관련 큰고니의 이동경로 추적	262
(4) 러시아 발생관련 큰고니의 이동경로 추적	263
나. 야생조류 예찰	263
다. 철새의 위험도 평가	266
라. 2010/2011년도 야생조류 HPAI 검출관련 역학분석결과	267
(1) 천수만 지역 수리부엉이에서 HPAI 검출	268
(2) 만경강 지역 청둥오리에서 AI 검출	269
(3) 남부 주남저수지	270
8. 주변국 HPAI 발생현황 및 위험요소 조사	272
가. 몽골지역	272
나. 중국지역	273
다. 대만지역	277
(1) 가축방역조직 및 축산현황	277
(2) 대만 공항의 동물검역 사항	278
(3) 철새이동상황 및 조류종 조사사항	278
(가) 대만의 조류 및 조류 서식지	278
(4) 대만 주요 철새도래지 현장 방문조사	281
(가) 타이찌양 국립공원 (Taijiang National Park)	281
(나) 타이난 생태보육교육장 철새도래지	283
(다) 타이난 백로 번식처	284
(5) 가금사육농가 위험요인 조사	286
(가) 닭 사육농가 (양계장)	286
(나) 오리 사육농가	287
(다) 재래시장	288

라. 태국지역	288
(1) 태국 공항의 동물검역 사항	289
(2) 철새이동상황 및 조류종 조사사항	289
(3) 태국 주요 철새도래지 현장 방문조사	292
(가) 태국 연안 습지 철새도래지	292
(나) 태국 국립 철새도래지 (도요새)	294
(다) 태국 논농사지역	295
(4) 가금사육농가 위험요인 조사	296
(가) 닭 사육농가 (양계장)	296
(나) 채래시장	297
(다) 사원 및 도로정체구간의 가금류 판매	298
마. 주변국 4개국과 우리나라 HPAI 발병 위험요소 분석결과	299
(1) 주변국의 철새도래지의 위험요소 분석결과	299
(2) 주변국의 가금사육농가의 위험요소 분석결과	302
(3) 주변국의 상설채래시장의 위험요소 분석결과	305
(4) 주변국의 국제공항만의 위험요소 분석결과	308
4 절. 철새도래지와 가금사육농가 간 HPAI 발병위험요인 분석	310
1. 철새도래지별 가금사육농가간의 위험요인 조사 분석	311
가. 서울·인천·경기지역	311
(1) 시화호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	312
(2) 임진강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	313
(3) 남한강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	315
나. 강원지역	317
(1) 북한강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	317
(2) 한탄강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	319
(3) 화진포 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	321
(4) 영랑호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	323
(5) 경포호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	325
다. 충북지역	327
(1) 충주호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	327
(2) 대청호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	329
(3) 백곡천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	330
(4) 미호천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	332
라. 대전·충남지역	333
(1) 아산만 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	333
(2) 곡교천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	336
(3) 풍세천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	338
(4) 천수만 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	340
(5) 간월호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	342
마. 전북지역	344
(1) 금강호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	344
(2) 만경강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	345
(3) 동진강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	348

(4) 동립저수지 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	349
(5) 섬진강 철새도래지(남원)의 위험요소 및 맞춤형 방역	351
바. 광주·전남지역	352
(1) 섬진강 철새도래지(순천·하동)의 위험요소 및 맞춤형 방역	352
(2) 영산강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	354
(3) 영산호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	356
(4) 금호호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	358
(5) 고천암호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	359
사. 대구·경북지역	360
(1) 안동호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	360
(2) 형산강(경주 양계단지) 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	361
아. 부산·울산·경남지역	363
(1) 태화강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	363
(2) 을숙도 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	364
(3) 주남저수지 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	366
(4) 낙동강 하류(김해, 양산) 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	367
(5) 대가저수지 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	369
(6) 거제도 연안의 아비 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	371
자. 제주지역	372
(1) 하도리 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	372
(2) 오조리 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역	373
2. 지역별 맞춤형 HPAI 현장 방역모델	375
가. 서울, 인천, 경기지역	375
(1) 서울지역	375
(2) 인천지역	377
(3) 경기지역	378
나. 강원 지역	381
(1) 강원 서북부권 지역	381
(2) 강원 동북부권 지역	382
다. 충북 지역	384
(1) 충북 중북부권 지역	384
(2) 충북 남부권 지역	385
라. 대전, 충남지역	386
(1) 대전 지역	386
(2) 충남 지역	387
마. 전북 지역	388
(1) 전북 서부권 지역	388
(2) 전북 동부권 지역	389
바. 광주, 전남지역	390
(1) 광주 및 전남 서남부권 지역	390
(2) 전남 동남부권 지역	391
사. 대구, 경북지역	392
(1) 대구 및 경북 북부권 지역	392

(2) 경북 동남부권 지역	393
아. 부산, 울산, 경남지역	394
(1) 부산·울산·경남 동남부권 지역	394
(2) 경남 중서부권 지역	395
자. 제주지역	396
(1) 서귀포시지역	396
(2) 제주시지역	397
5 절. 조류독감 확산 경로 예측을 위한 네트워크 시스템 개발	399
1. 서론	399
가. 질병 확산 네트워크 연구	401
(1) 네트워크 관련 사례 연구	401
(가) 사회적 네트워크	401
(나) 정보계 네트워크	402
(다) 과학적 네트워크	404
(라) 생물학적 네트워크	404
(2) 질병 확산 연구	405
(가) SIR 모델	405
(나) SIS 모델	407
나. 복잡계 확산 연구	408
(1) 행위자 기반 모형	408
(2) 행위자 기반 모형의 응용	413
다. 연구 방향	415
2. 본론	417
가. 선 확산 네트워크 모델	417
나. HPAI 질병 확산 위험요인 자료 분석	417
(1) 연구 대상 지역 선정	418
(2) 연구 대상 지역 역학상황	419
(3) HPAI 질병 확산 네트워크내의 대상과 대상간의 연계 설정	420
(4) HPAI 질병 확산 네트워크 구성	421
(가) 선 확산 요소	422
(나) 선 확산 모델 구성	425
(5) 통계적 상관성 분석을 이용한 계수 결정	428
(가) 다중 요인 확률 분석	428
① 분석에 포함시킬 변수의 선정	431
② 일반적인 모델의 상술	431
③ 요인분석에 포함시킬 변수들에 관한 관찰자료의 수집	431
④ 정량적 기준 설정	432
⑤ 요인 부하 설정	438
(나) 연구 대상 지역 요인 분석	439
(다) 선 확산 네트워크 중심성 분석	445
① 중심성 지수	445
② 비가중네트워크(Non-weighted Network)	446
③ 가중네트워크(Weighted Network)	453

④ 선 확산 네트워크 모델의 검증	466
다. 공간 확산 네트워크 모델	474
(1) 몬테카를로 시뮬레이션	475
(2) 공간 확산 모델 구성	475
(3) 시스템 개발	477
(가) 네트워크 시스템 사례 분석	479
(나) 확산 네트워크	486
(다) 공간 확산 네트워크 모델	490
① 크루스칼 알고리즘	493
② 재귀 함수(Recursion Function)	495
라. 행위자 기반 모형을 이용한 확산 분석	501
3. 결론	504
6 절. 종합 결과 및 활용 방안	506
1. HPAI 의 국내 유입 및 농가로의 전파 양상 분석	506
2. HPAI 확산 요인별 분석	507
가. 확산 요인에 대한 분류	507
나. 확산 요인별 분석방안 및 보완사항	509
(1) 공기 중 전파	509
(2) 인적 교류를 통한 전파	510
(3) 차량의 이동에 의한 전파	510
3. 현장 맞춤형 방역 대책 마련	511
가. 기존의 방역 방안 분석	511
나. 가축질병 발생 시 대응 전략	511
다. 가축질병 발생의 예방적 방역 대책 수립	511
4. 연구 종합 결과 및 향후 필요한 연구 방향 제시	512
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	514
1. 연도별 연구목표 및 달성도	514
2. 관련분야의 기술발전예의 기여도	515
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	516
1. 실용화·산업화 계획(기술실시 등)	516
2. 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등	516
3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등	516
가. 국내 논문 투고 현황	516
나. 국외 논문 투고 현황 (SCI급)	517
다. 학술 논문 발표 현황	517
라. 전문 잡지 투고 및 광고 현황	518
4. 추가연구, 타연구에 활용 계획 등	518
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	519
제 7 장 참고문헌	519

제 1 장 연구개발과제의 개요

조류인플루엔자(Avian Influenza)는 조류의 급성 전염병으로 바이러스의 병원성의 정도에 따라서 저병원성과 고병원성으로 크게 구분된다. 그 중 고병원성 조류인플루엔자(HPAI, Highly Pathogenic Avian Influenza)는 100%에 가까운 높은 폐사율과 산란율 저하로 농가에 막대한 경제적 피해를 야기하며, 전염성이 빠르기 때문에 세계동물보건기구(OIE, Office International des Epizooties)에서도 관리대상 질병으로 지정하였으며, 국내에서도 제 1종 가축법정전염병으로 관리하고 있다. HPAI는 8개의 RNA 유전자 분절(segment)로 구성되어 변이가 쉬우며, A형 AI 바이러스는 사람을 비롯하여 다양한 척추동물에 감염되며, HA 16종과 NA 9종으로 구성되어 이론적으로 총 144종 존재할 수 있다. 따라서 HPAI에 대한 근본적인 예방 백신 개발이 불가능하며 확산속도가 매우 빨라 초기 유입 및 확산 방지가 중요하다. 닭의 HPAI의 잠복기는 수시간 ~3일, 계군별 최대 2주까지도 가능하며, 일반적 잠복기는 3일에서 14일 (OIE기준 안전기간 포함 시 : 21일)로 알려져 있다. 야생 오리의 분변 1g 에는 약 $10^{8.7}$ 개 정도로 고농도의 바이러스가 존재할 수 있어 호흡기를 통하여 동물은 물론 인간으로도 전파가 가능하다. 특히 인접한 농장 간에는 지형 및 우세풍에 의하여 형성되는 풍환경에 따라서 부유물질의 이동에 의한 공기로의 바이러스 전염 가능성이 높은 것으로 판단된다(김재홍, 2007). HPAI 의 징후로는 갑작스런 높은 폐사, 찡그리거나 두드러진 활동 저하, 사료 소비의 감소, 과도한 갈증, 달걀 생산 정지, 호흡기성 징후 (Coughing, sneezing, and excessive eye discharge) 등을 나타낸다 (CFIA's AI Hazard Specific Plan).

우리나라는 HPAI 가 자주 발생하는 동남아 및 중국 등과 인접해 있을 뿐 아니라 경제, 사회, 무역, 문화 등 매우 친밀한 관계를 유지하고 있다. 이로 인하여 많은 물자 및 사람의 수송이 발생하고 있으며, 철새의 빈번한 이동 등으로 인하여 HPAI 의 발생 가능성이 항상 높은 상황에 있다. 2000년 이후 우리나라에서는 총 4차례의 HPAI 가 발생하였다. 03/04년도에는 충북 음성 등 10개 시군에 19건이 보고되어 총 392농가, 529만수가 피해를 받았으며 1,126억의 방역비가 소요되었다. 06/07년도에는 전북 익산 등 전국 5개시군의 총 7건이 보고되었으며, 460농가, 280만수, 582억원의 방역비 피해가 있었다. 08년도에는 전북 김제 등 19개 시군에 33건이 보고되었으며, 950농가, 846만수가 감염되었다. 08년도의 경우 농촌경제연구소에서 보고서로 피해액을 추정한 결과, 생산단계에서의 직접피해액 2,719억원 + 간접피해액 30억원 등 2,749억원으로 추산되었으며, 정부의 방역 및 살처분 활동 및 특별교부세 등은 총 375억 2천만원으로 생산단계에서 총 3,124억 2천만원의 피해액이 추정되었다. 또한 육가공~유통단계에서 닭고기 41억원, 오리고기 14억원 계란 약 3원 원 등 총 58억원 및 최종 소비자 판매 단계에서 외식업체 2,715억원, 소매업체 427억원 등 총 3,142억원 추정되었다. 이를 토대로 총 경제적 피해액은 총 6,324억 수준인 것으로 추산된다. 2010년도와 2011년도에는 안성 등 6 개시도, 24개 시군에서 53건이 발생하였으며 약 230만 수, 살처분보상금 및 특별교부세 등 직접 피해액이 844억 원에 이르며, 구제역이 동 시기에 함께 발생함으로써 살처분 등 방역동원 인건비, 소독 및 통제

초소운영 등으로 이들 방역비용이 HPAI 보다 구제역에 포함되는 경우가 많기 때문에 직접 피해액이 다소 적게 보일지 모르나 실제적으로는 가금산업과 기타 관련산업(식당, 호프집, 통닭집 등) 등 사회전반에 걸친 경제적 피해인 직·간접적인 피해액은 상상을 초월하고 있다.

인플루엔자에 의한 해외의 피해 사례 역시 다수가 보고된 바 있다. 1997년 홍콩에서는 H5N1 HPAI가 발발하여 직접 경비만 약 1,300만 달러가 소요된 바 있다. 1999~2000년 이탈리아에서는 H7N1바이러스로 인하여 직접적인 방역 경비 약 1억 달러, 관련 산업 붕괴 및 소비자의 구매 감소, 관광산업의 침체 등 간접 경비 약 5억 달러의 피해가 계산되었다. 또한 2004년 태국에서는 H5N1이 발생하여 도살처분 보상비 1.5억 달러, 폐기 손실액 약 2억 달러, 가금육 수출 금지로 인한 무역 손실액 약 20억 달러의 피해가 발생하였다. 2003년 이후 아시아, 유럽, 아프리카 등 총 63개 국가에서 HPAI가 발생하였으며, 최근에는 주로 아시아에서 많이 발생하는 것으로 보고되고 있다.

일반적으로 감염된 닭의 분변 1그램에는 십만에서 백만 마리의 닭을 감염시킬 수 있는 농도의 바이러스가 존재한다. 따라서 감염된 철새 야생조류의 분변을 통하여 가금류로 전파, 사람 또는 차량 등 기계적 중간 매개체에 의한 전파, 오염된 물, 사료, 기침 시 비말에 의한 계사 내 근접한 거리에서의 전염, 공기 중의 물방울, 물 등으로 인하여 HPAI 가 감염되는 것으로 알려져 있다(우병준, 2008). Influenza A 바이러스의 자연적인 저장고는 수생 조류의 서식지로써 새들 간의 전파는 주로 직, 간접적으로 구강(fecal-oral)을 통하여 오염된 에어로졸, 물, 먹이 등이 전달되어 발생한다. 또한 바이러스는 때때로 다른 동물(포유동물, 가금류)등으로 전파되어 일시적인 감염 및 병을 발발한다(de Jong 2006, Brown 2009). HPAI 발생 농장의 지리적 cluster 내부에는 사료차량 등 짧은 거리를 이동하는 기계적 전파가 주요한 전파 요인이며, cluster 사이에서는 부화장 차량, 부산물 차량 등이 매개체가 되었다(윤하정 2008).

HPAI의 확산을 추적하기 위해서는 인근 전파, 직간접적 접촉, 축산관련차량, 야생조류, 공기 확산 등 다양한 전파 요인이 복합적으로 고려되어야 한다. 그러나 바이러스의 잠복기, 농장의 지연 신고, HPAI 감염 여부의 판단의 전문성 등으로 발생 초기 인지가 어려우며, 철새에 의한 바이러스 유입 및 가금 산업 유통 구조, 공기로 인한 확산 등에 대한 기초 자료가 부족한 실정이다.

따라서 질병의 확산 요인이 매우 다양하여 요인별 위험도 평가 및 이의 기초 데이터 확보가 필요하며, 빠른 방역조치를 통한 확산 피해 및 경제적 손실 방지 및 최소화하기 위하여 초동 방역 및 질병의 확산 방지를 위한 노력이 필요하다. 또한 조류인플루엔자의 확산 경로 및 문제 발생 원인을 신속히 역학 추적할 수 있도록 다양한 질병 확산 요인을 통합하는 네트워크 시스템의 개발이 시급하다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

고병원성조류인플루엔자 예찰방역시스템의 필요성에 대해서는 국내외적으로 많은 동의가 이루어진 반면 실용적인 결과물 및 시스템은 아직까지 가시적인 성과가 이루어지지 않고 있다. 현재 국내에서는 HPAI의 인간에 대한 피해 및 동물에의 피해를 줄이기 위한 백신 연구가 활발히 진행되고 있는 반면 질병 유입 및 확산네트워크 관련 연구는 많지 않은 상황이다. 기존의 역학조사 DB를 그리고 본 연구를 진행하여 얻고자하는 기술 제품 역시 현재 시장에는 없다.

국외에서는 질병확산 네트워크 구성에 관한 관심이 매우 높아지고 있으며 Department of Medical Biometry University of Germany의 Martin Eichner에 의해 전염병 확산 네트워크 프로그램이 개발되었으나 위험요인을 변수로 값을 넣을 때 가중치 결정이 불가능하기 때문에 현재 이용하는데 어려움이 있으며 다른 질병에 적용하는데도 한계가 있다. 또한 기존의 연구는 조류독감의 발생 지역과 빈도, 그리고 주변 환경요인에 관한 통계자료만을 이용하여 역학조사를 바탕으로 분석을 수행하였기 때문에 조류독감의 전염에 관한 특징이나 확산 경로 등을 파악하는데 그쳤으나, 본 연구는 이와 같은 통계자료를 컴퓨터를 이용하여 네트워크 모델링하여, 실제 지형정보를 고려한 시뮬레이션 모델을 개발, 직접적인 전파 경로를 예측하고 예보할 수 있는 시스템의 개발에 관한 연구를 하고자 한다.

국내 및 국외시장 분석결과 HPAI가 발생했을 경우 방역 및 살처분 등을 통한 직접적인 경제적 피해는 물론, 관련 가금류의 소비의 감소와 대외적인 수출 감소 및 국가 인지도 하락 등 연관된 간접적인 막대한 피해가 추정된 바 있다.

따라서 본 연구를 통하여 HPAI의 유입 및 전파확산 경로를 예측함으로써 질병의 유입을 최대한 예방하고, 질병 발생 시 피해를 최소화할 수 있도록 국가 가축방역대책 수립 시 기초자료로 활용할 수 있도록 지원하고, 또한 더욱 효과적인 방역대책을 제시함으로써 피해 최소화는 물론 안정적인 생축 가금류 및 축산물(가금육, 가금가공육, 계란 등)의 유통 및 국내외 소비자의 신뢰성 확보가 가능할 것으로 판단된다. 또한 유사한 질병 전파 양상을 가지고 있는 다른 축종의 질병 및 신종플루와 같은 사람에 관련된 질병에 대해서도 확장성을 가지고 있기 때문에 추후 연구 결과를 토대로 완성한 네트워크 모델을 사용하여 확산요인에 대한 가중치를 조절함으로써 적용이 가능하다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

1 절. 연구 진행 방법 및 각 세부과제별 연계 방안

고병원성조류인플루엔자(HPAI) 유입 및 전파확산에 대한 위험요인을 분석하기 위하여 과거 HPAI 발생지역을 대상으로 가금 산업(가금 사육농장, 종계장, 도계장, 도압장, 가금육 가공장, 사료회사, 약품회사, 왕겨공장, 분뇨처리장, 재래시장 등)의 유통현황조사 및 방역 실태 등에 대한 정밀 역학조사를 시행하였다. 역학조사 시 고려하는 다양한 위험 인자 및 공기 전파에 의한 위험 인자 등을 종합적으로 고려하여 위험 인자에 대한 데이터베이스 스키마를 결정하였으며, HPAI의 국내 유입의 주원인으로 추정되고 있는 철새의 이동 및 조류상 조사를 수행하고, 철새도래지에서 발생하는 분변, 깃털 등에 관한 역학 조사를 수행하였다. 또한 GIS 지리정보를 이용한 HPAI 과거 발생지에 대한 지형 정보 및 기상 정보를 종합적으로 고려하여 공기 전파 메커니즘 분석을 위한 공기유동학적 3차원 확산 예측 모델을 개발하여 다양한 환경 조건, 농장 및 주요 시설의 위치, 도로망 등을 고려하여 공기 유동 및 HPAI 바이러스의 확산을 예측하였으며 정밀 역학조사 데이터, 철새에 관련된 역학조사, 가금 산업 유통 관련 조사, 공기 유동학적 분석 결과를 사용하여 위험요인들의 그룹화 및 위험도를 평가하였다. 이를 토대로 하여 마이크로 네트워크의 구성 및 통합적 질병확산 네트워크의 개발하였으며, 개발된 질병 유입 및 확산 네트워크와 역학조사 및 공기유동학적 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하여 HPAI 예방 및 방제를 위한 현장 맞춤형 전략적 대응 전략 및 최적 관리 방안 마련하고자 하였다(그림 1).

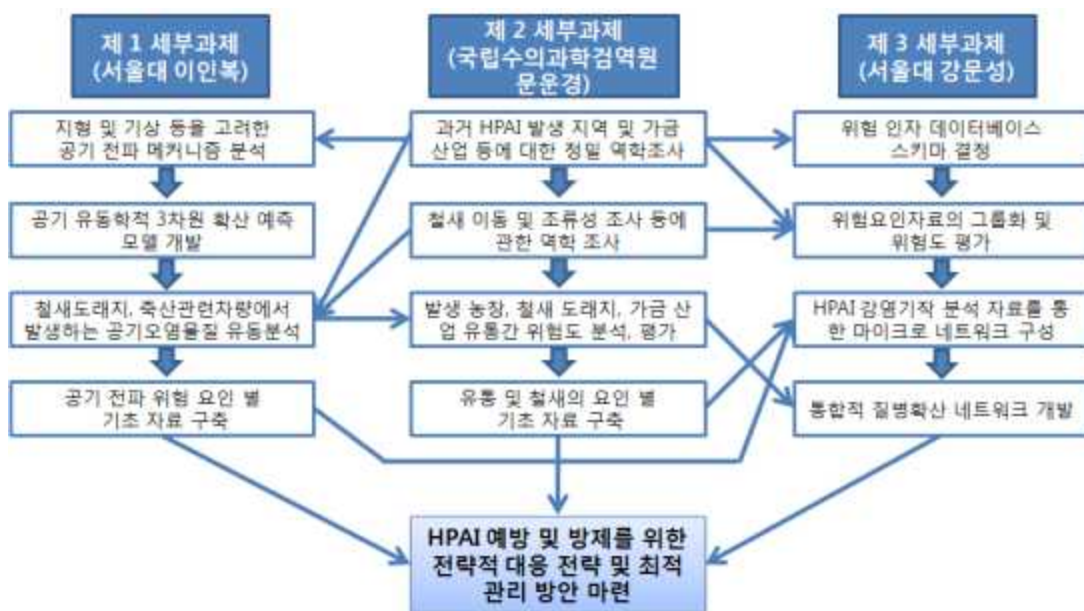


그림 1 연구 세부과제 간 연구전략 및 추진 체계

1차년도에서는 세부과제 공통으로 답사 및 과거 HPAI 발생 사례 등을 바탕으로 전북 김제시 일대를 연구대상 지역을 선정하였다. 해당 지역에는 다수의 농장이 있으나 네트워크 연구의 기초 데이터 확보가 용이한 2008년도 HPAI 발생 시 역학조사를 실시한 총 39개 농장을 대상으로 연구를 진행하였다. 또한 HPAI 확산 가능한 인자를 분석하여 네트워크 시스템에 활용하기 위한 공기 중 확산, 유통 과정에서의 확산, 축산 관련 차량 이동에 의한 전파, 외부 방문자에 의한 전파 등을 대상으로 연구를 진행하고자 하였다. 이를 위하여 서로 협력이 필요한 부분에 대한 상세한 토의를 수행하여 연구의 진행 방향을 수립하였다.

제1세부과제 (서울대 이인복)에서는 2008년도 HPAI가 발생한 김제지역에 대한 과거 20년간의 기상자료 수집 및 분석을 실시하였으며, 농장에서 발생하는 공기오염물질을 통한 HPAI 바이러스의 공기 중 확산에 의한 질병 전파 연구를 수행하였다. 이를 위하여 농장에서 발생하는 입자를 채취하여 물리 화학적 분석을 통하여 밀도, 입자의 크기 등을 파악하여 시뮬레이션 모델에 활용하기 위한 기초 데이터를 확보하였다. 또한 공기 유동학적 3차원 시뮬레이션 모델 개발을 위하여 풍속 및 난류 프로파일을 설계하였으며, 대기안정도, 퇴적에 의한 에어로졸의 소멸 등과 같은 효과를 구현하기 위한 UDF(User defined function)을 구축하였다.

제2세부과제 (농림수산검역검사본부 문운경)에서는 HPAI 발생지역의 철새이동상황 및 조류상 조사와 주요 철새도래지 등에서 발생한 철새 또는 야생조류의 폐사와 환축 등에 대한 병성감정을 수행하였다. 또한 연구 대상 지역에 대한 가금 사육실태 및 유통시스템 조사를 통하여 육계, 산란계, 종계, 종오리농장, 육용오리농장 등에 대한 사육 현황 및 유통 현황 등을 조사하였다. 또한 지역별 닭·오리도축장 소재지, 배합사료공장 소재지, 알가공장 소재지 조사 및 도축 현황을 조사하고, 전국 재래시장 및 상설재래시장내의 생축판매장 분포 및 유통 실태 조사 등을 수행하였다. 이를 통하여 과거 HPAI 발생 시 역학조사결과에 대한 정밀 분석 및 1, 3 세부과제에서 요구하는 기초 데이터를 제공하고자 하였다.

제3세부과제 (공주대 정남수)에서는 네트워크 이론을 이용한 HPAI 확산을 예측하기 위하여 질병확산 네트워크 관련 이론 및 사례 분석을 수행하였다. 또한 HPAI 확산 네트워크 구축을 위한 자료 분석 및 주요 요인 선정하고 HPAI 확산 네트워크 통합을 위한 기본 프레임 구성하였다. 이를 통하여 대상 지역을 확산 요인별로 선과 점으로 추상화한 네트워크를 구성하여 확산의 중요지점을 대상 지역에서 선정할 수 있으며 HPAI 발생 시 방역을 위한 우선 대책 지점 선정에 활용하고자 하였다. 이와 관련하여 교통망, 동물약품, 가축사료 네트워크를 구성하여 중심성지수를 이용하여 각 네트워크 분석을 수행하였다.

2차년도에서는 1차년도에 토의한 연구 진행 방향에 따라서 각 세부과제별로 통합 네트워크 시스템에 사용하기 위한 다양한 확산 인자별 기초 데이터를 분석 및 이를 통합할 수 있는 네트워크 시스템의 개발이 세부과제별로 수행되었다. 또한 네트워크 모델에 필요한 HPAI 확산 요인을 최종 선정하고 각 확산 요인별로 필요한 데이터의 구축에 관한 토의를 바탕으로 네트워크로 각 요인을 통합하기 위한 적정 형식으로 데이터를 변환하는 방향을 수립하였다.

제1세부과제 (서울대 이인복)에서는 HPAI의 공기오염물질에 의한 확산예측 모델 개발을 위하여 모델 대상 영역을 정밀 분석하여 3차원 공기유동학적 시뮬레이션 모델을 구축하고자 하였다. 이를 통하여 GIS 수치 지형도를 바탕으로 연구 대상 영역 및 필요한 대상을 추출하여 다수의 프로그램을 활용하여 모델 경계 조건 및 환경 조건 설계하였다. 또한 격자 안정성 테스트 및 관련 문헌을 바탕으로 격자를 설계하고 농장, 숲, 도로를 시뮬레이션 모델에 적용할 수 있는 기술을 개발하였다. 또한 축산관련 차량 이동 시 비산먼지 거동 분석하기 위한 현장실험을 바탕으로 인근 도로에서 발생하는 에어로졸의 농도를 측정하여 시뮬레이션 모델의 환경 조건에 활용하였다.

제2세부과제 (농림수산검역검사본부 문운경)에서는 HPAI 발생지역의 철새도래지, 가금 산업 및 물류 유통실태 조사 및 분석을 통하여 양계 및 오리의 유통시스템 및 사육, 출하 실태를 정밀 조사하였다. 또한 수학적 모델을 이용하여 HPAI의 감염 시기 추정 등 역학조사결과 분석을 통한 확산 경로를 예측하였다. 또한 HPAI 바이러스의 배출기간의 비교 분석 및 발생농가별 HPAI 발생 시 살처분, 신고, 진단 등에 대한 시간별 분석 및 소규모 중개상인 유통경로를 통한 HPAI 전파 등에 대한 분석을 수행하였다. 또한 HPAI의 국내 유입 위험요인 조사 및 분석을 통하여 HPAI의 전파원으로써 철새의 역할에 대한 연구를 수행하였다. 이와 같은 HPAI의 과거 전파 실태 및 전파 요인에 대한 분석을 통하여 추후 네트워크의 기초 데이터 확보 및 결과를 활용한 적절한 방역 조치 및 예방책 마련을 위하여 활용될 수 있다.

제3세부과제 (공주대 정남수)에서는 질병확산네트워크 구성 자료 설정 및 형식 구축하여 대상 지역의 사육 농가를 바탕으로 하여 교통망, 동물약품, 가축사료, 계분처리, 입출하와 관련된 네트워크를 개발하였으며 추후 공기유동 네트워크를 추가할 수 있도록 하였다. 이를 바탕으로 연결요소 분석 자료를 활용하여 질병확산 네트워크 구축하고, 통합적 질병확산 네트워크 활용 모델 개발하였다. 또한 통합 질병 확산 네트워크 모델의 적용을 통하여 확산 양상을 분석하고 확산 위험 농가에 대한 절점 통제시의 질병 확산 양상을 비교함으로써 추후 연구 결과의 활용점을 제시하였다.

3차년도에서는 2차년도 연구 과정을 통하여 각 세부과제별로 축적한 연구 데이터 및 모델을 바탕으로 질병의 확산을 예측하고 이에 대응하는 현장 맞춤형 방역 대책을 수립하였다. 이를 위하여 3차년도 연구 전반기에는 HPAI의 통합 확산 네트워크를 구축하고자 하였으며, 후반기에는 네트워크 분석을 통한 질병의 확산 연구 결과를 바탕으로 현장 맞춤형 방역대책을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 1세부과제에서는 2차년도에 개발한 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 사용하여 다양한 환경 조건에 따른 공기 중 질병의 확산 및 도로인근의 확산을 예측하고 이를 실제 사례를 바탕으로 공기 중 전파와 질병 확산 양상을 검증하였으며, 그 결과를 3세부과제의 통합 네트워크에 적합한 형식으로 매트릭스를 구축하여 제공하였다. 2세부과제에서는 2차년도에 1세부 및 2세부과제 팀으로 제공한 상세한 역학조사 결과의 보완사항을 제공하고, 주된 확산 요인에 대한 가중치 및 최근 사례를 조사함으로써 HPAI가 우리나라에 발생하고 확산되는 경향에 대한 분석을 실시하였다. 또한 HPAI가 상시 발생하는 인접국에서 유입되는 철새에 의한

영향을 분석하였다. 3세부과제에서는 1,2 세부과제에서 제공받은 다양한 확산에 대한 데이터 및 정보를 바탕으로 2차년도에서 개발한 인접성 Matrix에 적용하여 통합적인 네트워크 모델을 구축하고 2008년도 HPAI의 발생 사례를 바탕으로 하여 검증하였다.

통합네트워크 모델이 구축되고 이를 통한 HPAI의 확산에 관한 결과를 얻은 후 이를 바탕으로 현장 맞춤형 방역대책을 마련하고자 한다. 이를 위하여 본 연구 과제를 진행하면서 분류하였던 다양한 HPAI의 발생 및 확산 요인에 대하여 정리 및 분석하고, 각 요인을 정량적으로 평가할 수 있는지 여부 및 추후 필요한 데이터를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 통하여 기존의 HPAI 발생 시 수행한 방역 대책의 한계점을 분석한 후 동적 HPAI 확산 예측을 통하여 제시되는 허브 농장을 중심으로 추가적인 예방 및 방역 대책을 수립 할 경우 얻을 수 있는 장점을 제시하고, 실제 발생 시 추가적으로 고려하여야 하는 사항에 대한 분석을 수행하였다.



그림 2 통합형 네트워크 모델을 만들기 위한 추진 전략

2 절. 질병 확산에 대한 기후 및 지형적 요인 분석을 위한 공기유동학적 모델 개발

1. 연구 필요성 및 목적

고병원성조류인플루엔자 (HPAI, Highly pathogenic avian influenza)는 국내 제 1 종 법정가축전염병으로 전파 속도가 매우 빠르고 병원성이 다양하며 변이가 빠르기 때문에 높은 폐사율과 산란율 저하로 인하여 막대한 경제적인 피해를 초래한다. 따라서 발생 초기에 적절한 방역 조치를 통한 효과적인 대책 마련이 필요하다. 국내에서는 2000년 이후 총 4차례 HPAI가 발생하였다(표 1). 각 발생 시기마다 방역비, 농가손실 보전비는 물론 직간접적인 관련 업종에 대하여 천문학적인 경제적 손실이 발생한다. HPAI의 초기 발생은 다양한 원인이 추정되고 있으나 가장 유력한 것은 HPAI가 상재하고 있는 인근 국가(몽골, 중국, 동남아 등지)에서 날아오는 철새로부터 발생하거나 또는 HPAI 발생국가를 여행한 농장주 또는 노동자에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다. HPAI는 일반적으로 비말, 공기, 물 등으로 전파될 수 있으며 사람, 관련 차량(농기구 등), 기구, 장비 등에 묻어 전파될 수 있다. 하지만 이러한 발생 및 전파는 요인이 복잡적이고 다양하며 철새, 유통시장, 공기 중 전파 등에 대한 기초자료가 부족할 뿐 아니라 잠복기, 검출의 어려움, 자연 신고 등으로 인하여 동향을 파악하는 것이 매우 어렵다. 또한 현실적으로 HPAI를 예방할 수 있는 백신 개발이 매우 어려울 뿐 아니라 실제 백신을 투여할 경우 국내에 HPAI 바이러스가 상재화될 수도 있어 효과적인 방역대책으로 활용하기가 곤란하다.

표 1 국내 HPAI 발생 현황

발생시기	발생장소	피해규모	경제적 손실
2003.12	충북 음성	392농가, 529만수	방역비 1,126억원
2006.11	전북 익산	460농가, 280만수	방역비 582억원
2008.04	전북 김제	950농가, 846만수	직간접적피해 6,324억원
2010.12	전북 익산 등 6개 시도	287 농가 650만수	-

본 연구에서는 HPAI의 유통단계별 유입 및 전파 확산을 감시하기 위한 네트워크 시스템을 개발함으로써 HPAI의 발생 예방 또는 HPAI가 발생하였을 때 신속한 방역대 설정과 방역조치 및 역학조사 등을 위한 초동 방역대책 수립 시에 중요한 방역의 기초자료를 제시함으로써 HPAI 발생에 따른 피해를 최소화하고자 한다. 이를 위하여 과거 HPAI 발생지역인 전북 김제시를 대상으로 하여 가금 산업의 유통과정과 발생 동향 등에 대한 정밀 역학조사를 통하여 막

대한 기초자료를 마련하고, 기상, 지형, 도로, 주요 축산 시설의 위치 등을 고려한 공기 중 HPAI 바이러스의 전파에 대한 메커니즘 분석 및 유통망, 축산관련 차량(사료, 동물 약품, 출하 차량 등)의 네트워크를 고려하여 HPAI 의 발생 위험도 분석 및 통합적 네트워크를 구축하여 질병 전파를 조기에 차단할 수 있는 대책 마련 및 방역 대책을 마련하고자 한다.

이를 위하여 HPAI 오염원과의 직접적인 접촉자, 축산 관련 차량의 이동, 수의사 등을 포함한 축산관계자의 왕래, 외국인 노동자, 철새의 이동, 인근 야생조수류의 분포 등 다양한 요인들이 고려될 수 있다. 그러나, 지금까지 국내외에서 수행된 많은 연구들에서는 공기로 인한 직접적인 전파의 가능성이 있다는 점은 동의하고 있으나 실제 정량적, 정성적으로 공기 중 확산 메커니즘을 분석한 연구는 매우 드물다. 이는 눈에 보이지 않는 공기 기류를 따라 확산되는 매우 적은양의 바이러스를 현장실험을 통하여 포집할 수 있는 적절한 방법이 부족할 뿐 아니라 공기 중으로 매우 낮은 농도로 희석된 (그러나 충분히 인근으로 질병을 전파시킬 수 있는) 바이러스를 포집하고 분석하는 것이 거의 불가능하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 HPAI 바이러스의 공기 중 확산을 분석 및 예측하기 위하여 최근 유체유동해석에 탁월한 가능성을 제시하고 있는 전산유체역학 시뮬레이션모델을 바탕으로 분석하고자 한다.

일반적으로 국가 단위에 큰 영역에 대한 공기오염물질 확산에 대한 모델링은 가우시안 확산을 기초로 다양한 가우시안 모델을 활용하여 인공위성 영상 분석을 통한 기상 환경을 적용하여 활발하게 연구되어왔다. 이러한 모델은 상대적으로 계산 시간이 짧고 다루기 쉬워 공기 중 확산을 예측하는데 많이 사용되고 있으나, 시도 단위 규모에 대한 모델링을 하기에는 정확도가 부족하다. 또한 대부분 활용되고 있는 모델들이 미국 등 평지를 기반으로 개발된 모델로써 많은 실험을 통하여 평지에 적합하도록 경험적으로 제시되고 있는 인자들을 따르기 때문에 우리나라의 축산 산업과 같이 주로 산지에 집중되어 있는 경우와는 많은 차이가 있다.

따라서, 이와 같은 중소규모의 우리나라 실정에 맞도록 상세한 지형을 고려한 질병의 공기 중 확산 예측 모델을 개발하고 이를 실제로 활용하여 다양한 질병 전파 요인과 함께 질병 확산 예측 네트워크 시스템 개발을 위하여 사용하고자 한다. 이와 같은 전산유체역학 모델은 우리나라와 같이 지형이 복잡하고 기상이 불안정한 경우에도 유동을 효과적으로 분석할 수 있기 때문에 질병의 확산을 효과적으로 분석하는데 적합할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 전산 유체역학 시뮬레이션을 사용하여 바이러스의 공기 중 확산 메커니즘을 분석하고, 이를 통하여 HPAI의 발생 및 확산을 예측함으로써 피해를 최소화 할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

2. 연구사

가. 고병원성 조류 인플루엔자(HPAI)의 공기 중 확산 근거 및 확산 메커니즘 분석

1910년 Charles V. Chapin 이 주장한 호흡기성 질병의 전파는 크게 짧은 거리에서의 비말의 전파와 오염된 표면의 접촉에 의하여 발생한다는 주장은 현재까지도 지배적이다(Weber, 2008 재인용). Wells and Brown, 1936 ; Loosli et al., 1943 ; Shechmeister, 1950; Hood, 1963 ; Harper, 1963 ; Songer, 1967 ; Mitchell et al., 1968 ; Benbough, 1971; Mitchell and Guerin, 1972; Schaffer et al., 1976 ; Knight, 1980; Sattar and Ljaz, 1987 등 많은 연구자들에 의하여 Influenza virus의 공기 중 부유 및 확산에 대한 연구가 오래전부터 수행되어 왔다. 최근에는 일반적으로 Influenza 바이러스의 전파는 Aerosol 에 흡착되어 공기 중으로 확산되는 것이 중요한 요인 중에 하나로 알려져 있다 (Wright and Webster, 2001; Hayden and Palese, 2002; Cox et al., 2003; Treanor, 2005). Influenza virus 의 공기 중 확산은 대기 중 RH, 온도와 밀접한 연관이 있으며, 일반적으로 서늘하고 건조한 환경 조건에서 확산이 잘 일어나는 것으로 알려져 있다(Lowen, 2007).

바이러스에 감염된 동물은 재채기, 기침 등으로 많은 공기오염입자를 배출하며, 배설물에서도 배출될 수 있다. 이들 바이러스는 공기 중으로 생성된 후, 수용 가능한 동물에 이동하여 호흡을 통하여 감염을 시키며, 특히 비말(droplet)의 경우 입자가 작고 가벼워 공기 중에 오래 머물 수 있다. Influenza의 경우 ID₅₀ (the airborne infectious dose)는 약 0.67 TCID₅₀ (Tissue Culture ID₅₀)이며, 1~10 μm 사이의 입자에는 10³~10⁷개 virion 있으므로 하나의 입자로 0.67 TCID₅₀을 충족하므로 공기 중 비말로 인한 전파는 이론적으로 충분히 가능하다(Weber, 2008).

AI에 감염된 조류들은 많은 양의 바이러스를 배설물, 침 또는 코의 분비물을 통하여 배출하며, 오리의 경우 일 년에 약 7.5~10kg의 배설물을 배출하며 감염 3일째인 오리의 경우 2.25~3.75 log ID₅₀ / g of fresh feces 의 바이러스를 배출하는 결과를 보인다(WHO, 2007). AI 바이러스에 오염된 배설물에서 발생하는 미세 입자는 호흡기의 하위 부분까지 직접 침투가 가능한 경우 질병의 발생 및 확산에 중요한 역할을 할 수 있다 (DFG, 2008). 이와 관련하여 Airborne particle은 10 μm 보다 적은 Respirable droplet nuclei (low proximity), Droplet (close contact) coughing, Sneezing contact(settled droplet)로 전파 현상을 분류 할 수 있다 (Weber, 2008).

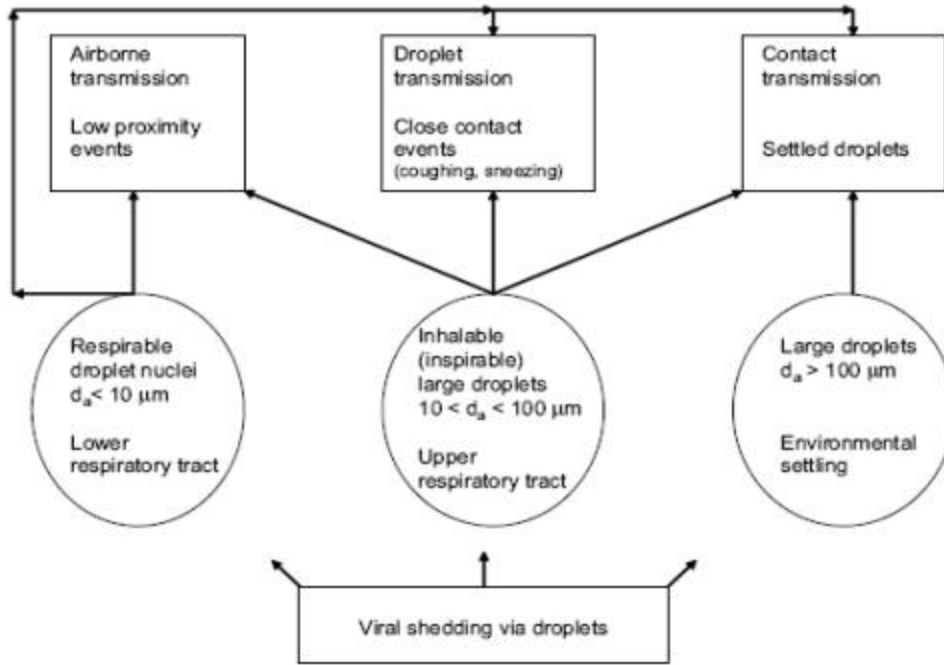


그림. 3 크기에 따른 에어로졸의 분류

나. 바이러스의 확산 분석을 위한 현장실험 사례 분석

Ijaz 등 (1987) 은 공기 전파 바이러스의 생존성을 조사하기 위하여 직접 고안한 실험 장치 내에 바이러스를 순환시킨 후 시간에 따른 포집 결과를 바탕으로 생존율을 결정하였다. Tsukamoto 등 (2007)은 HPAI바이러스가 축사 안에서 닭과 닭 사이에 매우 빠르게 확산하기 때문에 접촉 및 공기 중 H5N1 바이러스의 확산을 격리 공간에서 실험한 바 있다. 실험 결과 감염축이 유입된 초기에는 폐사율이 매우 느리게 증가하나 약 일주일 후부터 급속히 퍼짐을 보였다. 환기 및 시설 구조에 따라서 오염된 비말 등이 발생 및 확산되는 정도가 달라지기 때문에 바이러스의 확산에도 영향을 줌을 보였다. Chen 등 (2009)은 RT-PCR 법을 사용하여 공기 중 AI 바이러스를 정량적으로 측정하고자 하였다. 바이러스는 4도에서 3일 후 약 94%가 보존 되는 것으로 나타났으며, 0.2 μm 구멍 크기의 테플론 필터를 사용하여 20 L/min 으로 4시간 포집 후 하루 안에 냉장고로 보내어 RNA test를 하는 것을 추천하였다. Sedlmaier 등 (2009) 은 AI에 감염된 조류의 배설물 샘플을 수집하여 건조된 배설물에서 발생하는 입자의 농도 분포를 분석한바 있다. 또한 RT-qPCR (Reverse transcription quantitative real-time PCR)을 사용하여 바이러스의 정량적인 농도를 비교하여 4도에서 2일 후 바이러스의 생존율이 약 5% 감소되는 반면, 4일 후에는 82% 가 감소됨을 보였다. 그러나 이와 같은 현장실험은 주로 엄격하게 통제된 상황을 대상으로 한 실험실 규모의 연구 또는 역학조사 결과에 의존된 추정이 주로 이루어졌다. 이는 바이러스를 정량적으로 분석하고 발생 및 확산 메커니즘을 추정하는 것이 현장 실험만으로는 무척 어렵기 때문이다. 특히 실험 시 환경 조건은 예측이 불가능하고 매우 빈번하게 변화하며 변수가 많기 때문에 현장실험에만 의존하기에는 어려움이 많다. 이와 같이 현장

실험은 실제 현장에서의 바이러스의 확산을 연구할 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 현장실험의 한계를 효과적으로 보완하기 위하여 전산유체역학 시뮬레이션을 활용하였다. 전산유체역학은 현장실험에 비하여 시간, 비용, 노동력 면에서 매우 유리하며 다양한 환경조건 및 구조를 연구자가 원하는 대로 조절할 수 있기 때문에 실제 현장에 적용 시 발생할 수 있는 시행착오를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

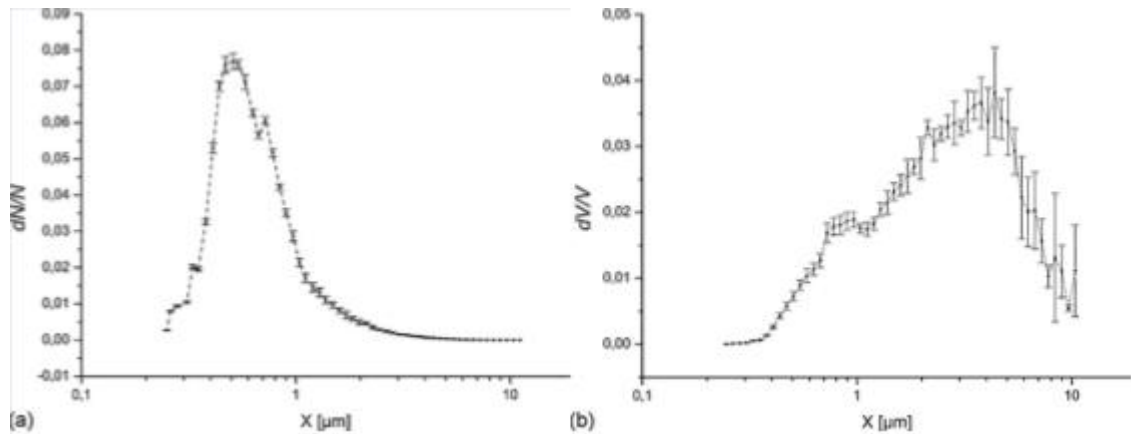


그림 4 AI 바이러스를 포함하는 배출물의 수 분포 및 부피 분포 (Sedlmaier et al., 2009)

다. 공기 오염물질의 물리, 화학적 특성

AI 바이러스의 경우 공기 중에서 약 24~36 시간 생존한다고 알려져 있다 (Mitchell, 1968, 1972). Knight 등 (1973)에 따르면 인간의 경우 재채기 시 2×10^6 개의 입자가 발생하며 그 중 75 %가 $2 \mu\text{m}$ 이하이며, 기침을 할 경우 9×10^5 개의 입자가 발생하며 그 중 약 95 %가 $2 \mu\text{m}$ 이하임을 보였다. 또한 인간의 경우 $6 \mu\text{m}$ 이상의 입자는 코에 걸리고 $2 \mu\text{m}$ 이하만이 기관지를 통과할 수 있다. 따라서 바이러스에 오염된 에어로졸은 큰 입자가 작은 입자보다 덜 위험하다. RH는 droplet 크기 및 에어로졸의 입자의 구조적 형태에 중요한 역할을 한다 (Verreault et al., 2008).

Influenza 바이러스는 공기 중에서 수 시간동안 살아남을 수 있으며, 연구에 따라, 80% RH에서 1시간, 20% RH에서 24시간이 maximum survival times로 나타난바 있다 (Weber 2008). 바이러스가 안정적인 환경은 약염기성 pH (7.4-8.2), 낮은 온도 (<17), 신선한 다소 소금기 있는 상태 (0-20,000 ppm) 이다. 또한 가장 짧은 시간 수명은 약산성 (pH <6.6), 따뜻한 온도 (>32), 높은 염도 ($>25,000$ ppm)에서 나타난 바 있다 (Brown, 2009). Seedorf et al. (1998)은 유럽의 주요 국가들에서 축사의 환기량을 이산화탄소 균형 모델을 사용하여 분석한 결과 500 kg liveweight를 기준으로 계사에서는 동절기 $451 \text{ m}^3/\text{h}$, 하절기에는 $965 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 평균 환기량을 나타내었다. Aland and Madec (2009)은 계사에서 발생하는 공기오염물질은 주로 사료, 깔짚, 배설물, 새의 피부나 깃털에서 발생하며 이를 줄이기 위한 방안으로 바닥 깔개의 재료, 온

습도 조절, 환기, 위생학, 사료 조절 등을 제시한 바 있다. 12만두 규모의 육계사에서 현장실험을 통하여 Sudeutschland(2000)은 TSP 1.3 kg/h (PM_{2.5} 10%, PM₁₀ 60%), 4만두 산란계사의 경우 TSP 0.5 kg/h (PM_{2.5} 3%, PM₁₀ 33%)가 발생하는 것으로 추정하였다.

축사에서 발생하는 입자의 밀도는 사용하는 사료의 종류, 가금류의 주령, 환기 구조, 배설물의 처리 방법, 바닥의 처리 방법 등 많은 요인에 의존되고 있기 때문에 일반화하기가 무척 어렵다. CIGR (1994) standard에 따르면, 축사에서 발생하는 입자의 밀도는 약 1000 kg/m³ 으로 가정할 수 있으며, 이 중 호흡이 가능한 입자 중 0.1 ~ 5 μm 크기의 입자가 약 60 %, 5~10 μm 크기의 입자가 약 40 % 정도를 차지하는 것으로 알려져 있다. 축사 내부에 환기 등에 의한 공기 흐름이 전혀 없는 경우에도, 동물의 체열로 인하여 발생하는 공기의 흐름이 최소 0.05 m/s 로 알려져 있다. 이 흐름은 표 2에서와 같이 20 μm 크기의 입자가 가지는 침강 속도보다 훨씬 크기 때문에 작은 입자들은 주로 공기 기류의 영향을 지배적으로 받으며 이동하는 것으로 판단할 수 있으며, 특히 1 μm 이하의 입자의 경우 전적으로 공기에 의하여 이동되는 것으로 가정할 수 있다.

Takai 등 (1998)은 유럽에서 축산산업이 활발한 주요 4개국에 대한 현장실험을 통하여 다양한 축산관련 농장에서 발생하는 분진의 농도를 측정 한 바 있다. 그 결과 계사에서는 평균적으로 흡입 가능한 먼지(inhalable dust)가 약 60 mg/m³, 폐포로 유입되는 호흡 가능한 먼지(respirable dust)가 약 45 mg/m³ 의 농도를 보였다. 이는 환산하면 각각 3165, 504 mg/h (500kg)로 나타낼 수 있다.

표 2 농장에서 배출되는 에어로졸의 Settling velocity

Diameter(μm)	1	2	3	4	5	10	20
Settling velocity (mm/s)	0.03	0.12	0.26	0.47	0.8	3.3	12

표 3 유럽 4개국의 양계장에서 측정된 먼지 농도분포 (Takai et al., 1998)

	Inhalable dust		Respirable dust	
	No. of field measurements	Mean concentraion (mg/m ³)	No. of field measurements	Mean concentraion (mg/m ³)
England	48	3.31	43	0.51
Netherlands	50	4.58	49	0.58
Denmark	32	4.52	32	0.64
Germany	32	2.22	32	0.19
Overall mean	162	3.60	156	0.45

라. 질병 확산 모델 관련 연구

질병의 확산을 예측 및 분석하기 위한 모델은 크게 통계적 모델과 수치 모델로 나눌 수 있다. 통계적 모델의 경우 바이러스의 특성을 직접적으로 고려하여 확산 정도를 예측하는 모델로써, Germann et al., (2006)은 R_0 (Basic reproductive number)라는 개념을 사용하여 전형적으로 감염되는 단일 개체에 의한 이차 감염의 평균수를 통계학적으로 분석하여 질병의 확산을 예측하고자 하였다. 이를 위하여 인구의 이동성, 개인의 바이러스 감염성에 따라 인플루엔자의 확산이 민감함을 가정하여 수용성 (Susceptible), 감염성 (Infectious), 회복률 (Recovered)을 포함하는 SIR 식을 사용하여 추계학적 병원균 중심의 이산화 된 시뮬레이션 모델 (Stochastic agent-based discrete-time simulation model)을 개발하였다. Kim et al. (2008)은 국내의 AI확산 예측을 위하여 Multi agent model을 사용하여 이들의 상호관계를 평가함으로써 방역대 (Quarantine range), 잠복기 (Incubation period), 감염률 (Infection probability)등을 고려하여 확산 경향을 분석하고자 하였다 (그림 5). 이를 통하여 살처분하는 가축의 수를 최소화 하여 경제적 손실을 최소화 하고자 하였다. 그러나 이와 같은 통계 모델에는 확산율이나 접촉율과 같은 결과에 중요한 변수를 임의의 상수로 가정하여 확산 정도를 예측하였다. 또한 다양한 요인의 전파 가능성이 아닌 주관적인 요인에 대한 조합으로써 문제를 접근하고자 하였다.

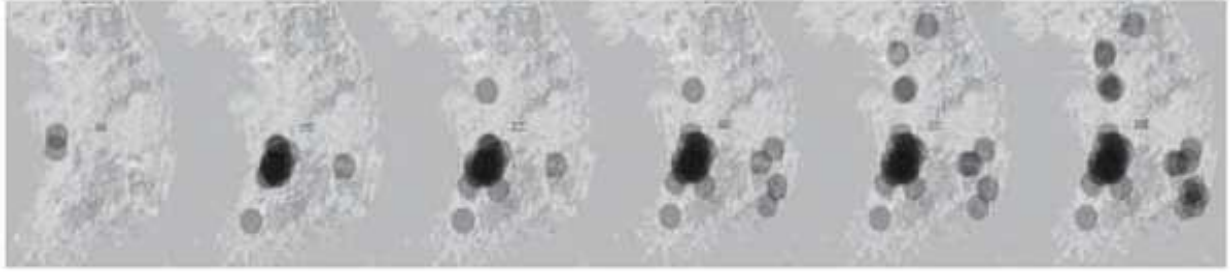


그림 5 Estimation of AI outbreak by simulation model in 2008; 4, 12, 20, 28, 36, 44 day later from the beginning of AI (Kim et al., 2008)

이에 최근에는 다양한 확산 모델을 사용하여 질병의 확산을 모델링 하고자 하는 많은 연구가 진행되고 있다 (Sørensen et al., 2001; Mikkelsen et al., 2003; Mayer et al., 2008; Krumkamp et al., 2008). 그 결과 지형 및 기후 데이터가 확산 패턴에 가장 큰 영향을 주는 요인임을 보였으며, 특히 국내는 산지, 구릉이 많은 복잡한 지형 형태를 가지고 있기 때문에 이와 같은 영향이 더 클 것으로 판단된다. HPAI에 비하여 구제역 바이러스의 경우 더 많은 연구진에 의하여 확산을 예측하기 위한 모델 개발이 연구되어 왔으며, Mayer (2008)는 복잡한 지형에서 구제역 바이러스의 공기 중 확산을 라그랑지안 입자 확산 모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하여 수 천 개 입자의 궤적을 추적하여 바닥에서의 농도 분포를 계산하였으며 해상도 2.8km의 기상 데이터 해상도를 보간하여 400m 정확도로 향상시키고자 함. 연구 결과 바이러스 확산에 지역적 바람장의 영향이 지배적임을 보였다. Gloster et al. (2009)에 의하면 구제역바이러스는 동물 간 직접 접촉, 축산물, 공기 전염, 사람과 매개물을 통한 기계적 전파로 확산되며, 공기 중 확산을 평가하기 위한 대기 확산 모델을 개발하고 있다 (그림 6).

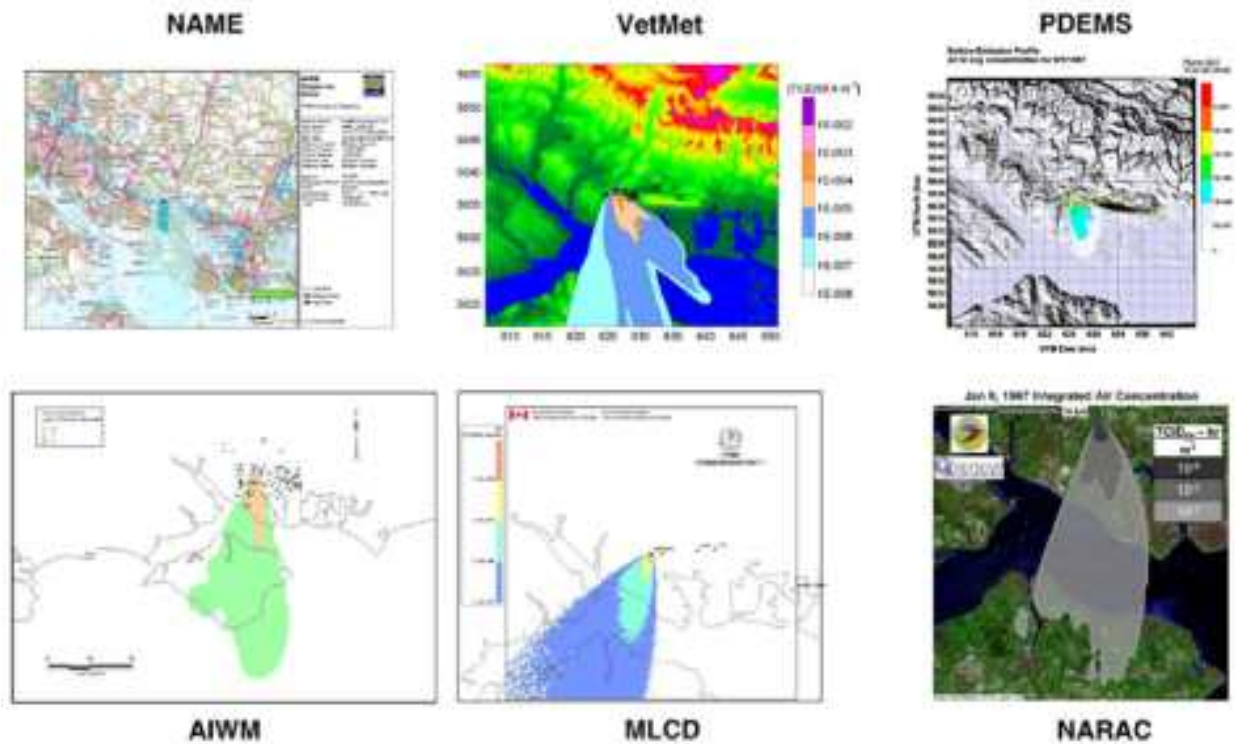


그림 6 Simulated results of foot-and-mouth disease spread (Gloster et al., 2009)

이와 같이 황사, 오염물질의 확산 모델로 인공위성 및 중간 기상장을 활용한 MM5 와 같은 중규모 기상모델이 많이 사용되고 있으나, 데이터의 해상도가 약 30 km 이상으로 국가 단위와 같은 큰 연구 대상에 적합하나, 본 연구 대상지역과 같이 소규모 확산 모델에서는 활용하기 어렵다. 가우시안 모델의 경우 주로 산업적 오염물질 규제를 위하여 개발되어 다량, 고농도의 오염물질의 국가 단위의 광범위한 확산 모의에 적합하나, 가우시안 모델은 기본적으로 정상상태의 확산 분포 상태에서부터 유도된 모델로써 지형 및 유동장이 복잡한 경우에 적용하는데 한계가 있다. 또한 가우시안 모델의 정확도는 플룸의 확산 폭에 크게 의존하여 복잡한 지형에서의 오차가 크며, 수평적으로 균일한 농도 분포를 가정하므로 기상의 지역적 및 시간적 변화를 적용하기가 어려움. 또한, 인공위성 데이터를 통한 기상장의 재현에는 해상도의 한계가 있으며, 지형의 유동을 정확하게 묘사하기가 어렵다. 반면 전산유체역학 시뮬레이션 확산 모델은 연구 수준이 아직 초기 단계이나 국소 지역 및 대규모 지역에 걸쳐 정확도 및 활용성이 우수할 것으로 보인다(표4).

표 4 Comparisons between Gaussian-based model and computational fluid dynamics model

	Gaussian-based models (CALPUFF, INPUFF-2, ADMS etc.)	CFD models
Model	Gaussian Dispersion model	Aerosol movement following air flow patterns
Time interval	hourly, daily, monthly, yearly	Several seconds ~ hours (freely changeable)
Geometry	Limited geometry	Unlimited geometry
Computation time	Short, easy to design	Long according to the model accuracy, difficult to design

이에 Memarzadeh and Jiang (2000)은 공기 중 질병 전파 예방을 위해서는 충분한 환기 시스템의 확보 및 운영을 통하여 내부의 공기 중 부유 박테리아의 제거가 필요하며, 예기치 못하게 공기가 정체되는 구간이나, 충분치 못한 혼합 등은 환기가 제 효과를 내지 못하여 공기 중 전염 확산 조절이 되지 못하게 하므로 CFD를 사용하여 환기량, 온도, 배기구, 히팅 등에 따른 공기 중 에어로졸을 최소화 하고자 하였다. 이를 위하여 환기 시스템, 벽에 입자의 부착, 환기를 통한 박테리아의 제거 및 UV에 의한 사멸을 평가를 위하여 박테리아 군집을 0.1 ~ 1mm diameter 의 입자로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 20개의 입자를 추적하였으며, 각 입자는 직경 1 mm, 1000 kg/m³ 밀도를 사용하였다. Mazumdar et al., (2009)는 비행기 내부에서의 바이러스의 확산을 예측하기 위하여 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 사용한 바 있다. 본 연구에서는 infectious disease virus 를 가스로 된 오염물질로 가정하여 RNG (Re-normalization group) k-ε 난류 모델을 사용하여 확산 경향을 모의한 바 있다.

Fiegel et al. (2006)은 공기 중 호흡기성 질병의 확산은 주된 공공의 위협임에도 불구하고 매우 조금만이 알려져 있으며, 인플루엔자는 직접 접촉으로 매우 효과적으로 확산이 되나 접촉이 제한된 곳에서의 실내 확산 등과 같은 명백한 공기 중 확산의 증거가 있다고 제시하였다 (Klontz et al., 1989). 질병을 포함하는 바이오 에어로졸은 감염된 개인의 폐 깊숙이 들어간 후 감염 가능한 바이러스를 싣고 폐에서 나와 외부 환경으로 이동하며, 이 중 일부는 매우 빠르게 외부 표면에 퇴적되어 직접적 접촉에 의한 확산을 유발한다. 배출된 바이오 에어로졸 중 확산 되어 퇴적되기에는 큰 200 nm 이상, 중력에 의한 퇴적이 되기에는 작은 2 μm 이하인 경우 매우 먼 거리를 이동하고 공기 중에 머무를 수 있다. Harper (1961)은 공기 중 바이러스 질병의 확산을 연구하기 위하여 공기 중에서 바이러스의 생존 시간 및 환경의 영향을 고려하여 분무기로 바이러스를 분사한 직후 인플루엔자의 생존율을 분석하여 표 5와 같은 결과를 제시하였다. 또한 50 % 이상의 상대 습도에서는 4시간 후 6 % 이하의 생존율을 보여 낮은 상대 습도에서 더

오래 공기 중에 활성화되는 결과를 보였다.

표 5 Initial viability of influenza viruses (Harper, 1961)

RH (%)	20	35	50	65	80
Initial viability (%)	75	86	84	77	67

Sedlmaier et al. (2009)는 바이러스가 직접 호흡기로 흡입이 가능할 때 공기 중 감염은 매우 중요한 요인으로써 고려되어야 하며, 계사에서 발생하는 먼지는 주로 배설물, 깔짚 등으로 구성되어 있으며, 12 만두 규모 육계사의 경우 TSP 1.3 kg/h, 4 만두 규모 산란계사의 경우 TSP 0.5 kg/h 가 발생되며, 육계의 경우 PM_{2.5} 는 10%, PM₁₀은 60%가 포함되며, 산란계사의 경우 PM_{2.5}는 3 %, PM₁₀은 33%가 포함된 것으로 계산된바 있다 (TUV Sueddeutschland, 2000). 초기 감염 바이러스 입자는 일반적인 대기환경에서 -70도에서 3950 viable AIV/mg PM_{2.5} 였으며, 4도에서 2일간 보존한 결과 3750, 4일 후 710 viable AIV/mg PM_{2.5} 로 계산되었다. 일반적인 대기 환경에서는 건조한 공기에서 바이러스의 생존율이 높게 나타났으며, 4도 이하에서는 바이러스의 감염률이 4일간 떨어지지 않는 결과를 나타내었다. AI 바이러스에 오염된 배설물에서 발생하는 2.5 μm 이하의 미세 입자는 호흡기의 하위 부분까지 직접 침투가 가능하여 질병의 발생 및 확산에 중요한 역할을 할 수 있다 (DFG, 2008). 최근 실제 상황에서 뉴캐슬 질병 바이러스의 공기 중 확산 및 안정성에 대한 실험이 수행된 바 있으며, 감염된 동물에서 발생하는 바이러스는 즉시 에어로졸 화되고, 공기 중 확산은 매우 효과적이 된다 (Li et al., 2009).

바이러스성 에어로졸을 포집하는 방법은 liquid impactors, solid impactors 페트리디쉬, 셀룰로우스, 폴리카보네이트, 젤라틴, PTFE필터 등이 있으며, 바이오 에어로졸에 있는 인플루엔자 바이러스를 liquid impactor로 포집하거나 (Pyankov et al., 2007), 인간의 influenza 바이러스를 날숨에서 테플론 필터로 포집하여 real-time PCR을 사용한 결과 1 um 이하의 입자가 87%의 결과를 보인바 있다 (Fabian et al., 2008). 바이러스에 오염된 에어로졸은 작은 입자가 큰 입자보다 더 위험한 것으로 알려져 있으며, (Verreault et al., 2008) 상대습도는 droplet 크기 및 에어로졸의 입자의 구조적 형태에 중요한 역할을 한다 (Lowen et al., 2007, Verreault et al., 2008). 따라서 동물에서 발생하는 바이러스 또는 건조된 동물 배설물에서 발생하는 aerosol의 직접적 접촉에서 RH가 낮을 수록 바이러스 전파에 효과적이다 (Brankston et al., 2007, Lowen et al., 2007).

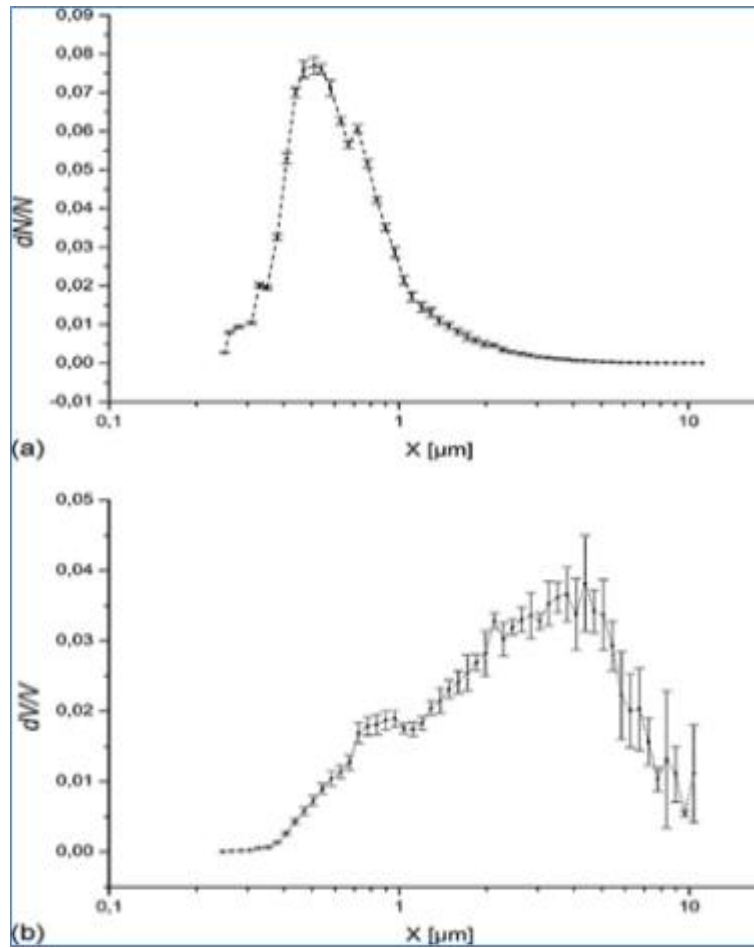


그림 7 Number distribution (up) and volume concentration (down) generated from the excretion including AI viruses (Sedlmaier et al., 2009)

3. 재료 및 방법

가. 연구 대상 지역

HPAI의 전파 확산 경로와 관련된 기후 및 지형적 요인을 분석하기 위하여 연구 대상지역을 선정하였다. 2006~2007년도 HPAI 발생지인 전북 익산 및 2008년도 발생지인 전북 김제 지역의 경우 육계, 산란계, 토종닭, 종계, 오리 등의 농장이 매우 밀집되어 있으며, 다수의 사료 공장 및 도축 시설이 모여 있다. 따라서 많은 차량의 물자, 사람, 가금류의 이동이 발생하고 있으며, 동시에 인근의 농장으로의 공기 중 확산이 빠르게 일어날 위험이 높다. 특히 도축장으로 들어가는 도로를 통과하는 축산관련차량이 통행이 빈번하며 동시에 도로 인근에 위치한 농장들의 수가 많기 때문에 도로 인근으로의 공기 중 에어로졸의 확산에 의한 감염 위험이 있다. 또한 인근에 큰 철새 도래지가 있어 철새에 의한 직접적인 바이러스 감염 및 확산 가능성을 배제할 수 없다.

본 연구에서는 과거 2008년도 HPAI 가 크게 발생한 바 있는 전라북도 김제시 용지면을 연구 대상 지역으로 선정하였다. HPAI 가 발생한 당시 국립수의과학검역원에서 수행한 역학조사 보고서를 바탕으로 하여 인근 지역에 밀집되어 있는 총 39개 농장을 연구 대상 농장으로 지정하였다 (구, 국립수의과학검역원, 2008). 표 6은 연구 대상 농장의 HPAI 발생정도에 따라 분류한 것이다. 역학조사 결과 총 8개의 농장에서 HPAI 가 확정적으로 발생하였으며, 5개의 농장에서 양성 판정을 받았으며, 나머지 26개 농장에서 증상이 의심되었다. 해당하는 농장의 주소를 바탕으로 다음에서 제공하는 지도를 바탕으로 하여 농장의 정확한 위치를 인공위성 사진을 통하여 찾은 후 이를 구글 어스에 저장하였다 (그림 8). 이는 전산유체역학 모델의 연구 대상 영역을 선정하는데 활용되었다.

표 6 Farm list in 2008 HPAI outbreak

기호	접수일자	시도	시군구	읍면	동리	품종	비고
O-1	08/4/1	전북	김제시	용지면	용암리27-4	산란	발생
O-2	08/4/9	전북	김제시	용지면	신정리 200-36	산란	발생
O-3	08/4/9	전북	김제시	용지면	용수리 668-14	산란	발생
O-4	08/4/9	전북	김제시	용지면	용수리 546	산란	발생
O-5	08/4/9	전북	김제시	용지면	용수리 283	산란	발생
O-6	08/4/9	전북	김제시	용지면	신정리 1-179	산란	발생
O-7	08/4/16	전북	김제시	용지면	봉의리 산40-4	산란	발생

O-8	08/4/16	전북	김제시	백구면	영상리 487	종계	발생
P-1	08/4/9	전북	김제시	용지면	용수리 563-13	산란	양성
P-2	08/4/9	전북	김제시	용지면	장신리 346-78	산란	양성
P-3	08/4/9	전북	김제시	용지면	신정리 52-9	산란	양성
P-4	08/4/9	전북	김제시	용지면	신정리 140-51	산란	양성
P-5	08/4/5	전북	김제시	용지면	신정리 492	육용	양성
E-1	08/4/10	전북	김제시	용지면	용수리 668-5	산란	예방적
E-2	08/4/10	전북	김제시	용지면	용수리 283-2	산란	예방적
E-3	08/4/11	전북	김제시	용지면	신정리 200-37	산란	예방적
E-4	08/4/12	전북	김제시	용지면	용수리 563-91	산란	예방적
E-5	08/4/12	전북	김제시	용지면	용수리 668-139	산란	예방적
E-6	08/4/16	전북	김제시	용지면	용수리 668-106	산란	예방적
E-7	08/4/16	전북	김제시	용지면	용수리 564	산란	예방적
E-8	08/4/16	전북	김제시	용지면	신정리 1-169	산란	예방적
E-9	08/4/16	전북	김제시	용지면	용수리 563-141	산란	예방적
E-10	08/4/16	전북	김제시	용지면	신정리 52-15	산란	예방적
E-11	08/4/16	전북	김제시	용지면	신정리 147-4	산란	예방적
E-12	08/4/19	전북	김제시	용지면	장신리 350-95	산란	예방적
E-13	08/4/19	전북	김제시	용지면	장신리 666-14	산란	예방적
E-14	08/4/19	전북	김제시	용지면	송산리 312	산란	예방적
E-15	08/4/19	전북	김제시	용지면	신정리 370-36	산란	예방적
E-16	08/4/19	전북	김제시	용지면	장신리 346-53	산란	예방적
E-17	08/4/19	전북	김제시	용지면	신정리 128-6	산란	예방적
E-18	08/4/19	전북	김제시	용지면	신정리 1-105	산란	예방적
E-19	08/4/19	전북	김제시	용지면	용수리 666-11	산란	예방적
E-20	08/4/19	전북	김제시	용지면	신정리 84	산란	예방적

E-21	08/4/19	전북	김제시	용지면	용수리 668-156	산란	예방적
E-22	08/4/20	전북	김제시	용지면	신정리 1-135	산란	예방적
E-23	08/4/20	전북	김제시	용지면	장신리 350-44	산란	예방적
E-24	08/4/20	전북	김제시	용지면	신정리 1-173	산란	예방적
E-25	08/4/20	전북	김제시	용지면	장신리 42	산란	예방적
E-26	08/4/20	전북	김제시	용지면	장신리 504-20	산란	예방적



그림 8 Locations of experimental farms in Kimje

그림 9는 고병원성 조류인플루엔자의 발생 및 신고 시기에 따라 발생 농장의 위치를 분류한 것이다. 최초 발생 시기인 4월 1일 및 5일에 발생한 농장은 연구 대상지역의 남동쪽에 위치해 있다. 2차 확산 시기로 가정한 4월 9일~12일 사이에 신고가 이루어진 농장은 1차 발생 농장의 북동쪽에 대체로 위치해 있는 것을 알 수 있었다. 또한 3차 확산 시기로 가정한 4월 16일부터 20일까지의 농장은 2차 확산 시기와 다소 중첩되나 대체로 북동쪽으로 치우쳐 있었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 HPAI의 발생 및 확산 경향이 대략적으로 남서쪽에서 북동쪽 방향으로 이루어 졌다는 사실을 알 수 있다. 이는 해당지역의 주풍 방향인 서풍계열의 진행방향과 대체적으로 일치하고 있기 때문에 기상 분석을 통한 바람에 의한 확산 가능성에 대한 고찰이 필요하며, 추가적으로 시뮬레이션을 통한 상세한 기류 분석을 바탕으로 한 공기 중 확산을 예측할 필요성이 있다고 판단된다. 바이러스를 포함하는 에어로졸의 확산은 질병 확산의 한 가지 요인으

로써 추가적으로 사료회사 관련 차량, 또는 어리장 차량 등이 남쪽에서 북쪽으로 이동하는 과정에서 확산이 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 그 중에서 차량이나 사람의 이동 등과 같은 요인들은 대체로 차량을 이용하는 이동이므로 거리상의 제약이 매우 적기 때문에 이는 점과 선으로 연결된 네트워크모델을 사용한 연구가 필요하다. 반면에 공기 중 확산은 거리에 따라서 농도가 달라지기 때문에 해당 지역의 상세한 지형에 의하여 형성되는 유동장과 이로 인한 에어로졸의 확산을 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 확산 요인 중 질병에 감염된 농장에서 발생하는 에어로졸의 확산과 도로를 통과하는 축산관련차량에 의한 확산에 대한 연구를 수행하였다.

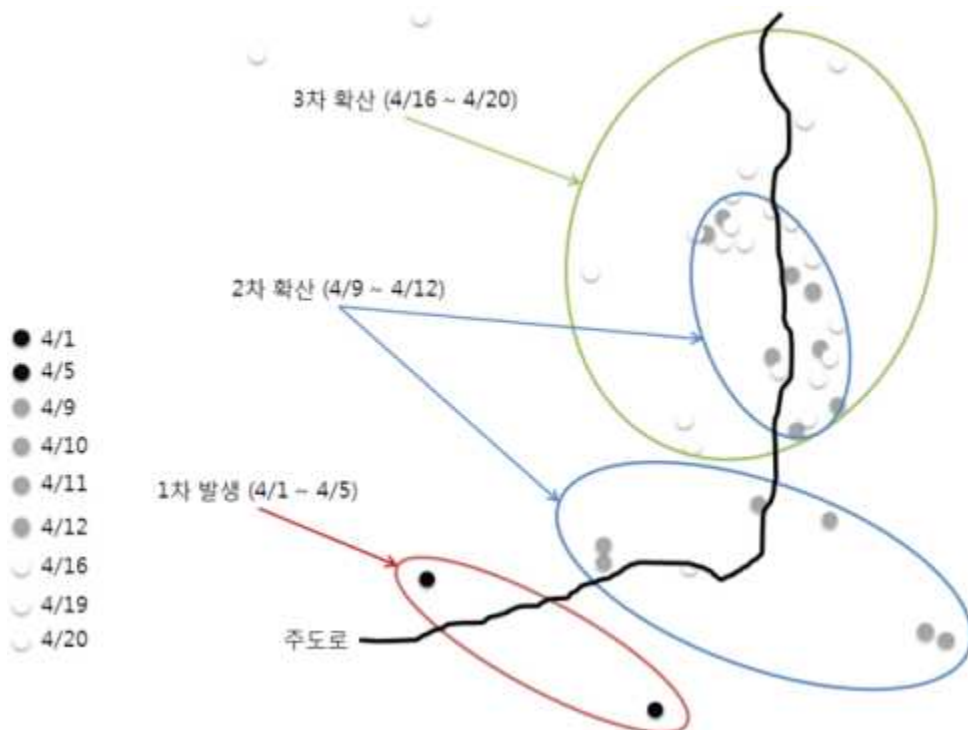


그림 9 A tendency of farm-to-farm spread of HPAI outbreak in 2008

나. 현장실험 장비

연구 대상 지역 내에는 다수의 농장이 소재하고 있어 다수의 축산관련차량이 왕래하고 있다. 특히 어리장 차량이나 사료 차량 등은 다수의 농장을 빈번히 드나들 뿐 아니라 질병에 오염된 농장을 방문한 후 또는 질병에 감염된 닭을 출하 하면서 사료 입자나 깃털, 분변과 같은 에어로졸을 대기 중으로 확산 시킬 위험이 있다. 따라서 이들 차량이 이동시 도로 인근에 미치는 영향을 보기 위한 현장 실험을 수행하였다. 현장 실험 시 휴대용 자동관측 기상대를 설치하여 세부지역 내의 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량과 같은 기상 환경을 실시간으로 측정하였다. 측정된 데이터는 1분 간격으로 저장하였다.

비산 및 부유 먼지 샘플러(Universal Sample Pump)는 대기 중에 부유하고 있는 입자상 물

질을 샘플링 펌프를 이용하여 여과지 상에 포집하는 장치이다. 입자상 물질 전체 농도를 측정하는 것이 가능하며, 5~5,000 ml/min의 다양한 유량 적용이 가능하다. 이 장비를 사용하여 대기 중의 부유 분진을 Teflon 필터를 사용하여 포집한 후 무게칭량을 통하여 분진의 농도를 측정하였다. 또한 동시에 Dust Spectrometer (Grimm 1.108)를 사용하여 실시간으로 입경별 입자 수 측정을 수행하였다. 이 장비는 광 산란 방식 및 중량 측정법으로 동시 측정이 가능하며 측정 감도는 0.001 mg으로 0.001~100mg/m³의 범위에서 측정이 가능하다.

전산유체역학 시뮬레이션 모델을 설계 시, 농장에서 발생하는 분진의 특성을 분석하기 위하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope, JSM 5410LV, JEOL, Japan)를 사용하여 분진의 입경 형상을 분석하고자 하였다. 본 장비는 금막 코팅된 시료 표면에 고전압의 전자빔을 쏘아 방출되는 2차전자의 양상을 3차원 이미지화함으로써 초미세표면구조를 관찰할 수 있는 장비이다. 이를 통하여 농장에서 채취한 바닥 완겨 샘플 및 사료 샘플의 정밀한 이미지와 각 환기구에서 채취한 공기 중 에어로졸의 이미지를 분석함으로써 감염된 농장에서 발생하는 에어로졸의 물리적인 발생 메커니즘을 추적하는데 활용하고자 하였다.

농장에서 채취한 사료 및 바닥 완겨 샘플에 대한 밀도 측정을 위하여 Gas Pycnometer (IQ1, InstruQuest Inc.)를 사용하였다. 본 장비는 일정부피에 고체 시료를 넣기 전/후의 부피를 측정이 가능하며, 부피와 질량을 통하여 Absolute Density 측정한다. 부피 측정에 있어서 헬륨 등의 비활성 기체를 이용해서 그 압력을 측정함으로써 용기 안 시료의 부피 측정이 가능하게 된다. 이 실험에 관련하여 질량은 저울로 측정하여 밀도의 환산이 가능하다. 정밀도는 오차범위 ± 0.01 %을 나타낸다. 또한 샘플들의 성분 분석을 위하여 WD-XRF (Rigaku, ZSX 100 E, Japan)을 사용하였다. 본 장비는 원소 정량 정성 분석을 위한 장비이다. X-선을 시료 표면에 조사하여 시료로부터 발생하는 형광 X-선의 파장을 분리하여 시료 내에 존재하는 원소들을 정성, 정량 분석하는 장치로 동시 분석형은 측정하는 원소를 동시에 분석한다. 이를 바탕으로 농장에서 발생하는 에어로졸의 물리, 화학적인 특성을 분석할 수 있었으며 이를 활용하여 전산 유체역학 시뮬레이션 모델에서 연산하는 공기 유동장을 따라 확산되는 에어로졸의 입력 특성으로 활용하고자 하였다.



그림 10 Instruments for field experiments

다. 전산유체역학 시뮬레이션 툴

전산유체역학 (Computational fluid dynamics, CFD) 시뮬레이션은 크게 모델을 만들고 격자를 설계하는 전처리 (Pre-processing) 과정과 계산 영역 (Computational domain)을 바탕으로 공기 유동학적 계산을 수행하는 계산 (Main-processing) 과정 및 결과를 분석하는 후처리 (Post processing) 과정으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 3차원으로 형성되어 있는 복잡한 지형에서 형성되는 유동장을 효과적으로 구현하기 위하여 CFD 시뮬레이션 모델에 GIS (Geographic information system) 수치 지형 정보를 사용하였다. 정밀한 수치 지도를 바탕으로 대상 지역의 지형 정보뿐만 아니라 산, 농경지, 도시 등과 같은 토지이용상태 등의 특성을 파악할 수 있으므로, 이는 시뮬레이션 확산 모델링의 결과에 중요한 영향을 미치는 공기 유동 특성을 지역에 따라 결정하는데 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서는 ArcGIS (version 8.3, ESRI, USA) 상용 프로그램을 사용하였다. 수치 지형도를 바탕으로 CFD 시뮬레이션을 위한 계산 영역을 효과적으로 생성하기 위하여 Autocad (version 2006, autodesk, USA)와 Rhinoceros (version 3.0, McNeel, USA)등의 다양한 프로그램을 사용하였다.

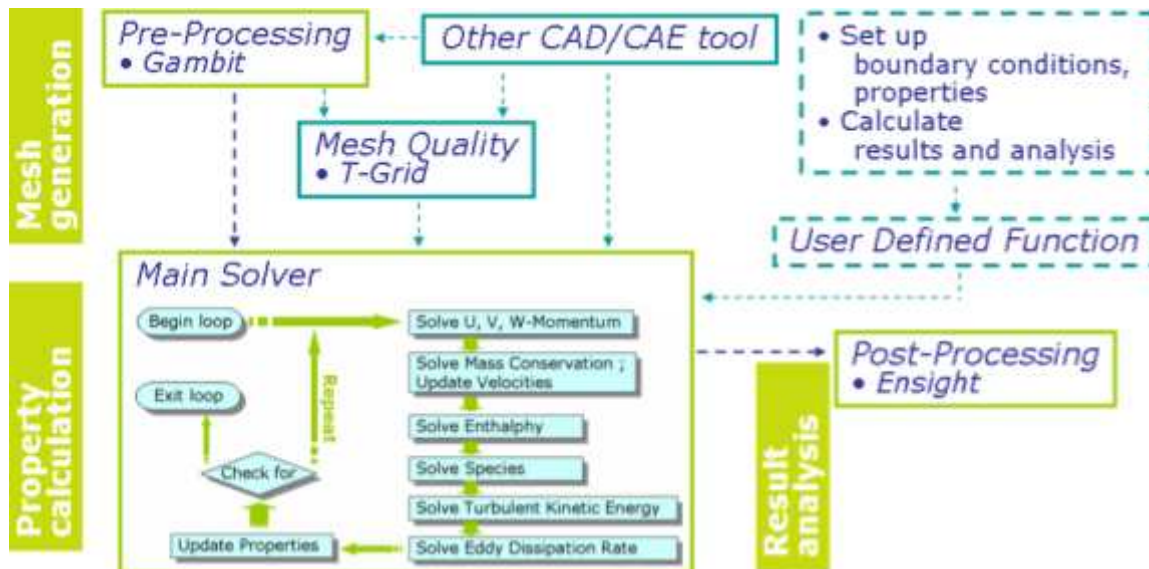


그림 11 Flow chart for the progress of computational fluid dynamics modelling

(1) 격자 설계

본 연구에서는 전산유체역학의 전처리 프로그램인 GAMBIT (ver. 2.3, Fluent Inc., N.H., USA)을 사용하여 격자망 모델을 설계하였다. 이 프로그램은 GUI (Graphical user interface)를 기반으로 하여 기본적인 외형과 격자망을 형성하고 경계 조건의 지정 등에 사용된다. 특히 격자망의 밀도 및 안정도는 전산유체역학 시뮬레이션 결과에 민감한 영향을 주기 때문에 연구자의 경험, 기술, 노하우 등이 중요하다. 관심 영역을 상세한 지형 렌더링 결과를 바탕으로 3차원의 부피를 가지는 영역으로 설계한 후 도로, 농장, 산지 등과 같은 세부적인 영역을 나눈 후 이를 시뮬레이션을 위한 유한개의 3차원 격자망을 구성하였다. GAMBIT의 장점은 육면체 또는 사면체의 격자를 형성할 때, 복잡한 지형에서 격자 크기와 모양 등이 부드럽게 이어지도록 적절한 수준의 격자 크기 비율을 조절하는데 있다. 또한 유체의 유동문제 해결능력의 향상을 위하여 2차원의 평면, 선 대칭형, 회전 대칭 모델과 3차원의 모델 등에 대하여 6면체, 4면체, 프리즘형, 피라미드형, 혼합형 등의 다양한 격자 설계 방법을 제공하여 격자를 유연하게 설계하도록 도와준다. 격자는 시뮬레이션의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이므로 설계 시 그 형태가 안정적이어야 한다. 이를 판단하기 위하여 각 격자들의 뒤틀린 정도를 식 (1)과 같이 Equiangle skew 공식을 통하여 살펴봄으로써 격자 설계의 완성도를 판단할 수 있다. 본 연구에서는 6면체와 4면체를 혼합한 격자망을 사용하였다. Equiangle skew 공식에 의한 뒤틀림 정도 (Q_{EAS})의 기준은 6면체의 경우 0.85를 넘지 않아야 하며, 4면체의 경우 0.9를 넘지 않아야 한다. 이 경우 결과의 데이터를 믿을 만한 것으로 판단한다 (Fluent user's guide, 2008). 또한 효율적인 격자망 형성을 위하여 T-GRID (Version 4.0, Fluent Inc. USA) 소프트웨어 역시 사용되었다.

$$Q_{EAS} = \max \left[\frac{\theta_{\max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{\min}}{\theta_e} \right] \quad (1)$$

여기서, θ_{\max} 는 면이나 격자의 가장 큰 각을, θ_{\min} 은 면이나 격자의 가장 작은 각을, θ_e 는 해당 정다각형의 등각 (삼각형 격자의 경우 60도, 사각형 격자의 경우 90도)을 나타낸다.

(2) 난류 모델

바이러스를 포함하는 공기 중 에어로졸의 확산을 모의하기 위하여 가장 중요한 요인은 바람의 세기 및 난류의 강도와 같은 풍환경이다. 현재까지 다양한 목적의 유동 해석에 포괄적으로 사용할 수 있는 단일한 난류 모델은 존재하지 않는다. 따라서 연구 대상에 대한 물리적인 특성과 요구되는 정확도, 시뮬레이션에 소요되는 시간 등을 고려하여 난류 모델을 결정해야하며, 일반적으로 Standard $k-\varepsilon$ 모델, RNG 모델, Realizable $k-\varepsilon$ 모델, LES(large eddy simulation) 모델 등이 사용되고 있다. 각 모델은 부력에 의한 난류의 생성과 산출, 압축성에 의한 효과와 열, 질량 전달 등을 공통적으로 해석하며, 난류 점성의 계산 방법, k 와 ε 의 난류 확산을 지배하는 난류 Prandtl 수, ε 공식에서의 생성과 소멸에 관계된 항에서 차이가 있다.

이 같은 난류 모델 중에서 이번 시뮬레이션에 사용된 모델은 Standard $k-\varepsilon$ 모델로서 Launder and Spalding (1972) 에 의하여 제시된 이후로 공학적인 계산에서 경제적이고 타당한 정확도를 보이고 있으며 이번 시뮬레이션과 같이 지형등과 같은 넓은 영역의 모델에서 일반적으로 사용되는 모델이다. Standard $k-\varepsilon$ 모델은 난류의 동적인 에너지에 대한 k 값과 확산율과 관계된 ε 에 대한 수송 방정식을 기초로 한 식으로 일부 상수는 실험을 통하여 결정한 반경험식이다. 이 시뮬레이션에서는 이 모델을 사용하기 위하여 완전 난류의 흐름을 가정하였으며 구체적인 수송방정식은 다음 식 (2)~(4)와 같다.

$$\text{질량} : \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = S_m \quad (2)$$

$$\text{운동량} : \frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v v) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

$$\text{에너지} : \frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{u}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\tau_{eff} \cdot \vec{u})) + S_h \quad (4)$$

여기서, ρ 는 밀도 (kg m^{-3}), \vec{u} 는 속도 (m s^{-1}), p 는 정압 ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), S_m 는 화학반응에 의한 질량 소스 항 (kg m^{-2}), τ 는 응력 텐서 ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), \vec{g} 는 중력 가속도 (m s^{-2}), \vec{F} 는 외력 (kg m s^{-2}), E 는 총 에너지 ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1}$), k_{eff} 는 유효 전도율 ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-3} \text{K}^{-1}$), T 는

온도 ($^{\circ}\text{K}$), h_j 는 j 종의 현열 엔탈피 ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1}$), \vec{J}_j 는 j 종의 확산 플럭스 ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), τ_{eff} 는 유효 응력 텐서 ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), S_h 는 화학반응이나 복사에 의한 엔탈피 증가 ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-3}$)을 나타낸다.

현재 모든 종류의 공학적 문제를 다룰 수 있는 단일한 난류 모델은 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 CFD 시뮬레이션에서 사용되는 Standard k- ϵ 모델을 사용하였다. Standard k- ϵ 모델은 Launder and Spalding (1974) 에 의하여 제시된 이후로 공학적인 계산에서 경제적이고 타당한 정확도를 보이는 것으로 알려져 있다. Standard k- ϵ 모델은 난류의 동적인 에너지(k) 확산율(ϵ)에 대한 수송 방정식을 기초로 한 식으로 일부 상수는 실험을 통하여 결정된 반 경험식이다. 본 모델은 최근 오염 물질의 지역적 확산을 모의하기 위한 CFD 시뮬레이션 연구에 사용되고 있다(Milliez and Carissimo, 2007; Sabatino et al., 2007; Li and Guo, 2008; Seo et al., 2010).

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_k \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (6)$$

여기서, G_k 는 평균 속도 경사장에 의한 난류 동적 에너지의 생성, G_b 는 부력에 의한 난류 동적 에너지의 생성, Y_M 는 전체 확산률에서 압축성 난류의 변동하는 팽창의 정도, $\sigma_k, \sigma_\epsilon$ 는 각각 k 와 ϵ 의 난류 Prandtl 수, $\alpha_k, \alpha_\epsilon, C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{3\epsilon}$ 는 상수이다.

실제상황과 유사한 대기환경을 적용하기 위하여 대기 경계층을 UDF 기술을 사용하여 높이 별로 풍속과 난류에 관련된 프로파일을 설계하였다. 이를 위하여 식 (7)~(9)와 같이 마찰속도 및 지면의 거칠기 등의 변수를 통하여 높이에 따른 풍속 및 난류 운동에너지 (Turbulent kinetic energy), 난류 확산률 (Turbulent dissipation rate)등을 계산 하였다.

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (7)$$

$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}} \left(1 - \frac{z}{\delta} \right) \quad (8)$$

$$\epsilon = \frac{u_*^3}{\kappa z} \left(1 - \frac{z}{\delta} \right) \quad (9)$$

여기서, u 는 z m 높이에서의 유속 (m/s), u^* 는 마찰속도 (m/s), k 는 von karman 상수, z_0 는 지표면 거칠기 (m)를 의미한다.

(3) 시뮬레이션 모델 설계 이론

3차원 계산 영역에 대하여 전산유체역학 모델을 사용한 공기 오염물질의 확산 시뮬레이션에 관련된 기존의 연구 사례를 바탕으로 적절한 수준의 격자망 설계 지침을 마련하였다. 격자 크기는 중심 또는 발생원 근처에서 조밀하게 설계한 후 바깥으로 갈수록 점차 성글게 설계하여야 한다. 또한 격자 크기에 큰 변화 또는 갑작스러운 변화를 줄 경우 근접한 격자 사이에 단절오차 (Truncation error)를 크게 할 수 있다. 때문에 인접한 격자 사이의 신축 및 축소 비율은 1.3 이내로 하는 것이 적절하다 (Franke et al., 2004).

지면에서의 첫 번째 격자가 1 m 이내 또는 지면 바로 위에 있을 경우 바닥면에서의 마찰에 따라 주풍 방향의 역 방향으로 작은 와류가 지면 근처에서 나타날 수 있다. 따라서 Riddle et al. (2004), Blocken et al. (2007)은 첫 번째 격자의 크기는 0.5 m , 1 m 이내로 할 것이 추천된 바 있다. 또한 첫 번째 격자는 지면의 물리적인 거칠기 높이 보다 크게 할 것으로 추천된다. 반면 Pontiggia et al. (2009) 는 첫 번째 격자의 높이는 지면 거칠기 높이 보다 2배가 되도록 설계할 것이 추천된 바 있다.

Fluent manual(2008) 에서는 Standard wall function 에서 $30 < y^+ < 300$ 이 바람직하며 30에 가까울수록 좋다고 언급된 바 있으며, Franke et al., 2004, Tominaga et al. (2008) 은 평가를 위한 일반적인 1.5 ~ 5.0m 높이는 지면에서 3번째 이상의 격자에 속해야 한다고 언급한 바 있다. Riddle et al. (2004) 는 plume의 폭에 약 10개 이상의 격자가 포함되도록 하여야 한다고 제시하였다. Hexahedra 구조는 단절오차가 작기 때문에 수렴이 더 잘된다고 알려져 있다 (Franke et al., 2004). 이와 같은 격자의 모양은 Skewness 를 사용할 경우 격자의 질을 판단하는 좋은 기준이 될 수 있다.

그러나 현재까지 3차원 전산유체역학 모델의 설계를 위한 상세한 기준은 없으며, 경험적 또는 실험적인 검증을 통하여 대략적인 수치들이 제시되어 있는 실정이다. 이는 상세한 지형을 고려할 경우 조밀한 격자를 사용할 경우 계산 시간이나 컴퓨터 자원의 한계 등에 의하여 연산이 불가능하기 때문에 실제의 지형을 단순화하는 과정에서 발생하는 오차들을 어느 정도까지 허용할 수 있는지에 따라서 달라진다. 현장실험 또는 풍동 실험 등을 통하여 공기오염물질의 확산 현상을 분석하는 것은 매우 어려운 일이다. 이는 현장에서의 환경조건이 안정적으로 유지되지 않으며, 예측이 불가능하며, 측정 및 센서에 의한 오차 등으로 인하여 정량적인 결과를 얻기 힘들기 때문이다. 따라서 향후에도 이와 같은 모델링에 관련된 많은 연구 및 발전이 예상된다.

전체 계산 영역의 크기는 장애물이나 연구 대상의 높이에 의하여 결정될 수 있다. 구조체의 높이 및 폭에 따른 적절한 전체 영역의 크기에 대한 연구는 최근 풍동실험 등 많은 연구를 통하여 알려져 있다. 그림 12와 13은 다양한 추천 거리 중에서 가장 긴 수치들을 모아서 도시한

결과이다. 따라서 전체 연구 대상 지역의 크기를 위와 같이 제시된 거리 이상으로 유지하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 연구 대상영역의 지형 및 농장의 높이를 고려하여 충분히 넓은 지역을 대상으로 모델링을 하여야 한다. 이를 통하여 장애물에 의하여 변형되는 풍향 및 풍속에 대한 영향을 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

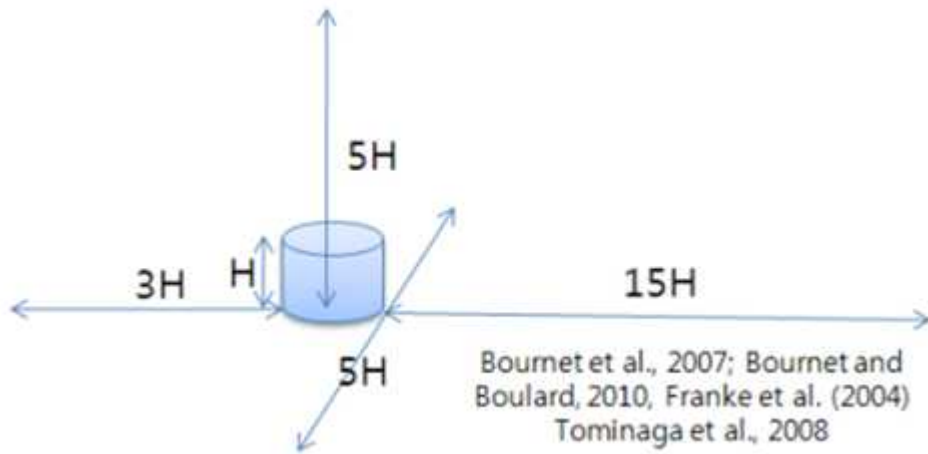


그림 12 Proposed design standard based on the height of obstacles (H)

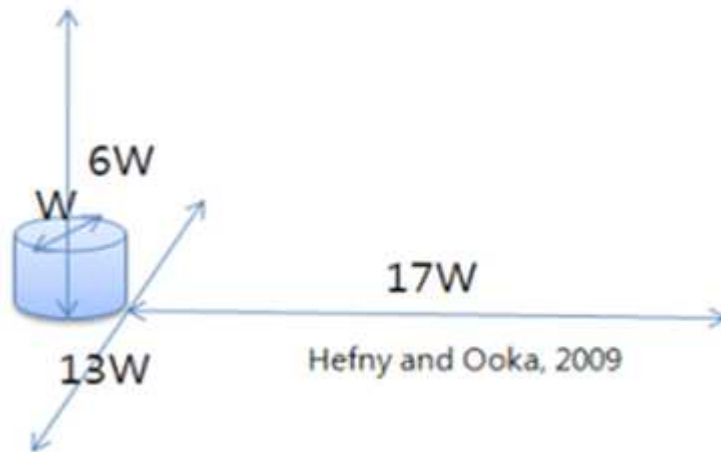


그림 13 Proposed design standard based on the width of obstacles (W)

(4) 대기 안정도

대기 안정도는 지표면 근처에서 활발하게 수직으로 움직이는 공기의 이동 현상에 큰 영향을 미치는 요인이다. 특히 한낮의 경우 지표면의 온도를 상승시킴으로써 지표면 근처의 공기 덩어리의 온도를 상승시킨다. 따듯한 공기는 일반적으로 밀도가 낮기 때문에 밀도가 높은 찬 공기와 만났을 때 찬 공기가 하강하고 더운 공기는 상승하는 수직 운동이 발생하게 된다. 특히 농장에서 발생하는 에어로졸의 경우 큰 입자는 농장 인근에 빠른시간에 떨어지지만, 입자가 매우 작은 에어로졸의 경우 중력에 의한 하강 속도가 매우 적어 공기의 흐름에 따라 확산되는 경향을 보이기 때문에 대기 안정도에 따른 기류의 해석이 중요하다. 일반적으로 대기의 안정도는 Pasquill (1961)의 표 7과 같이 6등급으로 나뉘지며, 경우에 따라 극히 안정적인 상태 (Extremely stable condition)인 G 등급을 추가하기도 한다.

표 7 Class for atmospheric stability proposed by Pasquill

Pasquill class	Contents
A	Extremely unstable
B	Moderately unstable
C	Slightly unstable
D	Neutral condition
E	Slightly stable
F	Moderately stable

Pasquill (1961)은 대기의 안정도를 표 8과 같이 풍속과 일사 및 운량 자료로 분석하였으며, 강한 일사는 영국의 한여름 한낮의 맑은 날에 해당하는 일사량이며, 약한 일사는 한겨울과 유사한 정도를 의미한다. 밤은 일출 한 시간 전부터 일몰 후 한 시간이 경과한 시점까지를 의미하며, 밤 동안은 일사량 대신 구름량으로 평가를 한다. 이러한 판별 방법은 주관적인 요소가 많이 개입될 수 있기 때문에, 이후에도 다양한 방법들이 시도되고는 있으나, 대부분 Pasquill의 안정도 등급을 기준으로 안정도를 산정하고 있다.

표 8 Distinction method of atmospheric stability by Pasquill (1961)

Surface wind speed (m/s at 10m)	Insolation			Night	
	Strong	Moderate	Slight	Thinly overcast or >4/8 low cloud	<3/8 cloud
< 2	A	A-B	B	-	-
2 - 3	A-B	B	C	E	F
3 - 5	B	B-C	C	D	E
5 - 6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Pasquill(1961)의 판별법에서 개입되는 주관적인 요소들을 보완하기 위하여 다양한 방법들이 시도되었으며, 그 중 하나의 방법으로 일사량을 태양 고도각을 이용하여 표현하는 방법이 있다. 태양 고도각을 이용하는 방법은 Stern(1984)에 의하여 요약되어 있으며, 대략적인 방법은 태양 고도각으로부터 일사량 지수를 산정한 후(표 9), 일사량 지수와 보다 세분화된 풍속 자료로부터 대기의 안정도를 산정하게 된다(표 10).

표 9 Solar altitude and index for solar radiation (Stern, 1984)

Solar altitude (α°)	Index for solar radiation	Degree of solar radiation
$\alpha > 60$	4	Strong
$35 < \alpha \leq 60$	3	Normal
$15 < \alpha \leq 35$	2	Weak
$\alpha \leq 15$	1	Very weak

표 10 Decision chart of atmospheric stability based on the solar radiation and wind speed (Stern, 1984)

Wind speed (m/s) \ Index of radiation	4	3	2	1	0	-1	-2
- 0.8	1	1	2	3	4	7	8
0.8 - 1.8	1	2	2	3	4	7	8
1.8 - 2.8	1	2	3	4	4	6	7
2.8 - 3.3	2	2	3	4	4	6	6
3.3 - 3.9	2	2	3	4	4	5	6
3.9 - 4.9	2	3	3	4	4	5	6
4.9 - 5.0	3	3	4	4	4	5	6
5.0 - 6.2	3	3	4	4	4	5	5
6.2 -	3	4	4	4	4	5	5

Monin-Obukhov 길이(L)는 대기 중에서 수직 전단력에 의하여 생성되는 난류 성분이 음의 부력에 의해 상쇄되어 균형을 이루는 높이를 의미하며, 대기 안정도를 분석하는데 사용될 수 있는 Recharadson 수가 1이 되는 높이로 식 (10)과 같이 나타낸다. 또한 마찰속도와 현열 플럭스는 각각 식 (11)과 (12)와 같은 측정값으로 산정할 수 있다.

$$L = - \frac{\rho C_p u_*^3 \bar{\theta}}{k g H} \quad (10)$$

$$u_*^2 = - (\overline{w'u'}) \quad (11)$$

$$H = \rho C_p (\overline{w'\theta'}) \quad (12)$$

여기서, ρ 는 공기의 밀도, g 는 중력 가속도, C_p 는 공기의 정압 비열, $\bar{\theta}$ 는 온위, k 는 Von-Karman 상수(=0.4), u_* 는 마찰속도, H 는 현열 플럭스, w' , u' 는 각각 수직 풍속과 수평 풍속의 변동량, θ' 는 온위의 변동량을 나타낸다.

이때 필요한 변동성분을 측정하기 위해서는 매우 빠른 측정이 가능한 장비가 필요하므로,

Monin-Obukhov 길이를 간단히 예측하기 위하여 두 고도에서의 풍속과 기온만을 측정하여 추정할 사례도 있다 (이종범과 김용국, 1990). 산정된 Monin-Obukhov 길이는 대기 안정도와 관련이 있다 (그림 14).

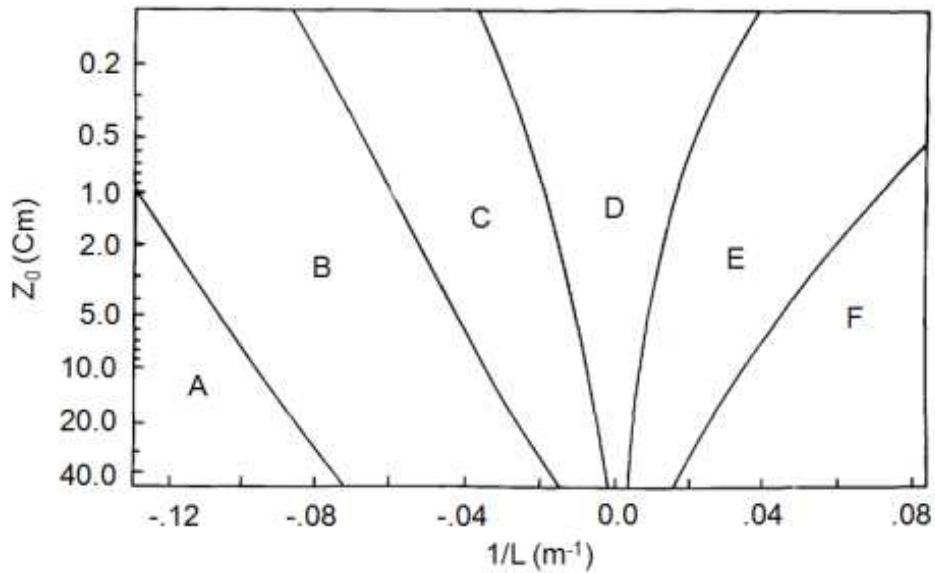


그림 14 Chart of relation between Monin-Obukhov length and Pasquill stability index (Golder, 1972)

(5) 병렬 처리 모델링

시뮬레이션 모델의 전체 격자수가 약 700만개로 단일한 PC로는 메모리의 한계로 인하여 시뮬레이션의 구동이 어렵다. 또한 동시에 다양한 발생원에서의 에어로졸 확산을 분석하기 위해서는 Multiphase model을 사용하여야 하는데 이 경우 많은 양의 메모리를 사용하게 된다. 따라서 본 연구에서는 병렬처리 시스템을 사용하여 이를 해결하고자 하였다. 병렬처리 시스템은 Window 2008 HPC server를 사용하여 Quad-core CPU 2개 및 16 Gb의 메모리를 가진 독립적인 컴퓨터들을 묶어 대규모의 메모리를 사용하는 시뮬레이션이 가능케 한다.

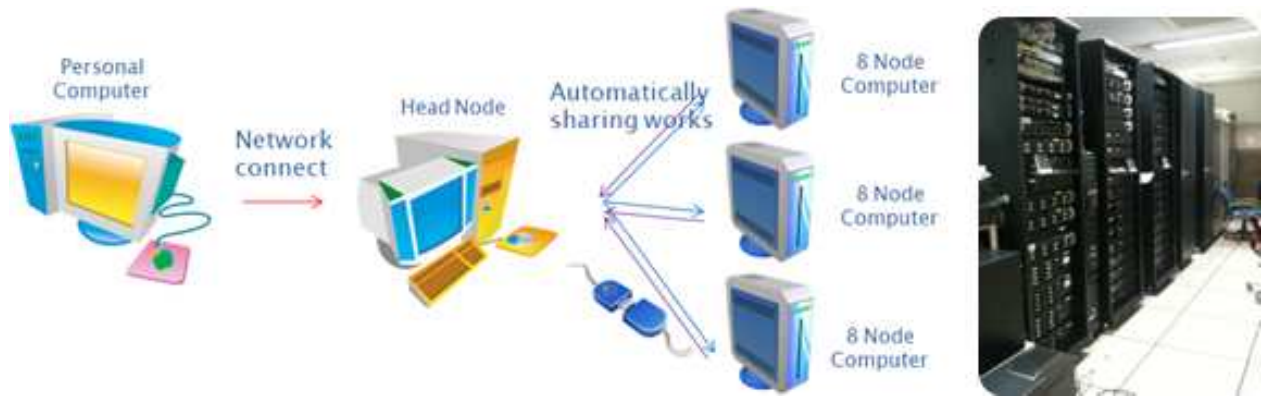


그림 15 Parallel simulation system (A3EL, Seoul National University)

메인 모듈인 FLUENT에서 지원하는 병렬처리 연산은 fluent, host process, computer-node 프로세스 간의 상호작용을 필요로 한다. FLUENT는 Cortex라고 불리는 유틸리티를 통해 호스트와 계산 노드들과 상호작용을 하며, 이 Cortex는 FLUENT의 User interface와 기본적인 그래픽 기능들을 관리한다. 병렬 연산은 그리드와 데이터를 여러 개의 파티션으로 분할하고, 각 그리드 파티션을 다른 컴퓨터나 연산 노드에 할당한다. 파티션의 수는 컴퓨터 노드에 따라서 달라지며, 서로 다른 OS를 사용하는 대규모의 병렬 컴퓨터, 워크스테이션 등으로 실행할 수 있다.

호스트 프로세스는 어떠한 그리드 데이터를 포함하고 있지 않는다. 대신 Cortex의 그래픽관련 인터페이스로부터 명령사항 들을 해석하고, 그러한 명령어들을 특정 계산 노드들을 통하여 다른 계산 노드들로 분배한다. 각 계산 노드는 동시에 자신들만의 데이터 메모리에서 같은 프로그램을 실행하게 된다. 계산 노드들 간의 명령어의 전달은 특정 노드만을 통해서만 이루어지며, 모든 노드들이 동기화되었을 때만 가능하다. 각각의 계산 노드들은 고유의 ID를 가지고 가상적으로 연결되어 있으며, 상호간의 명령문의 전달, 동기화, 계산 등을 수행하게 된다.

병렬 처리 연산 시 그리드를 여러 개의 파티션으로 분할하는 방법은 Principal axes method, Principal strip method, Cartesian axes method, Cartesian strip method, Polar axes method 등이 있다 (그림 16). Principal axes method는 연산 영역의 형태에 따라 주축을 설정하여 주축과 주축에 직각 방향으로 좌표계를 형성하여 영역을 분할하는 방법이다. Principal strip method는 주축을 설정하여 주축 방향의 진행방향으로 순차적으로 영역이 분배되도록 분할하는 방법이다. Cartesian axes method는 주축을 따로 설정하는 것이 아니라 현재 좌표계에서 x, y 방향으로 영역을 분할하는 방법이며, Cartesian strip method는 현재 좌표계에서 x 방향의 진행방향으로 순차적으로 영역을 분할하는 방법이다. Polar axes method는 극 좌표계를 사용하여 좌표에 따라 영역을 분할하는 방법이다.

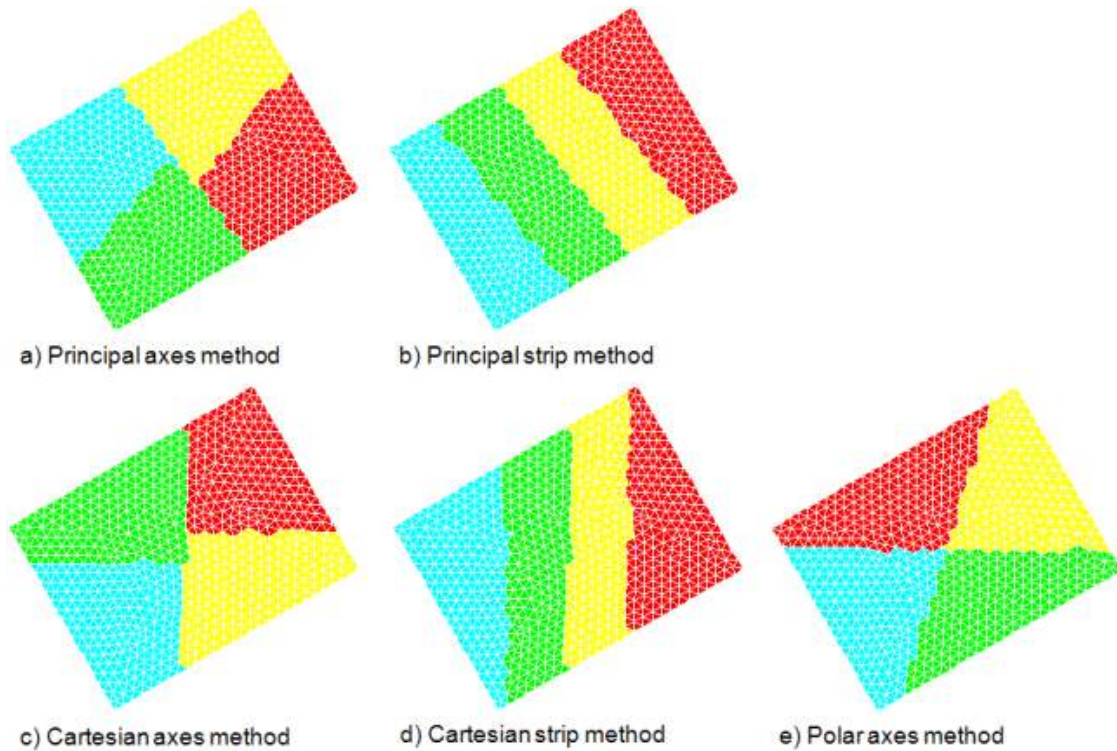


그림 16 Division method of partitions for parallel processing in FLUENT

라. 연구 방법

(1) 기상 데이터 분석

HPAI 바이러스의 경우 일반적으로 흙, 먼지, 깃털과 같은 공기 중으로 부유하는 입자에 부착되어 확산되기 때문에 실험 대상 영역에 대한 환경 요인 특히 풍환경에 대한 분석이 매우 중요하다고 판단된다. 그러나 익산 지역에는 기상청 기상대가 존재하지 않기 때문에 인근의 기상대의 데이터를 활용하여 기상데이터를 분석하였다. 익산의 동쪽으로는 전주 기상대가, 서쪽으로는 군산 기상대가 소재하고 있으며, 전주 기상대의 경우 익산과 전주 사이에 높은 산이 있기 때문에 상대적으로 평탄한 지형인 군산 기상대의 데이터와 비교하였을 때, 익산지역의 기상과 다소 차이가 있을 것으로 판단되었다. 따라서 군산 기상대의 과거 20년 기상데이터를 기초로 하여 기상을 분석하였다. 또한 과거 2008년도의 HPAI 발생 시기에 대한 분석을 바탕으로 전산 유체역학 시뮬레이션 결과와의 연동을 통하여 과거 HPAI의 확산 양상을 공기 중 확산과 연계하여 설명할 수 있는지를 분석하였다.

(2) 도로 인근 확산 분석

그림 17은 도로에서의 차량이동에 따른 부유 분진으로 인한 인근 지역의 영향을 분석하기

위하여 수행한 현장실험 장소의 인공위성 사진이다. 해당 지역은 전북 익산시 용동면 용동 삼거리로 인근에 다수의 계사가 있었으며, 하림 도축장으로 가는 길목으로 축산관련 차량 들 특히 어리장 차가 비교적 빈번하게 운행을 하는 지역이다. 특히 본 실험 대상 지역에서는 인근에 높은 산이 없으며, 센서를 설치하기 용이한 평지가 있으며, 해당 지역에서 해당 시기의 주풍을 미리 기상 데이터를 바탕으로 예측하여 북동풍 및 남서풍이 도로와 수직으로 만나 주풍에 의한 확산을 평가하기 유리하다고 판단되는 지역을 선정하였다. 도로의 북동쪽 발에는 생강이 30cm 미만의 높이로 자라고 있었으며, 통로 부분에 1m 높이의 센서 및 기상대를 설치하기 용이하였다. 또한 남동쪽은 현재 빈 공터로 센서를 설치하기에 적절하다고 판단하였다. 실험 대상 지역으로는 차량의 이동 특히 일반 승용차 등의 이동 빈도가 매우 낮았으며, 간헐적으로 축산 관련 차량 및 버스 등이 이동하였다. 따라서 축산 관련 차량이 지나갈 때의 독립적인 영향을 평가하는 데 적절한 지역으로 판단하였다.



그림 17 Satellite image of experimental field for measurement of diffused aerosol from vehicles related to the chicken industry



a) 도로 남서쪽



b) 도로 북동쪽



c) 실험 장비 설치



d) 기상대 설치

그림 18 Detailed image in the experimental field and the installation of the instruments

그림 19는 실험 장비의 설치 상황을 요약한 것으로, 총 20대의 소용량 분진 샘플러 (SKC, USA)를 사용하여 TSP (Total suspended particles) 와 PM_{10} (Particle matter 10) 을 각각 37 mm teflon 필터를 사용하여 포집한 후 에어로졸의 포집 전후의 무게 칭량을 통하여 질량을 분석하였다. 또한 Dust spectrometer (Grimm, Germany)을 사용하여 먼지의 입경별 질량 분포를 실시간으로 측정하였으며, 측정하는 지역으로 형성되는 기류에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되는 인근 지역에 기상대를 설치하여 실험기간동안의 풍향, 풍속, 온도, 습도 등과 같은 일반적인 기상상태를 실시간으로 측정하였다. 실험 기간 동안의 풍향은 그림 20과 같이 거의 일정하게 북동풍으로 유지되었으나 풍속은 2 m/s 이내의 낮은 풍속으로 유지되었다. 상대 습도는 57~73 %사이로 점차로 증가하는 편이었으며, 온도는 최고 26.2도에서 23.0도로 시간에 따라 점차 감소하였다.

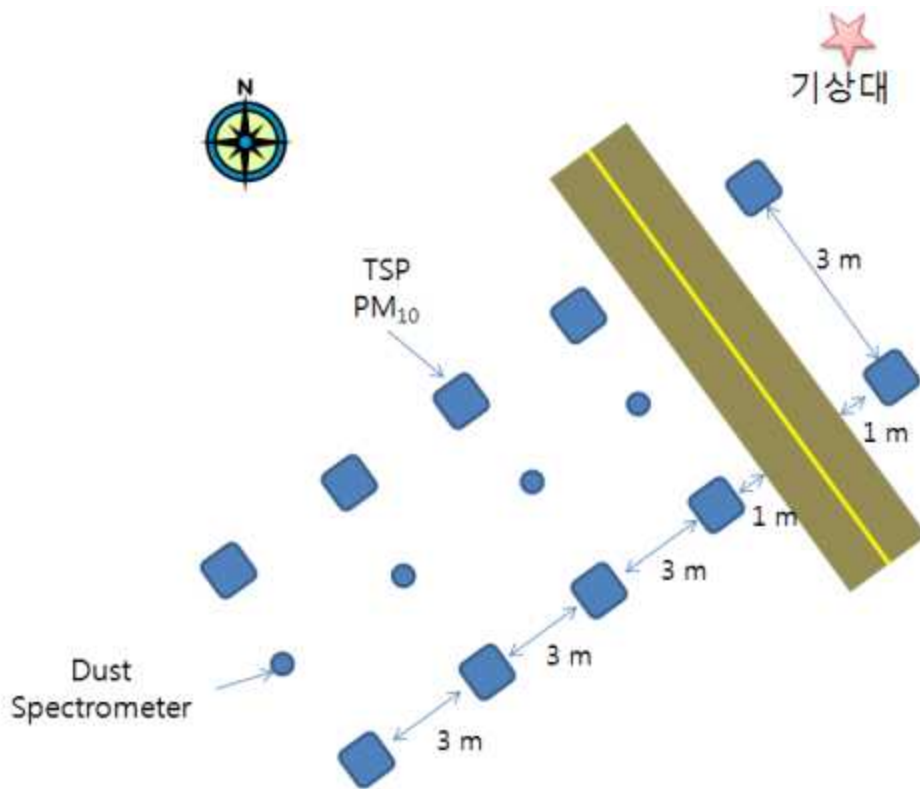


그림 19 Schematics of the field experiment to measure the dust generation from the vehicles passing the road

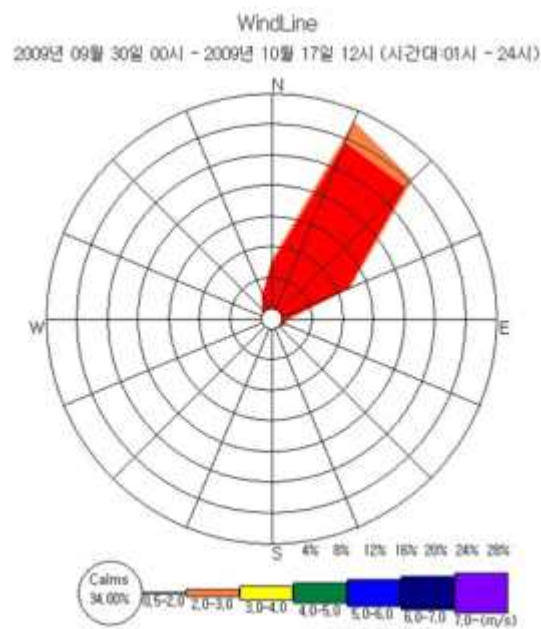


그림 20 Wind rose during the experiments based on the weather station data

(3) 농장에서 발생하는 공기오염물질 분석

최희철 등 (2009)에 따르면 여름철 무창 육계사의 먼지 농도는 TSP 의 경우 1주령 1,229, 2주령 904.5, 3주령 558.8, 4주령 시 1,053 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 겨울철에는 1주령 465.4, 2주령 1,401, 3주령 4,497, 4주령 5,097, 5주령 시 6,873 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 측정된바 있다. 이에 본 연구의 전산유체역학 시뮬레이션 모델에 사용하기 위한 계사에서 발생하는 공기오염물질을 분석하기 위하여 그림 21과 같이 전북 익산시 용안면에 소재한 종계장을 방문하였다. 본 종계장은 총 2동의 강제식 터널 환기를 사용하고 있으며, 암탉 약 8500 두, 수탉 약 700 두가 각각 사육되고 있다. 현재 환기는 처마 아래의 규칙적으로 배치되어 있는 입기구를 통하여 내부의 음압이 형성될 경우 배플이 열리도록 하였으며, 60초 : 120초 간격으로 양 측벽에 있는 각각 2개씩 총 4개의 배기팬을 사용하여 환기를 수행하고 있다. 또한 온도가 설정치 이상으로 상승하는 경우 끝 벽에 있는 배기구를 하나 가동할 수 있도록 설정이 되어있다. 내부는 방역 문제로 직접 들어가지 않고, 현지 농장장의 도움으로 사료 및 바닥에 사용한 완겨 샘플을 얻었으며, 이 샘플과 배기팬에서 나오는 먼지의 입경 분석을 수행하고자 하였다. 그림 22와 같이 Aerosol spectrometer로 배기되는 공기 중에 포함된 에어로졸의 입경별 농도 분포를 실시간으로 측정하였으며, 동시에 페트리디쉬를 활용하여 에어로졸 입자를 직접 포집하였다. 특히 입자를 SEM을 사용하여 분석하기 위하여 양면테이프를 활용하여 공기 중 분진을 포집하는 경우 배경이 깨끗하게 촬영되는 장점이 있다. Aerosol spectrometer와 페트리디쉬로 직접적으로 포집한 에어로졸 샘플 2개를 한 세트로 하여 실험 A는 측벽 배기구에서, 실험 B는 끝 벽의 배기구에서, 실험 C는 끝 벽의 배기구에서 약 5 m 가량 떨어진 곳에서 측정을 반복하여 수행하였다.



그림. 21 Image of chicken house where aerosol from fan was captured by sampler

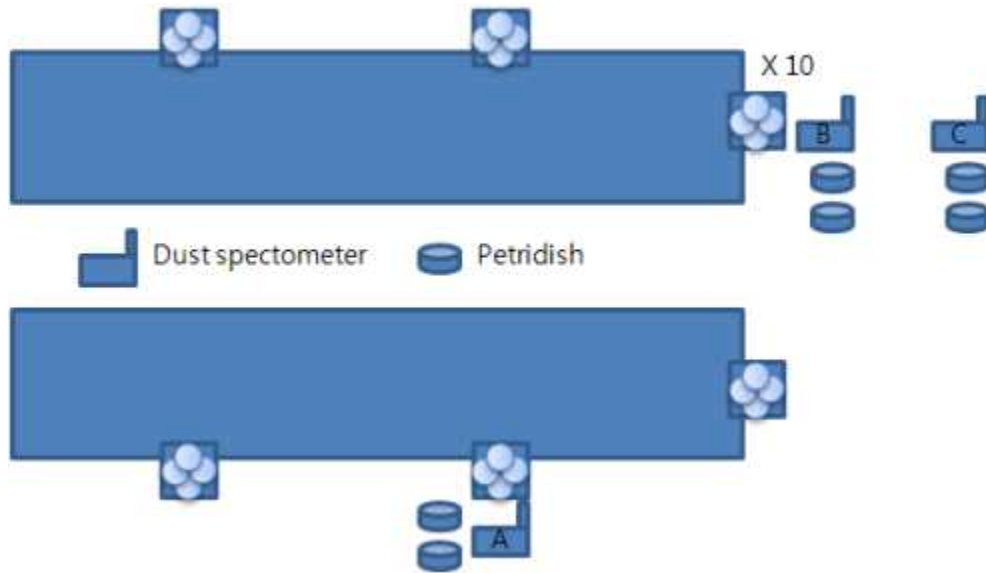


그림 22 Schematic diagram of install locations for dust spectrometer and petridishes to capture the generated aerosol from the chicken house

(4) 전산유체역학 시뮬레이션 모델 개발

(가) 연구 대상지역에 대한 3차원 계산 영역 설계

기존의 오염물질 확산 시뮬레이션에 주로 사용되어 왔던 CALPUFF, INPUFF-2, ADMS 와 같은 가우시안 기반의 확산모델 등은 주로 다량, 고농도의 오염물질의 광범위한 확산을 모의하는데 효과적으로 사용되어져 왔다. 이러한 모델들은 계산 시간이 비교적 짧고, 모델의 구성이 쉬우나 구현 가능한 지형 정보에 한계가 있다. 또한 기본적으로 정상상태의 확산 분포를 가정하기 때문에 지형이 복잡하고 유동이 복잡한 경우에 해석의 정확도가 떨어지는 한계가 있다.

대기 유동장에 근거한 물질 이동에 관한 기존의 MM5 (mesoscale model version 5th), WRF 모델 (weather research and forecasting) 등을 사용한 연구는 황사나 오존 확산, 기상 예측 등 국가 단위 규모의 영역을 다루고 있다. 또한 지표부근이 아닌 대기 상층부를 중점으로 모의하기 때문에 본 연구 지역과 같이 국지적인 연구에 적용하기에는 정밀도가 부족한 문제가 있었다 (Jung et al, 1996, Carmichael et al., 1998, Kim et al., 2002, Nam et al., 2004). 그러나 최근 컴퓨터의 급속한 발전과 더불어 공기 유동 해석 분야에서 널리 사용되고 있는 전산유체역학 (Computational fluid dynamics)의 경우 대기 유동 및 오염물질 예측 툴로서 그 활용 범위가 넓어지고, CFD 모델은 환경 및 기상 조건 등을 인위적으로 조절할 수 있으며, 연구자가 원하는 모든 위치에서의 비산 먼지 확산을 분석할 수 있다는 장점이 있다. 또한 이동 및 확산의 주 메커니즘인 공기 유동을 정량적, 정성적으로 해석할 수 있으므로, 물질 이동 및 확산 연구에 적절하다. 이에 Descamps et al. (2005), Hagen (2004), 김 등 (2005)은 도시 및 공사 현장 등을 대상으로 2D 또는 단순한 3D CFD 모델을 사용하여 대기 오염물질을 확산 현상을 연구한 바

있으나, 아직 새만금 지역과 같이 수십 km 규모의 영역에 대하여 상세한 지형을 고려한 물질 수송의 모델링에 대한 CFD 연구 사례는 거의 없었다.

복잡한 지형을 고려한 3차원의 모델을 설계하기 위하여 수치 지도를 바탕으로 하여 AUTOCAD 에서 필요한 등고선을 추출한 후 SKETCHUP 프로그램을 사용하여 TIN을 생성한다. 생성된 TIN은 RHINOCEROS 프로그램으로 불러와서 등고선을 따라서 3차원의 표면을 형성한 후 앞선 수치지도에서 추출한 필요한 등고선 등을 바탕으로 하여 영역을 분할한다. 분할된 영역은 GAMBIT을 사용하여 표면에 대한 격자망을 설계하며 이는 TGRID 프로그램을 사용하여 3차원의 볼륨을 가지는 계산 영역으로 생성하여, 최종적인 모델을 만들 수 있다.

(나) 시뮬레이션 입력 조건 및 경계조건 설계

3차년도에서는 2차년에 개발한 3차원 CFD 모델을 사용하여 1차년도 과제에서 수행한 현장 실험 결과를 바탕으로 한 농장 및 도로에서의 에어로졸 발생량을 바탕으로 하여 HPAI가 발생한 농장에서 에어로졸이 확산되는 경향을 예측함으로써 공기를 통한 HPAI의 농장 간 확산을 예측하고자 하였다. 분석 대상은 전북 김제시 일죽면 일대의 총 39개 농장을 포함하는 직경 5.6 km의 영역으로써, 해당 농장들은 2008년도 HPAI가 발생한 당시 살처분을 수행하였던 농장들이다. 이 농장들에 대한 상세한 데이터는 2세부과제인 농림수산물식품검역검사본부 (구, 국립수의과학검역원)에서 제공한 데이터를 바탕으로 하였다. 대상 농장 중 8곳은 HPAI가 발생한 농장을, 5곳은 검사 결과 바이러스의 양성을 나타낸 농장을, 26곳은 예방적 차원에서 살처분이 수행된 바 있다. 격자망을 설계하는 전처리 프로그램으로는 GAMBIT (version 2.4, Fluent Inc, USA)를 사용하였으며, Franke et al. 2004, Riddle et al. 2004, Blocken et al. 2007, Seo et al. 2010, Hong et al. 2011 등의 논문에서 제시하는 적정 격자망 설계 방안을 따라 39개의 농장을 충분히 아우를 수 있는 5.6 km의 영역과 인근 구릉 및 산을 고려한 800 m의 높이를 대상 영역으로 설계하였으며 총 6,784,362개의 격자를 사용하였다. 계산의 정확도는 향상시키고 동시에 계산의 시간을 단축시키기 위하여 다양한 격자 설계 방안이 도입되었으며 이는 2차년도 연차 실적보고서에 상세히 다룬바 있다. 일반적으로는 계산의 결과의 중요한 영향을 미칠 것으로 판단되는 3차원의 굴곡이 있는 지면 부분 및 농장 인근, 구릉 이나 산 인근, 방풍시설 인근의 격자가 더 조밀하도록 설계하였다.

설계된 모델의 연산은 FLUENT (version 6.3, Fluent Inc., USA)를 사용하였으며, 각 농장에서 발생하는 에어로졸이 인근에 다른 농장으로 유입되는 정도를 분석하기 위하여 총 3가지 다른 풍속과 8가지 다른 풍향을 대상으로 하였다. 또한 총 39개의 농장과 도로망이 각각의 발생원이 되므로 총 조합은 $3 \times 8 \times 40 = 960$ 가지 조합을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 에어로졸의 발생량은 1, 2차년도에 수행한 현장실험 결과를 바탕으로 농장에서는 3,600 도로에서는 $116.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 지속적으로 발생하는 것으로 가정하였다. 농장 및 도로에서의 에어로졸의 발생은 농장의 형태, 환기 시설, 도로의 상태에 따라서 모두 다르지만, 본 연구에서는 해당

하는 농도의 에어로졸이 발생한 상태를 가정하여 지형, 풍속 프로파일, 풍향의 프리퀀시에 따라서 형성되는 공기의 흐름에 따라서 확산되는 것으로 가정하였다. 농장의 경우 사육 규모에 따라서 단순화된 농장의 규모가 다르기 때문에 일반적으로 규모가 클수록 많은 양의 에어로졸이 발생하는 것으로 가정하였다. 표 11 은 CFD 모델에 사용한 입력 조건을 나타낸 것이다.

표 11 Input and boundary conditions for CFD analysis

Pre-processing	Designed domain	5.6 km diameter 800 m height from the ground surface
	Mesh types	Hexahedron / prism
	Number of meshes	6,784,362
Main Module	Wind condition	Wind-velocity : 3, 5, 7 m/s Wind-direction : N, NE, E, SE, S, SW, W, NW
	Number of farms	39 (8 outbreak, 5 positive, 26 prevention)
	Turbulence model	Standard k-ε model
	Surface roughness	Road, Lake : 0.0002 m Agricultural surface : 0.25 m Forest : 1.0 m
	Aerosol concentration	Broiler house : 3,600 μg/m ³ Adjacent road : 116.4 μg/m ³
	UDF modules	Source term for deposition Wind profile at the boundary surfaces Atmospheric stability Wind frequency

전산유체역학 시뮬레이션 모델 결과의 정확도에 큰 영향을 미치는 요인은 안정적인 격자의 설계와 함께 적절한 경계 조건을 설정하는데 있다. 따라서 사용하는 에어로졸 입자, 풍환경, 숲의 공기 투과도, 바닥면의 조도계수, 대기 안정도 등에 대한 이론 및 실험적 고찰과 함께 정확한 값을 입력하는 것이 중요하다.

농장에서 발생하는 에어로졸 입자는 사료, 깃털, 피부조각, 완겨 등 다양한 종류가 혼합되어 있기 때문에 모든 것을 종합하여 모델링하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 현장실험 결과를 바탕으로 농장에서 발생하는 입자의 상당수가 사료 입자임을 가정하여 측정된 밀도 값을 바탕으로 에어로졸의 밀도를 1388 kg/m³ 로 가정하였다. 발생 농도 역시 농장의 종류, 규모, 사육되는 닭의 종류 및 연령, 계절 등 많은 변수에 따라서 달라진다. 따라서 본 연구

에서는 선행 연구 사례를 조사하여 일반적인 육계사의 에어로졸 농도를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하고자 하였다. 국외 논문으로는 Takai et al. (1998)은 유럽 주요 4개국에서 계사에 대한 PM₁₀의 농도를 측정하여 평균 농도 3,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 제시한 바 있으며, 국내에서는 Choi et al. (2006)은 육계사의 TSP가 육계의 연령에 따라서 465 ~ 6,873 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평균 3670 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 결과를 제시한 바 있다. 따라서 본 모델에서는 농장의 분진 농도를 3,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가정하였으며, SEM 분석을 통하여 분진의 대다수를 차지하는 사료 입자의 일반적인 크기인 PM₁₀에 대한 분석을 수행하고자 하였다.

선행 연구인 Seo et al. (2010)의 모델의 경우 농장에서 발생하는 에어로졸에 대한 Sink term을 적용하였다. 이를 적용하지 않을 경우 에어로졸의 소멸이 계산 모델의 풍하측면에서만 이루어지기 때문에 에어로졸이 바닥에 퇴적되어 수렴이 되지 않는 문제가 발생하였다. 따라서 지하 방향으로 Sink-volume을 1 m (격자 2개)로 만들어서 에어로졸의 퇴적을 모의한 바 있다. 그러나 이와 같은 경우, 모델의 풍상측에서 유입되는 공기가 지하 방향으로 가라앉는 유동장이 나타났다. 이로 인하여 에어로졸의 이동이 더 아래로 치우치는 경향을 보였다. 따라서 본 연구에서는 그림 23과 같이 지표에서 연직방향으로 0.5 m의 볼륨을 생성하여 바닥에서의 퇴적을 고려하고자 하였다.

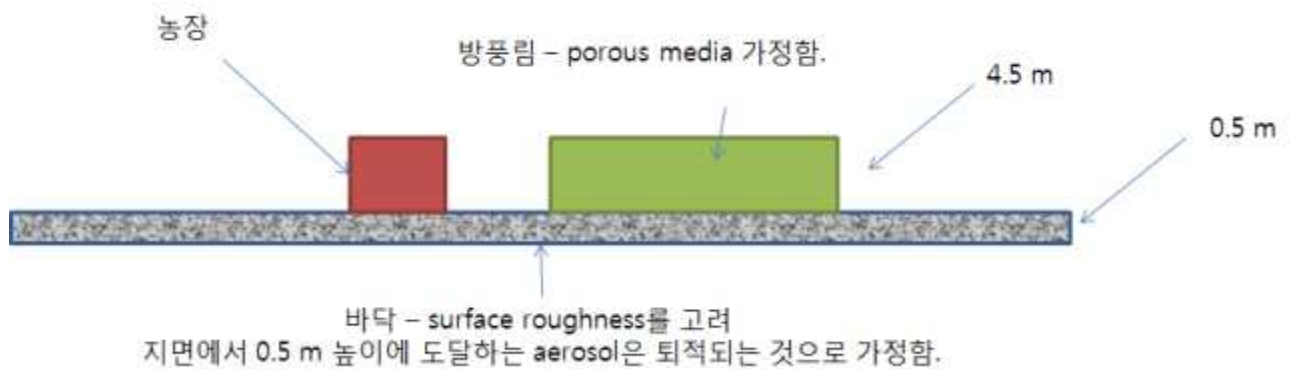


그림 23 Design of boundary conditions near the ground surface

지표면의 거칠기를 나타내는 조도 (surface roughness)는 풍상측에서 유입되는 유속을 저하시켜 연직방향의 풍속 프로파일을 변화하게 하며 난류를 발생하는 요인으로 작용한다. 본 시뮬레이션 모델에서는 전체 연구 대상 영역을 크게 도로, 숲 또는 산, 호소, 그 외의 농경지로 세분화 하여 각각의 조도계수를 적용하였다. 조도 계수는 표 12와 같이 제시된 기준에 따라서 도로 0.0002, 지면 0.25, 숲 1.0 등을 사용하였다.

표 12 Davenport classification of effective terrain roughness (Wieringa et al., 2001)

Classification	z_0 (m)	Description
Sea	0.0002	바다, 호수, 눈덮인 평야, 사막, 아스팔트, 콘크리트 등
Smooth	0.005	특별한 장애물이 없거나 사소한 식생이 있는 지표면 즉, 해변, 큰 구릉없는 얼음, 습지, 눈이 덮히거나 개간되지 않은 지역
Open	0.03	잔디와 같은 낮은 식생이 있는 지역, 장애물이 드물게 있는 지역(상대 거리가 50 obstacle height) 즉, 방풍림이 없는 목초지, 툰드라, 공항 활주로 등
Roughly open	0.10	낮은 작물이나 식물이 있는 경작지 또는 자연지, 장애물이 있는 평야(상대 거리가 20 obstacle height)
Rough	0.25	높은 또는 다양한 높이의 작물이 있는 경작지 또는 자연지, 장애물이 널린 지역 (상대 거리가 12 ~ 15 obstacle height)
Very rough	0.5	큰 장애물이 있는 경작 밀집 지역 (8 obstacle height), 관목림, 과수원, 작은 숲, 낮은 빌딩이 모여있는 지역 (건물간 3~7 building height 간격)
Skimming	1.0	비슷한 크기의 큰 장애물로 덮힌 지역 (1 obstacle height), 넓은 숲, 건물 높이차이가 크지 않는 건물 밀집 지역
Chaotic	> 2	다양한 높이의 건물이 있는 도심지, 큰 숲

풍속의 경우 추후 모델의 결과를 바탕으로 분석한 기상데이터를 입력하여 바이러스의 공기 중 전파를 예측하기 위하여 기상청에서 일반적으로 풍속 및 풍향을 측정하는 기준인 10 m 높이를 대상으로 하여 각각 3, 5, 7 m/s 의 풍속을 가정하여 시뮬레이션 분석을 수행한 후, 선형 보간을 사용하여 나머지 풍속에 대한 분석을 수행하고자 하였다. 풍향은 총 8 방위를 가정하였으며, 각 방위별로 ± 22.5 도로 사인곡선을 따라 풍향이 지속적으로 변화하는 것으로 가정하였다. 이는 일반적인 대기 확산 모델에서의 가정과 동일하다. 또한 다음의 공식을 사용하여 총 3가지의 풍향(3, 5, 7 m/s)에서의 높이에 따른 바람의 풍속, 난류 특성에 대한 프로파일을 생성하였다. 그림 24 ~ 26은 10 m 높이에서 3 m/s 를 가정하였을 때의 풍속, 난류동적 에너지, 난류 확산율의 높이에 따른 프로파일을 생성하였다. 난류 특성을 계산하기 위하여 사용되는 Boundary layer depth 는 1000m 로 가정하였다.

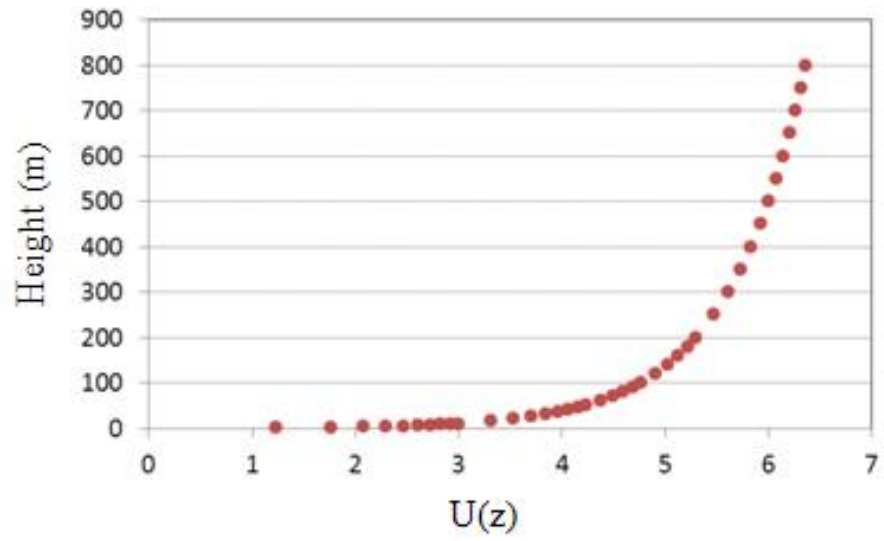


그림 24 Vertical wind speed profile by height

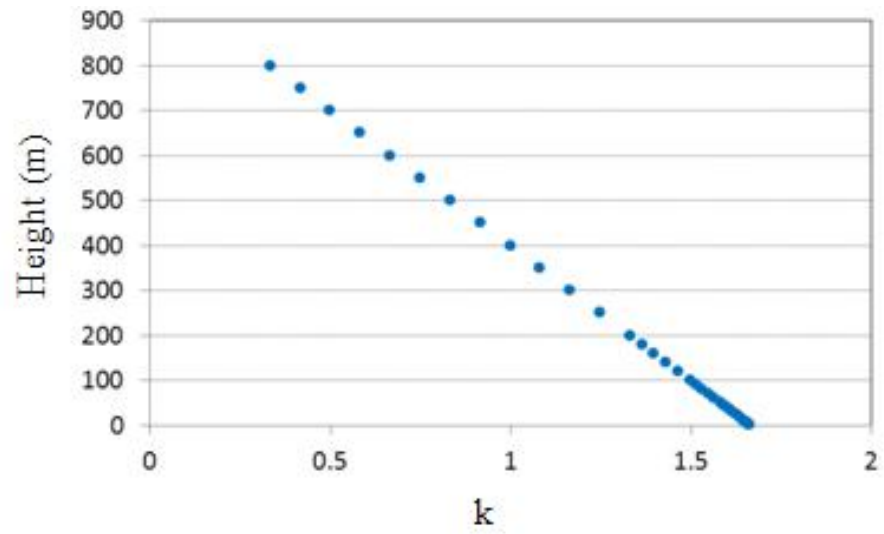


그림 25 Vertical turbulence kinetic energy by height

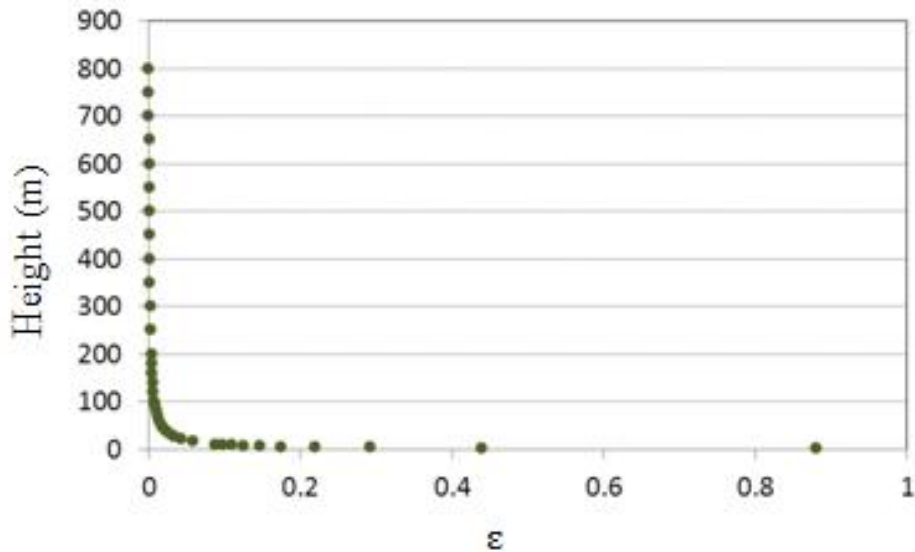


그림 26 Vertical turbulence dissipation rate by height

그림 27은 3차년도에 수행된 연구의 내용을 요약한 것으로 시뮬레이션 모델을 사용하여 풍 환경을 고려한 HPAI의 농장 간 확산을 예측하는 과정을 도시한 것이다. 풍향, 풍속, 농장 및 도로의 발생원 등 다양한 조합을 바탕으로 한 시뮬레이션 분석을 통하여 각 환경 조건에 따른 발생원에서의 인근으로의 확산 경향을 예측하여 이를 수치화 할 수 있다. 이와 같은 960 가지 경우에 대한 결과는 백데이터로서 저장된다. 이후 HPAI 가 발생한 2008년도의 기상 조건을 바탕으로 하여 빈도 분석을 수행한 후 가중치로서 매트릭스 형태로 변환된 CFD 백데이터를 결합하는 프로그램을 개발하여 해당하는 기상 조건에서 HPAI가 공기 중으로 확산되어 인근 농장으로 주는 영향을 분석할 수 있다. 이와 같은 결과는 2세부과제 (농림수산검역검사본부)에서 제시한 2008년도 HPAI 발생 사례를 바탕으로 검증할 수 있으며, 동시에 3세부과제(서울대학교)에서 개발 중인 네트워크 모델에 적용될 수 있다. 이를 통하여 HPAI 가 발생 시 확산되는 경향을 시나리오별로 분석이 가능하므로 HPAI 발생에 대한 대책 마련 및, 예경보 시스템의 개발, 확산에 중요한 영향을 미치는 거점을 분석하여 예방적인 방역정책 수립 등에 활용될 수 있다.

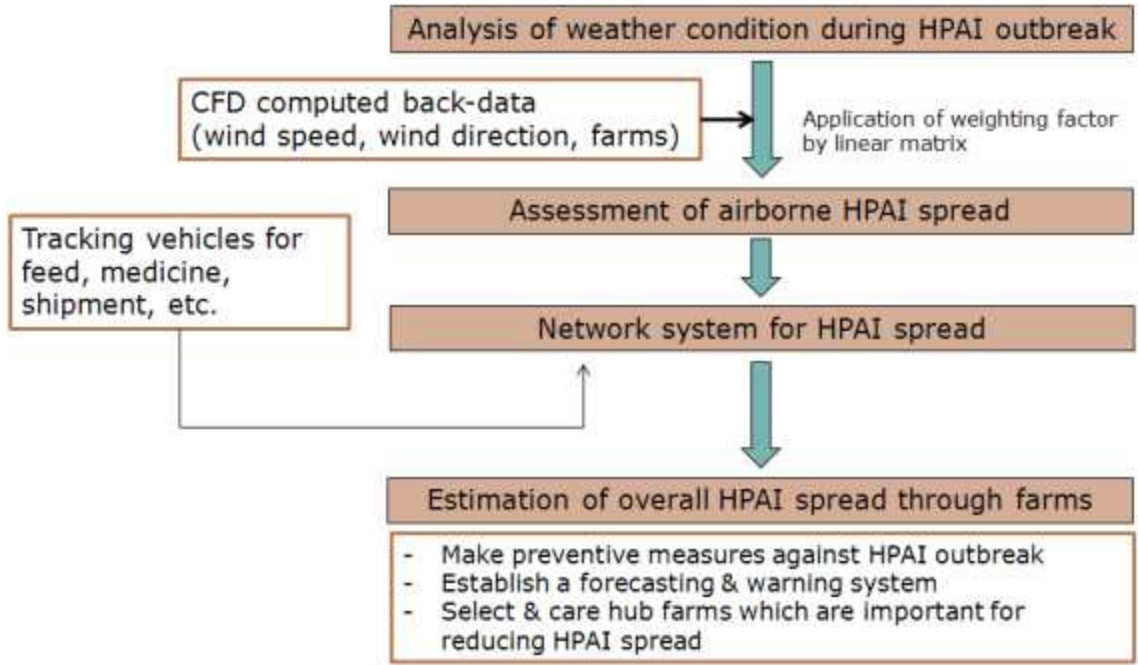


그림 27 Flow chart of the research conducted during 3rd year

4. 연구 결과 및 고찰

가. 기상 데이터 분석

(1) 20년 평균 기상 분석

본 연구 대상 지역의 주 풍향은 서풍계열과 동풍계열로써 서풍계열이 불 때는 일반적으로 풍속이 높고, 동풍계열이 불 때는 일반적으로 풍속이 낮은 것으로 나타났다. 또한 온도와 습도를 분석한 결과 일반적으로 상대 습도가 약 70% 이며 온도가 5도 이하인 12월~3월 사이가 바이러스의 생육에 적합하므로 이 시기의 위험도가 높을 것으로 판단된다. 군산 기상대의 과거 데이터를 바탕으로 월별 풍환경을 분석한 결과 12월에서 6월 사이에는 동풍의 발생 빈도 및 풍속이 상대적으로 높게 나타났다. 그림 28은 군산 기상대의 20년 데이터를 바탕으로 월별 바람 장미를 나타낸 것이다. 12월에서 3월까지 겨울철에는 주로 북서풍의 비율이 높은 것으로 나타났다. 봄에서 초여름 사이인 4월에서 6월 사이에는 주로 서풍계열이 빈번하게 발생하고 있으며, 7월에는 서풍계열과 동풍계열이 동시에 나타난 후 8월부터 다시 11월까지는 동풍이 주풍으로 나타나고 있다.

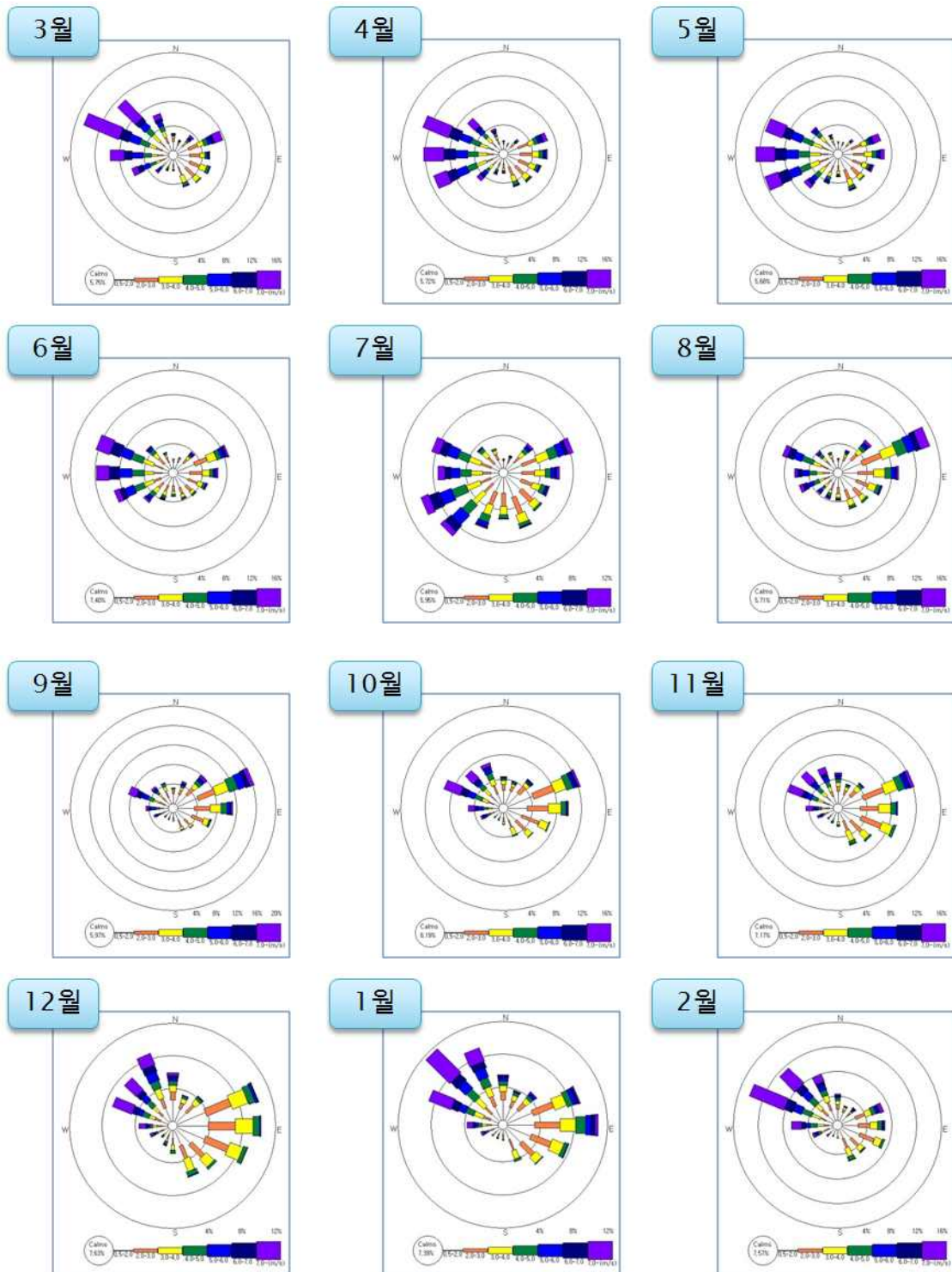


그림 28 군산 기상대의 20년 데이터를 바탕으로 본 월별 풍향 및 풍속

그림 29는 군산 기상대의 20년 평균 데이터를 바탕으로 3시간 간격으로 풍환경을 나타낸 것이다. 본 지역에서는 주로 자정에서 9시까지의 동풍계열의 빈도가 높게 나타났으며, 해가 뜬 후 지면의 온도가 상승하기 시작하는 9~12시 사이에서 동풍계열에서 서풍계열의 풍향으로 변화하였다. 그 후 정오부터 21시까지는 서풍계열이 주풍으로 나타났으며 상대적으로 풍속이 매우 높게 나타나고 있으며 무풍빈도 낮아 바람이 일반적으로 많이 부는 것으로 나타났다. 특히 이 시기는

사양 관리 및 사료, 출하와 같은 농장 관리를 위한 다양한 작업이 수행되는 시기로 상대적으로 많은 사람이 농장을 출입하며 많은 축산관련 차량이 이동하는 시기이다. 따라서 이 시기에 부는 높은 유속의 바람으로 인하여 오염된 농장의 동남쪽 풍하측 농장의 위험도가 높을 것으로 추정된다. 해가 진 후 지면이 식은 후 밤 9~12시 사이에서 다시 동풍에서 서풍계열로 풍향이 변화하는 주기적인 특징을 보이고 있다. 특히 서풍계열의 경우 평탄한 바다에서 불어오는 바람의 영향으로 높은 풍속이 형성되는 것으로 나타났다.

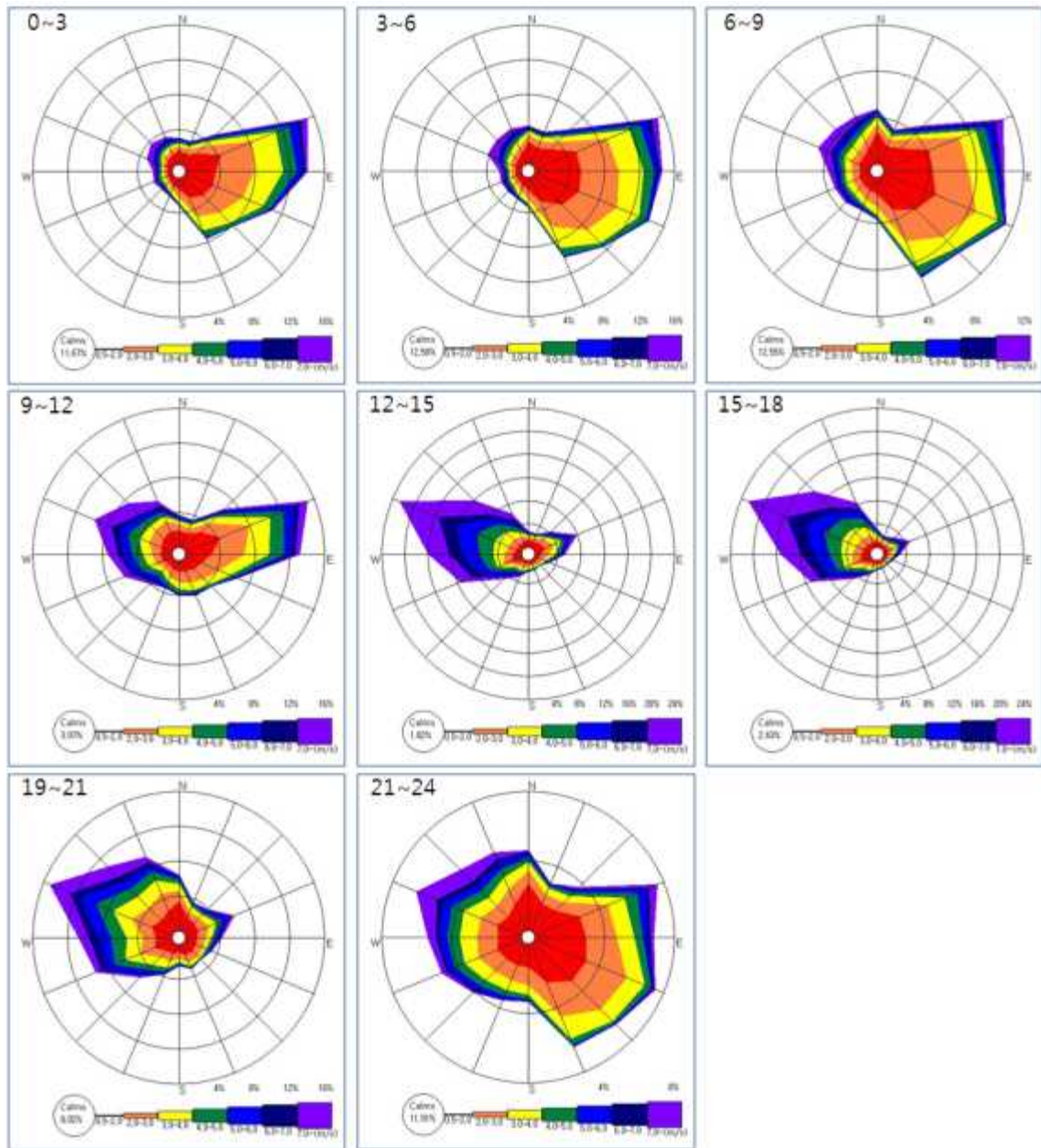


그림 29 군산 20년 데이터를 바탕으로 본 평균 시간별 풍향 및 풍속

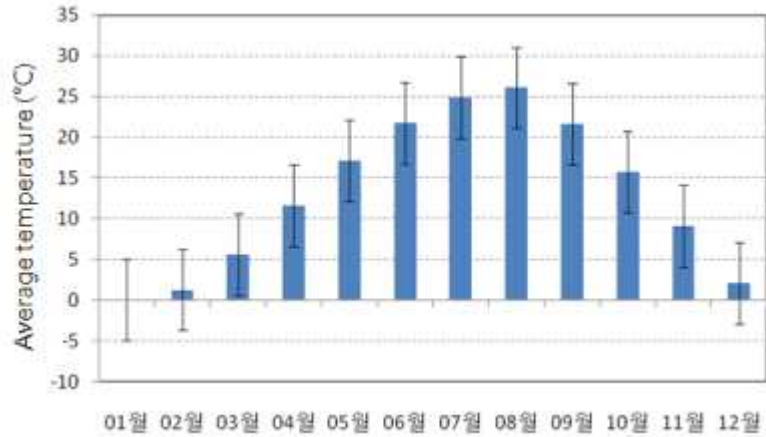


그림 30 20년 평균 월별 평균 온도 및 최대, 최소 온도 변동

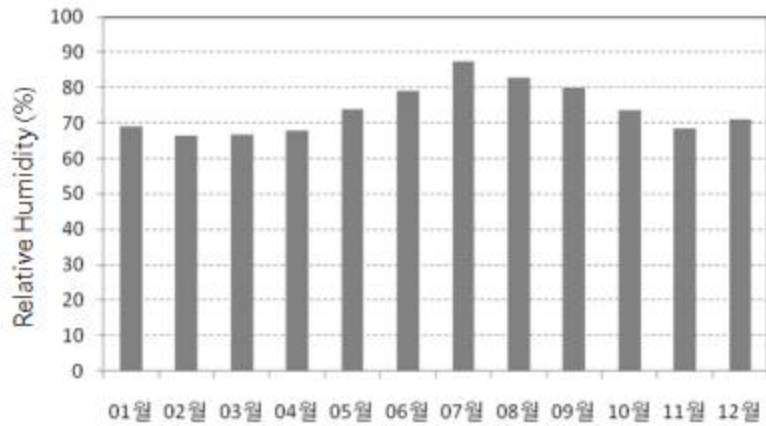


그림 31 20년 평균 월별 평균 상대 습도 변동

(2) 과거 HPAI 발생 시기 기상 분석

그림 32는 HPAI가 발생하였던 2006년 11월의 풍환경을 나타낸 것이다. 2006년의 경우 최다 빈도로 발생한 풍향은 북동풍이었으나 풍속은 4 m/s 미만으로 본 기상 데이터가 지상에서 10m 높이에서 측정된 것을 고려하였을 때, 지상에서의 풍속이 북동풍일 때는 상대적으로 매우 낮았으며, 북풍일 때 높은 풍속이 발생하였던 것으로 나타났다. 발생 시기 평균 약 70%의 상대 습도 및 10도 전후의 온도 및 북풍의 풍향을 나타냈다.

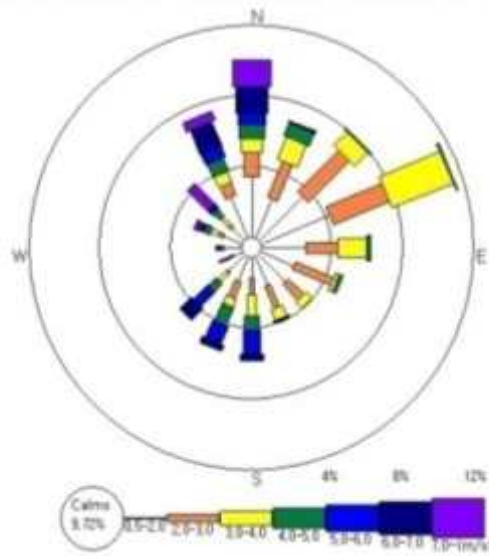


그림 32 HPAI 과거 발생 시기의 풍환경 조사

그림 33~35는 2006년 11월 HPAI가 발생한 시기의 시간별 풍환경을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 해가 뜨기 전부터 막 해가 뜨기 시작하는 8시경까지는 무풍의 빈도가 전체의 약 20~30%로 매우 높아 바람이 크게 불지 않는 것으로 나타났다. 그러나 해가 뜬 후 오전 9시에서 11시까지 서서히 바람의 강도도 증가하였으며 남풍과 북풍이 혼재되어 나타났다. 이는 대기 안정도가 변화하면서 과도기적인 시기로 다양한 풍향이 관측되는 것으로 판단된다. 12시 이후로는 무풍의 빈도가 5% 미만으로 주로 북서풍 계열의 바람이 강하고 지속적으로 발생하였던 것으로 관측되었다. 이 후 오후 4시에서 7시 사이에서는 북풍이 주풍이었으며, 해가 진 후 오후 8시부터는 다시 북동 계열로 주풍이 변화하는 것으로 나타났다.

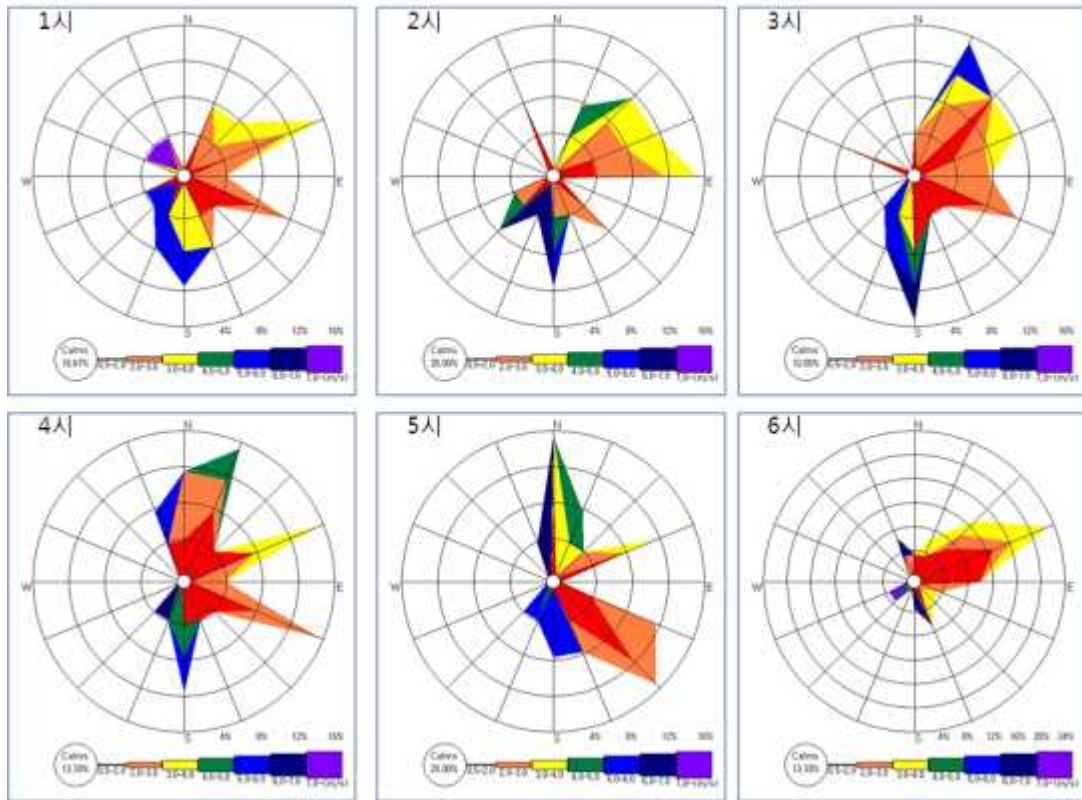


그림 33 2006년 11월 HPAI 과거 발생시기의 시간별 풍환경 분석(1시~6시)

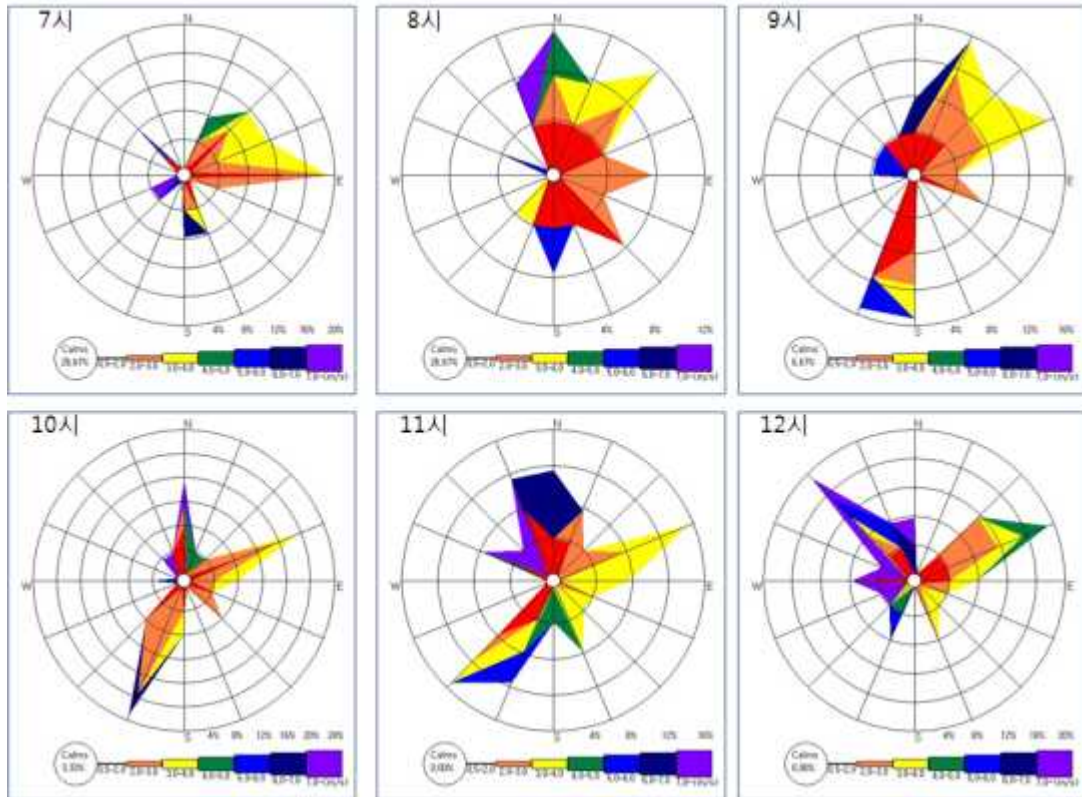


그림 34 2006년 11월 HPAI 과거 발생시기의 시간별 풍환경 분석(7시~12시)

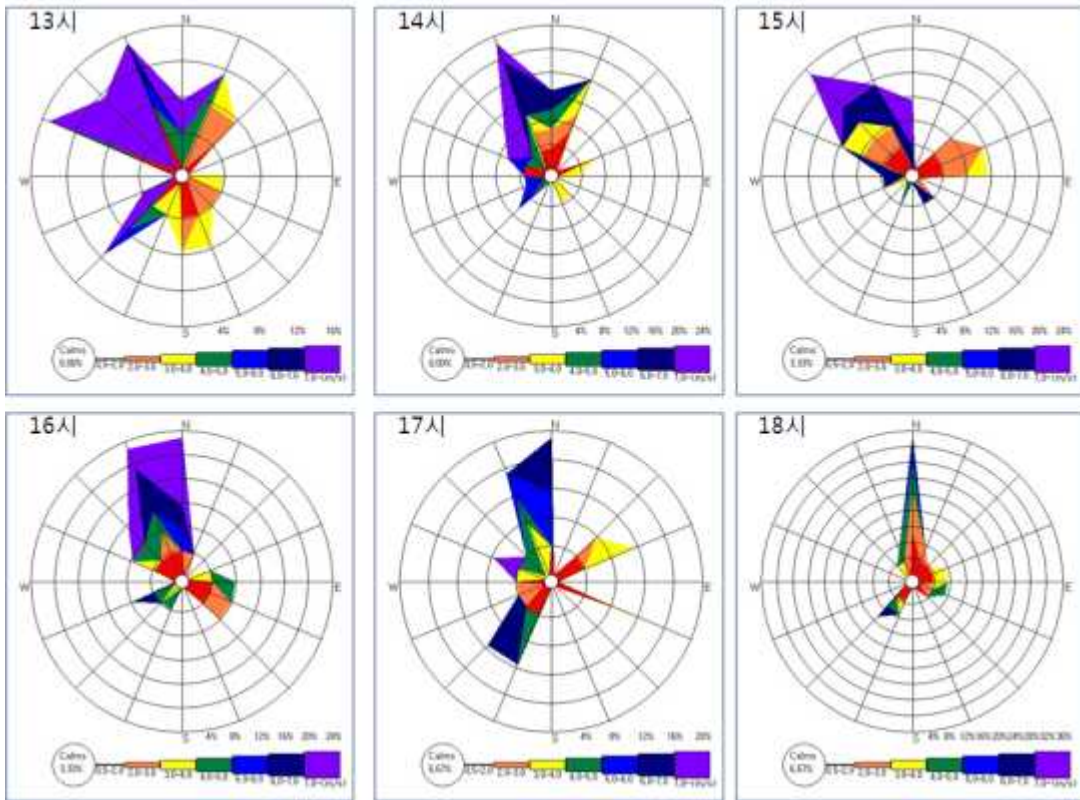


그림 35 2006년 11월 HPAI 과거 발생시기의 시간별 풍환경 분석(13시~18시)

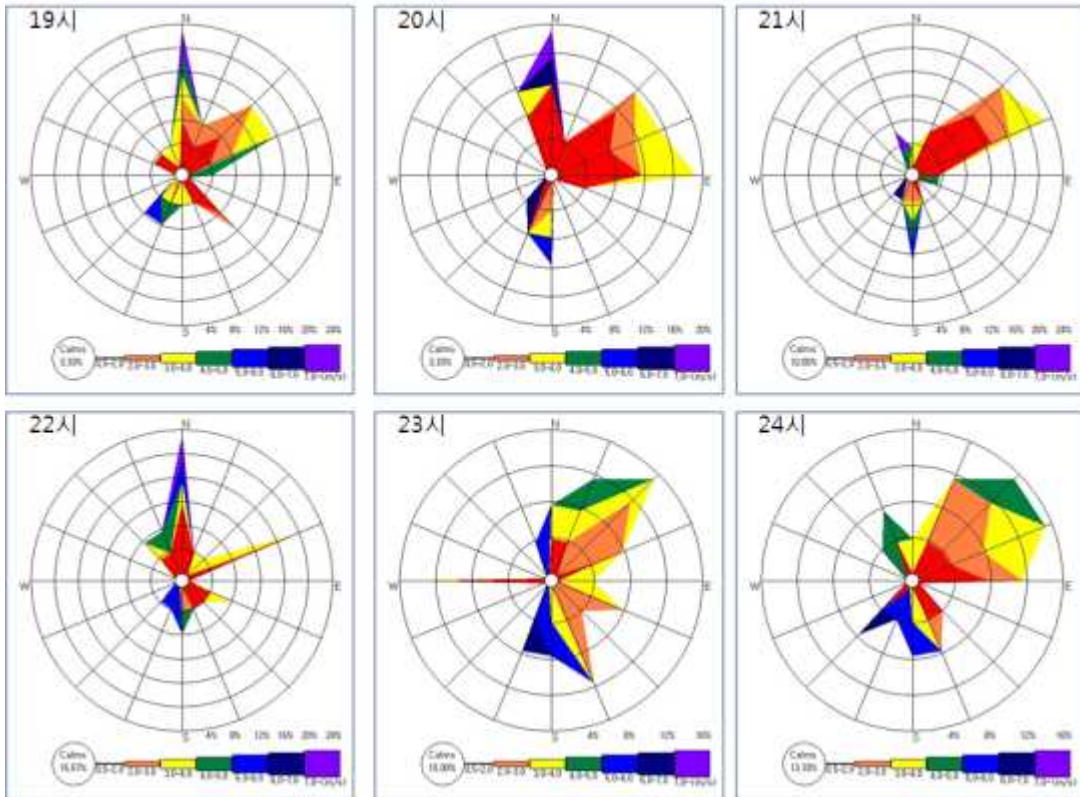


그림 36 2006년 11월 HPAI 과거 발생시기의 시간별 풍환경 분석(19시~24시)

나. 도로 인근 확산 실험

그림 37~40은 Dust spectrometer 로 측정된 실시간 먼지의 농도 분포를 나타낸 것이다. 그림과 같이 도로에서 1m 떨어진 곳에서 측정된 실험 결과 최대 446.4 ~ 최소 32.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보이고 있으며 총 2차례의 농도 상승이 있었다. 해당 지역은 왕복 2차선 도로로 차량이 주기적으로 한 대씩 통과하는 경향을 보이는 한적한 지역으로 각각 2번의 농도 상승은 차량의 이동 시기와 일치하는 것으로 판단된다. 도로에서 4 m 떨어진 곳에서 측정된 실험 결과 최대 292.3 ~ 최소 37.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보였으며, 약 5차례의 농도 상승 구간이 발생하였다. 도로에서 7 m 떨어진 곳에서 측정된 실험 결과 최대 277.4 ~ 최소 38.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보였으며, 총 2차례의 농도 상승이 발생하였다. 도로에서 10 m 떨어진 곳에서 측정된 실험 결과 최대 197.6 ~ 최소 61.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보였으며, 총 4차례의 농도 상승이 발생하였다.

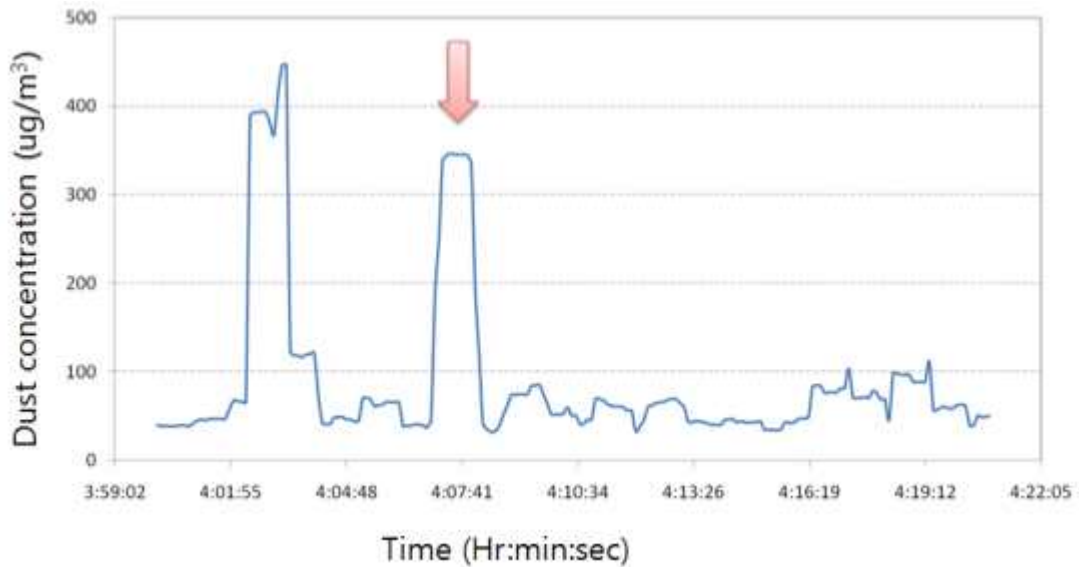


그림 37 도로에서 1m 떨어진 지점의 실시간 먼지 농도 분포

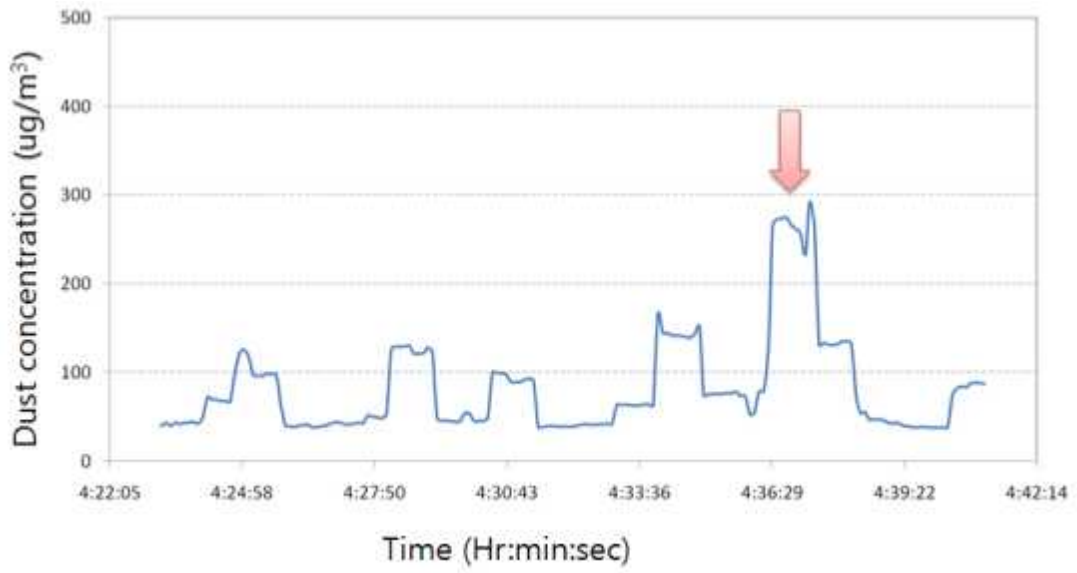


그림 38 도로에서 4m 떨어진 지점의 실시간 먼지 농도 분포

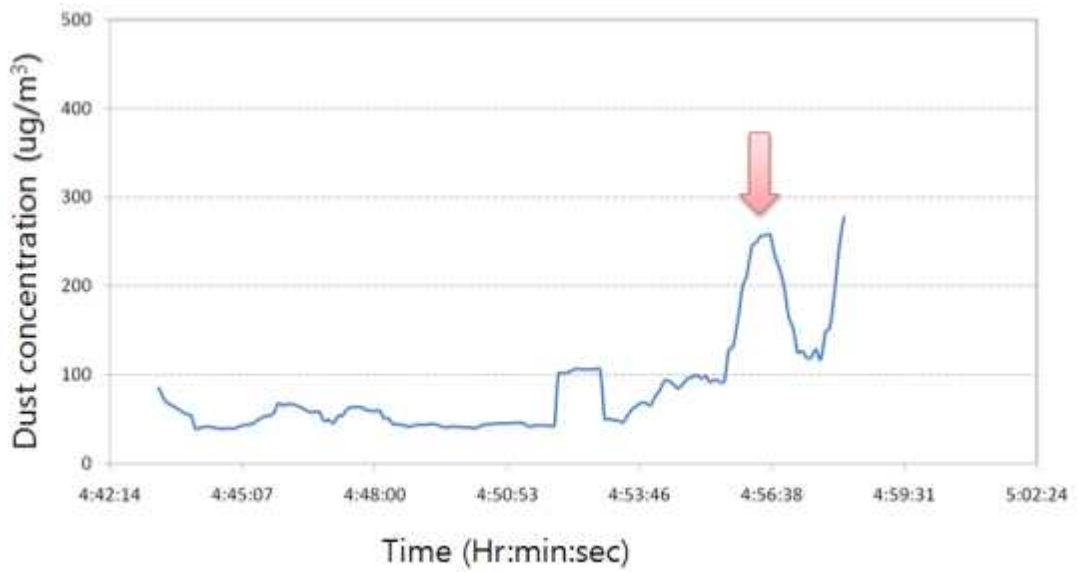


그림 39 도로에서 7m 떨어진 지점의 실시간 먼지 농도 분포

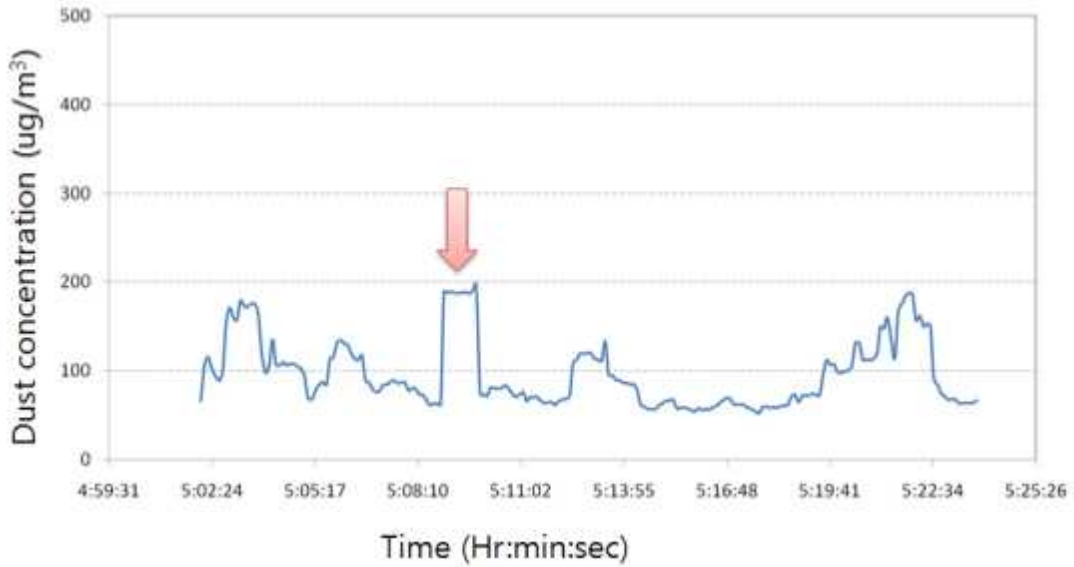


그림 40 도로에서 10m 떨어진 지점의 실시간 먼지 농도 분포

그림 41은 실험 기간 동안의 거리에 따른 총 4 지역에 대한 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}를 나타낸 것이다. 도로에서 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점을 비교한 결과 TSP는 약 9 % 감소하였으나, PM₁₀과 PM_{2.5}의 경우 각각 약 25 %, 약 30 % 증가한 결과를 보였다. 이 결과는 차량이 통과할 경우 차량, 도로 등에서 발생하는 먼지가 차량이 통과하면서 발생하는 바람에 의하여 수송될 때, 큰 입경의 입자의 경우 중력의 영향으로 빠른 속도로 바닥으로 떨어지기 때문에 농도가 다소 감소된 것으로 판단된다. 또한 작은 입자의 경우, 해당 실험 지역이 빈 공간으로써 차량이 동으로 발생한 바람에 의하여 바닥에서 발생한 미세한 분진이 농도가 추가되었기 때문으로 판단된다. 그러나 Dust spectrometer 의 측정 시기가 동시에 이루어지지 못하기 때문에 차량이 지나가는 빈도 및 차량의 종류 등에 의하여 농도에 차이가 발생할 수 있다.

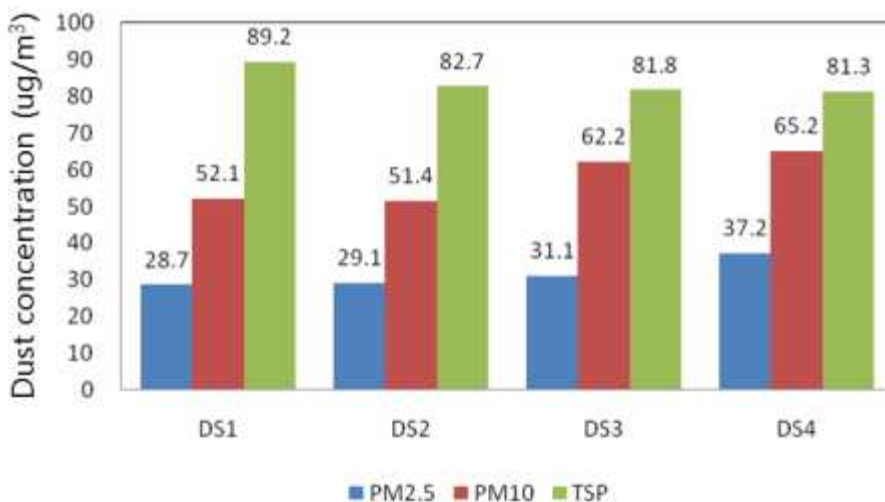


그림 41 거리에 따른 평균 입경별 분포

그림 42는 앞선 그림 42~45에서 화살표로 표시한 부분의 입경별 농도를 나타낸 것으로 실험 기간 동안 차량의 이동이 많지 않았기 때문에 이 시기에는 차량이 이동하는 순간으로 판단된다. 거리에 따른 네 지점에서 PM_{2.5}의 경우 거의 비슷한 수치를 보였으며, PM₁₀은 대체로 감소하는 경향을 보였다. TSP의 경우 도로에서 거리가 멀리 떨어져 있을수록 선형적으로 감소하는 경향을 보였으며, 도로에서 1 m 떨어진 지점과 비교하였을 때, 10 m 떨어진 지역에서 농도가 약 45 % 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 주로 차량이 이동하는 순간에는 10 μm 이상의 큰 입자의 농도가 증가하는 결과를 보였다. 특히 TSP의 농도가 상대적으로 빨리 떨어지는 것은 차량의 이동시 발생하는 입자의 크기가 상대적으로 크기 때문에 중력에 의하여 빠른 시간에 지면으로 강하하였기 때문으로 판단된다.

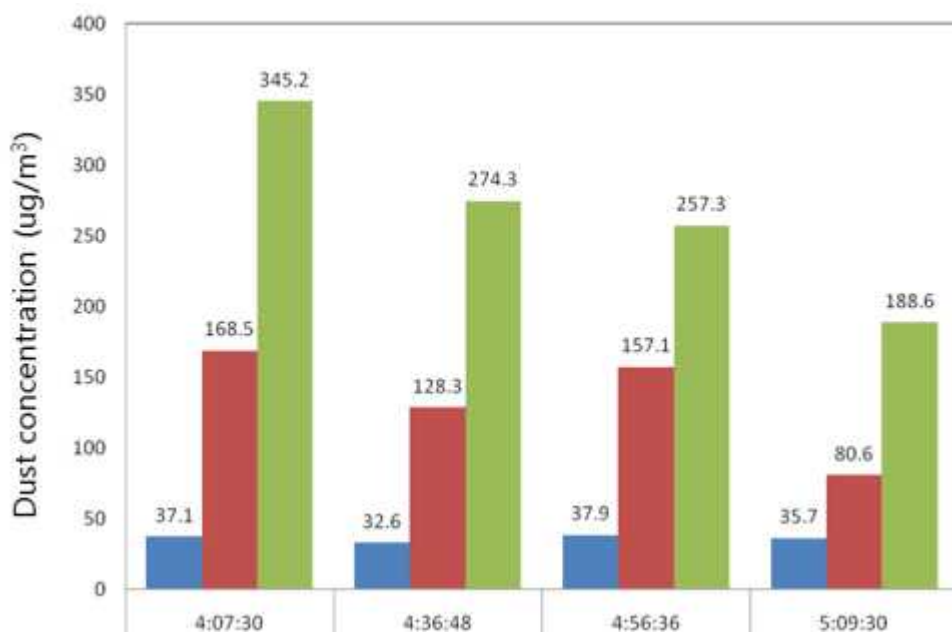


그림 42 차가 지나간 시점에서의 거리에 따른 입경 분포

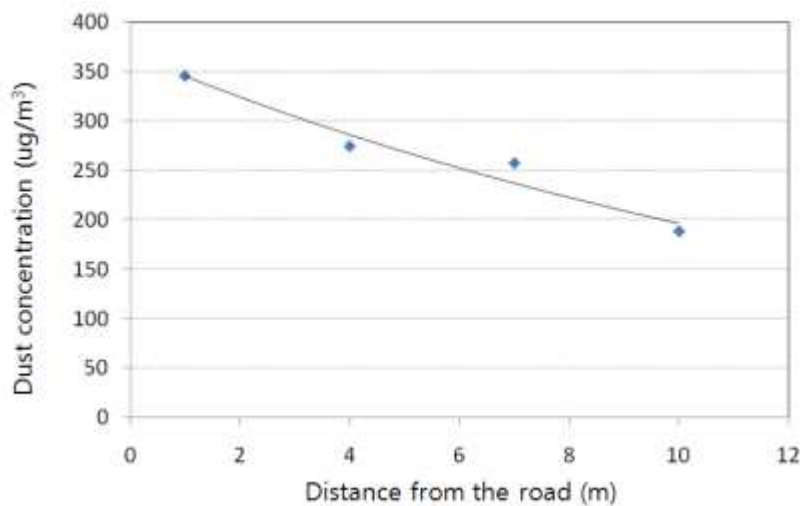


그림 43 차량 이동시 거리에 따른 입경 분포

다. 농장에서 발생하는 공기오염물질 분석

그림 44와 45는 각각 측벽과 끝 벽에서 Dust spectrometer를 사용하여 입경별 농도 분포를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 현재 종계장 내의 닭들의 연령이 높고, 청소할 시기가 가까워져 농도가 상대적으로 더 높을 것으로 추측하였다. 측정 결과 측벽 배기구에서는 최대 약 $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 측정되었으며 PM_{10} 은 전체 농도의 약 11%, $\text{PM}_{2.5}$ 는 약 20%, PM_1 은 약 64%의 누적 농도를 보이는 것으로 나타났다. 반면 끝 벽의 배기구의 경우 용량이 크기 때문에 많은 양의 먼지가 빠른 유속으로 배출되는 것이 눈으로 확인이 가능할 정도였으며, 배기구 뒤쪽 토양 및 웅덩이가 계사에서 배출되는 먼지로 추정되는 입자들로 많이 오염된 것을 확인할 수 있었다. 측정 결과 최대 $42,700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 측정되었으며 약 $28,970 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매우 높은 농도를 나타내었다. 이 중 PM_1 은 약 0.6%, $\text{PM}_{2.5}$ 는 약 4.8%, PM_{10} 은 약 52%의 누적 농도를 보였다. 배기구에서 배출되는 먼지를 포집하기 위하여 페트리디쉬에 테이프를 사용하여 배출되는 먼지를 직접 포집하였으며 이를 농장에서 얻은 완겨 및 사료 샘플과 비교하기 위하여 SEM을 통하여 입자 형태를 비교 분석하였다.

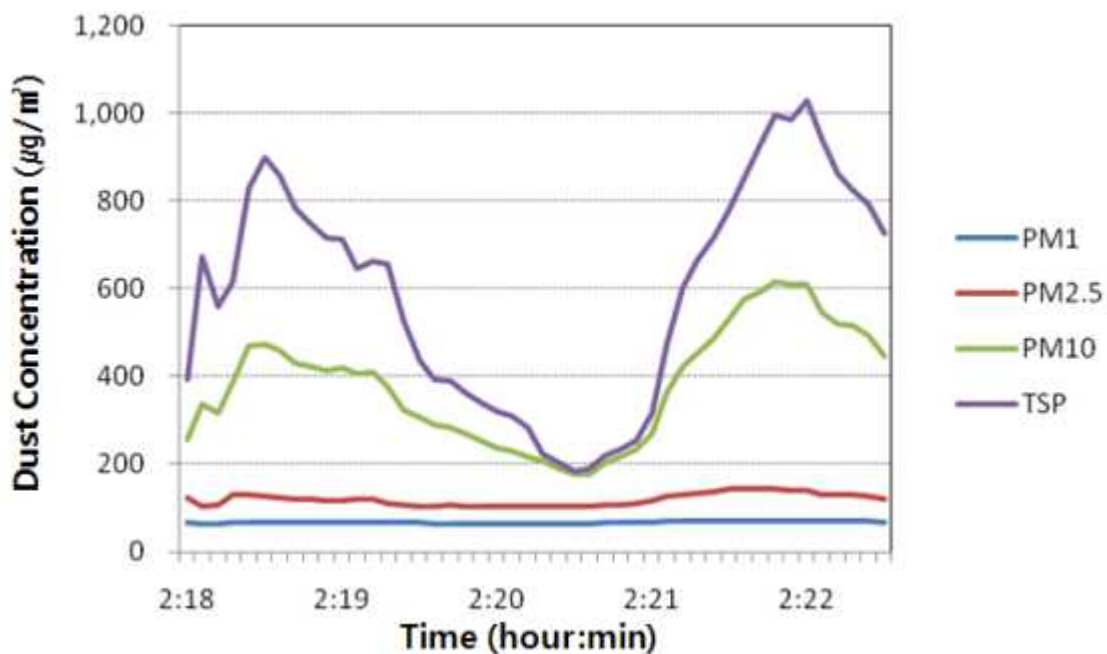


그림 44 측벽 배기구에서 측정된 입경별 농도 분포

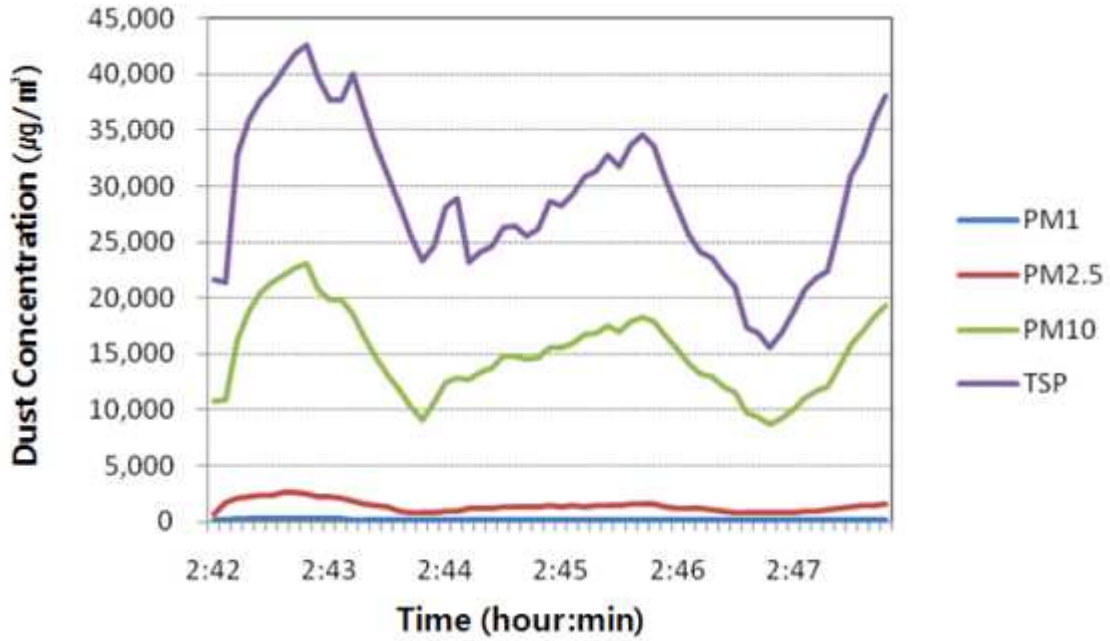


그림 45 끝백 배기팬에서 측정된 입경별 농도 분포

그림 46은 사료 샘플로써, 실제 확산되는 사료 입자를 분석하기 위하여 사료 샘플을 흔들어 날리는 먼지를 동일한 방법으로 채취하여 분석을 시도하였다. 사료 입자는 대체로 10 μm 내외의 입자들이 서로 응집되어 있는 형상을 나타내고 있으며, 주로 구형의 입자가 다수 포함되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 그림 47은 바닥 샘플을 사료와 동일한 방법으로 먼지를 일으켜 채취한 후 SEM으로 분석한 이미지로써, 100 μm 에 가까운 큰 입자보다는 역시 10 μm 전후의 입자를 다수 관찰할 수 있었다. 특히 사료에서 떨어져 나온 것을 추정되는 구형의 입자가 다수 포함되어 있어, 바닥에서 발생하는 먼지 역시 사료에서 떨어져 나온 입자들이 다시 확산될 가능성이 높을 것으로 판단된다.

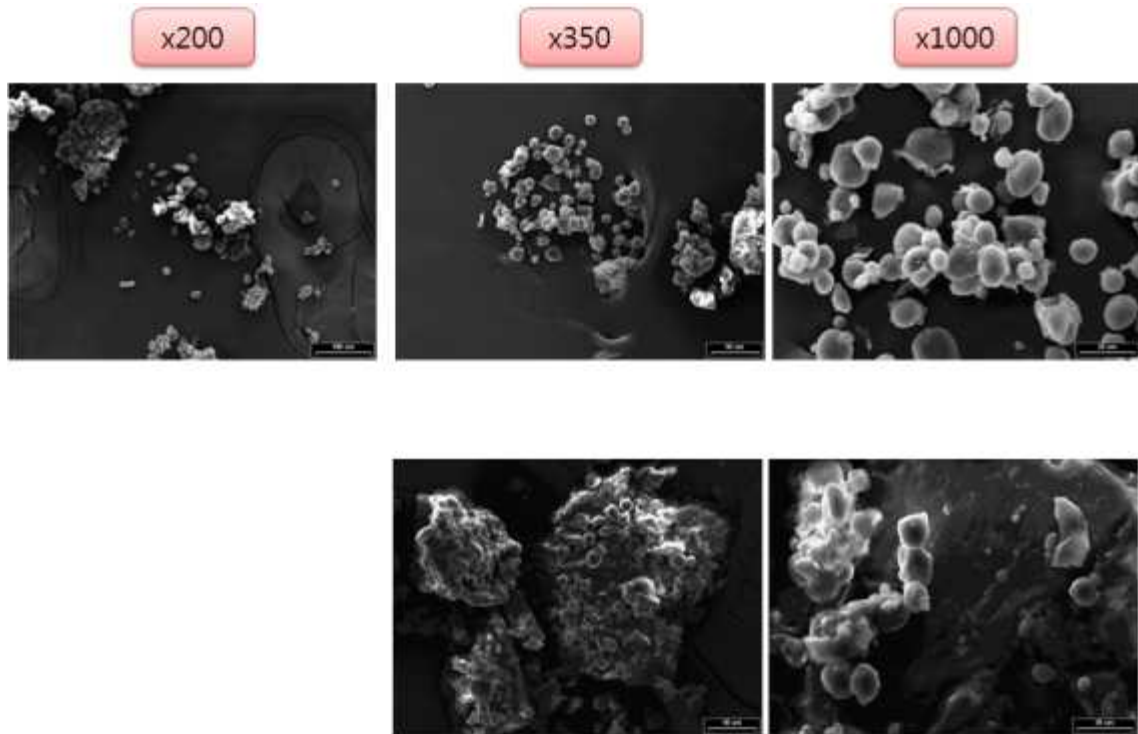


그림 46 사료 샘플의 SEM 이미지 분석

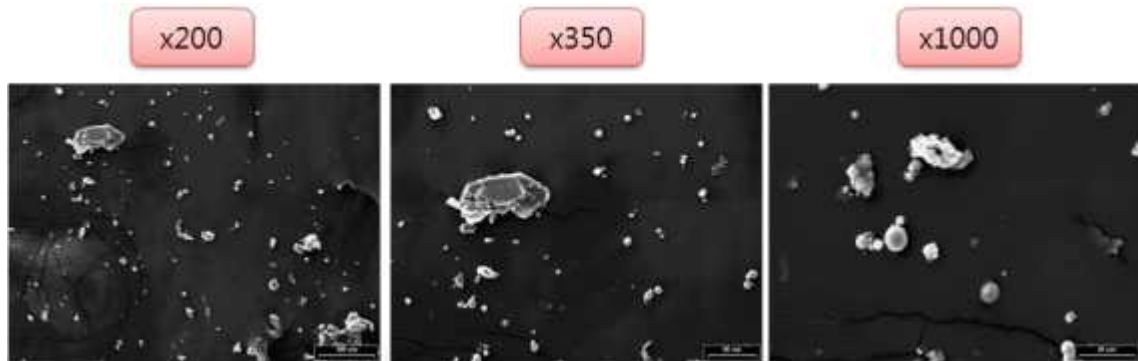


그림 47 바닥 완겨 샘플의 SEM 이미지 분석

그림 48과 49는 각각 두 차례에 걸쳐 측벽 배기팬에서 포집한 먼지 샘플의 이미지를 분석한 결과이다. 200배 이미지에서와 같이 실제로 배기되는 입자의 크기 분포는 매우 다양하며 큰 입자는 약 $10\sim 20\mu\text{m}$ 에 해당하며, 주로 $10\mu\text{m}$ 미만의 미세 입자들의 개수가 많은 것을 확인할 수 있었다. 또한 입자의 형상은 1000배 이미지에서와 같이 구형에 가까우며 사료 샘플에 가까운 것으로 추정된다. 또한 그림 46과 같이 완겨의 부스러기와 사료가 묻쳐있는 것으로 추정되는 입자를 발견할 수 있었다.

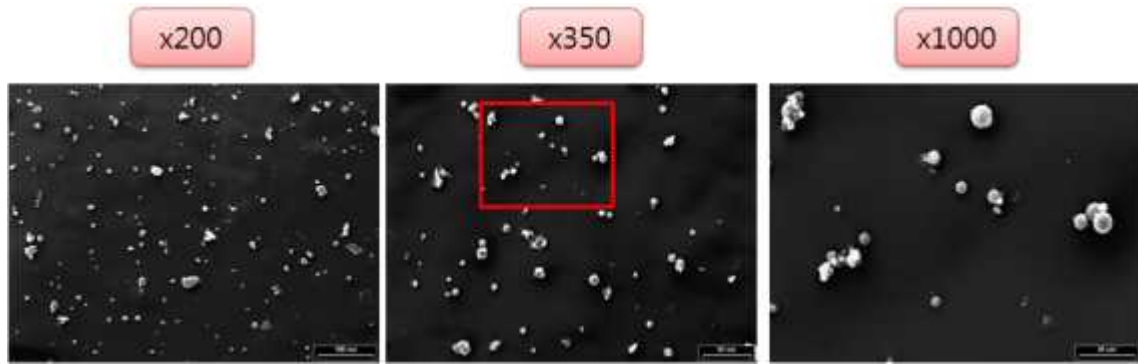


그림 48 측벽 배기팬 샘플의 SEM 이미지 분석

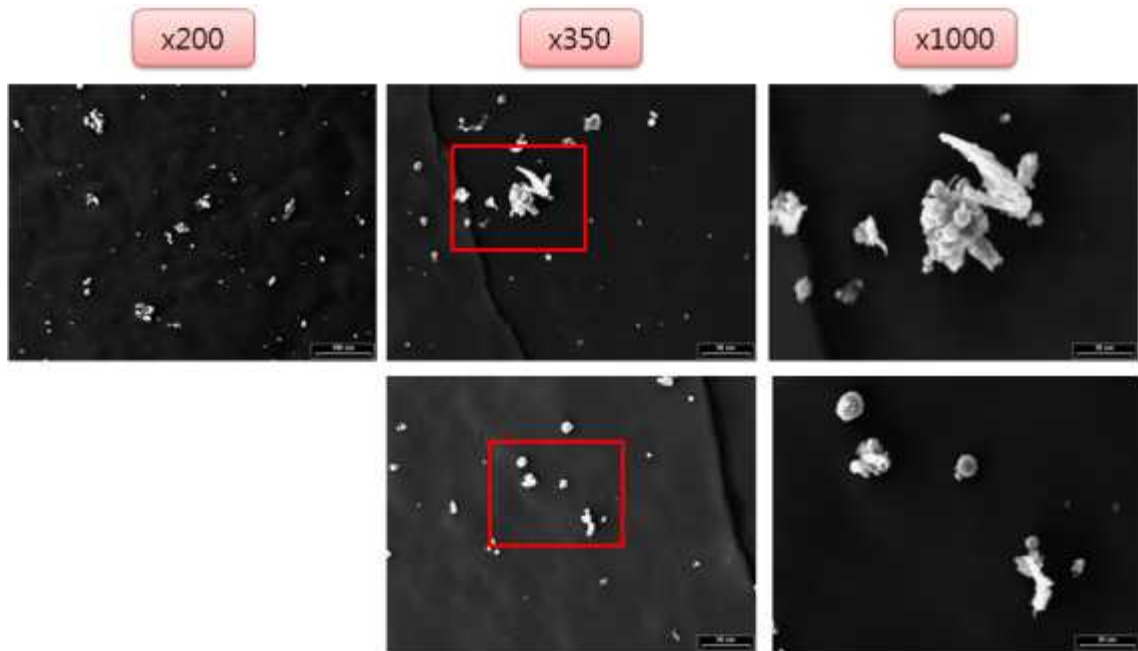


그림 49 측벽 배기팬 샘플의 SEM 이미지 분석

그림 50은 끝 벽에 있는 50인치 대형 팬에서 발생하는 먼지를 동일한 방법으로 채취하여 SEM 이미지를 분석한 결과를 나타낸 것이다. 환기팬의 용량이 측벽팬에 비하여 월등히 높기 때문에 측벽팬에서 채취한 입자보다 훨씬 큰 약 $100\ \mu\text{m}$ 에相当하는 입자도 다수 발견할 수 있었다. 또한 깃털로 추정되는 입자들도 함께 발견되었다. 1000배 이미지를 확인한 결과 다수의 사료 알갱이와 함께 완거나 사료끼리 뭉쳐진 상대적으로 큰 덩어리들을 확인할 수 있었다. 반면 그림 51은 팬에서 약 5 m 정도 떨어져서 먼지를 채취한 후 동일한 방법으로 SEM 이미지를 분석한 결과이다. 상대적으로 입자의 크기가 줄었으며, $50\ \mu\text{m}$ 이상의 입자가 소수 관찰될 뿐 대체로 $10\ \mu\text{m}$ 이하의 작은 입자들이 다수 발견되었다. 그러나 이 경우 역시 배기팬을 직접 받는 위치에서 채취를 하여 깃털이나 사료가 뭉쳐진 샘플들을 발견할 수 있었다.

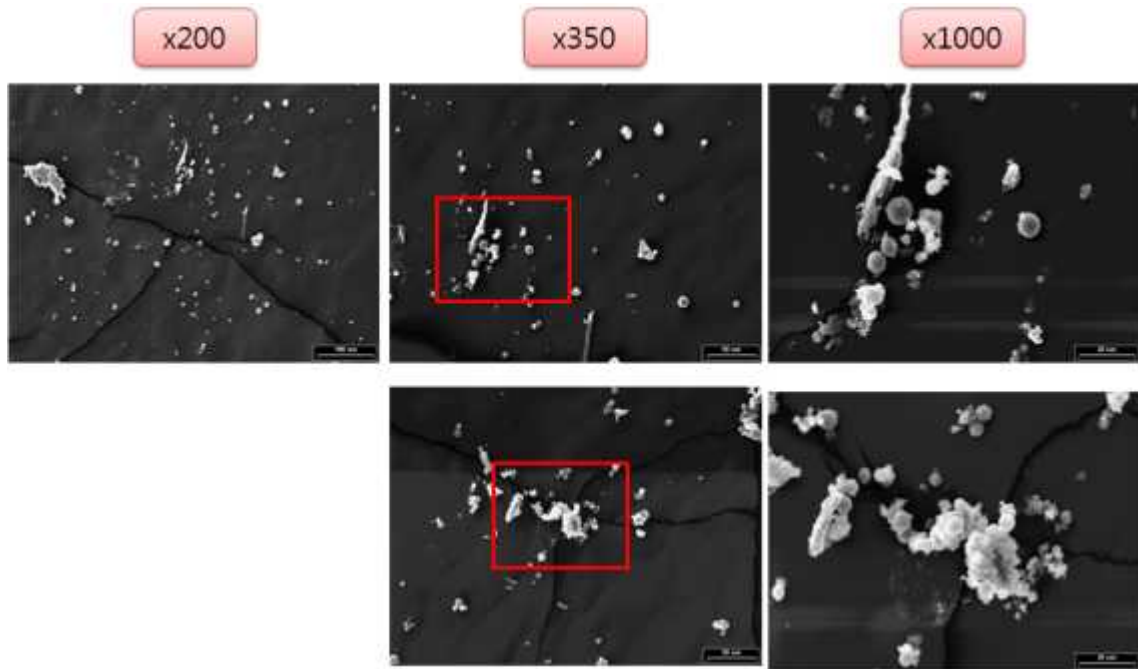


그림 50 끝벽 배기팬 근처에서 포집한 샘플의 SEM 이미지 분석

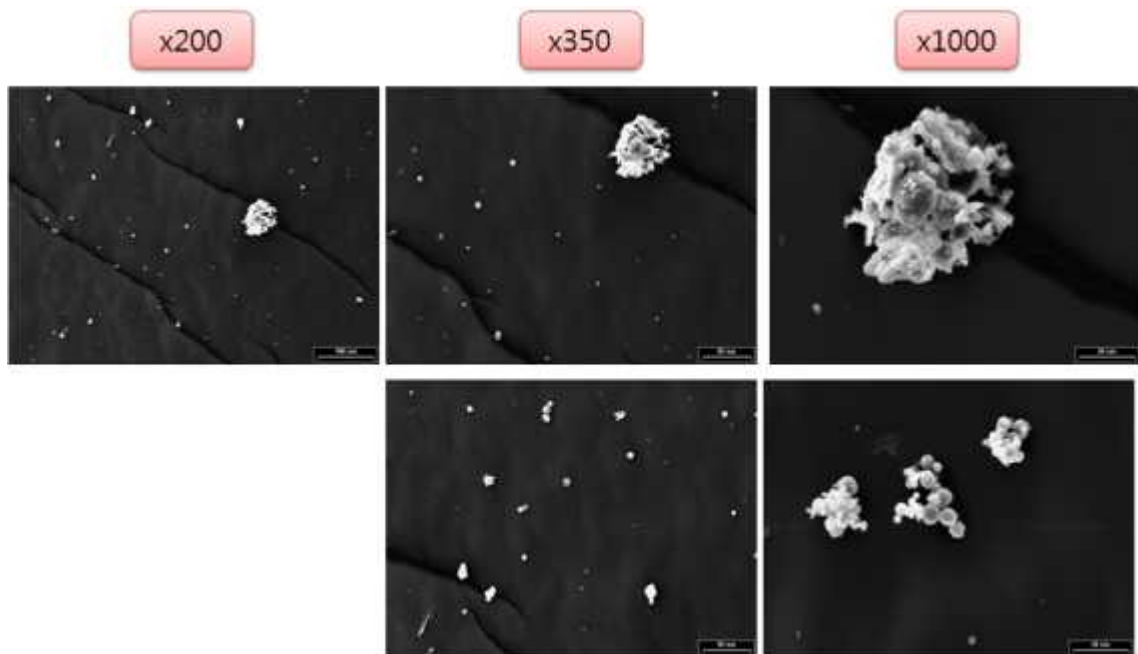


그림 51 끝벽 배기팬에서 약 5m 후방에서 채취한 샘플의 SEM 이미지 분석

현장에서 채취한 사료 및 바닥 환경의 성분을 분석하였다. 배기팬 및 측벽팬을 통하여 배출되는 먼지 중 대다수를 차지하는 것은 입자의 크기가 $10\ \mu\text{m}$ 이하의 미세 입자들이다. SEM을 통한 분석 결과 바닥의 환경의 경우 입자의 크기가 상대적으로 크며, 사료에서 나오는 입자들이 상대적으로 미세 입자인 것으로 나타났다. 그림 52는 샘플의 밀도를 측정하기 위하여 사용된 Gas pycnometer(Humipyc, InstruQuest Inc.)로 고체 시료를 넣기 전과 후의 부피를 측정함으

로써 절대 밀도를 측정한다. 부피 측정을 위하여 헬륨등과 같이 비활성 기체를 이용하여 그 압력을 측정하기 때문에 용기안의 시료의 부피를 정밀하게 측정할 수 있다. 이 부피와 저울로 측정한 샘플의 질량을 바탕으로 하여 밀도의 계산이 가능하며 정밀도는 오차범위 $\pm 0.01\%$ 를 나타낸다. 그림 53은 샘플의 성분을 분석하기 위하여 사용된 WD-XRF(Rigaku, ZSX 100E, Japan)으로 원소 정량 정성 분석을 위하여 사용된다. X-선을 샘플 시료 표면에 조사하여 시료에서 발생하는 X-선의 파장을 분리함으로써 시료 내에 원소들을 정성적 및 정량적으로 분석하는 장치로 전 원소를 동시에 분석이 가능하다.



그림 52 밀도측정 장비
(Gas pycnometer)



그림 53 성분분석 장비 (WD-XRF)

샘플 시료의 분석 결과 표 13과 같이 나타났다. 모든 실험은 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$, 60 % 이하의 상대습도에서 측정된 결과이다. 특히 성분 분석의 경우 시료를 균일하게 분쇄하여 XRF 장치의 RP 방법으로 정성 분석한 결과이다. 사료의 경우 약 1400 kg/m^3 을 바닥 완겨의 경우 약 1900 kg/m^3 의 밀도를 나타내었다. 두 시료 모두 칼슘 및 칼륨의 비율이 높은 것으로 나타났다. 또한 사료에는 존재하지만 바닥 완겨에는 존재하지 않는 물질 및 반대의 경우 역시 분포량이 미량이기 때문에 indicator content로써 사용하는 것은 어려울 것으로 판단된다. 그러나 Ca 및 K의 밀도 차이가 크기 때문에 추후 인근의 토양 샘플 등의 분석 시 Ca 및 K의 전체 함량비를 활용하여 발생원을 추정하는데 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 13 샘플 시료의 성분 분석 및 밀도 분석 결과

성분	사료 (Unit:wt%)	바닥 완겨 (Unit:wt%)
Ca	49.14	65.46
K	30.89	20.65
Fe	5.40	2.14
Zn	4.59	1.40
Mn	3.99	1.72
Cu	1.51	0.320
Cl	1.13	2.47
P	1.06	2.58
S	0.926	2.06
Cr	0.468	-
Ni	0.362	0.060
Sr	0.339	0.166
Br	0.121	0.043
Si	0.030	0.804
Mg	-	0.027
Al	-	0.014
Rb	-	0.053
밀도	1.3879 g/cc	1.8926 g/cc

라. 전산유체역학 시뮬레이션 모델 개발

(1) 연구 대상지역에 대한 3차원 계산 영역 설계

연구 대상 농장의 위치에 대한 그림을 바탕으로 국토해양부에서 관리하는 국가지리정보유통망 (www.ngic.go.kr) 홈페이지를 통하여 해당지역에 대한 1:5000 상세지도를 구매하였다. 해당 수치지도에는 철도, 하천, 도로, 건물, 지류, 시설, 지형, 행정구역 등의 많은 정보를 포함하고 있다. 따라서 그림 54와 같이 국토 이상의 주요 도로, 하천, 축사의 정확한 위치를 파악하기 위한 건물, 주곡선, 간곡선 등을 추출하였다. 그리고 그림 28과 같이 농장 및 건물 레이어를 살린 후 지도 및 농장 주소, 농장 정보를 바탕으로 정확한 위치를 추정하였다. 이를 바탕으로 별도의 레이어를 생성하여 농장에 해당하는 정확한 위치를 추출하였다. 이는 추후의 농장 규모를 고려한 모델링에 사용될 수 있다. 지도상에서 확인한 결과 실제로는 더 많은 농장이 있는 것으로 추정

된다. 그러나 모든 농장을 연구 대상으로 고려하는 것은 불가능하며, 다른 세부과제와의 연계를 위하여 역학조사 결과를 확보할 수 있었던 농장들을 지정하여 이를 모델링 대상 농장으로 선정하였다.

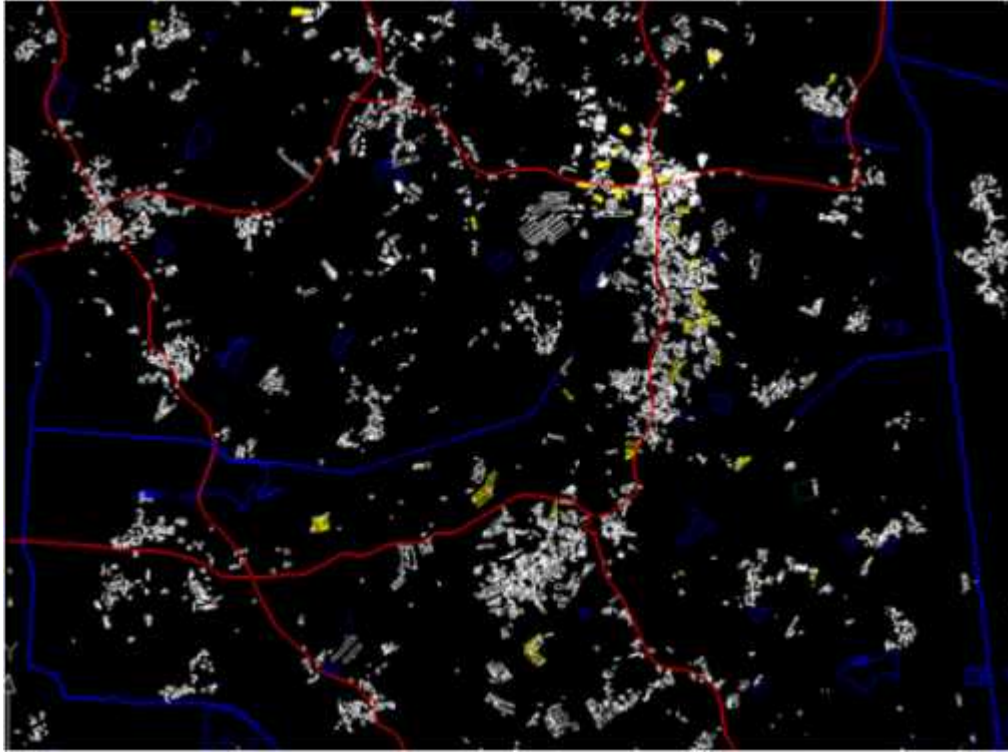


그림 54 하천, 도로, 건물 추출한 수치지형도

그림 55는 전체 수치지형도 중에서 지형도만을 추출한 결과이다. 최초의 지도에서는 남동쪽, 북서쪽에 위치한 논이 고도가 5m 로 지정되어 사각 블록 형식으로 등고선이 나타나 있었다. 그러나 실제로는 평지에 해당하는 부분이므로 전산유체역학 모델링 설계에 용이하도록 해당 지역의 등고선을 일부 삭제하였다. 그림 56은 앞서 선정한 총 39개 농장의 주소를 바탕으로 추정된 농장의 위치와 호수 및 연못지역, 해당 지역에 대한 주도로를 추출한 레이어를 보여준다. 도로의 경우 2개의 라인이 평행하게 표시되어 있으나 완전하게 평행으로 나타내어져 있지 않으며, 선이 중간에 분할되어 있으며, 복잡하게 굴곡이 나타나져 있다. 따라서 이를 모델에서 구현하는 것이 무척 곤란하므로 추후 시뮬레이션 모델을 설계할 시에는 단일한 선으로 나타낸 후 이를 평행하게 복사하여 면 발생지를 설계하고자 한다. 호소의 경우 논 정보와 중복되는 경우가 있으며 모양이 복잡하기 때문에 추후에 RHINOCEROS에서 주요 호소를 인공위성 사진을 통하여 실제 지형과 비교해 가면서 추출할 필요가 있다. 농장의 위치는 추출하였으나 모양이 복잡하므로 각 농장의 계사 하나하나를 시뮬레이션 하는 것은 의미가 없으므로 농장 단위로 묶어서 시뮬레이션에 적용하고자 하였다. 이를 위하여 RHINOCEROS에서 별도로 clustering 작업이 필요하였다.



그림 55 연구 대상 지역의 지형도

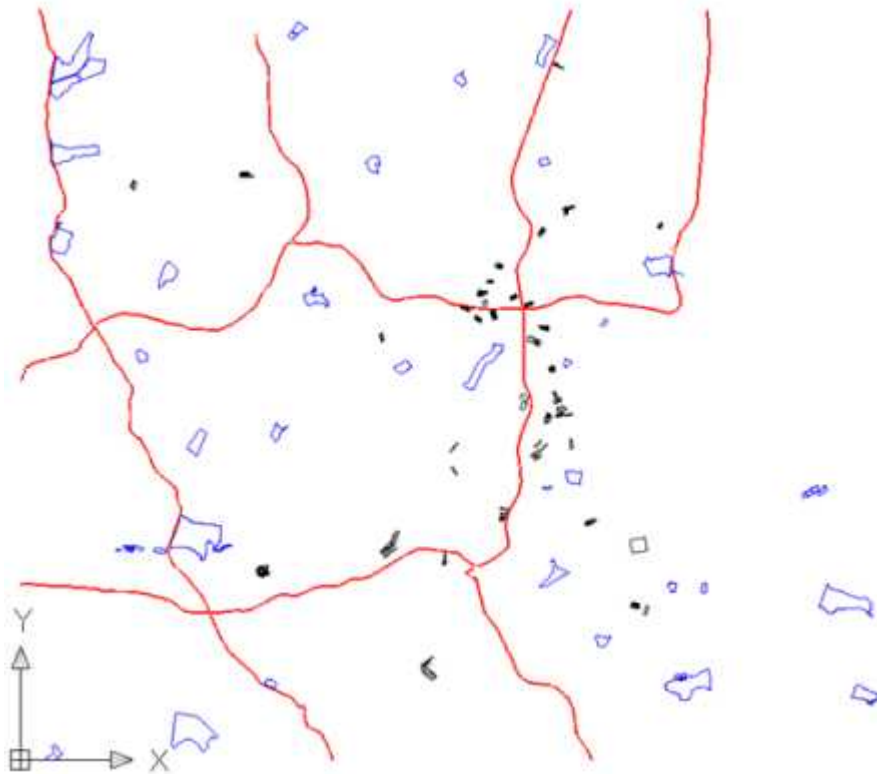


그림 56 농장, 도로, 호수영역을 추출한 수치지형도

그림 57은 SCETCHUP 프로그램을 사용하여 등고선을 3차원의 면으로 생성하기 위하여 TIN (triangular irregular network)를 생성한 후의 이미지를 나타낸 것이다. 등고선은 2차원의 정보이기 때문에 이를 사용하여 3차원의 격자를 생성하는 것이 불가능하기 때문에 이와 같은 3차원 바닥지형이 모델에는 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 TIN 망을 작성하는 과정에서 평지의 경우 지면이 완만하게 형성되지 못하고 큰 삼각형을 사용하게 되어 지면이 왜곡되는 현상이 발생하였다. 이는 실제로는 구름이 끝나고 평지가 되어야 하나 삼각형이 연결되는 노드가 없어서 평지의 맞은편에 위치한 노드와 인위적으로 연결함으로써 완만한 경사를 가지는 삼각형이 형성되어 평지의 일부가 왜곡되었다. 따라서 이를 해결하기 위하여 왜곡된 평지에 형성한 TIN의 일부를 삭제하여 고도 0을 가지는 평면으로 고려될 수 있도록 하였다. 생성된 3차원의 지면은 RHINOCEROS 프로그램을 사용하여 면의 분할 작업을 수행하였다. 이를 위하여 바닥면에 도로, 호수, 농장 레이어를 추가하였다.

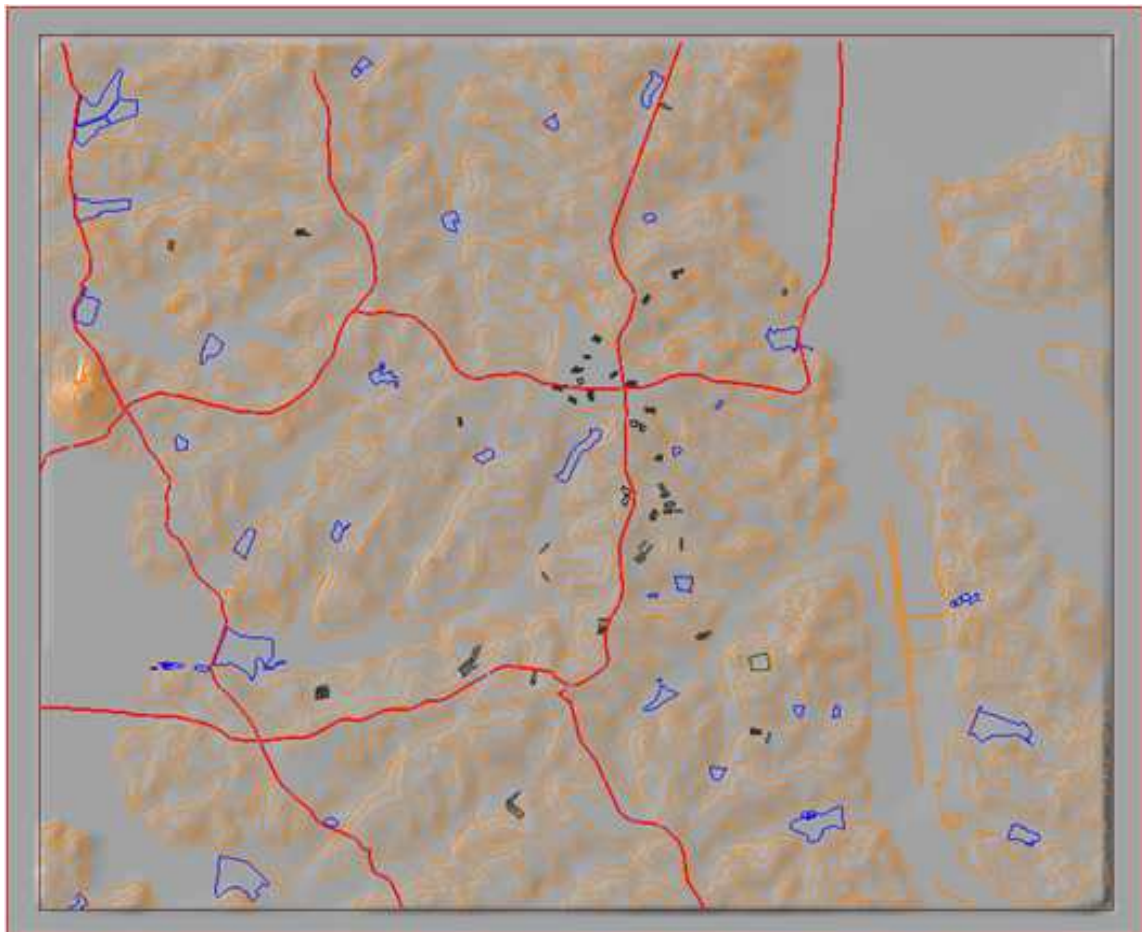


그림 57 도로, 등고선 등을 오버랩한 TIN 3차원 지면

(2) 방풍림 모델 적용 방안

본 전산유체역학 모델에서는 5 m 높이의 방풍림을 가정하였다. 방풍림의 효과를 나타내기 위하여 숲 지역에 대한 볼륨을 별개로 설계한 후 해당하는 볼륨을 다공성 매체 (porous media)로 가정하였다. 선행 연구사례를 바탕으로 한 방풍림 실험결과를 바탕으로 하여 aerodynamic porosity 91.76%, Drag coefficient (CD)는 0.55를 숲의 다공도로써 가정하여 입력하였다. 그림 58은 다공성 매체로 가정한 숲에서 적용되는 모멘텀 방정식의 생성항(source term)을 나타내는 것이다. 생성항은 크게 난류 손실항과 관성 손실항으로 나눌 수 있다. 이 중 난류 저항 계수(viscous resistance coefficient)는 Darcy's law로 계산이 가능하며, 다공성 매체 내부를 층류로 가정하여 유속에 따른 압력의 감소값을 계산한다. 관성 저항계수 (Inertial resistance coefficient)은 유체 흐름 방향을 따라 길이에 따른 감소량을 나타내므로 본 시뮬레이션과 같이 숲의 크기가 다를 경우 그 효과를 나타내는 데 적합할 것으로 판단된다.

$$Aerodynamic\ porosity = \frac{Average\ velocity\ at\ leeward}{Average\ velocity\ at\ windward} \quad (13)$$

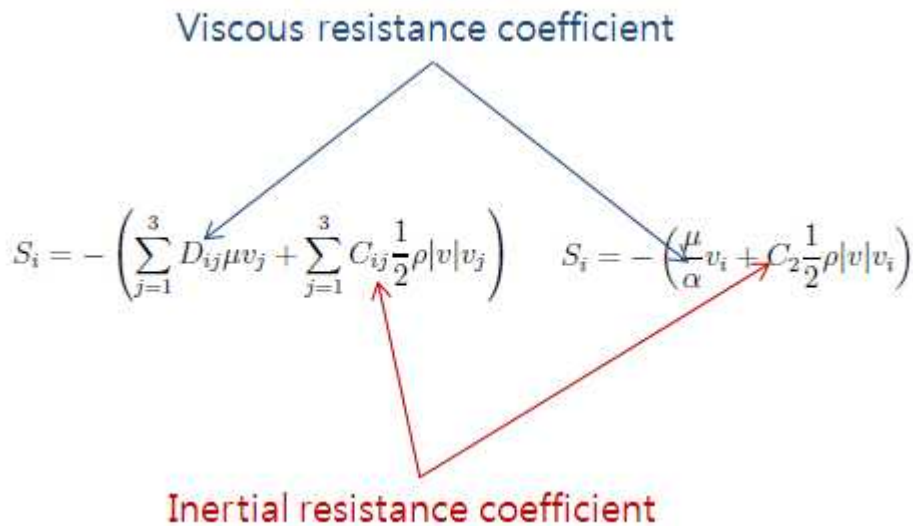


그림 58 전산유체역학 모델에서의 porosity 적용방안

전산유체역학 모델을 위하여 도로, 호수, 농장 이외에도 숲, 산과 같이 나무를 고려하는 것이 중요하다. 이는 나무가 우거진 부분은 방풍림의 효과를 가질 수 있으므로 지면 근처의 유동을 변화시킬 뿐 아니라 축산시설에서 발생하는 공기오염물질의 확산현상에 중요한 역할을 하므로 이를 고려할 필요가 있다. 그러나 이는 지도상에 표시되어 있지 않으며 그 분포가 매우 산발적이다. 따라서 그림 59와 같이 인공위성 지도에서 육안으로 확인하여 농장 인근 및 많은 나무가 있는 위치를 중심으로 지도에 직접 표기하여야 한다. 나무의 경우 수종이나 밀도 등에 따라서

그 영향이 달라지나, 본 연구 규모에서는 이와 같은 영향을 무시하였으며, 모든 분포 지역의 나무는 높이 5m 로 동일함을 가정하였다. 나무의 다공성의 경우 참고문헌을 통하여 0.2~0.5를 사용하고자 하였다.

나무가 있는 지역을 추출하기 위하여 우선 전체 인공위성 이미지를 바탕으로 녹색을 분리하는 방법을 고려하였다. 그러나 나무가 단일한 색으로 분리될 수가 없으며, 인근의 논, 밭, 연못 등 녹색과 겹치는 지역이 많기 때문에 이를 효과적으로 처리하는 것이 곤란하였다. 또한 어디까지를 나무가 있는 지역으로 할 것인지에 대한 기준을 세우기가 어려우며, 모델링을 위해서는 단순화 작업이 필요하기 때문에 수치 지도의 원본을 바탕으로 다른 레이어는 연두색 동일화 한 후 실제 인공위성 이미지와 지도상에 표시되어 있는 건물의 위치, 논, 밭, 도로, 호수의 위치등이 수치지도상에 비교적 상세히 표시되어 있기 때문에 이를 직접 비교하여 빨간색의 나무 레이어를 지형을 따라서 비교적 정확한 위치에 단순화하여 생성할 수 있었다 (그림 59). 이 때 숲에 해당하는 선은 가급적 한 선분의 길이가 10m 이상으로 완만하게 하여 추후 격자형성시 문제가 발생하지 않도록 고려하였으며, 선분사이의 각이 가급적 지나치게 예각이 되지 않도록 간소화 하였다. 연구 대상 영역은 모든 농장을 아우를 수 있는 크기를 선정하였다. 이를 위하여 최종적으로 반지름 2800 m 원을 사용하여 모든 농장이 포함될 수 있는 영역을 선정하였다 (그림 60). 연구 대상 영역을 선정한 원을 바탕으로 하여 인공위성 사진 (Daum skyview)을 사용하여 숲으로 판단되는 지역을 추출하기 위하여 별도의 레이어를 생성하였다. 이 때 숲에 해당하는 선은 가급적 한 선분의 길이가 10m 이상으로 완만하게 하여 추후 격자형성시 문제가 발생하지 않도록 고려하였으며, 선분사이의 각이 가급적 지나치게 예각이 되지 않도록 간소화 하였다. 실제 숲은 사진에 있는 것과 다르게 확장, 또는 축소될 수 있으므로, 가급적 밭, 논, 건물, 도로 등을 기준으로 면을 생성하였다.



그림 59 나무 밀집지역 추출을 위한 인공위성 사진 및 단순화 작업



그림 60 계산영역의 설계 및 모든 레이어 추출 결과

추출된 나무가 있는 지형 레이어를 RHINOCEROS로 불러와 기존의 3차원 지형에 오버랩 하였다. 이 때 정확한 위치를 조절하는 것이 어렵기 때문에 추출 시 총 6장의 지도의 외곽선에 해당하는 사각형 중 두 개를 함께 추출하여 지형의 위치를 정확하게 맞추어 주어야 한다. 또한 CAD 에서 만들어 놓은 선을 추출할 경우 필요한 선만을 새로운 파일에 복사하여 파일의 용량을 줄일 수 있으며, 이를 통하여 파일을 용이하게 다룰 수 있다. 또한 바닥의 지형을 분할하는 과정에서 계산 영역의 경계면에 있는 호수, 나무의 경우는 내부 계산 결과에 큰 영향을 주지 않을 것으로 가정하여 무시하였다. 이를 통하여 경계면에서의 격자를 설계하기 용이하도록 하였다 (그림 61). 분할이 필요한 면이 많으므로, RHINOCEROS에서 각 레이어들을 삽입 할 때마다 고도를 미리 차등적으로 배치되도록 이동을 시킴으로써 각 레이어의 선택이 용이하도록 하였다. 우선 호수와 계산 영역에 해당하는 지역에 대한 분할을 실시하였으며, 총 161개의 면으로 분할이 되었음을 확인할 수 있었다.

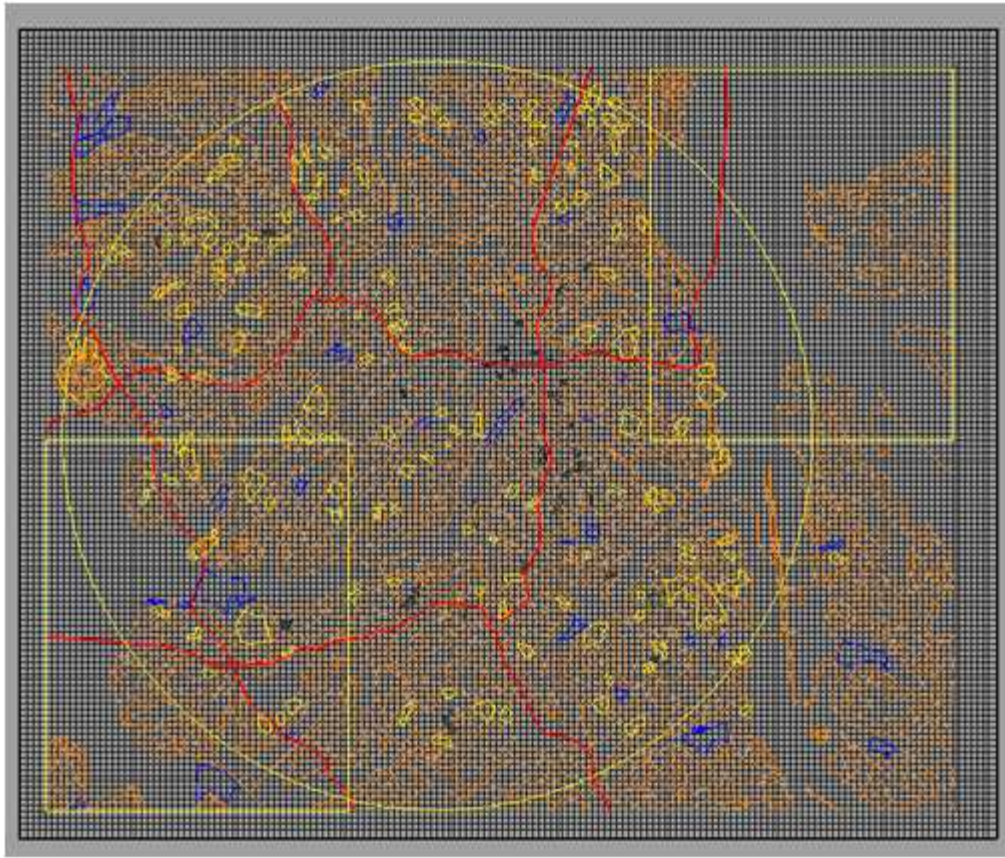


그림 61 도로, 농장, 호수, 나무밀집지역 레이어들을 포함한 3차원 지형도

(3) 규모별 농장 모델링 방안 마련

농장을 단순화하기 위해서 농장의 위치를 기준으로 하여 사각형을 사용하려고 하였으나 다른 분할된 면과의 차이가 뚜렷하지 않을 뿐 아니라 농장의 배치에 따라서 사각형 구조를 사용하기 어려운 경우가 많이 있었다. 특히 농장의 배치도가 실제 농장의 규모와 차이가 많이 나기 때문에 무조건적으로 농장 배치만으로 크기를 정할 경우 발생량을 조절하는데 어려움이 있을 것으로 판단되었다. 따라서 모든 농장에 대하여 공통적으로 원형의 발생원을 가정하였다. 또한 원형 발생원의 크기는 추후 확산 모델링에서 농장별 공기오염물질의 배출량을 나타낼 수 있으므로, 표 14와 같이 농장의 사육두수에 대한 실제 데이터를 바탕으로 하여 크기에 따라서 비례적으로 적용하기로 하였다. 총 39 개 농장의 사육두수는 국립수의과학검역원에서 조사한 보고서를 바탕으로 최소 4,000 수에서 최대 151,000 수로 평균 25,121 수였다. 따라서 평균값과 가장 비슷한 25,000 수 규모의 E-13 을 기준으로 농장의 크기에 따라서 생성하는 면의 크기를 다르게 조절하였다. 이를 통하여 기준 농장에 비하여 부피비를 기준으로 최소 0.16 배에서 최대 6.04 배의 농장별 차이가 있었으며, 이를 반지름으로 환산한 결과 최소 0.4 배에서 2.46 배의 농장별 차이를 보였다. 이를 바탕으로 RHINOCEROS에서 농장을 분할하는 과정에서 정확한 수치를 입력함으로써 농장의 규모별 발생량을 고려할 수 있도록 하였다. 그러나 이 경우 그림 62와 같이 농장의 일부가 매우 밀집한 경우 원형의 면적이 중첩되는 경우가 발생하였다. 따라서 농장의 위치를

다소 이동시킴으로써 이를 해결하고자 하였다. 특히 해당하는 지역은 인근에 나무나 호수 등이 없는 평지이기 때문에 모델링이 가능하도록 하기 위하여 도로, 인근 농장과와의 거리를 다소 여유를 주고자 하였다.

표 14 농장의 사육두수에 따른 농장의 규모 비율 조절결과

농장	사육두수	부피비	반지름비	반지름	농장	사육두수	부피비	반지름비	반지름
O-1	151000	6.04	2.46	73.73	E-8	10000	0.4	0.63	18.97
O-2	61000	2.44	1.56	46.86	E-9	4000	0.16	0.4	12
O-3	11400	0.456	0.68	20.26	E-10	20000	0.8	0.89	26.83
O-4	12700	0.508	0.71	21.38	E-11	14000	0.56	0.75	22.45
O-5	30900	1.236	1.11	33.35	E-12	16000	0.64	0.8	24
O-6	40000	1.6	1.26	37.95	E-13	25000	1	1	30
O-7	20000	0.8	0.89	26.83	E-14	32000	1.28	1.13	33.94
O-8	16000	0.64	0.8	24	E-15	14900	0.596	0.77	23.16
P-1	30000	1.2	1.1	32.86	E-16	6000	0.24	0.49	14.7
P-2	36000	1.44	1.2	36	E-17	17000	0.68	0.82	24.74
P-3	13000	0.52	0.72	21.63	E-18	13000	0.52	0.72	21.63
P-4	60000	2.4	1.55	46.48	E-19	18000	0.72	0.85	25.46
P-5	15100	0.604	0.78	23.32	E-20	27000	1.08	1.04	31.18
E-1	4000	0.16	0.4	12	E-21	16400	0.656	0.81	24.3
E-2	13500	0.54	0.73	22.05	E-22	18800	0.752	0.87	26.02
E-3	42000	1.68	1.3	38.88	E-23	9000	0.36	0.6	18
E-4	40000	1.6	1.26	37.95	E-24	11000	0.44	0.66	19.9
E-5	18000	0.72	0.85	25.46	E-25	15000	0.6	0.77	23.24
E-6	16000	0.64	0.8	24	E-26	21000	0.84	0.92	27.5
E-7	41000	1.64	1.28	38.42					

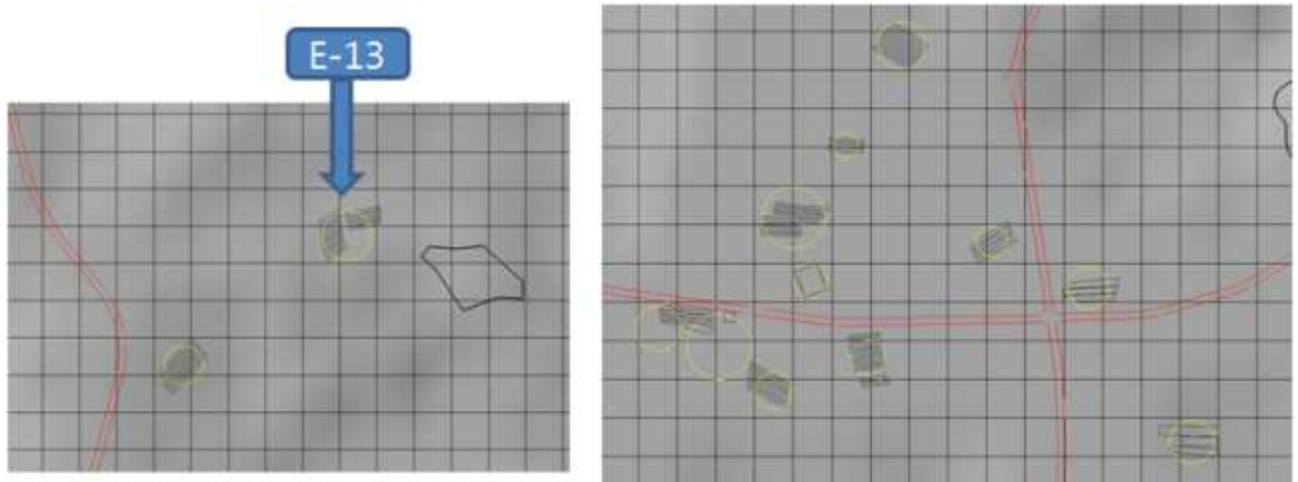


Fig. 62 농장 규모에 따른 발생원을 농장 사육규모에 따른 원형으로 나타냄

수치 지도상에서 도로는 두 개의 선으로 표현되고 있다. 그러나 이 선은 서로 연결이 끊어진 부분이 있을 뿐 아니라 완전한 평행선도 아니기 때문에 추후 격자망 설계에 어려움이 많다. 도로망을 간소화하기 위하여 선으로 표현을 하였다. 그러나 확인 결과 FLUENT 에서는 선 발생원을 지원하지 않기 때문에 도로에서의 발생량을 무시하는 것으로 가정하였다. 추후에 필요할 경우 잘라진 면들 (호수, 농장)을 활용하여 평행선을 만들어서 면적을 가지도록 도로를 설계하여야 하며 이때 격자망의 설계를 고려하여 약 10 m 정도는 확보를 하여야 한다. 그러나 도로망을 설계하는데 있어서 도로가 지나가는 지역에는 농장이나 나무 지역이 인접해 있는 경우가 많다. 따라서 10 m 폭의 도로를 형성하는 과정에서 겹치는 문제가 발생할 수도 있다. 또한 선이 복잡해짐으로 격자망 설계에 어려움이 있을 수 있다. 우선 기존에 선으로 표시한 도로 지역에 대하여 10 m 폭의 평행선을 형성한 후에 이를 바탕으로 선분을 이동하여 농장이나 나무숲에 연결이 원활 하도록 조절할 필요가 있다. 기존의 도로망을 10m 간격으로 수직, 수평 방향으로 복사를 하였다. 이를 바탕으로 하여 도로망을 표현하기 위하여 새로운 면을 형성할 필요가 있다. 도로가 수직 또는 수평인 경우에는 기초가 되는 도로를 단순히 평행 이동하면 되지만, 실제 도로는 다양한 방향을 가지고 있다. 따라서 1) 기초가 되는 도로의 위치를 조절한 후, 2) 수평, 수직, 45도의 3개의 도로를 복사하고, 3) 복사된 도로의 vertex data 를 바탕으로 하여 10 m폭을 형성하는 라인을 만들도록 하였다. 이를 통하여 그림 63과 같이 도로망을 분할하였다.

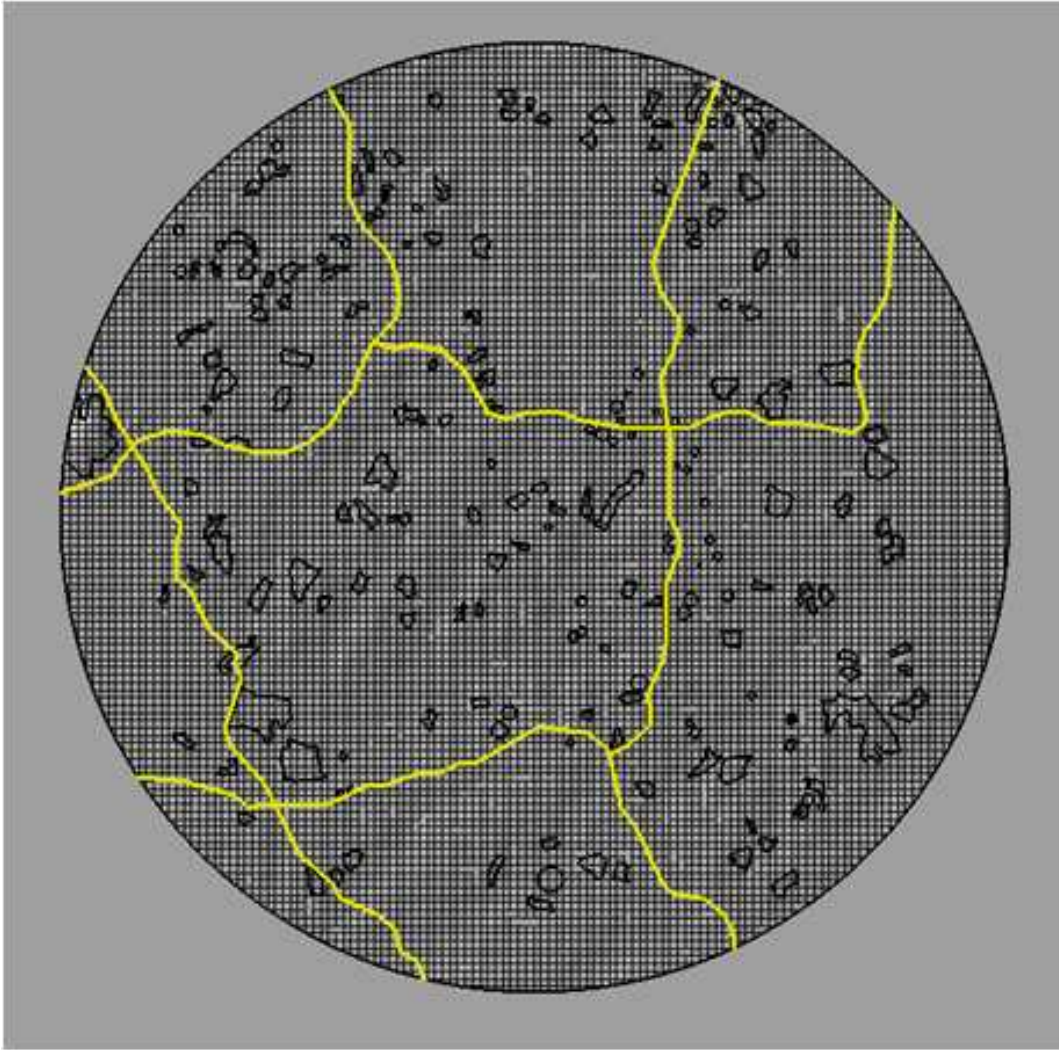


그림 63 도로망 분할 결과

(4) 모델의 부분적 검증

시뮬레이션 모델의 정확도를 분석하기 위하여 일반적으로는 현장실험 등을 통하여 결과를 얻은 후 이를 시뮬레이션 결과와 비교하는 방법이 사용된다. 그러나 본 연구는 바이러스를 다루고 있기 때문에 방역 상의 문제로 바이러스 자체를 사용하는 것이 곤란할 뿐 아니라 공기 중 바이러스를 포집하는 적절한 방법이 제시되고 있지 않기 때문에 신뢰성 있는 결과를 얻는 것이 매우 어려웠다. 따라서 다양한 요인에 따른 결과의 타당성을 검증하기 위하여 바닥에서 Source term 구현 시 유동 문제, 입자 확산에 대한 Grid independent, 입자 크기별 확산의 변화, 입자 밀도별 확산의 변화 등을 단계적으로 분석하였다. 그리고 최종적으로 시뮬레이션 결과를 바탕으로 추정된 질병의 공기 중 확산 경로를 바탕으로 실제 질병의 확산 양산과의 비교를 통한 검증을 수행하고자 하였다. 모델을 테스트하기 위하여 전체 연구 대상 영역에서 반지름 500 m의 작은 영역을 그림 64와 같이 추출하였다. 입자의 밀도, 크기, Sink term 등의 영향을 분석하기 위하여 서풍을 가정하였을 때, 공기오염물질의 확산 거동의 비교 분석하기 위하여 발

생원이 서쪽에 치우친 비교적 평지가 되도록 영역을 지정하였다.

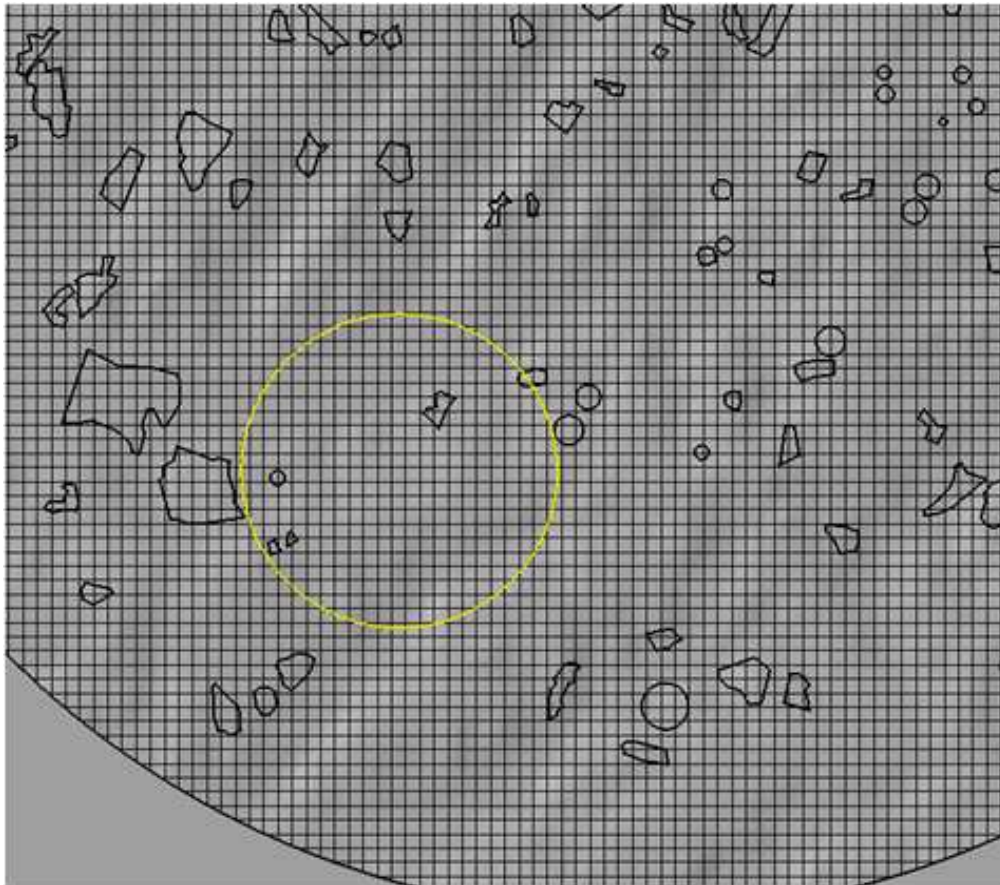


그림 64 전체 연구 대상영역 중 모델 검증 영역

격자 독립성을 분석하기 위하여 10 m mesh 크기를 기본으로 하여 5 m 와 20 m 기본 크기의 격자망을 생성하였다. 그러나 20 m 격자망의 경우 농장과 호수, 숲 지역의 격자망이 너무 성글다고 판단하여 이후 20, 30, 50 m 격자망을 형성할 때, (1) 농장, 호수, 나무 지역을 10 m 로 격자를 생성한 후, (2) 나머지 지역을 해당하는 크기를 사용하여 설계하는 것으로 정하였다. 상부로 총 50개의 layer 를 생성할 것으로 예상할 때, 총 격자의 수를 고려하였을 때, 약 15 m 이상의 격자를 사용하는 것이 적절한 것으로 추정되며, 격자의 안정성을 고려할 때, 40 m 이하의 격자를 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 따라서 기존에 50 m 격자에 대한 test 대신에 40 m 로 축소하여 실험을 계속 진행하였다. 따라서 그림 65와 같이 총 5가지 격자 조밀도를 대상으로 시뮬레이션 모델 결과를 비교하고자 하였다.

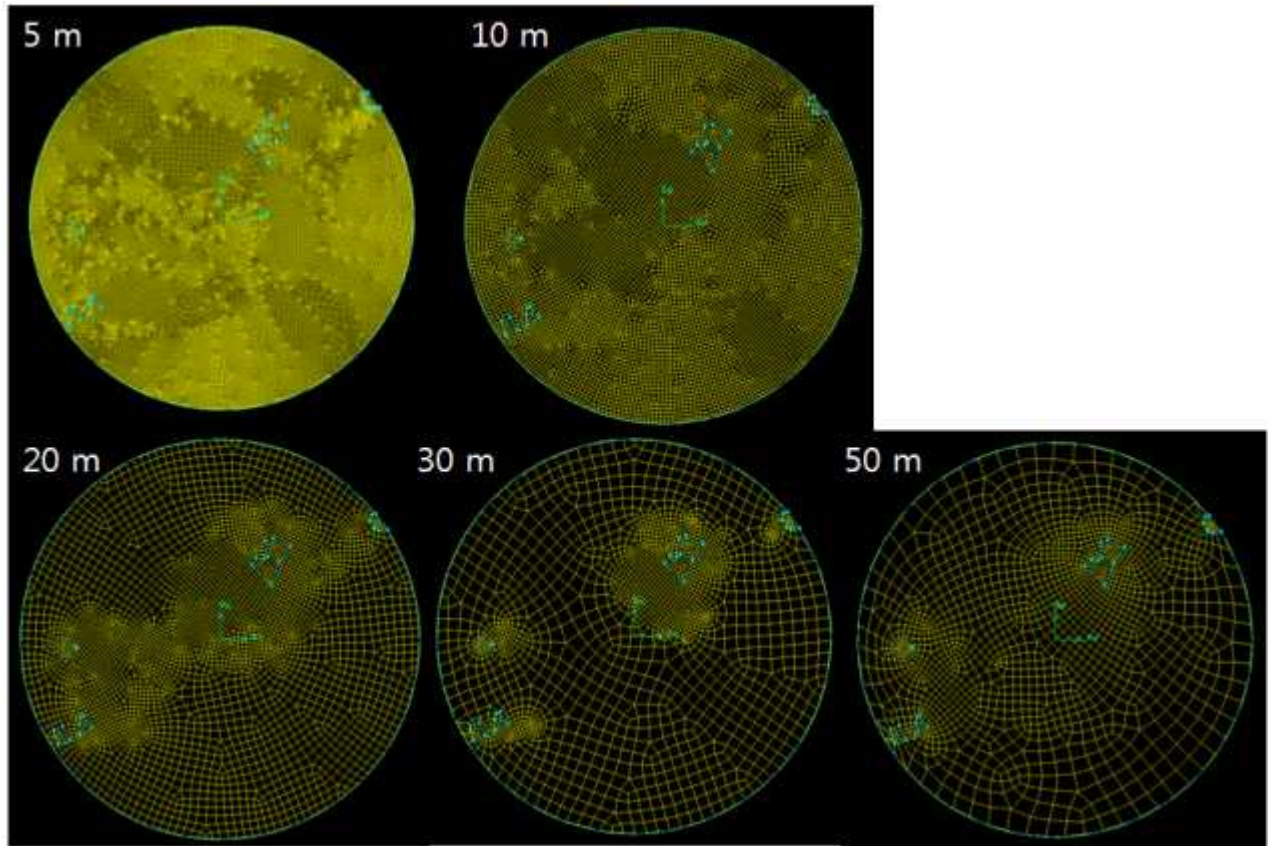


그림 65 격자 독립성 분석을 위한 격자 크기별 격자망 설계

그림 66은 기본 격자 크기를 바탕으로 하여 이를 전체 연구 대상 영역으로 확장시켰을 때 예상되는 총 격자의 수를 나타낸 것이다. 격자 크기 5 m 를 기본으로 하였을 때, 총 격자수는 약 5,230 만개로 일반적으로 시뮬레이션 모델의 격자수가 지나치게 많이 예상되었다. 이와 같이 많은 수의 격자를 사용할 경우 연구 결과의 정확도가 향상될 수 있다는 장점이 있으나 계산시간이 지나치게 오래 걸릴 수 있다. 따라서 연구 결과의 차이가 없다면 가급적 총 격자수가 적을수록 연구 시간을 줄일 수 있다. 따라서 과거의 경험을 바탕으로 약 1000 만개 이하의 격자를 사용하려면 15 m 이상의 기본 격자 크기를 사용하는 것이 유리할 것으로 예측할 수 있었다. 그러나 이는 격자 독립성 분석을 통하여 실제로 결과의 차이가 있는지를 확인하는 작업이 필요하다. 그림 67은 기본 격자 크기에 따라서 바닥 격자 설계에 가장 질이 떨어지는 격자의 Skewness 수를 분석한 결과로써 이 값이 0.85를 넘어서면 결과에 심각한 오류를 발생시킬 수 있다(Fluent manual, 2009). 따라서 안정적인 격자 설계를 위하여 Skewness 수가 0.8이 넘어가지 않도록 하려면 본 모델에서는 40m 이하의 격자를 사용하는 것이 적절할 것으로 예측되었다.

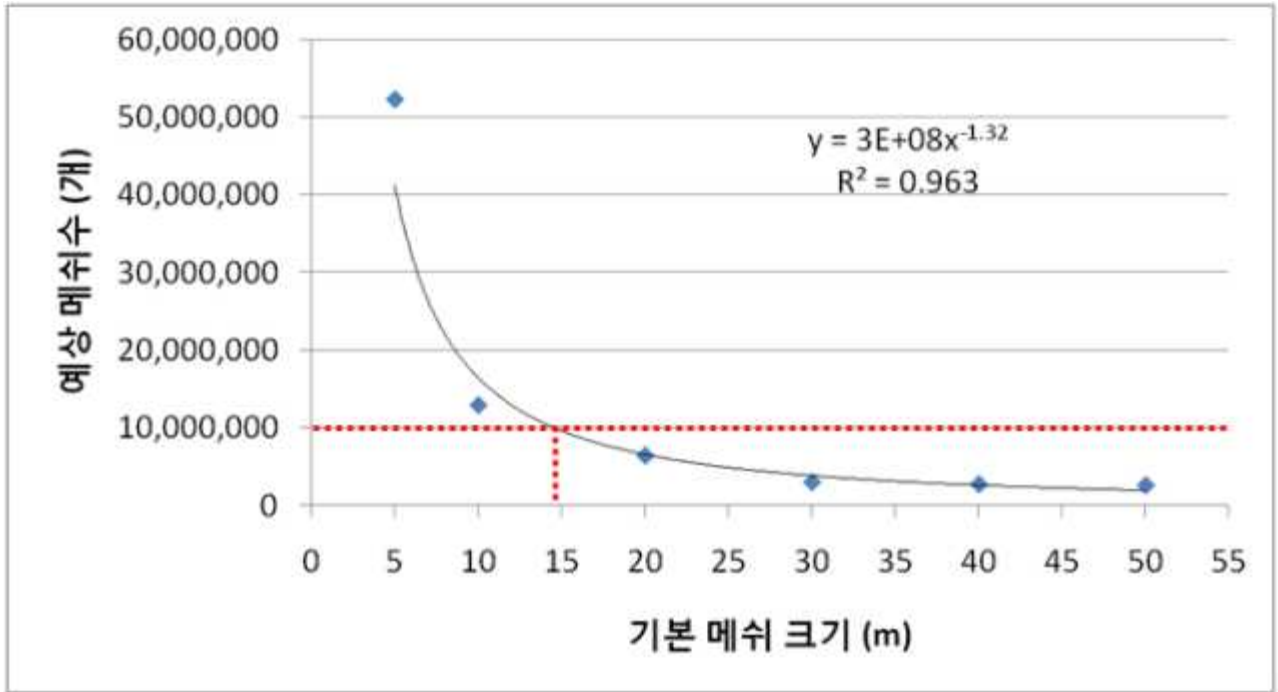


그림 66 격자 크기별 예상되는 전체 연구 영역의 총 격자수

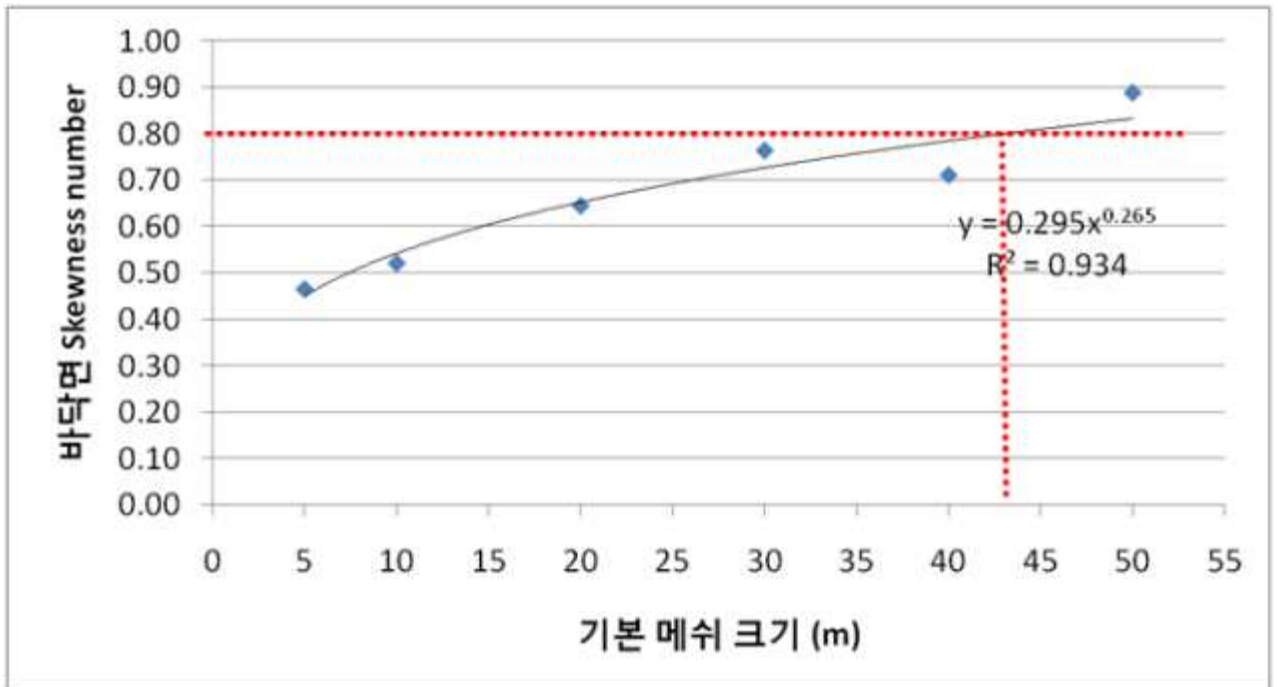


그림 67 격자 크기별 바닥의 격자 질의 상한값

Mesh 40 모델의 경우 Hexa/pave로의 격자 생성 시 오류가 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 체크해본 결과 흰 원으로 표시된 부분이 size 40 에서 하나의 격자밖에 포함시킬 수 없었다. 따라서 강제로 2개를 집어넣어 준 결과 격자의 수가 맞지 않아 격자의 생성이 되지 않았다. 이를 보완하기 위하여 맞은편에 강제로 한 개의 격자를 더 생성한 결과 문제없이 바닥 격자를 생성

할 수 있었다. 이 때, 총 격자수는 기존의 1,716개에서 1,675개로 소폭 감소하였으며, 가장 나쁜 격자의 질은 0.712로 기존의 0.717로 거의 유사하였다. 표 15는 각 기준 격자의 크기에 따라서 테스트를 위한 실험 영역에서의 바닥 격자수와 격자의 질을 평가하기 위한 Skewness number를 나타낸 것이다. 기준 격자의 크기가 작을수록 더 상세한 지형적인 영향을 표현할 수 있기 때문에 격자의 질이 향상되는 반면에 격자의 크기가 커질수록 실제 영역을 왜곡시켜서 표현하여야 하는 부분이 증가하여 격자의 질이 떨어지는 결과를 보였다. 예상되는 전체 격자수는 바닥의 격자수에 수직방향으로 일정 비율을 사용하여 50개의 층을 설계하였을 때를 가정한 것으로 모든 경우에서 본 연구실에서 보유한 병렬처리 시스템을 사용하여 해결가능한 수의 격자가 예상되었다.

표 15 격자 크기에 따른 예상 격자의 총 수

Test			전체	
기준격자 크기	바닥 격자 수	Skewness number	예상 바닥 격자수	예상 총 격자수
10 m	8,195	0.522	256,995	12,849,760
20 m	3,956	0.588	124,060	6,203,008
30 m	2,396	0.751	75,139	3,756,928
40 m	1,675	0.717	52,528	2,626,400

바닥면의 격자 설계가 완성된 후 그림 68과 같이 높이 방향의 격자를 설계하였다. 특히 지면 근처의 유동 해석이 매우 중요한 요인이므로 정확도 향상을 위하여 지면에 가까운 격자를 조밀하게 설계하였다. 특히 격자의 처음 크기는 바닥의 조도 계수보다 커야 하며 동시에 분석하고자 하는 높이인 3 m 에 최소 3개 이상의 격자가 설계되어야 한다. 따라서 처음 바닥을 0.5 m 간격으로 설계한 후 차츰 일정한 비율로 크기가 증가하도록 설계하였다. 10 m 기본 격자를 사용한 경우 측면의 삼각형 격자의 크기를 10 m 으로 한 경우와 40 m 로 성글게 한 경우를 나타낸 것이다. 오른쪽과 같이 갑작스럽게 격자의 크기가 커지면서 경계면에 형성되는 격자의 질이 떨어지는 문제가 있었다. 이를 통하여 그림 69와 같이 격자를 설계할 수 있었다.

GAMBIT 에서 설계한 3차원 지면 격자망을 사용하여 부피를 가지는 계산 영역을 설계하기 위하여 TGRID 프로그램을 사용하였다. 바이러스의 발생원으로 계산될 예정인 농장들과 공극도를 통하여 방풍림의 효과를 계산하기 위한 나무가 우거진 지역을 설계하기 위하여 바닥에서 0.5 미터의 동일한 간격으로 총 5 미터의 격자를 설계하였다. 이 값은 지면의 조도 계수보다 큰 값으로 k-e model 을 사용할 경우 바닥의 거칠기를 계산하기 위하여 지면에서 첫 번째 격자는 조도계수보다 크게 하여야 한다는 기준에 따라서 설계한 것이다.

5 미터 이후의 높이는 그림과 같이 geometric growth method를 사용하여 0.6 미터에서 1.17의

비율을 사용하여 총 35개의 수직방향 격자를 설계하였다. 이를 통하여 약 860 미터의 수직 방향의 계산 영역을 설계하였다.

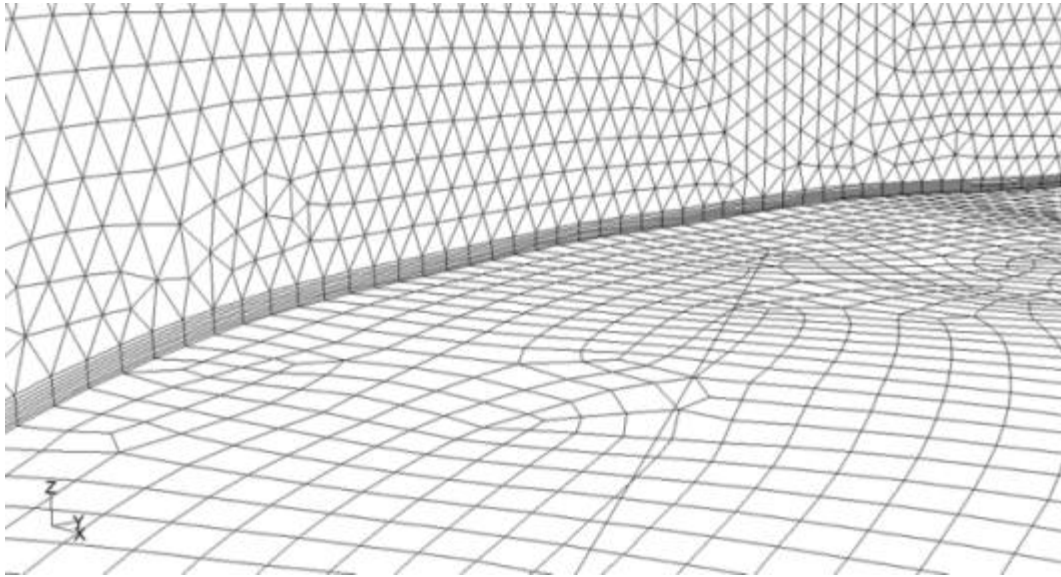


그림 68 T-GRID 작업을 통한 높이 방향 격자 설계

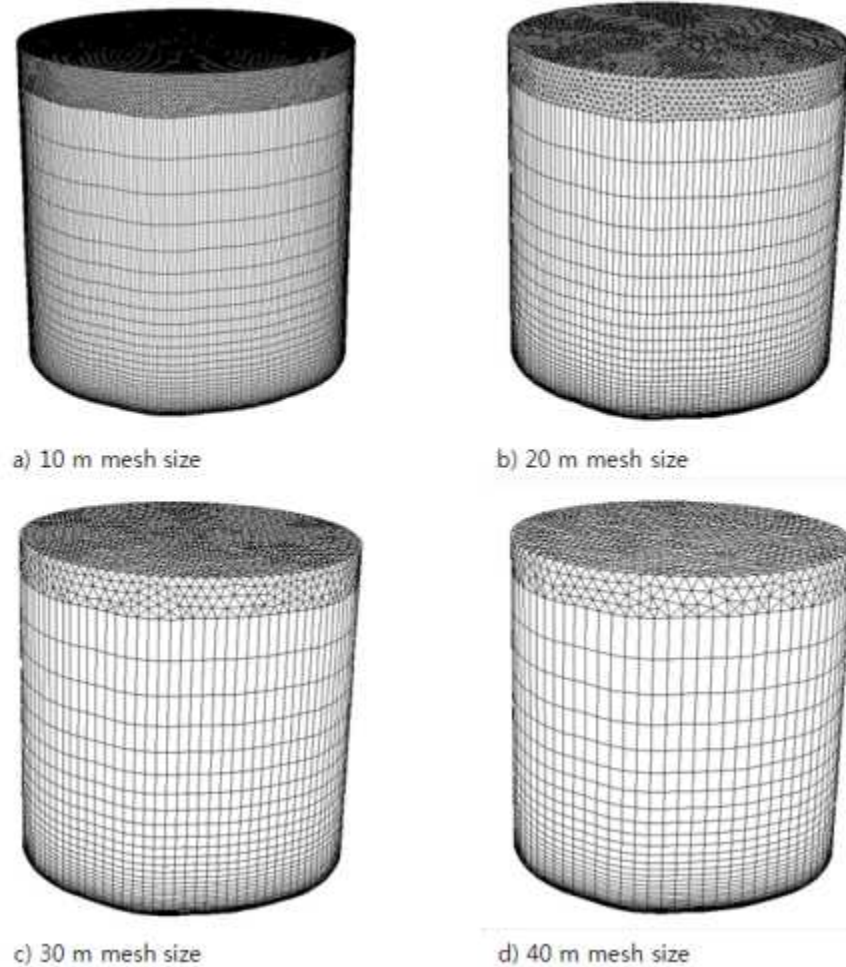


그림 69 기준 격자의 크기에 따른 전체 계산 영역의 격자 설계 결과

(5) 3차원 지형 설계

풍속의 경우 추후 모델의 결과를 바탕으로 분석한 기상데이터를 입력하여 바이러스의 공기 중 전파를 예측하기 위하여 기상청에서 일반적으로 풍속 및 풍향을 측정하는 기준인 10 m 높이를 대상으로 하여 각각 3, 5, 7 m/s 의 풍속을 가정하였다. 풍향은 총 8 방위를 가정하였으며, 그림 70과 같이 각 방위별로 ± 22.5 도로 사인곡선을 따라 풍향이 지속적으로 변화하는 것으로 가정하였다. 이는 일반적인 가우시안 모델, PUFF 모델 등의 기존의 대기 확산 모델에서 사용하는 바람의 자연적인 흔들리는 각도에 대한 가정과 동일하게 가정하였다.

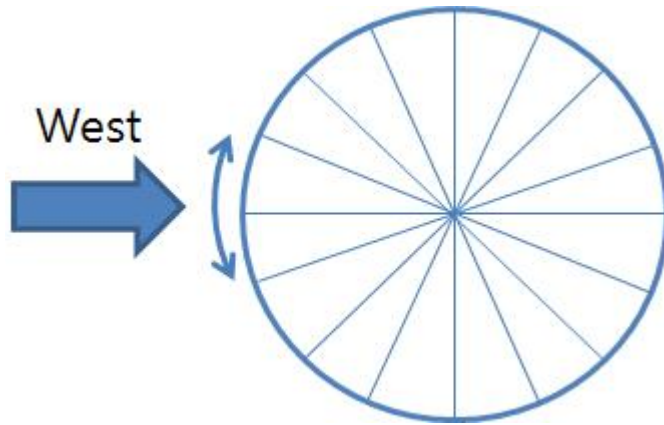


그림 70 서풍일 경우 활용되는 측면 경계조건

Commercial NURBS-based 3D modeling tool 인 RHINOCEROS, SKETCHUP 등의 프로그램을 사용하여 설계한 3차원 면은 GAMBIT으로 가져와서 격자망 설계를 수행하게 된다. 격자망 설계를 수행하기 이전에 각 면정보 및 선정보를 적절하게 불러왔는지 확인할 필요가 있으며, 중첩된 선이 존재하지 않도록 하는 사전 작업이 필요하다. 선 또는 면이 굴곡을 지나갈 경우 불러오기 시의 자동 수정 시에 선들이 중첩되어 격자망을 형성하는데 문제를 야기하게 된다. 따라서 선의 위치 또는 점의 위치를 수정함으로써 발생한 선의 중첩현상을 제거하였다.

바닥의 격자 형성 및 TGRID 에서 3차원 격자 형성 작업을 수행하기 이전에 모델의 경계조건(boundary condition)을 설정할 때에 유입 및 유출면으로 사용될 측면의 분할이 필요하다. 따라서 풍향에 따라서 경계조건을 조절할 수 있도록 전체 계산 영역은 원형으로 설계되었으며, 총 8가지 풍환경을 고려하기 위하여 전체 측면 영역을 16 등분으로 분할하였으며, 인근에 인접한 면(도로 또는 다른 면과의 경계)이 있는 경우에는 약 1~2도의 오차를 무시하고 기존의 면을 사용하였다 (그림 71). 이는 새로 구분하는 면이 기존의 면과 지나치게 가까울 경우 격자의 크기가 급격히 변화하는 단절오차가 발생할 소지가 크기 때문이다. 이와 같은 문제를 사전에 방지하고자 총 세 지점에서 기존의 면을 사용하였다. 높이는 대상 연구 지역에 높은 산이 없기 때문에 1 km 미만으로 결정하였다.

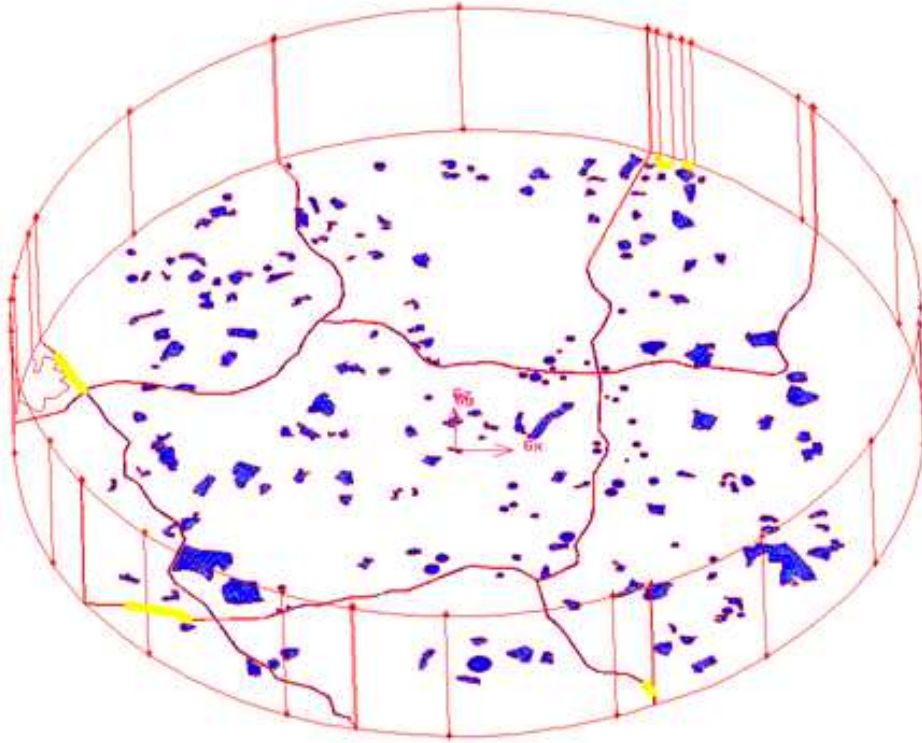


그림 71 16방위 풍속 고려를 위한 측면 설계 결과

도로의 폭은 10 m 로 일정한 것으로 가정하였으며, 도로의 폭 방향으로 2개의 격자가 들어갈 수 있도록 설계하였다 (그림 72). 이 때 바닥의 3차원 지형에서 굴곡이 있는 부분을 도로망이 통과할 경우 NURBE 곡선에서 오류가 발생하여 도로가 엇갈리면서 음의 영역이 발생하여 계산이 되지 않는 문제가 발생한다. 특히 이러한 문제점은 쉽게 발견되기가 어려운 반면 결과에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 모델이 수렴이 되지 않거나 비현실적인 결과를 야기할 수 있다. 따라서 이를 효과적으로 수정하기 위하여 도로의 위치를 미세 조정하여 해결하였다. 마주보는 평행선의 길이가 굴곡이 있는 지점을 기준으로 서로 다르기 때문에 동일한 간격의 격자를 사용할 경우 마주보는 면의 격자수가 달라질 수 있다. 이 경우 육면체 형태의 격자를 사용하여 설계할 수가 없거나 왜곡이 심해지는 문제가 발생하기 때문에 동일한 수의 격자를 설계하는 것이 필요하다. 따라서 일차적으로 교차점에 임의로 격자를 형성한 후, 마주보는 선의 격자수를 통일 시켜야 한다. 그러나 격자를 생성해보면 평행한 선분이 동일한 수의 격자수를 가지고 있더라도 굴곡에 따라서 생성이 안되는 경우가 빈번하게 발생한다. 따라서 전체의 도로를 각이 큰 부분을 대상으로 작은 다각형으로 분리해 줌으로써 이러한 문제를 해결할 수 있었다. 이를 통하여 균일한 사각형 격자를 사용하여 설계하였다.

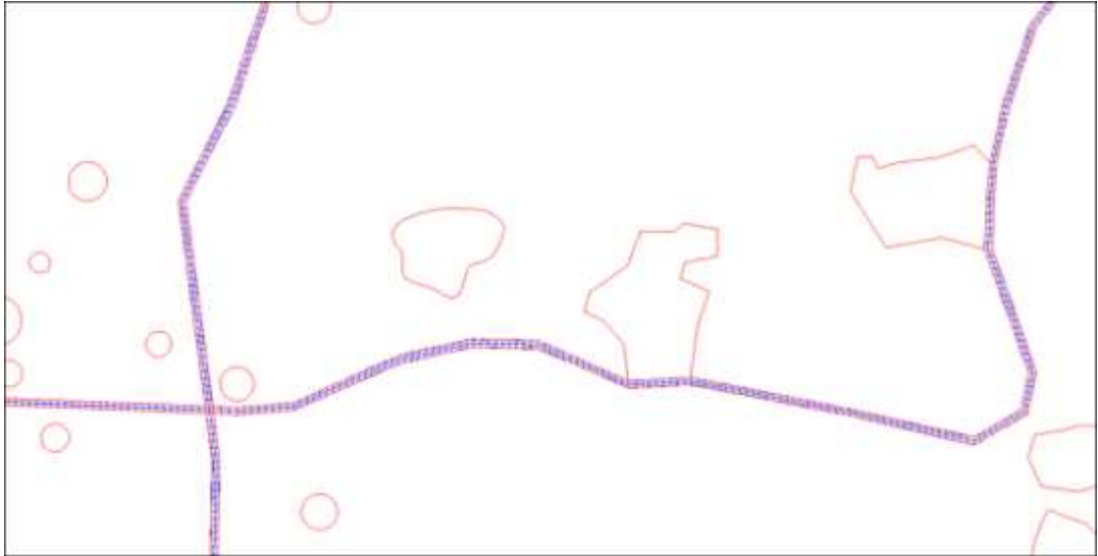


그림 72 도로 내부 격자 설계 결과

도로망의 경우 격자의 크기를 5 m 크기를 기준으로 사용하였기 때문에 유동해석 및 공기 중에 에어로졸의 확산을 분석하는데 중요한 지역은 5 m를 기준을 상대적으로 조밀한 격자를 사용하였다. 따라서 발생원으로 작용하는 총 39개의 농장 지역 및 나무가 우거진 숲 지역은 5 m를 기준으로 격자를 설계하였으며, 숲의 경우 그 규모가 클 경우에는 경계면에 5 m에서 내부에는 10 m로 확산되도록 격자를 설계하여 정확도를 유지하면서, 계산 시간을 줄이기 위한 노력을 수행하였다

격자의 총수를 절약하기 위하여 size function technique을 사용하였다. 이 방법은 지정된 점, 선, 면을 기준으로 일정한 비율로 격자의 크기를 점점 크게 또는 작게 설계하도록 유도하는 방법으로 영역 내부에 격자의 수 및 격자의 크기를 조절함으로써 연구에 중요한 지역에 조밀한 격자를 설계함과 동시에 상대적으로 중요도가 떨어지는 평지에는 성글게 설계하여 총 격자의 수를 절약하기 위한 기술이다. 농장에 사용된 5 m 및 숲에 사용된 10 m 격자를 기준으로 1.1 growth rate 을 사용하여 최대 30 m 까지 증가하도록 설정 하였다. 또한 GAMBIT에서 추후 경계 조건 설계를 위하여 각 농장에 세부 이름을 부여하였다.

설계한 최종 3차원 지면은 그림 73과 같으며, 총 격자수는 173,958 개이며, 각 격자의 뒤틀린 정도를 분석하는 Skewness number를 바탕으로 한 격자의 안정도를 검사한 결과, 최저 0.714 로 Fluent manual (2008) 에서 제시하는 값을 만족하였다. 전체 Skewness를 평가한 결과 0.1 이 내에 54.42 %, 0.2 이 내에 80.01 %, 0.3 이 내에 89.10 %, 0.4 이 내에 99.54 %, 0.5 이 내에 99.94 %로 매우 안정적인 사각형 형태의 격자로 이루어졌음을 알 수 있었다. 이와 같이 격자의 안정도가 높을수록 수렴에 소요되는 시간이 줄어들게 되며, 결과의 정확도를 향상시킬 수 있다.

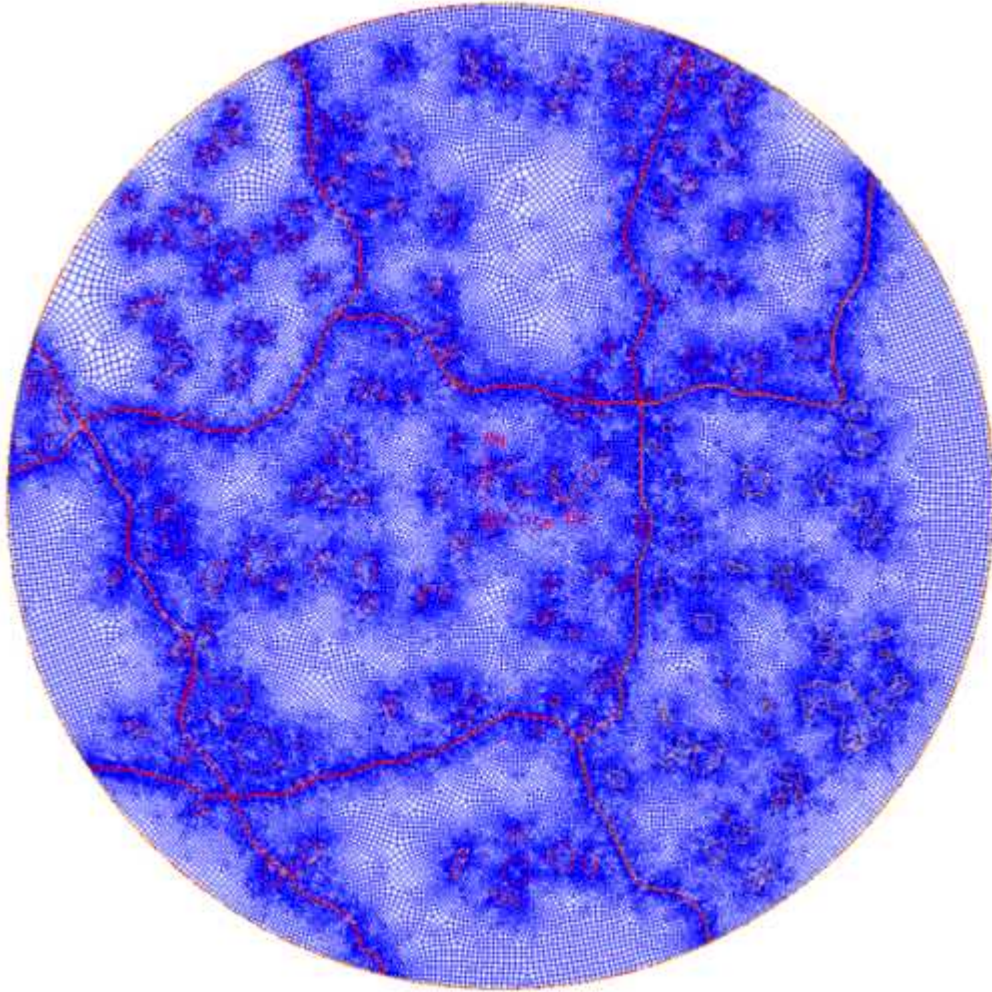


그림 73 3차원 바닥면의 격자 설계 결과

격자망을 설계하는 GAMBIT을 사용해서는 3차원을 볼륨을 가지는 격자망 모델을 만드는데 있어서, 많은 정보량을 가지는 3차원 지면을 처리하는데 한계가 있었다. 일반적으로는 점, 선, 면, 볼륨을 GAMBIT에서 조합하여 닫혀진 볼륨을 생성한 후 내부에 3차원 격자망을 형성하는 방법을 사용하여 격자 모델을 설계한다. 그러나 3차원의 지면과 같이 복잡한 기하학적인 형상을 처리하는 것은 GAMBIT에서 사용할 수 있는 메모리의 한계로 인하여 불가능하였다. 따라서 닫힌 볼륨을 생성한 후 볼륨의 경계면의 격자만을 생성한 후 TGRID를 사용하여 내부의 격자망을 설계할 수 있었다. 설계의 방안은 Seo et al. (2010) 이 새만금 지역을 대상으로 한 모델링을 기초로 하였다. 연구 결과의 정확도를 향상시키기 위해서는 지표면 부근의 격자의 밀도를 높일 필요가 있다. 특히 측사에서 발생하는 공기오염물질이 인근에 영향을 미치는 높이인 약 3 m 이내의 격자가 조밀하여야 한다. 이와 동시에 격자의 질을 유지하기 위해서는 일반적으로 격자를 설계하는 GAMBIT에서와 같이 내부의 격자를 계산하면서 새로 격자를 만들 경우 격자의 뒤틀림(skewness)가 커짐으로써 격자의 질이 저하될 수 있다. 따라서 TGRID를 사용하여 앞에서 설계한 지표면의 바닥 격자를 그림 74와 같이 역직 방향으로 동일한 높이의 사각기둥 형태로

쌓는 방법을 사용하였다. 이를 통하여 GAMBIT에서 향상시킨 바닥면의 격자의 질을 유지하면서 동시에 지표면 근처에 조밀한 격자를 설계할 수 있도록 하였다. 그림 74와 같이 바닥면에 가까울수록 조밀한 격자를 사용하였으며, 연직방향으로 올라갈수록 격자가 성글어지도록 하여 전체 격자의 수를 절약함과 동시에 분석에 중요한 부분에서는 격자를 밀집시켜 결과의 신뢰도를 높이고자 하였다.

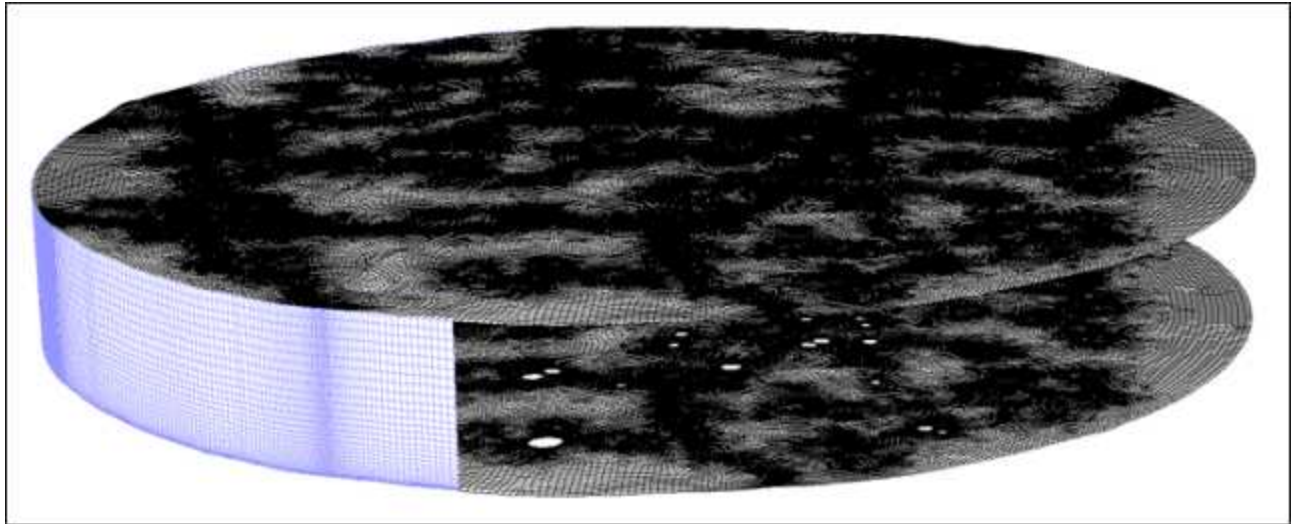


그림 74 계산 영역의 볼륨 격자망 모델 (전북 익산, 직경 5.6 km)

그림 75와 같이 지표면에서 0.5m 까지의 볼륨을 생성하였다. 이는 추후 UDF(User defined function)을 사용하여 에어로졸의 퇴적을 모사하기 위한 영역으로 활용하였다. 또한 5 m 높이까지의 볼륨을 생성하여 농장의 발생원 및 숲의 효과를 부여하기 위한 계산 영역으로 활용하였다. 격자의 크기가 지나치게 커지면 오차가 발생할 소지가 있으므로 일정한 비율로 격자의 크기가 증가하도록 설계한 후, 연직방향으로 40 m 간격으로 일정한 크기의 격자를 사용하여 계산 영역을 설계하였다. 사용된 총 격자의 수는 6,784,362 개였으며, 격자의 질을 평가하는 skewness 값은 약 0.2~0.4 로 매우 우수하였다.

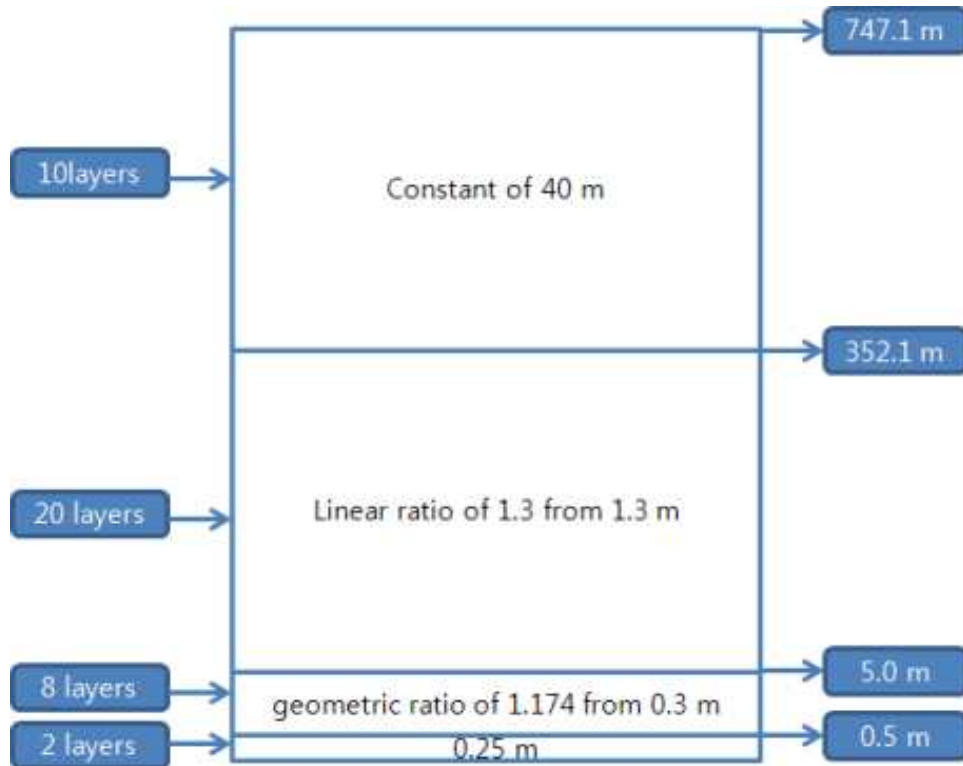


그림 75 바닥에서부터 연직방향으로의 고도별 격자 설계

마. 전산유체역학 시뮬레이션 모델로 예측한 공기 중 질병 확산

(1) 입자별 확산 경향

그림 76-78은 농장에서 발생하는 에어로졸의 확산 경향을 2.5, 10, 30 μm 입자 크기별로 분석한 결과를 나타낸 것이다. 2.5, 10 μm 크기의 에어로졸의 확산은 큰 차이가 없었다. 그러나 30 μm 에어로졸은 확연히 농도가 초기에 떨어지는 것을 알 수 있었다. 전반적으로 위쪽에서의 확산이 거의 일어나지 않았는데, 이는 상승하는 어떠한 에너지도 없기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 에어로졸에 작용하여 중력에 의하여 형성되는 침강이 에어로졸의 확산 및 퇴적의 주 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 입자 크기별로 차이가 크지 않기 때문에 이를 파악할 필요가 있으며 특히 Settling velocity 때문에 어느 정도의 크기에서 농도 변화가 있는지를 추적할 예정이다.

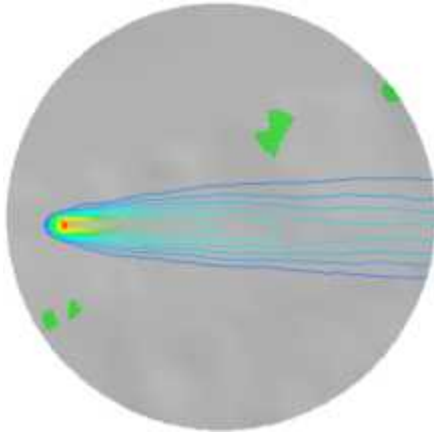


그림 76 서풍 3m/s 일 때. 2.5 μm
크기 에어로졸의 확산

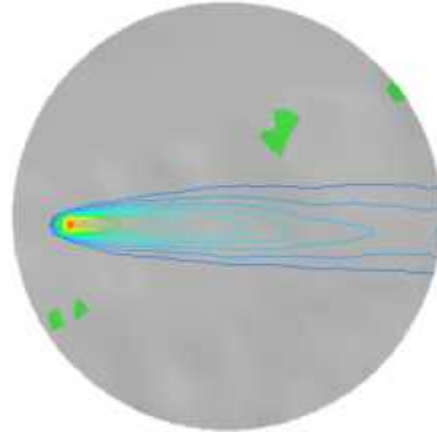


그림 77 서풍 3m/s 일 때. 10 μm
크기 에어로졸의 확산

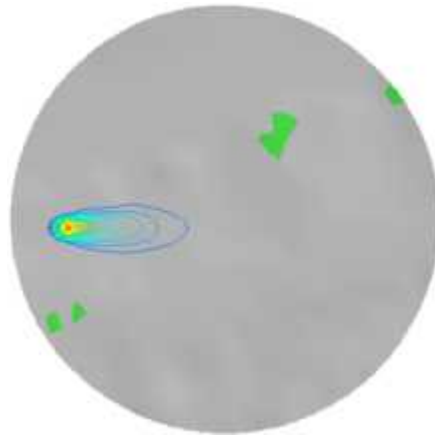


그림 78 서풍 3m/s 일 때. 30 μm
크기 에어로졸의 확산

그림 79와 같이 고도에 따른 농도를 측정하기 위하여 발생원에서 주풍방향을 따라서 지면을 기준으로 수직으로 3 m 상승된 지점에 대한 다수의 포인트를 만든 후 보정을 통하여 선형위에 올 수 있도록 일정한 간격으로 포인트를 만들었다. 이 경우 앞선 결과와 달리 지형적인 높이를 고려하여 지점을 생성할 수 있기 때문에 현장실험 결과 및 현장에서의 확산 현상 예측 시 더 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 80은 농장에서부터 발생한 에어로졸의 농도 변화를 volume fraction 단위로 나타낸 것으로 일반적으로 알려져 있는 로그 분포를 따라서 농도가 감소하는 경향을 보였다.

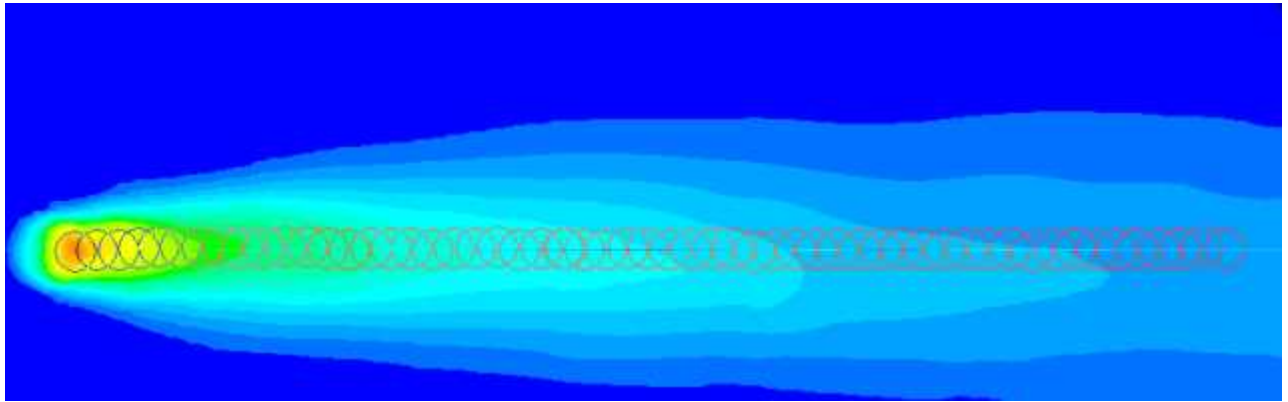


그림 79 지면에서 동일한 지점에서의 농도 측정을 위한 포인트 생성

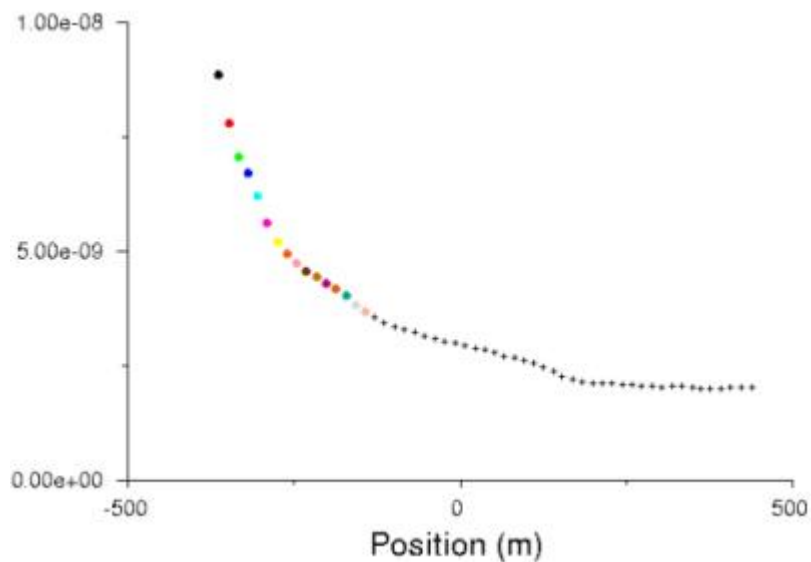


그림 80 지면에서 3 m 높이의 포인트에서 측정된 에어로졸 농도 분포

그림 81과 82는 1 μm 에서 30 μm 까지의 서로 다른 에어로졸 입자별로 발생 후 거리에 따라서 농도의 변화를 나타낸 것이다. 1, 2, 5 μm 입자까지는 중력에 따른 침강속도가 거의 차이가 나지 않기 때문에 거리에 따른 농도의 감소폭에 차이가 나타나지 않았다. 그러나 10 μm 이상의 크기를 가지는 에어로졸의 경우 크기에 따른 농도의 감소폭이 크게 차이를 보였다. 각 에어로졸의 크기에 따라서 거리별 농도의 분포를 로그 추세선을 사용하여 계산하면 $y = a \ln(x) + b$ 꼴로 나타낼 수 있다. 각 입자 크기별 추세선의 계수를 나타내면 표 16과 같다. 추세선을 바탕으로 $y=0$ (농도가 없는 점)을 계산할 수 있다. 이를 확산 거리로 가정할 경우 그림 83과 같이 1 μm 및 2 μm 입자는 약 3.7 km를 확산하는 반면 입자의 크기가 커질수록 확산 거리는 점점 줄어들어 10 μm 입자는 약 2 km, 30 μm 입자는 약 700 m 를 확산할 것으로 예측되었다. 일반적으로 대기 중 에어로졸의 농도를 평가할 때는 $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} 을 사용하기 때문에 이를 대표할 수 있는 적절한 크기의 입자를 찾는 것이 필요하다.

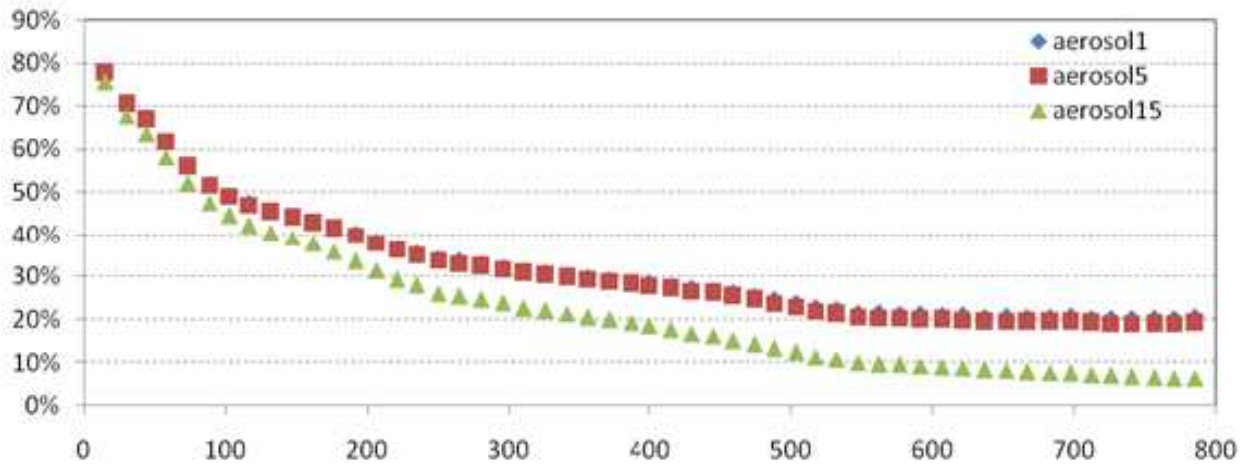


그림 81 에어로졸 입자 크기에 따른 거리별 농도 확산 분포 (1, 5, 15 μm)

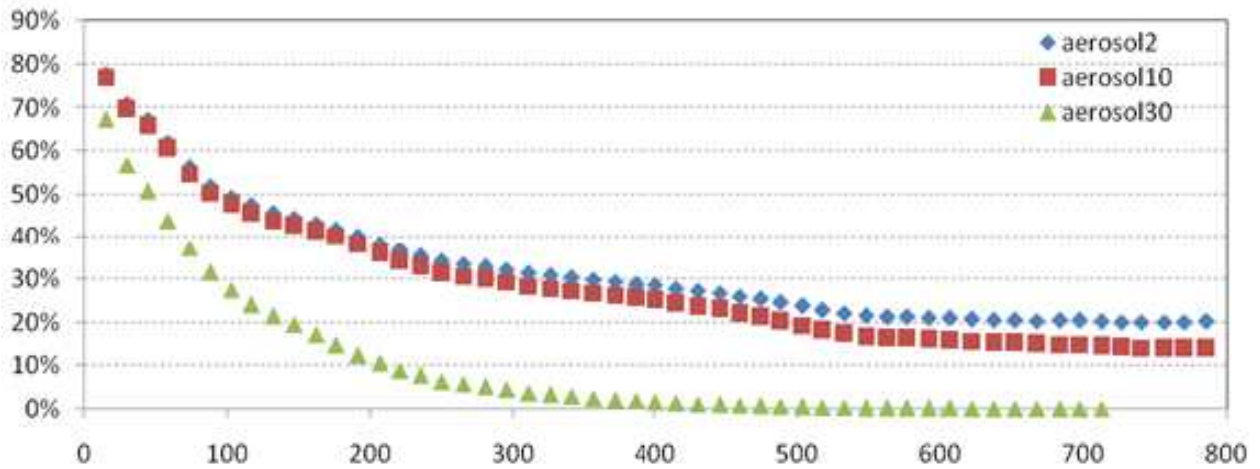


그림 82 에어로졸 입자 크기에 따른 거리별 농도 확산 분포 (2, 10, 30 μm)

표 16 추세선 분석을 통한 에어로졸 크기별 확산 거리

(μm)	추세선 분석		$y=\ln(x)+b$	
	a	b	R^2	y=0 인 확산거리(m)
aerosol-1	-0.15	1.23	0.991	3,641
aerosol-2	-0.15	1.233	0.991	3,715
aerosol-5	-0.16	1.244	0.992	2,380
aerosol-10	-0.17	1.289	0.993	1,963
aerosol-15	-0.19	1.342	0.993	1,168
aerosol-30	-0.17	1.113	0.939	697

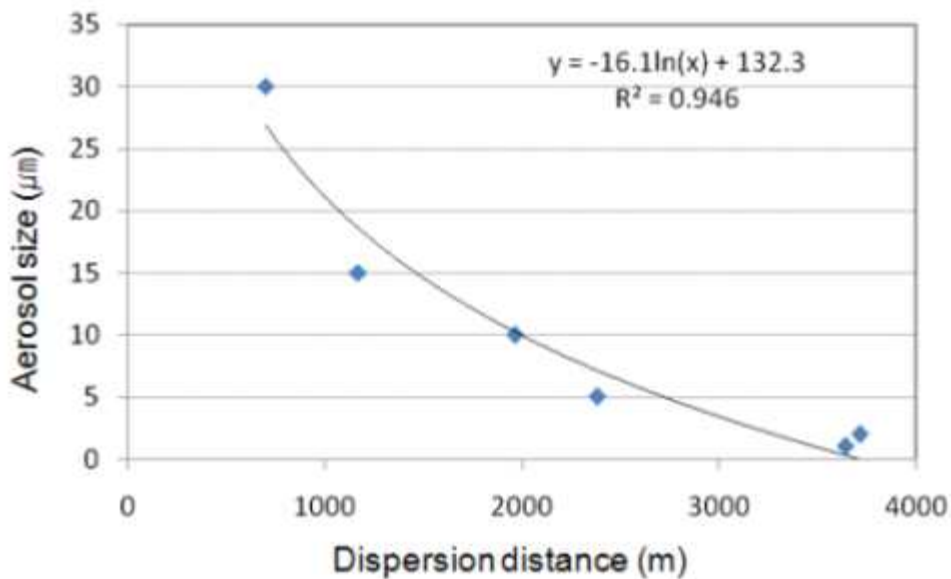


그림 83 에어로졸 입자 크기별 추정 확산 거리

그림 84 ~ 107은 N, NW, W, SW, S, SE, E, NE 의 8가지 풍향과 3, 5, 7 m/s의 3가지 풍속에 따라서 가로축에 표시된 39 개의 농장 및 도로망에서 발생하는 에어로졸이 세로축으로 나타낸 인근에 위치한 농장으로 미치는 영향도를 나타낸 것이다. 대각선으로 나타낸 지역은 발생 농장을 의미하기 때문에 모든 수치가 발생을 의미하는 1.0을 나타내고 있으며 회색의 2가지 음영을 통하여 약한 영향도와 심한 영향도를 나타내고자 하였으며, 검은색으로 표시된 것은 매우 심각하게 영향을 주었다는 의미를 나타내는 것이다. 함수식을 사용하여 농장에서 발생한 에어로졸의 농도가 특정 농도 이상 도달하는 경우 공기 중으로 질병이 전이될 확률이 매우 높은 것으로 가

정하였으며, 이 경우 1의 수치를 나타내며, 영향이 전혀 없을 때 0을 가지게 된다. 대체로 도로망에서는 발생 농장과 비교하여 1 % 정도의 적은 양이 발생하는 것으로 가정하였기 때문에 도로와의 인접성에 따라서 각 농장으로의 영향이 평가되나 대체로 영향이 0.1 이하로 낮은 결과를 보였다. 또한 각 풍향 및 풍속에 따라서 주풍의 방향에 위치한 농장에서 높은 값을 보이며 주풍 방향에 위치하지 않는 농장들에 대해서는 매우 적거나 거의 영향을 주지 않는 결과를 보여준다. 그러나 실제로는 바람의 방향이 하루 종일 일정한 방향 및 속도로 부는 것이 아니기 때문에 한 풍향 및 풍속에 대한 모델링의 결과를 직접적으로 특정한 HPAI 발생 사례에 적용하는 것은 옳지 않기 때문에 이와 같은 백데이터를 바탕으로 풍환경 빈도 분석을 수행한 결과를 조합할 필요가 있다.

(2) 환경조건에 따른 확산 현상 분석

총 39개의 농장 및 도로를 각각의 발생원으로 하여 HPAI를 포함하는 에어로졸의 확산 경향을 3가지 풍속 및 8가지 풍향에 따라서 분석을 수행하였다. 그림 108, 109는 각각 3 m/s 풍향에서 NE 풍향과 NW 풍향일 경우 발생원이 O-2, O-6, O-8 을 가정하였을 때, CFD 시뮬레이션 계산 결과를 바탕으로 에어로졸이 확산되는 경향을 도시한 것이다. 발생하는 농도 및 확산되는 범위는 발생원에서 배출되는 에어로졸의 농도에 따라서 달라지는 결과를 보였다. 즉, 농장의 규모가 상대적으로 큰 O-2, O-6 의 경우 더 멀리까지 확산되는 경향을 보이고 있으며, 농도 역시 더 높게 형성되는 결과를 나타낸다.

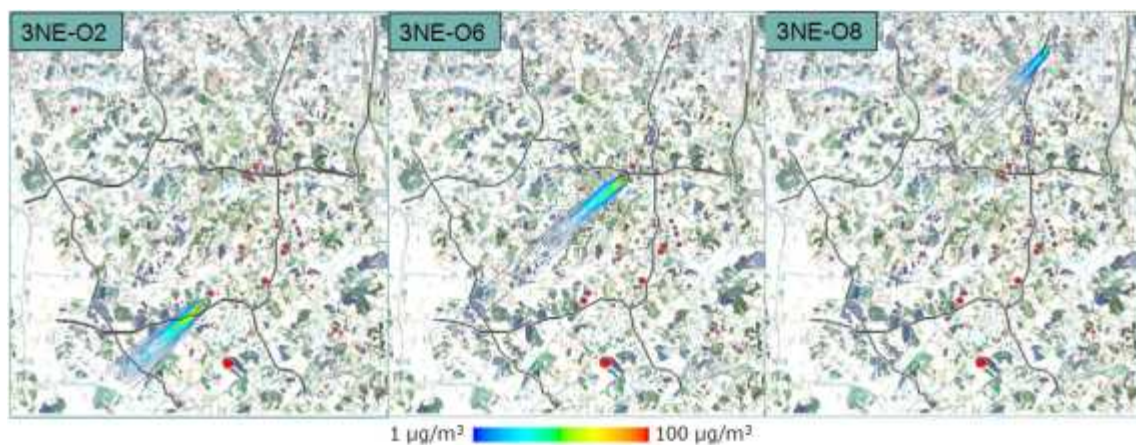


Figure 108 Distribution of HPAI laden aerosol from source farm (O2, O6, O8) in wind speed of 3 m/s and wind direction of NE

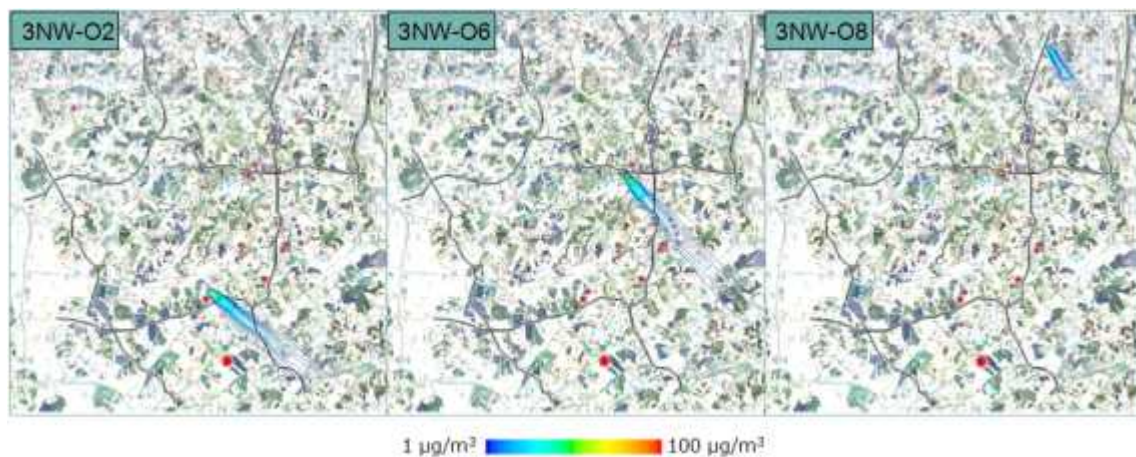


Figure 109 Distribution of HPAI laden aerosol from source farm (O2, O6, O8) in wind speed of 3 m/s and wind direction of NW

(3) 가중치를 적용한 3차원 매트릭스 구현

그림 110, 111은 CFD 시뮬레이션 모델을 사용하여 3 m/s 서풍인 경우의 총 40가지 발생원에서 발생한 에어로졸이 다른 농장에 주는 영향을 분석한 결과이다. 가로축은 발생원인 농장을 의미하여 세로축은 발생원에서 확산되는 에어로졸이 미치는 영향을 나타낸다. 발생원에서부터의 영향을 고려하여 0~1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 은 노란색으로 표시하고, 1~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 는 하늘색, 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상은 빨간색으로 나타내어 각각 미약한 영향, 중간 단계 영향, 심각한 영향의 3단계로 나누어 분석을 수행하였다.

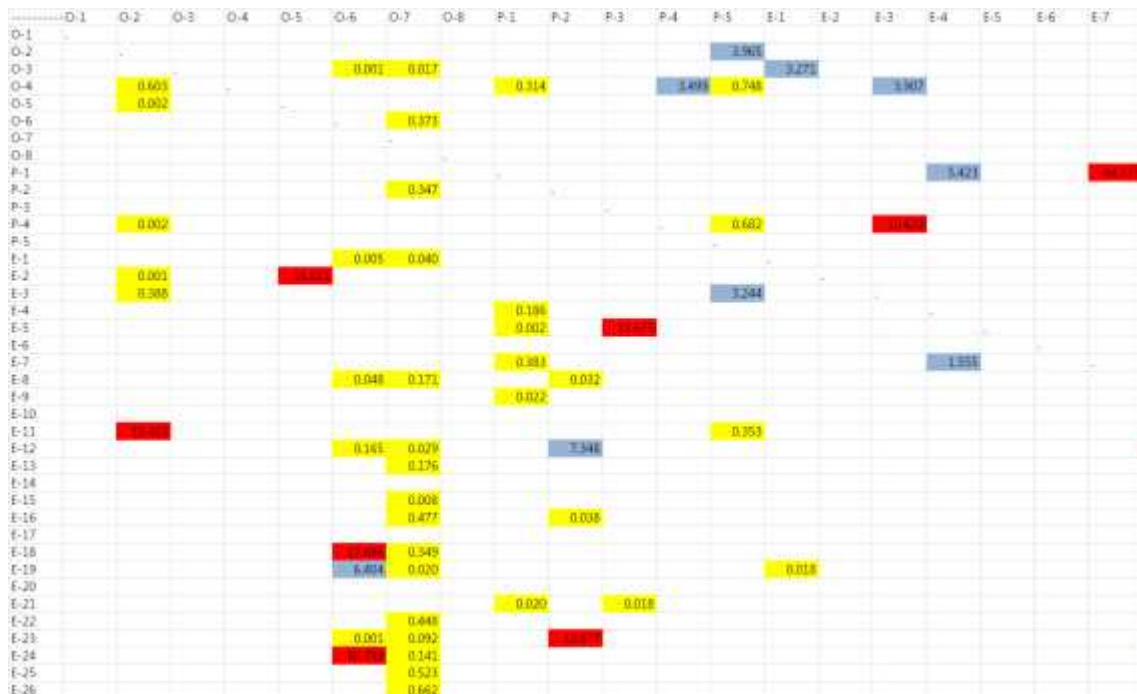


그림 110 A two dimensional matrix between source farm and neighboring farm for estimation of HPAI laden aerosol spread in 3 m/s wind speed and west wind direction (1)



그림 111 A two dimensional matrix between source farm and neighboring farm for estimation of HPAI laden aerosol spread in 3 m/s wind speed and west wind direction (2)

2008년도에 모델링 대상 지역인 전북 김제시에서 HPAI가 발생하였던 과거 사례를 바탕으로 CFD 모델의 정확도를 분석하기 위하여 해당 시기에 대한 상세한 기상 분석을 수행하였다. 해당시기는 2008년 4월1일부터 4월20일 동안으로 20일간의 온도는 최저 3.6도에서 최고 24.2도로 평균 12.2도를 나타내었다(그림 112). 풍속은 시간단위 평균값을 바탕으로 하여 0(무풍)에서부터 최대 7.8 m/s 까지 기록되었으며 평균 2.1 m/s 였다(그림 113). 상대 습도는 최대 100%에서 최소 14.9 %로 새벽에는 주로 온도가 떨어지면서 상대습도가 100%에 가깝게 증가하고 낮에는 온도가 올라가면서 상대 습도도 증가하는 경향을 보였다 (그림 114). 강우는 해당하는 기간 동안 총 23시간에 걸쳐 기록된 바 있다 (그림 115).

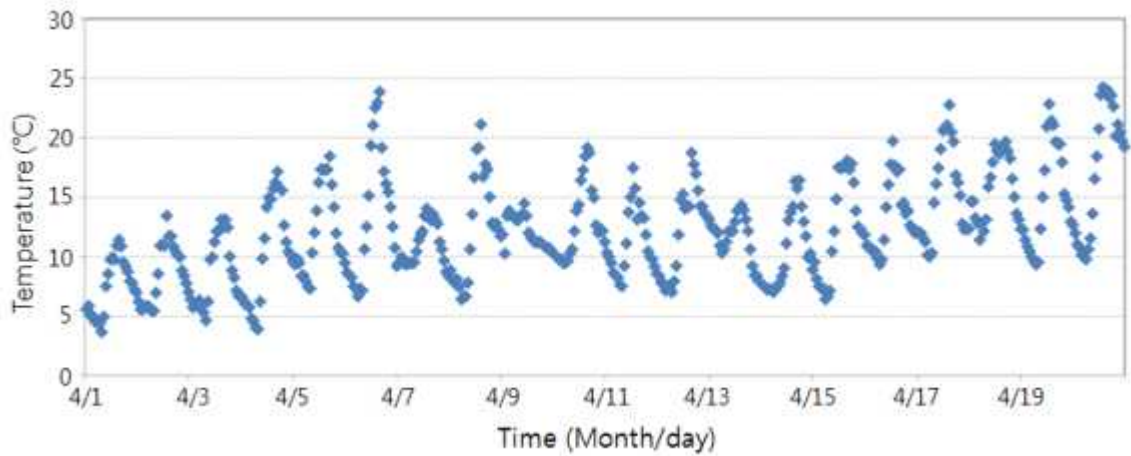


Figure 112 Temperature distribution during the HPAI outbreak in Kimje during April 1st to 20th, 2008.

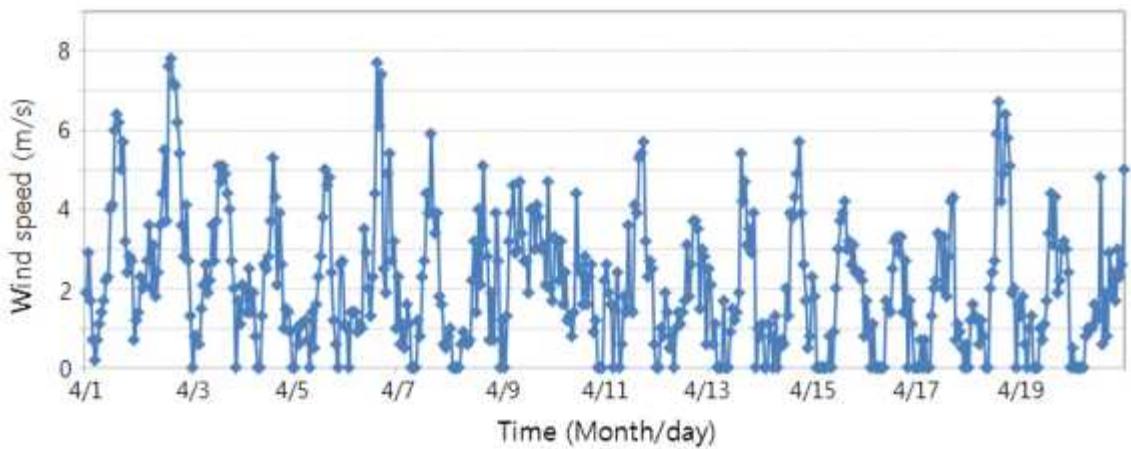


Figure 113 Wind speed distribution during the HPAI outbreak in Kimje during April 1st to 20th, 2008.

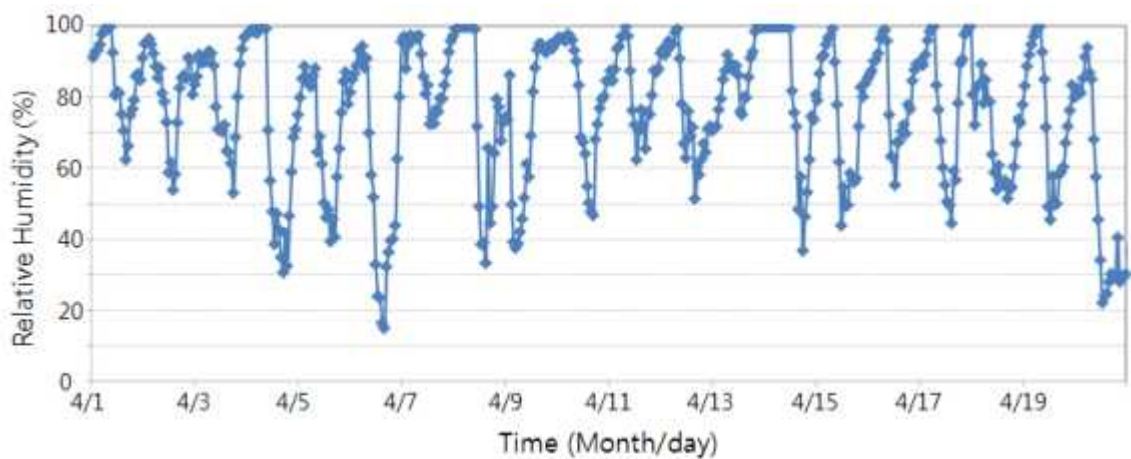


Figure 114 Relative humidity distribution during the HPAI outbreak in Kimje during April 1st to 20th, 2008.

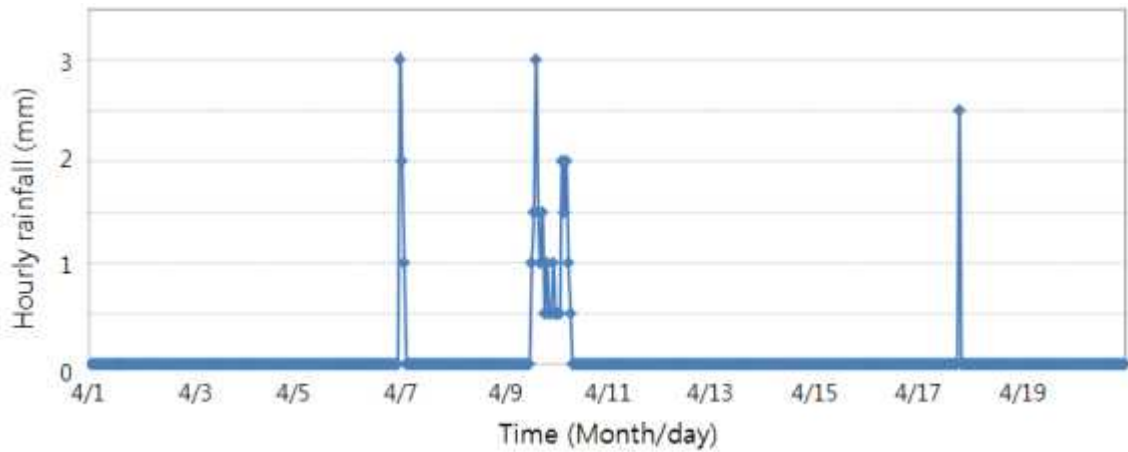


Figure 115 Rainfall during the HPAI outbreak in Kimje during April 1st to 20th, 2008.

김제지역에서 2008년도에 발생한 HPAI 사례를 바탕으로 CFD 시뮬레이션 모델을 검증하기 위하여 연구 대상 기간인 2008년도 4월 1일 0시부터 20일 24시까지의 기상을 바탕으로 풍환경 빈도 분석을 수행하였다(표 17). 기상청에서 제공하는 데이터 중 시간단위 평균 데이터를 바탕으로 하여 총 16 방위에 대한 데이터를 추출하였다. 즉, 북풍의 1 m/s 에 해당하는 7은 해당 기간인 총 480 시간 중에서 7시간동안 북풍 1 m/s 를 기록하였다는 의미이다. 총 데이터는 410 시간으로 해당 기간 중 70 시간은 풍속이 시간 평균으로 0이 기록되는 무풍 기간에 해당한다. 가장 높은 빈도를 보인 풍속은 2 m/s 로 바람이 부는 기간 중에서 약 29.3%를 차지하고 있으며, 풍향으로는 북서풍이 우세풍향인 것으로 나타났다.

표 17 풍환경 빈도 분석 (unit : 시간)

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1	7	3	2	4	1	4	13	4	3	6	2	2	6	3	6	10
2	13	3	5	6	8	7	10	22	6	2	0	2	5	10	6	15
3	2	1	0	5	9	4	6	10	1	4	1	2	7	7	13	20
4	2	0	1	6	5	3	1	1	1	2	1	0	2	12	11	11
5	1	0	0	1	4	2	0	0	0	0	1	1	0	3	9	11
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5	10
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	2
8 (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	0	0	1

본 연구에서 개발한 CFD 모델의 경우 총 8 방위를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였기 때문에 기상청 데이터를 바탕으로 수행한 풍환경 빈도 분석 데이터를 가공하여야 할 필요가 있다. 따라서 그림 116과 같이 모델링 상의 북풍은 ± 22.5 도를 포함하여야 하므로 기상청 데이터의 N 풍은 100 %, NNE와 NNW 풍향의 50 %를 가중하여 모델링의 북풍으로 변화하여 빈도 분포표를 계산하였다 (표 18). 이 데이터를 바탕으로 시뮬레이션 모델의 각 풍향 풍속 데이터와 확률 밀도함수를 계산하여 HPAI 발생농장에서 배출되는 공기오염물질이 인근 농장으로 미치는 영향을 분석할 수 있다.

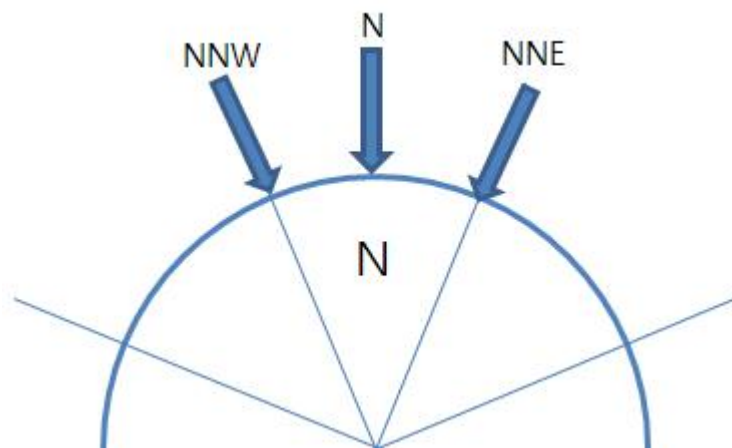


그림 116 빈도분석 데이터 변환 과정

표 18 풍환경 빈도 분석결과를 바탕으로 시뮬레이션 모델 적용 빈도데이터 추출 예시

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
3	10.00%	3.75%	6.88%	11.35%	7.08%	2.50%	6.46%	11.98%
5	2.40%	0.10%	1.15%	0.21%	0.00%	0.42%	0.83%	5.52%
7	1.35%	0.00%	0.00%	0.00%	0.31%	0.31%	1.35%	2.92%

(4) CFD 모델링 결과 분석을 위한 알고리즘 개발

CFD 시뮬레이션을 통하여 얻은 총 39개의 농장 및 도로에서 발생하는 질병을 포함하는 에어로졸의 확산 경향을 총 24개의 풍환경 (3가지 풍속 및 8가지 풍향)에 따라 분석한 결과를 사용하여 공기 중 HPAI의 농장 간 확산 현상을 예측하고자 하였다. 이를 위하여 그림 117과 같이 기상청에서 제공하는 1시간단위 기상데이터를 사용하여 기상빈도를 분석하였다. 원데이터의 다양한 데이터 중에서 시간, 풍향, 풍속, 강우 유무 등을 활용하였으며, 16방위 및 무풍에서 7 m/s 까지 1 m/s 간격 및 7 m/s 이상에 대한 8가지 등급으로 풍속에 대한 도수분포를 분석하였다. 그러나 CFD 시뮬레이션에서는 총 8방위 및 3가지 풍속만을 사용하여 시뮬레이션을 하였으므로 실제 데이터를 이에 맞도록 변환할 필요가 있었다. 이를 위하여 풍향의 경우 실제 데이터의 북풍과 북서풍 사이의 북북서풍의 경우 절반으로 나누어 각각 북풍과 북서풍에 가중함으로써 CFD 시뮬레이션의 8가지 풍향으로 만들어 주었으며, 풍속도 동일한 방법으로 가중치를 적용함으로써 전체를 3가지 풍속의 범위에 들어갈 수 있도록 조절하였다. 총 24가지 풍환경에 대한 대상 기간 동안의 빈도 분석 결과는 총 24가지의 공기유동해석 결과 Matrix를 식 (14)과 같이 계산한 후, 식 (15)와 같이 일 가중치를 고려하여 곱함으로써 해당하는 기간 동안 발생 농장에서 인근 농장으로의 확산을 예측할 수 있었으며, 추가적으로 도로인근에서의 확산에 대한 CFD 시뮬레이션 결과를 추가함으로써 최종적으로 해당 기간에서의 확산 정도를 분석할 수 있었다. 이와 같은 결과는 공기 중 에어로졸의 확산에 따른 HPAI 질병의 확산을 실제 사례를 통하여 검증하는데 사용하였으며, 동시에 3세부과제에서 개발하는 통합적 네트워크 모델에서 공기 중 확산 및 인접 확산 매트릭스로 구성되어 제공되었다.

$$MCFD = \sum(M_{wind} \times F_{wind}) \tag{14}$$

$$P_{n+d} = (MCFD \times P_n) \times d + (M_{road}) \times d \tag{15}$$

MCFD : CFD로 추정된 농장별 확산 Matrix (39 by 39)

Mroad : CFD로 추정된 도로에서 농장으로의 확산 Matrix (1 by 39)

Pn : n일째 되는 날의 HPAI 감염 확률 (1 by 39)

d : day

Mwind : 특정 풍환경일 때의 농장간 확산 Matrix (39 by 39), 풍속 3가지 풍향 8가지

Fwind : 각 풍향, 풍속별 해당기간의 발생 빈도 (%)

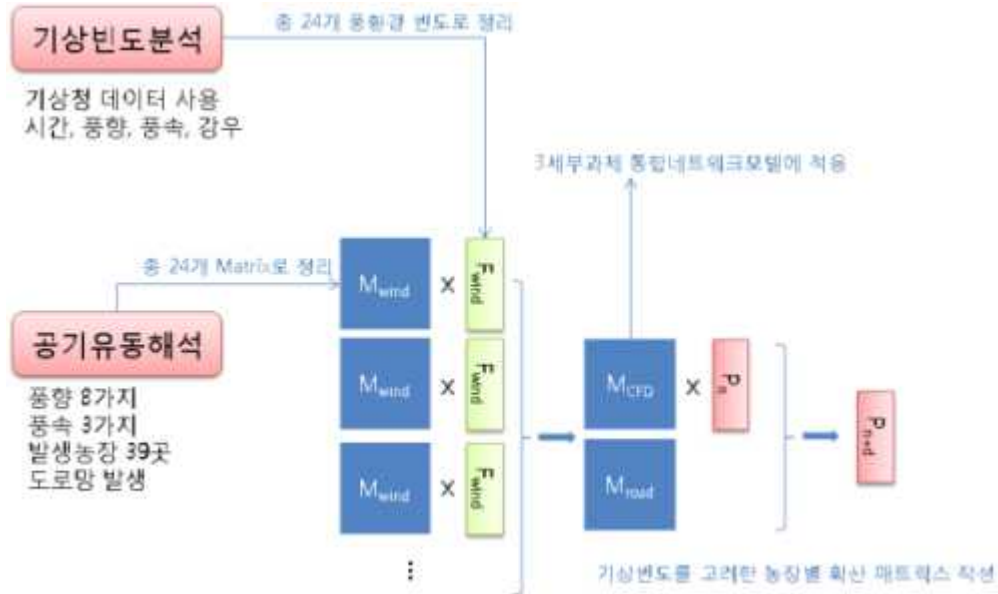


그림 117 공기 중 질병 확산 예측을 위하여 기상빈도분석 및 CFD 모델의 결과의 분석 모식도

(5) 2008년도 기상 자료를 적용하여 과거 HPAI 발생 사례를 바탕으로 CFD 모델 검증

2008년도 김제에서 발생한 HPAI 사례를 바탕으로 CFD 시뮬레이션 결과를 검증하였다. 이를 위해서 검증의 기초가 되는 데이터를 당시 검역원에서 작성한 상세한 역학조사보고서 바탕으로 농장 간 HPAI의 발생 및 전파 경로를 분석하고자 하였다(그림 118). 일반적으로 HPAI가 처음 발생한 농장의 경우 닭이 폐사하거나 기침, 산란률 감소, 사료섭취량의 감소 등의 임상증상을 농장 주인이 확인하는 기간이 약 5일정도로 판단하고 있다. 이는 HPAI의 농장 유입 초기에 소수의 닭이 나타내는 임상증상을 HPAI와 연계하여 판단하기가 어렵기 때문에 다수의 닭에서 임상증상이 확인되기 전까지는 농장관리인들이 이를 신고하지 않기 때문이다. 따라서 초기에 발생한 농장의 경우 HPAI가 확인되는 순간에는 이미 상당수 닭으로 질병이 전이되었을 확률이 높으며 동시에 해당 농장에서 발생하는 에어로졸에 의한 공기 중 전파 및 농장을 경유하는 다수의 축산관련차량 및 축산 관련인들에 의하여 다른 농장으로 확산될 가능성이 높다. 반면에 최초 발생 이후 인근 농장들은 HPAI의 농장 내 유입가능성에 대한 걱정으로 약간의 징후만 나타나도 즉각적인 신고를 통하여 HPAI 발생 유무를 상대적으로 빠르게 판단하고자 하기 때문에 임상증상을 확인하는 기간이 대폭 줄어들게 된다. 본 연구에서는 역학조사 보고서를 바탕으로 임상증상을 확인하는 일자로부터 약 4일전까지를 잠복기를 고려한 감염추정기간으로 가정하였으며, 다시 이로부터 약 8일전까지를 유입이 가능한 기간으로 가정하여 연구를 진행하였다.

공기 중 전파의 검증의 대상이 되는 확산 경로를 판단하기 위하여 그 현장 데이터의 기준을 유입가능기간의 첫 일, 감염추정기간의 첫 일, HPAI 확정일의 3가지 기준으로 크게 분류하여 어느 기준을 바탕으로 공기 중 전파를 예측하는 것이 가장 높은 정확도를 나타낼 수 있는 지 분석하고자 하였다.

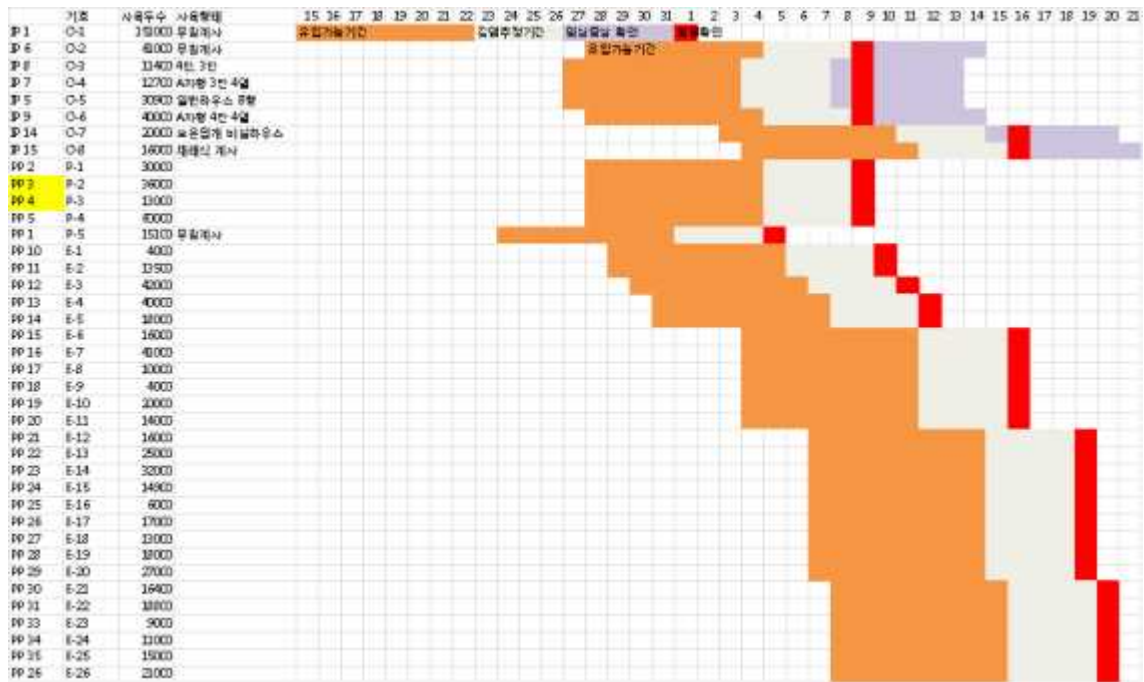


그림 118 2008년 김제 HPAI 발생 시 농장별 유입가능기간 (주황), 감염추정기간(회색), 임상증상 확인기간(연보라), HPAI 확정일(빨강)에 따른 타임라인 분석 결과 (검역원 역학조사보고서)

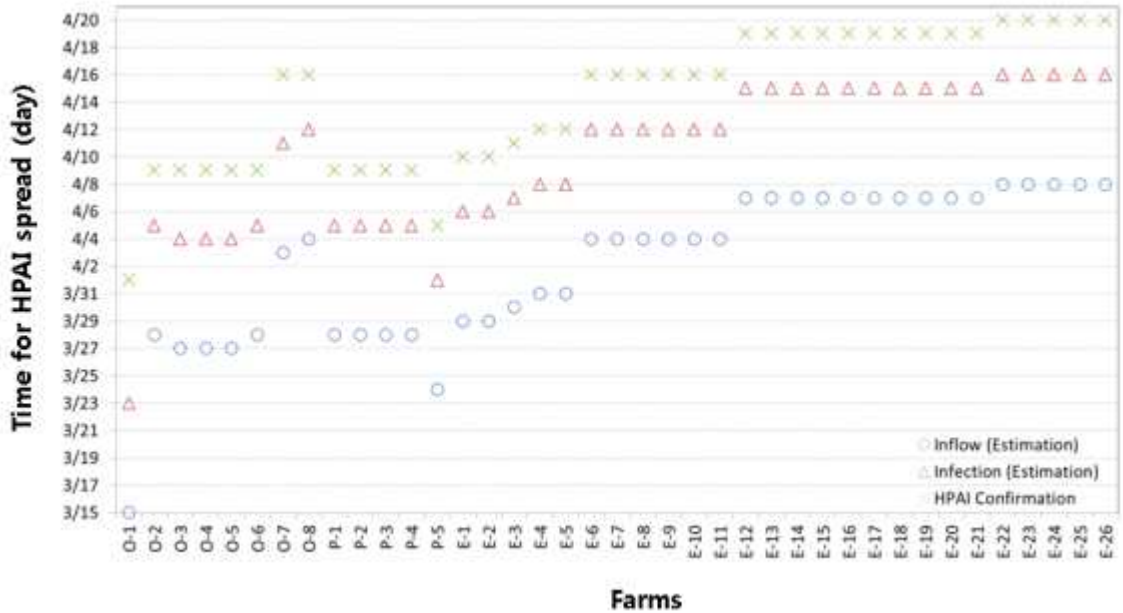


그림 119 타임라인 분석을 통한 농장 별 초기유입추정일(Inflow), 초기감염추정일(Infection), HPAI 확정일(confirmation)

전산유체역학 시뮬레이션을 통한 질병을 포함하는 에어로졸의 농장간 공기 중 확산을 예측한 결과를 실제로 HPAI가 발생하여 확산되었던 2008년도 김제 HPAI 사례를 바탕으로 하여 검증하고자 하였다. 앞서 언급한 타임라인 분석 결과를 바탕으로 하여 HPAI 확정일, 감염추정일, 유입추정일 중에서 어느 시기의 확산 경향이 공기 중 확산 시뮬레이션 결과와 유사한지를 분석하기 위하여 3가지 기준을 모두 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 또한 풍환경의 빈도 분석 방법 역시 편의를 위하여 가장 간단하게 전 연구 대상 기간을 통틀어서 하나의 빈도로 분석하는 방법과 확산 경향에 따른 4가지 기간으로 분할하여 분석을 하였으며, 마지막으로 일단위로 분할하여 분석하는 총 3가지 방법을 적용하였다. 따라서 표 19와 같이 총 9개의 케이스로 검증을 수행하였으며, 어느 경우에 가장 유사한 결과를 예측할 수 있는 지를 분석하였다. 4 기간으로 전체 연구 대상기간을 나누었으며 각 기간은 표 20과 같이 타임라인 분석에 따라서 다수의 농장이 포함되는 기간을 묶었으며 최초 발생 농장이 포함된 기간 1을 다른 기간에 비하여 길게 선정하였으며, 나머지 기간들은 동일하게 분할하였다. 이는 초기 발생농장에서는 HPAI 발생 시 이를 인지하고 신고하여 확정을 받는 기간이 긴 반면, 그 후에 이어지는 농장의 경우 발생이 된 사실을 알고 초기에 인지 및 방역을 수행하기 때문에 상대적으로 기간이 줄어들기 때문이다.

표 19 풍빈도 분석 및 검증 기준일에 따른 검증 Case 선정

기준일	기간 전체	4 기간으로 분할	매일단위로 분석
HPAI 확정일	Case 1	Case 2	Case 3
감염추정일	Case 4	Case 5	Case 6
유입추정일	Case 7	Case 8	Case 9

표 20 검증 대상일 기준별 확산 경향에 따른 4 기간으로 분할 시 각 기간 별 일자

	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4
HPAI 확정일	4/1~	4/9~	4/13~	4/17~4/21
감염추정일	3/23~	4/4~	4/9~	4/13~4/17
유입추정일	3/15~	3/27~	4/1~	4/5~4/9

일반적으로 에어로졸은 강우 시 농도가 현저히 낮아지기 때문에 거의 비산 또는 확산되지 않는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 풍환경 빈도 분석은 기상 데이터 전체 중에서 강우가 기록된 기간을 제외한 나머지를 분석하였으며, 무풍을 고려하여 이를 제외하여 비가 내리지 않고 바람이 부는 기간만을 대상으로 분석을 수행하였다. 또한 각 기간에 따라서 일별 가중치를 고려하였으며, 계산 순서는 다음과 같다.

- 1) 3개 풍속, 8개 풍향, 40개 발생원(39농장, 1도로)에 대한 시뮬레이션 모델의 결과를 Matrix화 하여 이를 DB로 구축함.
- 2) 해당하는 시기의 풍향, 풍속, 강우 데이터를 바탕으로 풍환경 정리함.
- 3) 함수를 사용하여 이를 3개 풍속, 8개 풍향의 풍환경 테이블로 만들.
- 4) 풍환경 테이블과 환경별 시뮬레이션 결과를 함수화하여 해당 기간에 대한 전파 가능성을 분석함.
- 5) MATLAB을 사용하여 Matrix를 각 스텝별로 확률을 계산함.

현재까지 공기 중 전파에 의한 농장 간 HPAI의 확산에 대한 공기유동학적 시뮬레이션 결과에 관한 연구는 매우 드물며, 다른 질병에 관하여서도 공기 중 확산을 예측하기 위한 연구가 매우 드물었다. 또한 일부 논문에서는 가우시안 모델 등을 사용하여 대략적으로 농도의 분포나 경향에 대한 연구는 진행된 사례를 찾을 수 있었으나, 이들 연구에서도 확산에 대한 특별한 기준을 제

시한 사례는 없었으며, 이들 연구는 단일한 발생원에서의 확산되는 영향만을 고려하였다. 때문에 초기 발생원에서 다음 농장들로 질병이 전파되어 이들 농장이 감염된 후에 초기 발생농장과 함께 감염된 농장에서 발생하는 공기오염물질에 의한 기하급수적으로 확산되는 경향을 전혀 분석할 수가 없었다. 반면에 본 연구에서는 초기 발생농장에서 인근 농장들로 질병을 포함하는 공기 중 에어로졸이 확산된 후 어느 정도 농도가 축적된 순간 이들 농장이 감염되는 것으로 가정하였다. 이렇게 감염된 것으로 가정된 농장들은 다시 발생원으로 구분되어 초기 발생농장 및 이전 단계에서 감염된 농장들과 함께 발생원으로 구분되기 때문에 시간이 갈수록 인근 농장으로의 확산이 더 커지고, 기하급수적으로 감염농장이 증가하는 경향을 묘사할 수 있었다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 아직까지 이와 같은 공기 중 전파에 대한 공기유동학적 시뮬레이션 연구가 매우 초기 단계이기 때문에 어느 정도의 농도에 노출될 경우 공기 중으로 감염될 수 있다는 연구 결과가 매우 미흡한 실정이다. 또한 실제 현장에서는 질병을 포함하는 많은 양의 에어로졸에 노출되더라도 계사의 환기구조적 특성 및 농장주에 운영방안에 따라서 전파가 이루어지지 않을 수도 있으며, 반대로 적은 양에 노출되더라도 감염이 될 수 있다는 불확실성이 매우 크게 좌우된다. 따라서 기준을 결정하는 것이 모호한 문제가 있으나, 이는 추후 실제 HPAI 바이러스를 대상으로 하는 공기 중 노출에 의한 전염 가능성에 대한 상세한 현장 실험을 바탕으로 정확한 수치를 얻을 수 있다면 보완이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 이와 같은 실험은 실제 전염성 바이러스를 대상으로 하므로 실험을 할 수 있는 격리된 동물사 및 관련 전문가의 협력이 필요한 매우 어려운 실험으로 본 연구에서는 실제로 수행하는 것이 불가능하였다.

따라서 본 연구에서는 임의로 각 농장으로 도달하는 공기 중 에어로졸의 노출농도가 일정한 농도 이상이 될 경우 그 농장이 공기 중으로 감염이 되었을 것으로 가정을 하였으며, 그 농도는 일반적인 대기 중 에어로졸의 농도를 감안하여 $10 \sim 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 영역을 대상을 분석을 수행하여 공기 중 질병 확산의 적정한 기준 농도를 설정하고자 하였다. 그림 120~123은 전산유체역학 시뮬레이션 결과를 바탕으로 HPAI가 감염된 농장에서부터 발생하는 공기 중 에어로졸의 농도가 각각 10, 20, 30, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 될 경우 해당하는 농장이 공기 중 전파로 인하여 감염되었다고 각각 가정하여, 역학조사결과 보고서 결과 중 HPAI 확정일을 기준으로 각 농장의 질병 전파를 크게 초기 발생 농장(Initial)에서부터 4단계로 나눈 결과와 전산유체역학 시뮬레이션 결과를 비교 분석한 결과이다. 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 공기 중 전파의 기준으로 한 경우 평균 1.00 기간 차이와 함께 0.764의 표준편차를 나타내었으며, 상대적으로 기준이 낮게 설정된 관계로 4번째 기간의 경우 발생 정도를 시뮬레이션이 과대평가하는 결과를 보였다. 반면에 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기준으로 한 경우 1.66의 기간 차이와 1.206의 표준편차를 보였으며, 상대적으로 기준이 높게 설정되어 시뮬레이션의 결과가 실제보다 과소평가되는 결과를 보였다. 따라서 테스트 결과 중 가장 평균 기간 차이가 적게 나타나는 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기준으로 삼고 총 9가지의 다른 기준 일자 및 풍환경 분석 기간에 따른 전산유체역학 시뮬레이션 모델의 결과를 현장에서 조사한 결과와 비교 분석하였다.

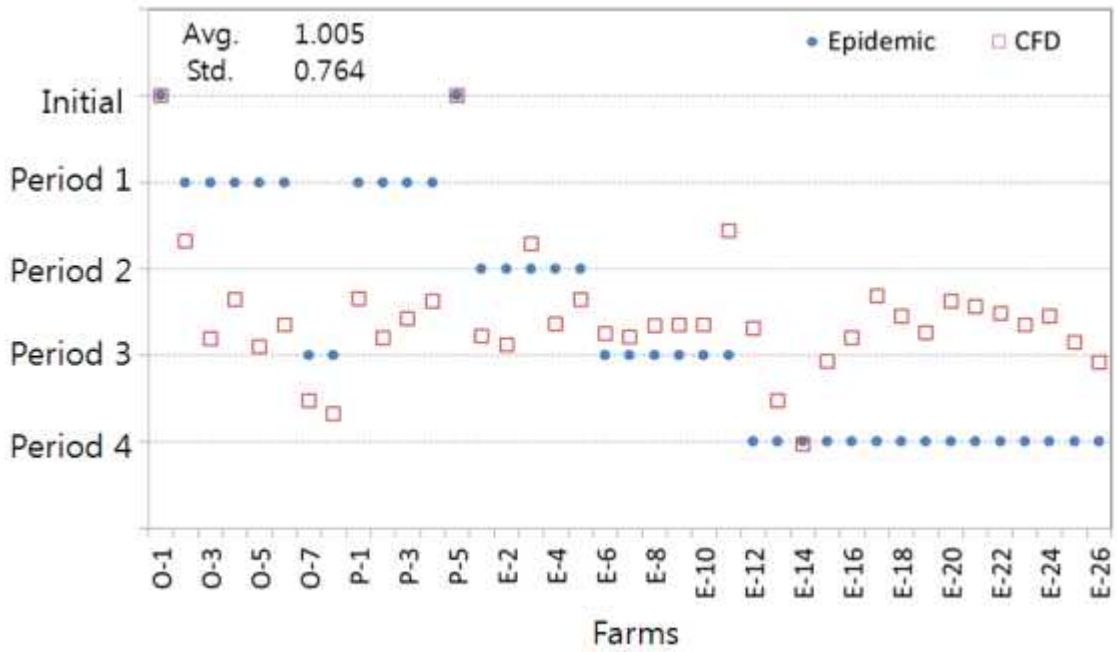


그림 120 공기 중 도달 에어로졸 농도가 10 ug/m³ 일 경우를 감염이 되었다고 가정할 경우 기간 별 및 농장 별 공기 중 확산 결과의 역학조사결과(Epidemic) 및 공기유동학적 시뮬레이션 분석 결과(CFD)

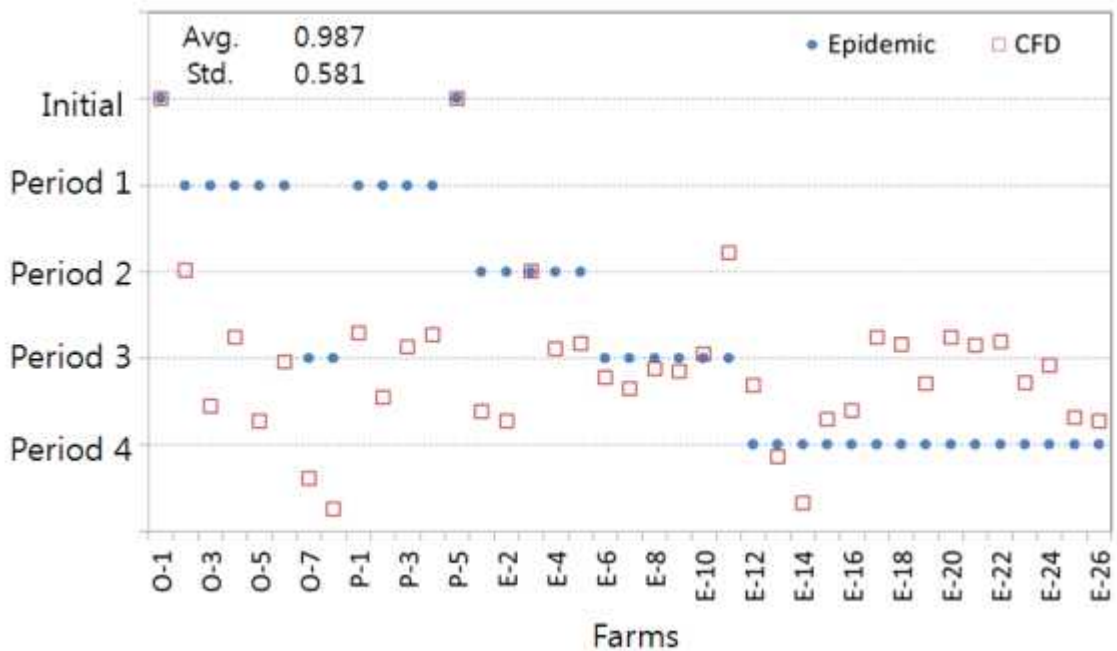


그림 121 공기 중 도달 에어로졸 농도가 20 ug/m³ 일 경우를 감염이 되었다고 가정할 경우 기간 별 및 농장 별 공기 중 확산 결과의 역학조사결과(Epidemic) 및 공기유동학적 시뮬레이션 분석 결과(CFD)

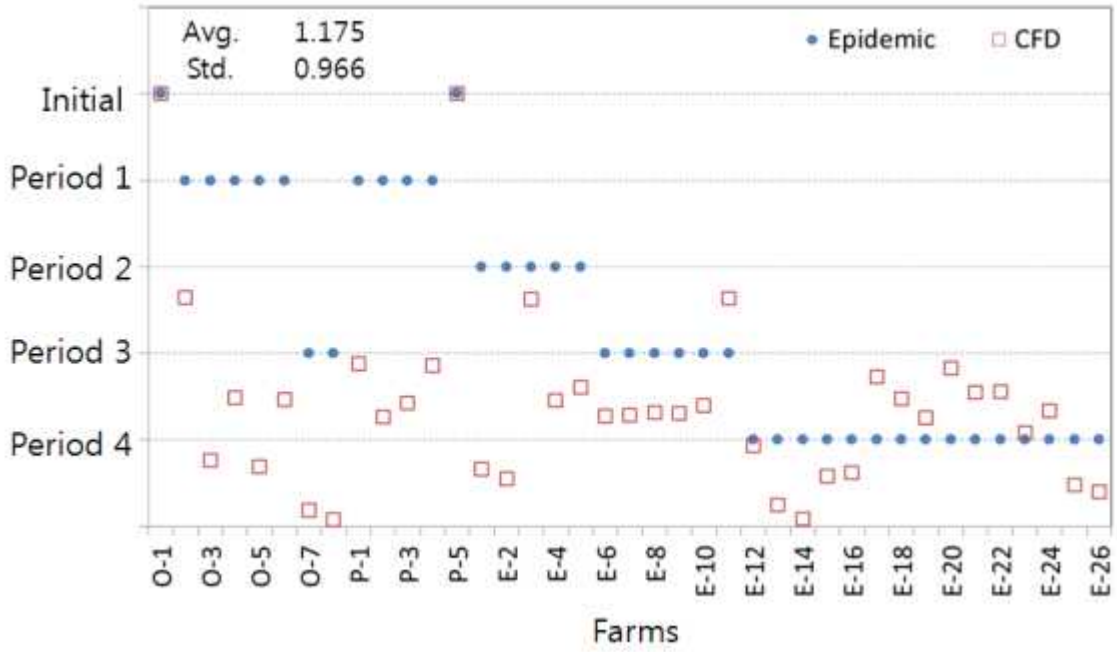


그림 122 공기 중 도달 에어로졸 농도가 30 ug/m3 일 경우를 감염이 되었다고 가정할 경우 기간 별 및 농장 별 공기 중 확산 결과의 역학조사결과(Epidemic) 및 공기유동학적 시뮬레이션 분석 결과(CFD)

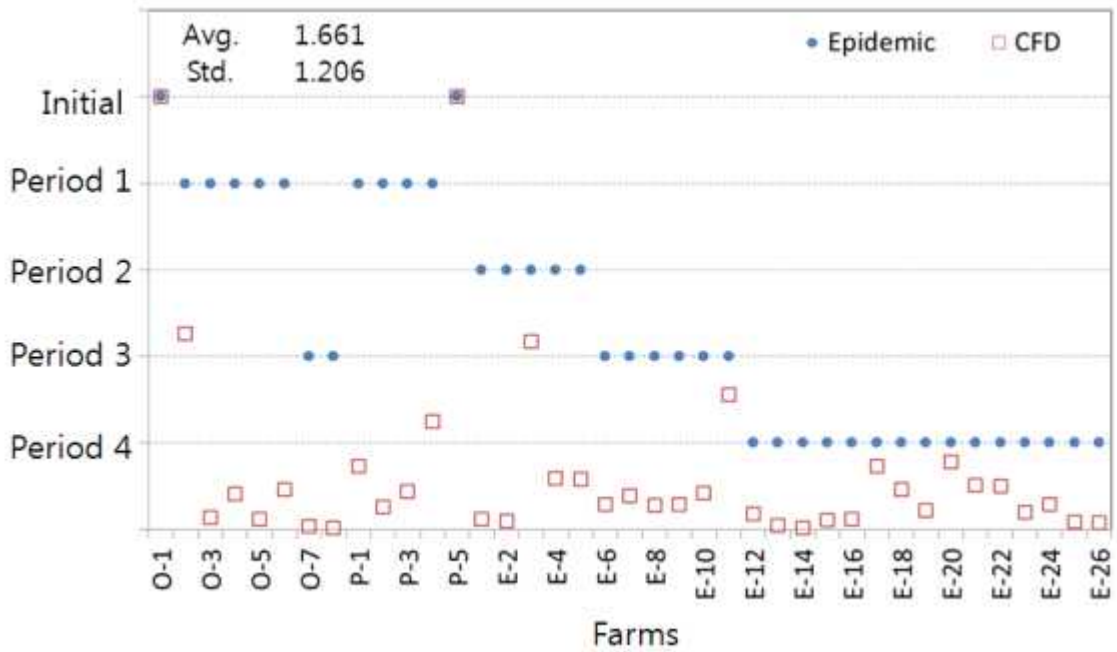


그림 123 공기 중 도달 에어로졸 농도가 50 ug/m3 일 경우를 감염이 되었다고 가정할 경우 기간 별 및 농장 별 공기 중 확산 결과의 역학조사결과(Epidemic) 및 공기유동학적 시뮬레이션 분석 결과(CFD)

앞서 선정된 다양한 분석 방안을 기준으로 하여 HPAI 확정일, 감염추정일, 유입추정일의 3가지 확산 경향 및 해당하는 연구 기간동안의 기상데이터의 풍환경 분석을 전체기간, 4단계 기간, 매일 분석하는 3가지 풍환경 빈도 분석의 조합에 따른 총 9가지 케이스에 따라 시뮬레이션 모델을 검증하고자 하였다. 그림 124~132는 총 9가지 조합에 따라 실제 역학조사 보고서를 토대로 조사된 기간과 전산유체역학 시뮬레이션 모델에 의하여 예측된 기간을 검증한 결과를 나타낸 것이다. 농장간 확산 매트릭스의 경우 공기 중으로 전파되어 질병이 확정되는 유무를 시뮬레이션 결과에 따라서 0에서 1사이의 소수를 포함하는 확률적인 개념으로 표시하고 있는 반면에 실제 현장에서 조사한 결과는 유무의 이분적인 개념으로 0과 1로만 표시가 될 수 있다. 따라서 서로 다른 개념의 수치를 정량적으로 분석하는 것이 곤란하여 감염기간이라는 개념을 사용하여 이를 비교하고자 하였다. 그림 19의 경우 감염기간은 총 20일의 분석 대상 기간 중에서 농장이 감염되어 있는 기간을 나타내는 의미로써, 초기 발생 농장은 이미 HPAI에 감염이 되어 있기 때문에 확률상 1로 시작하며, 한번 발생한 이후로는 계속 발생이 되어 있는 상태로 가정하기 때문에 연구 대상 기간 동안 1이라는 수치를 가진다. 따라서 기간 동안의 값을 모두 합하면 총 20의 감염기간을 가지게 된다. 같은 요령으로 5일 후 확정이 된 농장은 5일째부터 20일째까지 감염이 되어 있는 것으로 연구 기간인 20일 중 16일 동안을 감염된 상태로 존재함으로써 감염기간은 16이 된다. 같은 요령으로 전산유체역학에 의한 시뮬레이션 결과 역시 20일 동안 매일의 감염되었을 확률을 더함으로써 감염기간을 추정할 수 있었다.

전체기간을 사용한 경우 시뮬레이션과 역학조사결과와의 평균 오차는 약 4.52일인 반면 4단계 기간을 적용한 경우가 4.45일로 거의 유사한 경향을 보였다. 또한 표준편차역시 약 5.7% 차이로 미세하게 4단계 기간을 적용한 경우가 더 유사한 결과를 보였으나, 실제로 결과의 차이는 크지 않았다. 반면에 매일 풍환경을 다르게 적용한 경우 평균 5.29일의 오차를 보여 약 18.9% 더 큰 오차를 보였으며, 표준편차 역시 3.86일로 약 35.9% 더 크게 벌어진 결과를 보였다. 이는 매일 풍환경을 적용함에 따라서 무풍일수나 강우에 따라서 특정 풍향이나 풍속에 지나치게 높은 비율을 적용받는 경우 특정한 방향에 있는 농장에 대한 공기 중 질병의 확산 가능성이 높게 예측될 수 있으며, 이와 같은 과대추정된 결과가 연구 대상기간 동안 누적 및 중첩되어 대체로 결과가 과대 추정되는 경향을 보였다. 이로 인하여 y절편을 0으로 고정하여 선형적인 추세를 그려보면, 표 8과 같이 매일 적용한 경우가 상대적으로 최대 21.7% 기울기가 상승하는 등 시뮬레이션의 결과가 실제값보다 과다 추정되는 경향을 보였다.

다양한 조합을 분석한 결과를 보면 4단계로 기간을 적절하게 나누어서 풍환경을 분석한 후 유입추정일을 기준으로 질병의 확산 경향을 비교한 시뮬레이션 예측 결과와 역학조사결과 보고서를 바탕으로 실제 2008년도 김제 HPAI발생의 유입추정일과의 경향이 가장 비슷한 결과를 보였다. 이를 통하여 시뮬레이션에서 분석한 공기 중 질병의 전파는 HPAI의 농장내 유입과 가장 큰 연관성이 있는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 이를 활용하여 추후 HPAI가 김제 지역에 발생하였을 경우, 발생농장에서부터 인근의 다른 농장들로 언제쯤 질병이 유입되었는지를 추정하는데 본 시뮬레이션의 결과를 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러한 예측 결과를 토대로 질

병이 유입되었을 확률이 높은 농장부터 역학조사 및 질병의 역학적 및 병리학적 분석을 통하여 실제 감염 유무를 빠르게 확인함으로써 질병의 조기 방역 및 전파의 차단을 달성할 수 있으며, 질병이 발생하지 않았더라도 공기 중 유입가능성이 높은 농장에서는 추가적으로 환기 구조적 또는 농장 관리적인 측면에서의 대책을 마련하여 추가적인 질병의 확산을 예방하는데 큰 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다

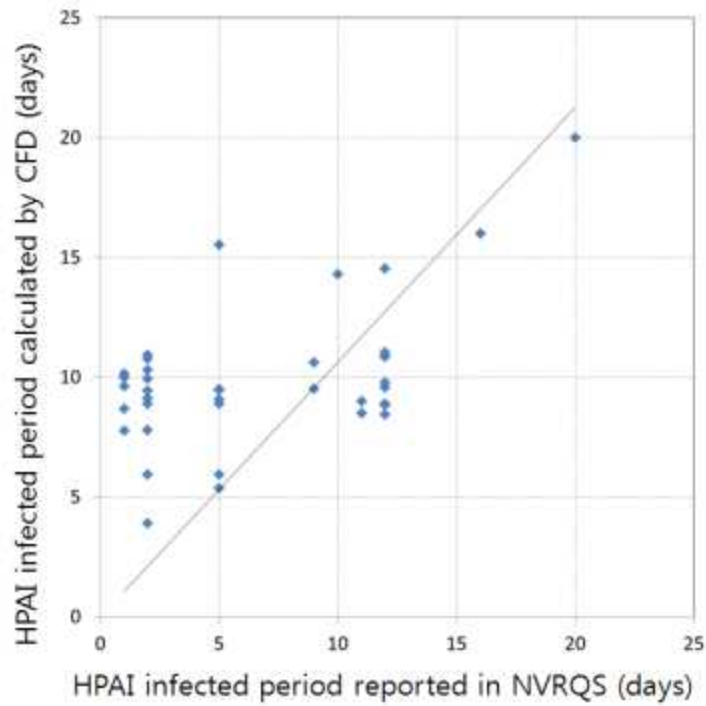


그림 124 Case 1 (HPAI 확정일, 전체기간) 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산 검증 결과

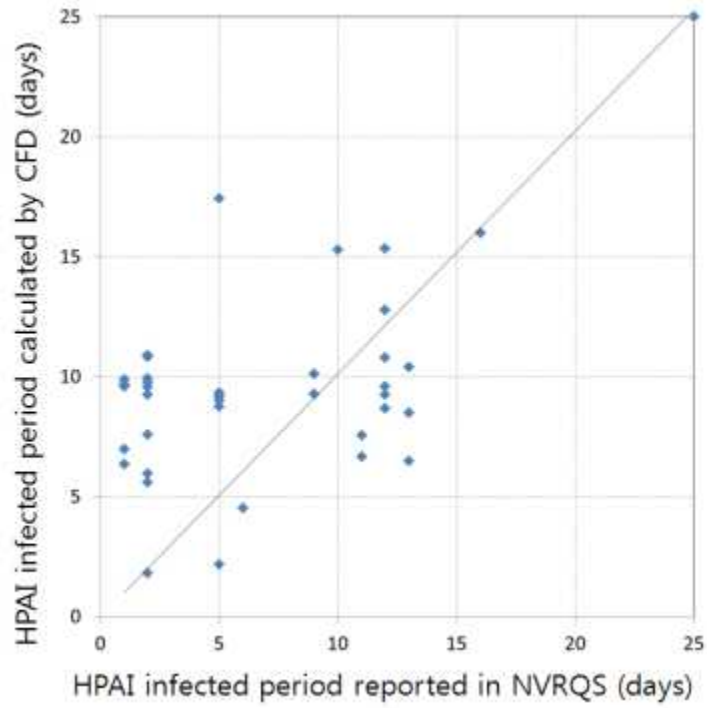


그림 125 Case 2 (감염추정일, 전체기간) 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산 검증 결과

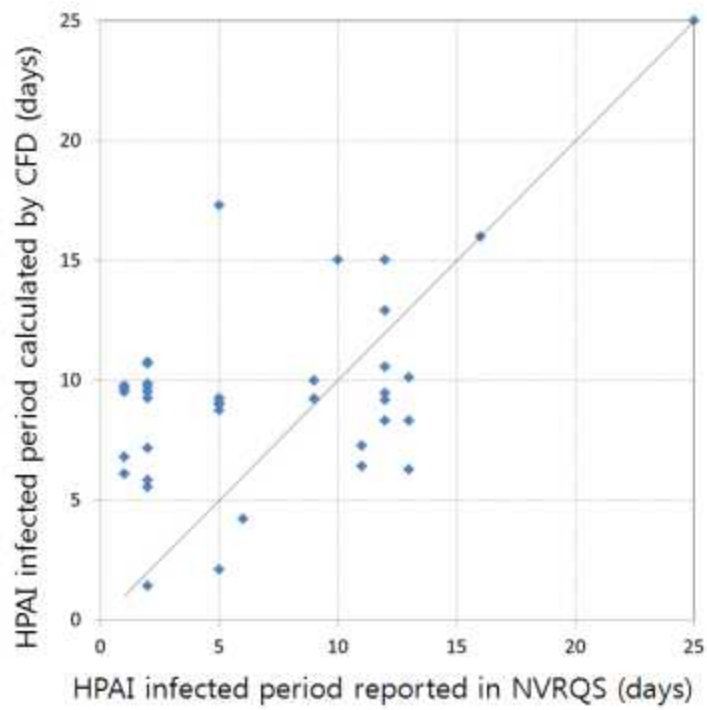


그림 126 Case 3 (유입추정일, 전체기간) 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산 검증 결과

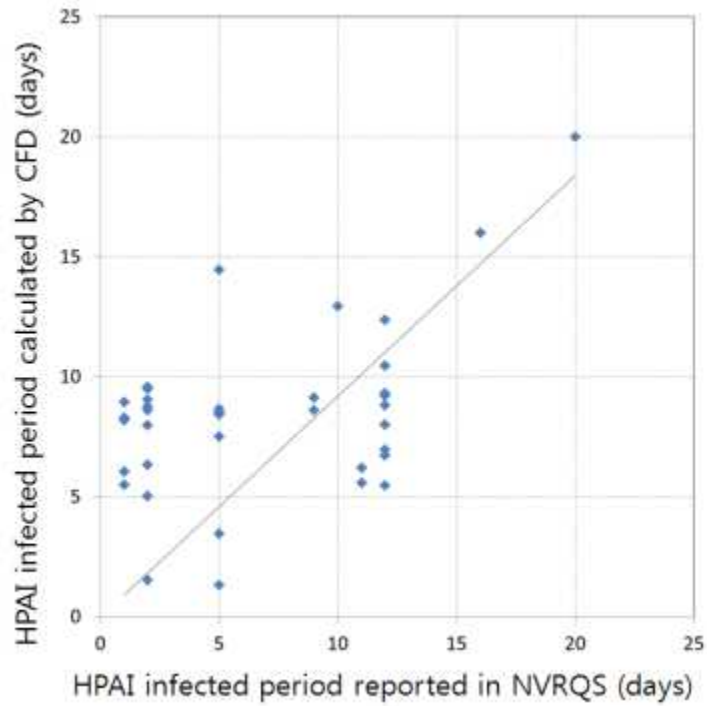


그림 127 Case 4 (HPAI 확정일, 4 단계 기간) 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산 검증 결과

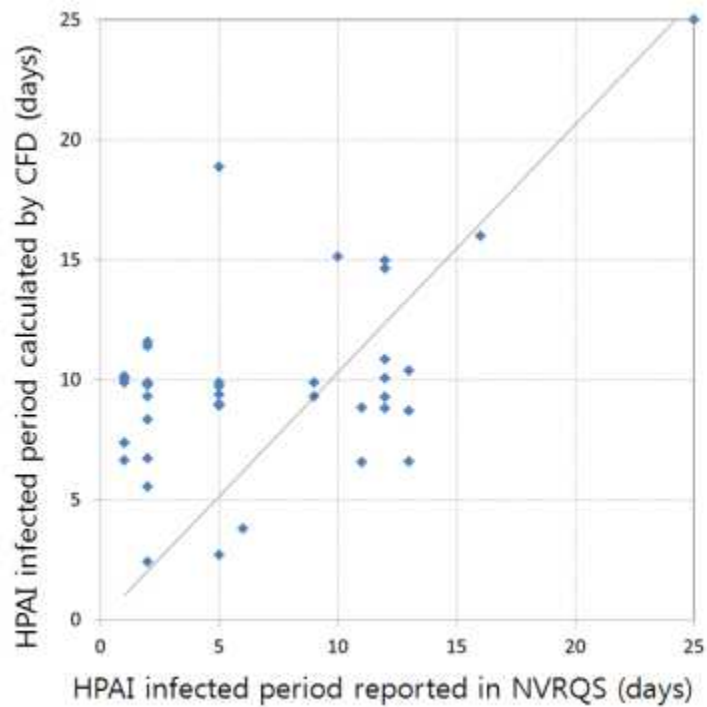


그림 128 Case 5 (감염추정일, 4 단계 기간) 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산 검증 결과

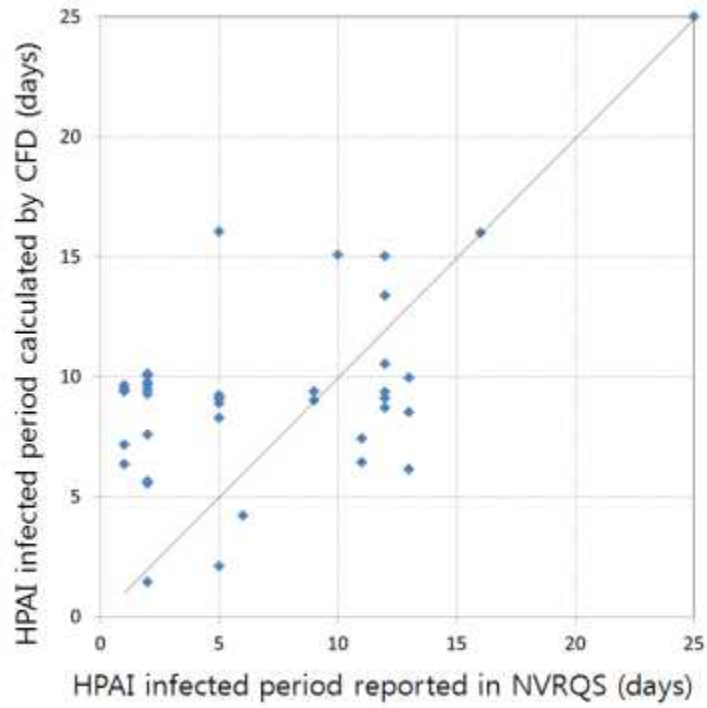


그림 129 Case 6 (유입추정일, 4 단계 기간)
 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산
 검증 결과

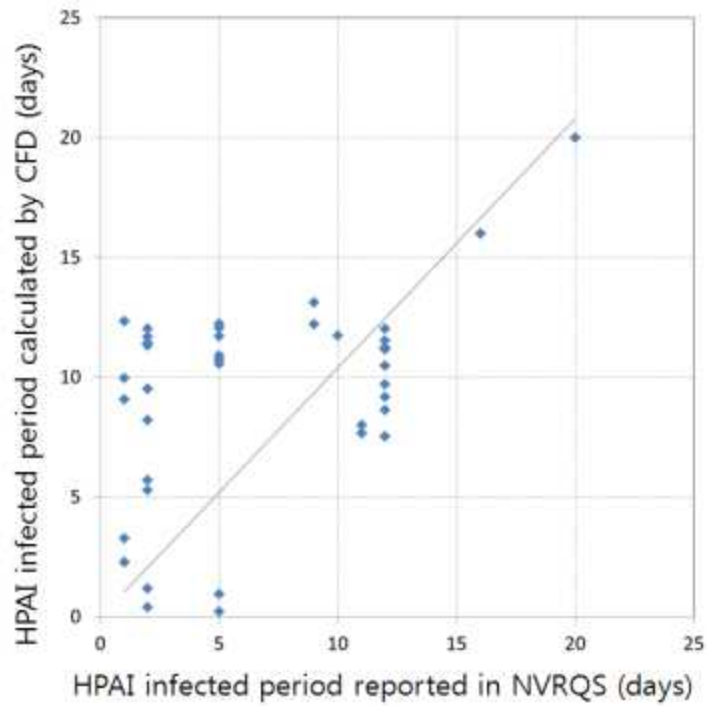


그림 130 Case 7 (HPAI 확정일, 매일 분석)
 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산
 검증 결과

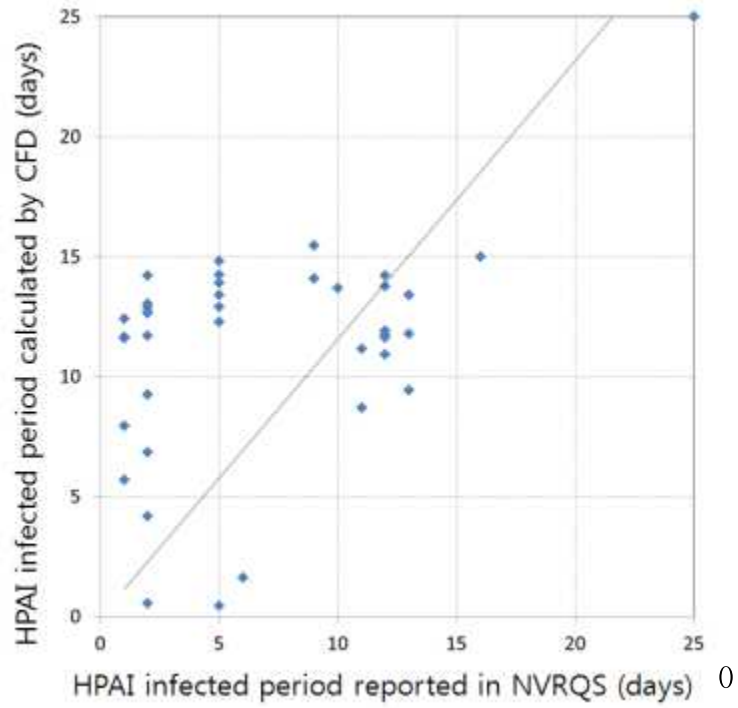


그림 131 Case 8 (감염추정일, 매일 분석) 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산 검증 결과

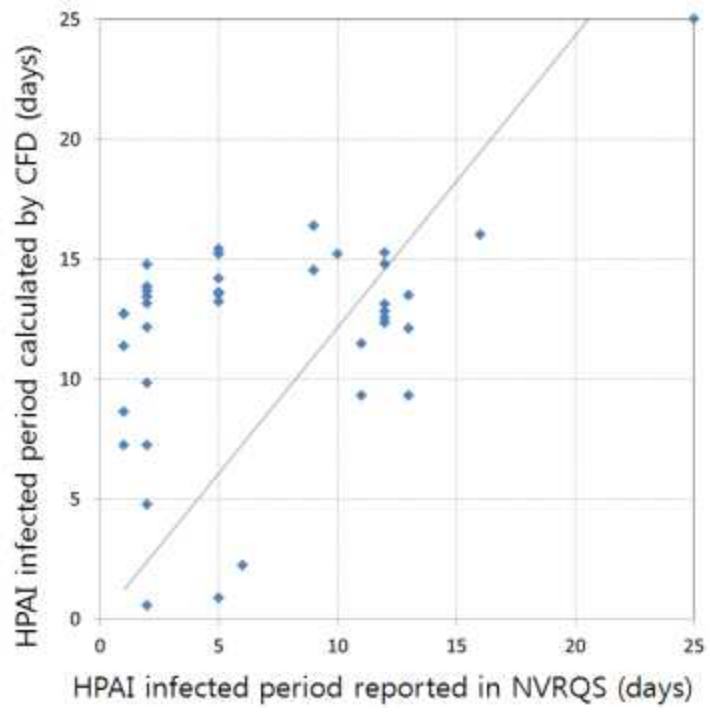


그림 132 Case 9 (유입추정일, 매일 분석) 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 통한 공기 중 질병 확산 검증 결과

표 21 전산유체역학 시뮬레이션 모델 검증 결과

	유입추정일 기준	감염추정일 기준	HPAI 확정일 기준
전체기간	4.43 (3.09)	4.57 (3.01)	4.57 (2.94)
4단계 기간	4.12 (2.51)	4.74 (3.19)	4.48 (2.82)
매일 적용	4.42 (3.22)	5.52 (4.07)	5.93 (4.29)

표 22 y절편을 0으로 고정된 후 선형적 추세선을 작성 시 각 직선의 기울기

	유입추정일 기준	감염추정일 기준	HPAI 확정일 기준
전체기간	0.999	1.013	1.063
4단계 기간	0.997	1.033	0.920
매일 적용	1.217	1.159	1.039

그림 133~137은 앞선 시뮬레이션의 검증 결과 중에서 가장 근사한 Case 4를 사용하여 시간에 따라 질병이 확산되는 경향을 지도에 도시한 것이다. 초기에 질병이 발생한 농장은 전체 연구 대상 영역 내에서 남서쪽에 위치한 농장들으로써, 시간이 지남에 따라서 점차 북서쪽으로 확산되어 가는 경향을 확인할 수 있다. 이는 해당 연구 대상 시기에서 약 26.8 %로 가장 많은 높은 빈도를 보인 북서풍 계열의 영향으로 판단되며, 또한 북풍, 북서풍, 서풍을 합하여 약 55.1 %의 빈도를 보여 대체로 유사한 방향으로 공기 중 전파가 발생하는 결과를 보였다. 또한 최초 감염 농장에서 배출되는 공기 중 에어로졸을 통하여 HPAI 바이러스가 확산되는 경우 인근 농장으로의 확산 가능성이 상대적으로 더디게 발생하였으나, 공기 중 확산을 통하여 추가적으로 인근 농장들이 감염된 이후로는 확산 양상이 급격하게 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 기존의 2개의 농장에서만 바이러스가 배출되는 경우보다 발생원이 증가함에 따라서 공기 중으로 배출되는 바이러스 및 에어로졸의 농도가 크게 증가하였기 때문이다. 따라서 HPAI 발생 초기에 질병에 오염된 농장에 대한 신속한 방역조치와 함께 그 동안 유입되었을 확률이 높은 인근 농장에 대한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 해당하는 농장에 대한 살처분, 입배기구의 차단, 인적 및 물적 자원의 교류 차단 등 적절한 방역조치를 취함에 따라서 공기 중으로의 질병의 확산 경향을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

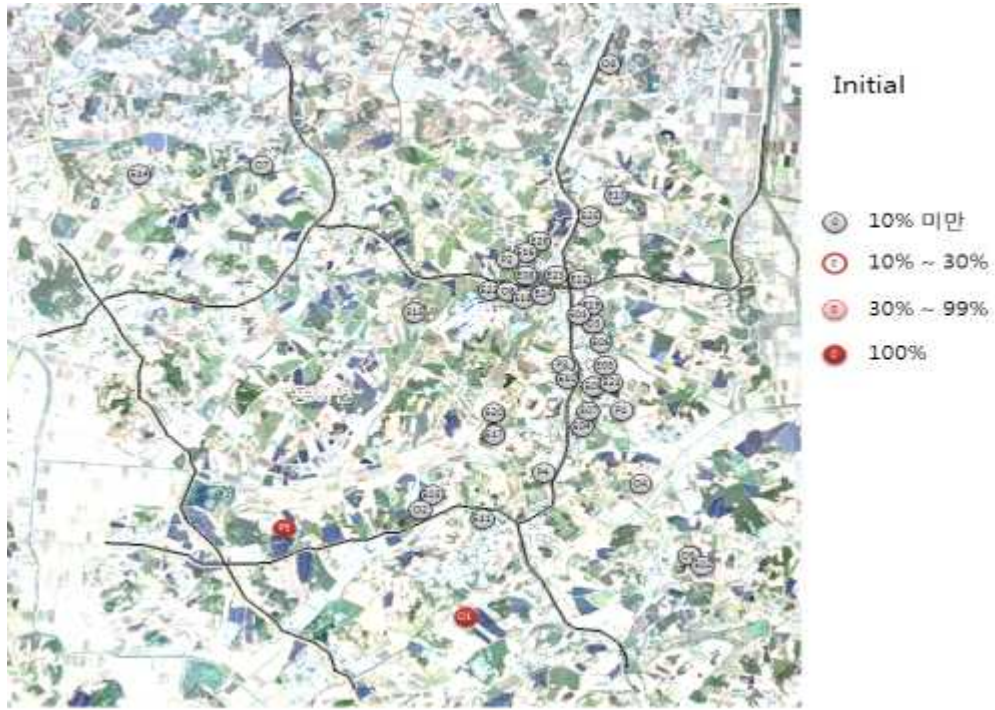


그림 133 2008년도 4월 1일~4월 20일 사이의 기상데이터를 바탕으로 분석한 기간에 따른 질병의 확산 경향 예측 결과 (초기 발생 농장)

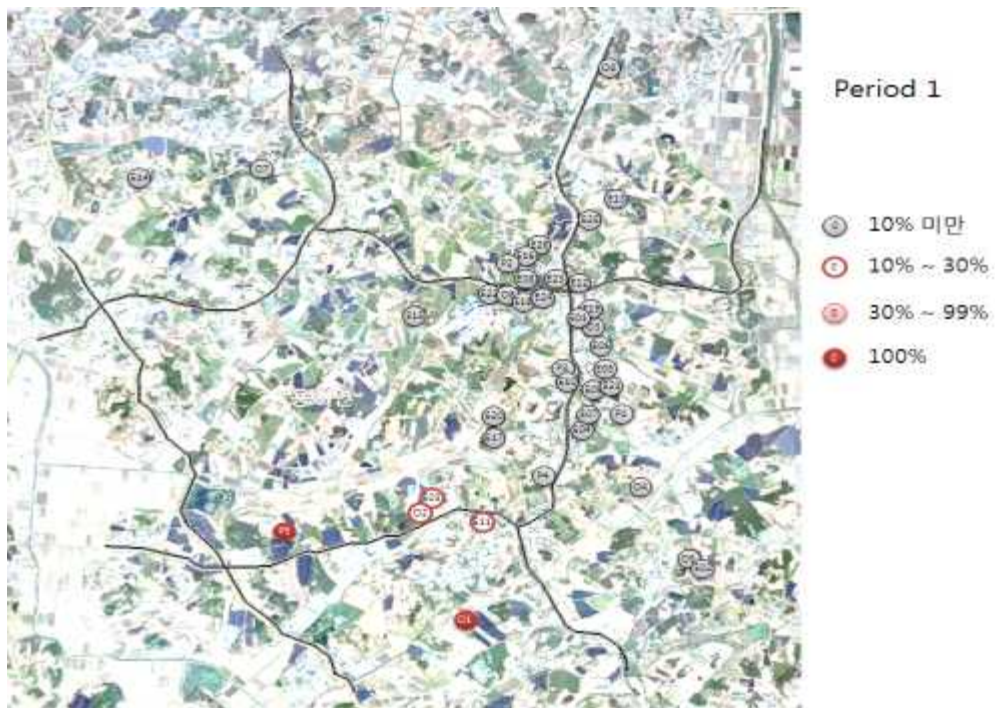


그림 134 2008년도 4월 1일~4월 20일 사이의 기상데이터를 바탕으로 분석한 기간에 따른 질병의 확산 경향 예측 결과 (초기 농장 발생 후 8일 경과)

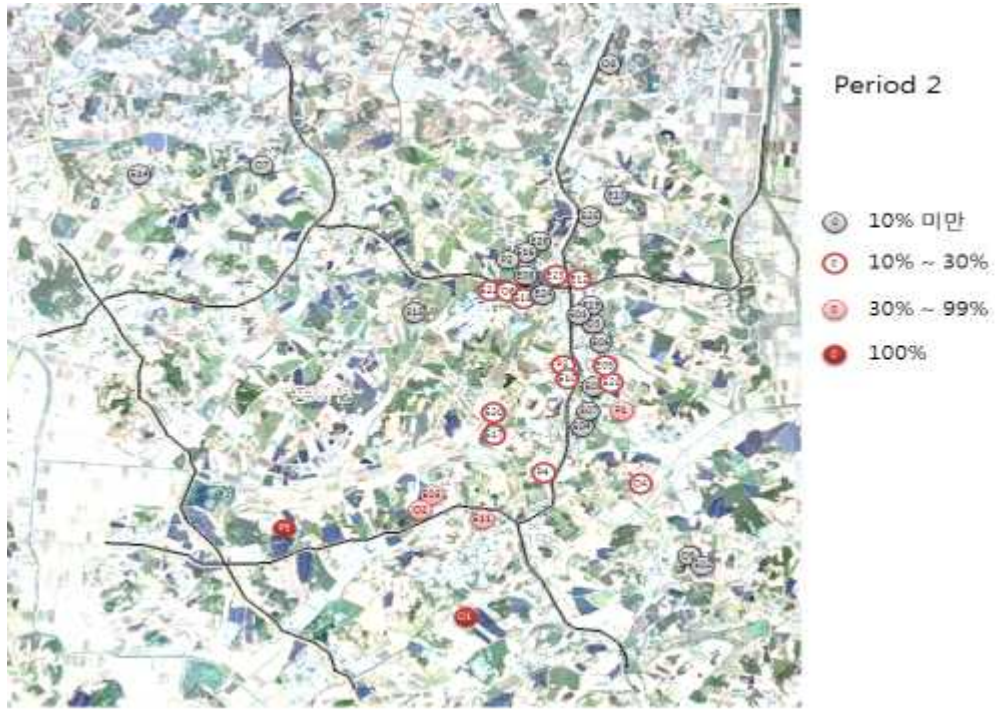


그림 135 2008년도 4월 1일~4월 20일 사이의 기상데이터를 바탕으로 분석한 기간에 따른 질병의 확산 경향 예측 결과 (초기 농장 발생 후 12일 경과)

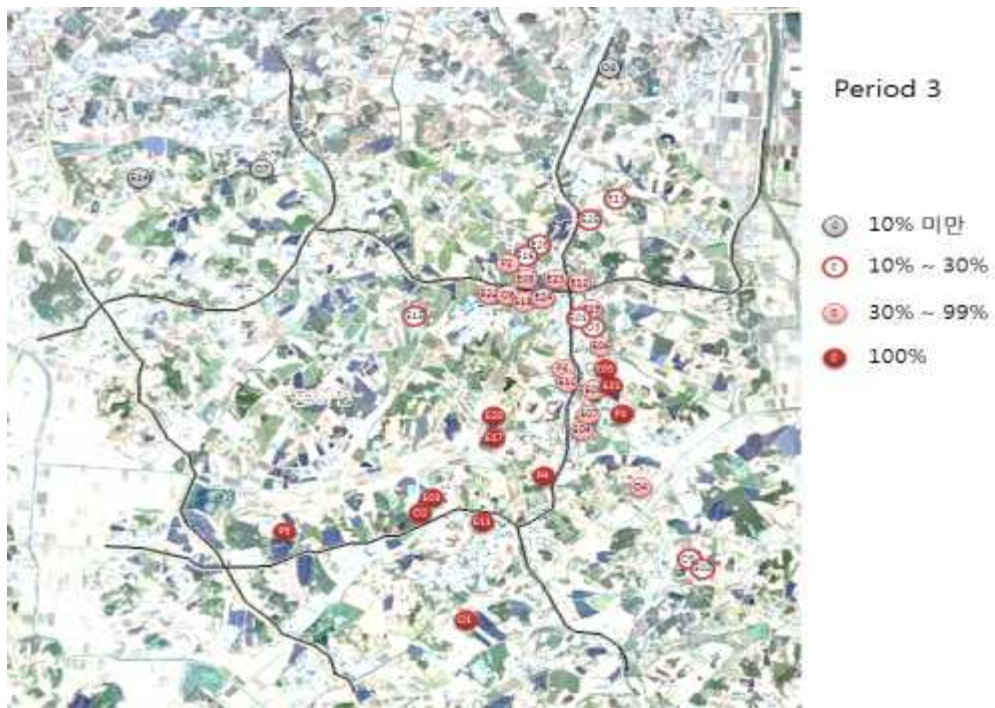


그림 136 2008년도 4월 1일~4월 20일 사이의 기상데이터를 바탕으로 분석한 기간에 따른 질병의 확산 경향 예측 결과 (초기 농장 발생 후 16일 경과)

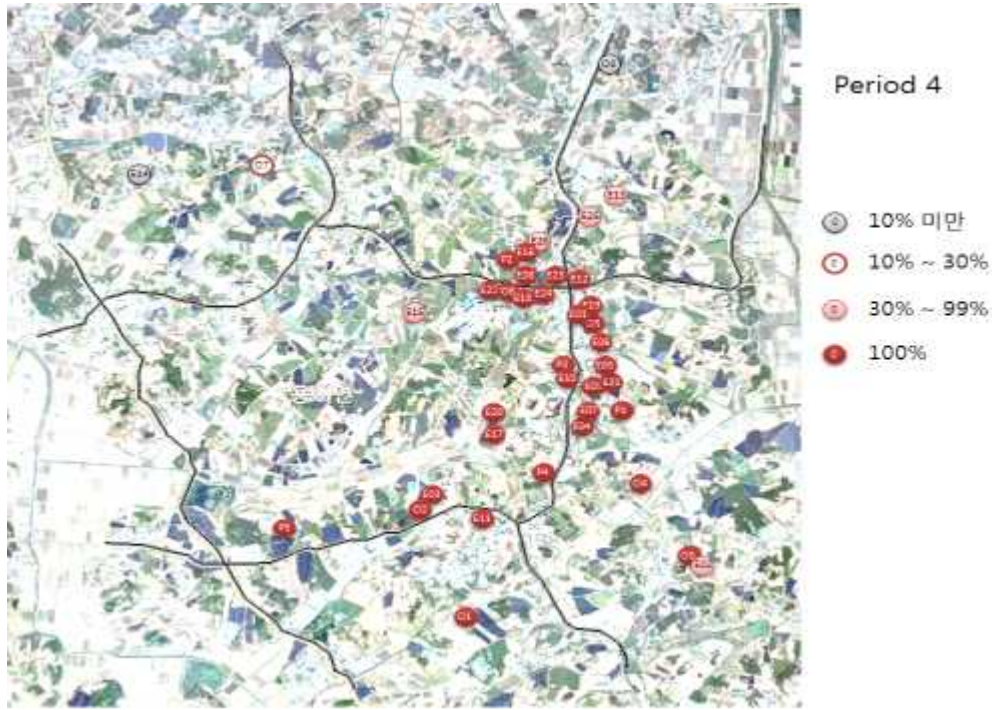


그림 137 2008년도 4월 1일~4월 20일 사이의 기상데이터를 바탕으로 분석한 기간에 따른 질병의 확산 경향 예측 결과 (초기 농장 발생 후 20일 경과)

그림 138은 전산유체역학 시뮬레이션의 결과와 현장에서 조사된 역학조사보고서의 확산 경향을 상호 비교한 결과를 나타낸 것이다. 즉, 앞서 언급한 Case 4에 대한 그림 124의 그래프에서 $y=x$ 선분은 시뮬레이션 결과와 실제 발생한 결과가 완벽하게 일치한다는 의미를 가지는 반면, $y=x$ 직선의 상단에 위치한 점들은 시뮬레이션 상에서 더 빠르게 발생하였을 것이라고 과대 추정하는 결과를, 하단에 위치한 점들은 시뮬레이션 상에서 더 느리게 발생하였을 것이라고 과소 추정하는 결과를 각각 의미하게 된다. 따라서 각각 과소 또는 과대 추정된 농장들의 지리학적 위치를 비교 분석하고자 하였다. 그림 138의 파란 점들은 시뮬레이션에서 과소 평가된 지점을 의미하는 것으로 초기 발생 농장으로 가정한 O-1, P-5에서 상대적으로 멀리 떨어져 있는 농장이거나(O-8, O-4, O-5, E-02 등), 주풍의 방향인 북풍 또는 북서풍에서 다소 차이가 있는 농장(O-7 등)등이다. 이들 농장은 초기 발생 농장 및 이어서 발생하는 농장에서 발생하는 에어로졸이 영향을 적게 미치는 농장들로서 공기 중으로의 전파 양상에 비하여 실제로는 더 빠르게 질병이 전파된 농장을 의미한다. 이는 공기 중 전파 이외의 다른 요인에 의하여 질병이 전파되었을 가능성이 큰 농장으로 판단할 수 있으며, 추후 3세부과제에서 제시하는 질병 확산 네트워크 모델의 분석 결과를 토대로 인적, 물적 자원의 이동에 의한 질병 확산 가능성과 같은 문제일 확률일 높을 것으로 판단된다. 반면에 빨간색으로 표시된 과대 추정된 농장들의 경우 대체로 주풍의 방향에 따라서 위치하고 있으며, 도로 인근에 위치하고 있기 때문에 도로에서 축산관련 차량의 이동에 따라서 발생할 수 있는 질병의 확산 영향을 많이 받을 수 있는 농장으로 판단된다. 이들 농장은 특히 공기 중 질병의 확산 경향에 민감하게 영향을 받았을 것으로 추정된다. 본 연구에서 모델링한 전산유체역학 시뮬레이션 모델에서는 모든 도로에서의 에어로졸

발생량을 차량이 지나갔을 때 발생하는 양을 측정된 현장실험 결과를 바탕으로 동일하게 가정하였다. 그러나 실제로는 지속적으로 도로에서 차량이 통과하지는 않으며, 축산관련차량 이외의 많은 차량이 이동하기 때문에 이러한 가정이 과대평가되었을 가능성이 있다. 따라서 도로 인근에서의 농장에서 실제 결과에 비하여 빠르게 질병에 노출되는 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 이와 같은 결과를 통하여 추후 본 모델은 현장에 적용하였을 때, 축산 차량의 이동에 따른 도로에서의 에어로졸 발생량이 민감하게 판단되는 현장에서는 영향도를 연구자의 판단에 따라서 크게 조절하거나, 축산 차량의 이동이 큰 영향을 주지 않을 것으로 보이는 경우에는 적게 조절함으로써 결과의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

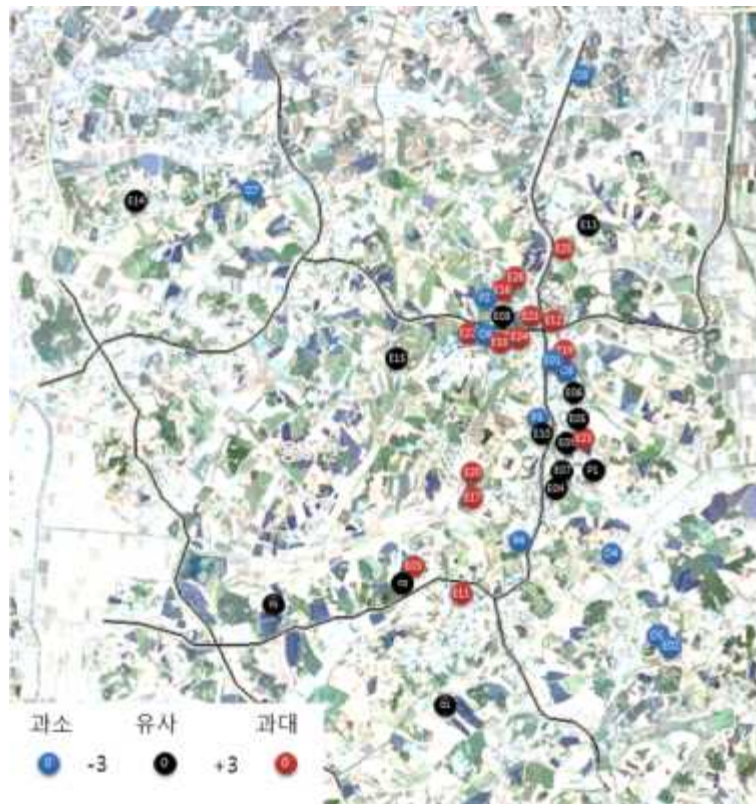


그림 138 전산유체역학 시뮬레이션 결과를 실제 역학조사보고서와 비교 분석하여 시뮬레이션의 결과가 확산을 과소 또는 과대 평가한 지점에 대한 분석 결과

5. 결론

HPAI 발생지역에서의 주변 지형 및 차량의 이동에 의한 공기 유동학적인 확산 현상을 분석하기 위하여 참고 문헌 및 현장실험 결과를 토대로 하여 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 바탕으로 HPAI가 기상 및 환경 조건에 따라 인근지역으로 확산되는 경향을 예측함으로써 추후 HPAI 발생 시 공기 중 확산을 예측할 수 있는 기초모델을 개발하고자 하였다. 공기 중 병원체를 직접 현장에서 포집 또는 정량적으로 측정하는 것은 방역적인 문제 및 현장 상황을 고려하였을 때 매우 어려운 일이다. 이는 공기 중 병원체의 농도가 매우 적을 뿐 아니라 현재까지 적절한 포집 방안이나 포집 장비 등이 명확하지 않을 뿐 아니라, HPAI와 같이 높은 전염성을 가지는 바이러스를 직접적으로 사용하는 것은 불가능하다. 또한 현장에서의 발생 농도가 일정하지 않으며, 기상 조건이 안정적으로 유지되지 않으므로 무척 많은 변수가 작용하고 있다.

따라서 이와 같은 현장실험의 한계를 보완하기 위하여 최근 다양한 시뮬레이션 모델링 기법이 공기 중 병원체의 확산을 예측하기 위하여 활용되고 있으며, 해외에서는 주로 활용되었던 인공위성 데이터 및 가우시안 모델을 기초로 하여 평지를 위주로 해석이 가능한 모델을 개발하고자 하고 있다. 그러나 국내의 대부분의 축산관련 시설들은 산지에 위치해 있기 때문에 이와 같은 기존의 모델이 정확한 예측을 하기가 곤란하며, 상세한 지형적인 영향 및 기상적인 영향에 의한 확산 경향을 분석해야만 한다. 이를 위하여 최근 다양한 유체유동학적 시뮬레이션 모델에 활용되는 전산유체역학 시뮬레이션을 활용하였다.

시뮬레이션의 기초가 되는 자료를 확보하기 위하여 기존의 문헌을 활용할 수 있는 부분은 최대한 활용하였으며, 현장 실험을 통하여 도로에서의 차량을 통한 확산 등과 같은 자료를 추가적으로 확보하였다. 또한 연구의 기초가 되는 2008년도 전북 김제시에서 HPAI가 발생한 사례를 바탕으로 한 상세 역학조사보고서 및 농장의 위치, 발생순서 등 시뮬레이션 모델의 설계 및 초기 입력데이터로 활용하기 위한 막대한 데이터를 제 2세부과제를 통하여 제공 받을 수 있었다. 또한 이와 같은 데이터는 완성된 전산유체역학 시뮬레이션 모델의 검증에 위한 기초데이터로 활용할 수 있었다. 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 개발하기 위하여 GIS 지형 정보를 바탕으로 농장 및 산, 구릉, 나무 등의 영향을 상세하게 고려할 수 있는 3차원의 지형을 설계하였으며 다양한 지형 격자 형성 알고리즘을 바탕으로 이를 부피를 가지는 계산 영역으로 설계하였다. 또한 초기 입력 조건 입력 및 시뮬레이션 모델의 정확도를 향상시키기 위하여 높이별 풍속 및 난류 프로파일, 대기 안정도, 방풍림의 다공성 매체를 통한 적용 등을 UDF (User defined function)을 사용하여 적용하였다. 이를 통하여 예상이 가능한 환경 조건을 3가지 풍속과 8가지 풍향으로 나누어서 각 환경 조건별로 각 농장에서 발생하는 병원체를 포함하는 에어로졸이 확산되는 정도를 모델링 하였으며, 동시에 차량의 통행에 의하여 확산 가능한 정도를 모델링 하여 공기 중으로 HPAI가 확산되는 경향을 예측하고자 하였다.

시뮬레이션 모델의 검증을 위하여 2008년 HPAI 발생 사례를 바탕으로 당시의 기상을 기상청

자료를 바탕으로 정밀 분석하여 풍향 및 풍속에 따른 풍환경 빈도 매트릭스를 구성하고, 동일한 환경 조건에 따른 농장별 및 도로에서의 발생에 대한 총 960개의 모의결과를 바탕으로 공기 중 확산 예측 매트릭스를 구현하였다. 이들을 사용하여 특정 시기 별로 발생 농장에서부터 인근 농장으로의 HPAI 의 공기 중 확산 가능성을 예측하였다. 이와 같은 결과는 제 3세부과제에서 수행하는 통합형 네트워크 모델에 활용되었다. 특히 차량의 이동과 같은 네트워크 연결은 점, 선으로 이루어져 연결의 방향이 뚜렷한데 반하여 공기 중 확산은 인근으로의 공간적인 확산 현상이므로 기존의 네트워크 모델을 보완할 수 있는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

3 절. 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입 및 전파확산경로에 대한 위험요인평가 및 방제연구

1. 가금 사육실태 및 유통시스템 조사

가. 가금별 사육실태

(1) 오리

오리의 경우 전국의 오리도축장(도압장)을 중심으로 유통구조가 형성되어져 있고, 이들에 의해 대부분 종오리 및 육용오리 사육농장 등이 운영되고 있다. 오리 도축장은 대부분 전남 나주지역과 충북 음성지역 등에 집중되어 있고, 나머지는 전국적으로 분산되어져 있다. 오리 사육은 오리도축장 주변인 전남 나주·영암 등 대부분 전남지역에 편중 되어 있고, 부분적으로는 충북 음성, 충남 천안, 경기 여주 등 지역에서 많이 사육되고 있다. 오리육의 대부분 소비처는 서울, 경기지역과 인근 신도시 지역과 울산, 부산 등 일구가 밀집된 대규모 유통시장이 있는 곳으로 오리육 판매를 하는 중간상인들이 많이 포진해 있었다. 조사과정에서 수집 및 정리된 오리 사육농장 현황 등 각종 정보는 제3세부과제 네트워크 개발에 필요한 기초 자료로 제공할 예정이다.

표 23 종오리 사육현황(총 109농가 : 농가 위치정보 확보)

시도별	광주 광역시	경기도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도	총합계
농가수	2	24	17	18	7	38	1	2	109
계사수	3	155	108	92	49	222	2	6	637

표 24 육용오리 사육현황(총 1,112농가 : 농가 위치정보 확보)

시도 별	부산 광역시 시	대구 광역시 시	인천 광역시 시	광주 광역시 시	대전 광역시 시	울산 광역시 시	경 기 도	강 원 도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도	제주 특별 자치도	총합 계
농가수	16	24	10	23	2	18	103	45	102	64	174	362	94	63	12	1,112
계사수	23	24	11	122	3	26	409	80	450	188	1071	1357	146	222	36	2,811

표 25 2009년도 전국 친환경오리농법 실시 농가 현황

지역 별	사육농가 수	실시 시기	사육수수
울산	95	5~10월경	17,031
경기	26		4,870
충북	4		350
충남	132		8,955
경북	67		3,798
경남	3		4,619
합계	327		39,623

(2) 닭

가축동향(2009.6.1 현재, 통계청) 보고서를 통한 주요 가금 사육현황을 조사한 결과, 농가 위치정보(주소)는 확인하기가 어려웠으나, 최근 디지털 가축방역시스템 구축과정에서 가금사육농가의 위치 정보를 확인하였으며 이는 추후 제3세부과제에 제공할 예정이다. 닭 사육실태 및 유통시스템에 대해서는 현재 조사를 진행 중에 있다.

표 26 가축동향(2009.6.1 현재, 통계청 자료 : 농가 위치정보 미확보)

시도 별	계	서울 특별시	부산 광역시	대구 광역시	인천 광역시	광주 광역시	대전 광역시	울산 광역시	경기도	강원도	충청북도	충청남도	전라북도	전라남도	경상북도	경상남도	제주특별자치도
계	4,238	0	6	8	41	9	11	20	889	156	315	758	672	369	670	256	58
중계	303	0	0	1	1	0	1	0	61	3	19	108	81	9	11	7	1
산란계	1,709	0	1	6	18	2	2	13	397	87	107	216	136	110	433	150	31
육계	2,249	0	5	1	23	7	9	7	436	68	190	438	459	251	228	100	27

(3) 중계

전국의 중계장 현황은 총 334농가이며, 계사수는 1,981동이었고, 이들 자료는 제3세부과제 네트워크 개발 자료로 제공될 예정이다.

표 27 종계장 현황(총 334농가 : 농가위치정보 확보)

시도별	인천 광역시	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도	총합계
농가수	1	79	5	17	126	85	8	8	5	334
계사수	15	408	37	102	874	438	54	27	26	1,981

(4) 산란계

현재 일부 조사는 진행되어 있고, 추가 조사를 진행 중에 있다. 1차 조사된 사육농가 현황은 제3세부과제 네트워크 개발에 필요한 기초 자료로 제공될 예정이다.

표 28 산란계 사육현황(1,866농가 : 농가위치정보 확보)

시 도 별	부산 광역시	대구 광역시	인천 광역시	광주 광역시	울산 광역시	경 기 도	강 원 도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도	제주 특별 자치도	총합계
농 가 수	2	4	25	2	15	490	108	121	245	111	109	428	172	34	1,866

(5) 토종닭

2008년 전국적인 확산요인이었던 토종닭에 관한 사육시스템은 조사가 완료되었으나, 전국 재래시장에서의 판매처 및 유통망에 대해서는 조사를 진행 중에 있다. 과제 채택 및 계약시기 지연으로 인해 토종닭이 유통망 조사 호기인 봄철이 지난 익년 봄철에 집중적인 조사가 수행되어야 할 것으로 사료되며, 1차 조사된 사육농가 현황은 제3세부과제 네트워크 개발에 필요한 기초 자료로 제공되었다.

표 29 토종닭 사육현황(2,822농가 : 농가위치정보 확보)

시 도 별	부산 광역시	대구 광역시	인천 광역시	광주 광역시	대전 광역시	울산 광역시	경 기 도	강 원 도	충 청 북 도	충 청 남 도	전 라 북 도	전 라 남 도	경 상 북 도	경 상 남 도	제주 특별 자치도	총합계
농 가 수	78	129	163	9	79	118	452	200	105	48	372	179	363	499	28	2,822

(6) 메추리

현재 일부 조사는 진행되어 있고, 추가 조사를 진행 중에 있으며, 조사된 자료는 제3세부과제 네트워크 개발에 필요한 기초 자료로 제공되었다.

표 30 메추리 등 기타 가금류 사육현황조사결과 : 882농가(농가위치정보 확보)

축종별	거위	공작	관상용 조류	금계	금병조	금화 조	기러기	기타 조류	꿩	메추리	무란	문조	비둘기	서양 기러기	계
농가수	263	9	11	2	1	2	38	9	143	153	1	2	10	1	
축종별	소 금조	소 문조	십자매	앵무 새	오골계	원앙	유황오 리	은계	잉꼬	청등오 리	칠면 조	카나 리아	타조	호로조	
농가수	1	1	6	4	2	3	1	1	7	2	140	3	64	2	

(7) 관상용 가금류

현재 관상용 가금류 사육현황은 일부 조사되었고, 유통실태에 대해서는 조사를 진행중에 있으며, 해당 자료는 제3세부과제 네트워크 개발 자료로 제공되었다.

표 31 관상용 가금류 사육농가 현황(총 142농가 : 농가위치 정보 확보)

시도별	서울 특별시	부산 광역시	대구 광역시	인천 광역시	대전 광역시	울산 광역시	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	제주 특별 자치도	총합계
농가수	1	2	1	5	7	3	14	10	16	18	1	142

나. 토종닭 산업 유통현황 조사

(1) 유통 및 산업 현황

토종닭은 산닭 유통이 많아 별도로 도계 실적이 제대로 집계되지 않고 있지만 업계에서는 연간 도계실적을 약 6천 만수 정도로 추정하고 있다. 전체 유통물량의 약 50%는 가든 등 외식 업체, 30%는 재래시장으로 나머지 20%는 대형 유통매장을 통해 판매되고 있다. 토종닭의 유통 특성상 육계와 달리 하루 수차례 출하 작업을 하며, 소규모 중간상인과 계약된 출하농장은 1주일에서 한 달 정도 지속적으로 출하한다. 토종닭 소비는 계절적 특성을 가지고 있어 연간 생산량의 50% 이상이 여름철 성수기인 5월에서 8월에 집중 출하 <주로 왕추 (보름추 15일령), 얼치기(월추 30일령)가 2월초에서 5월말까지 전국적인 유통판매가 이루어짐> 되는 것으로 나타났다.

토종닭의 판매 형태는 직접 판매가 44%, 도매상 및 수집상에 의한 판매가 각각 26%와 15%였으며 나머지 15%는 계열화 농가였으며, 판매가격은 출하당시 시장가격을 참고해 구매자와 협의를 통한 판매가 52%, 품질에 관계없이 체중에 따라 판매가 39%, 체중과 품질에 따라 차등 적용시키는 경우는 30%로 조사되었다. 종란으로 쓰지 않는 계란은 식란으로 판매되고 있으며, 2008년 왕추 판매는 2007년 비해 절반 정도 수준으로 나타났다. 왕추는 농협에서 많이 분양(농협에서 초생추를 구입하여 농장에 판매)되고 있다.

주로 야간에 상차작업이 이루어지고 1톤 트럭을 이용한 소규모 중간상인은 출하량이 적어 농장에 들어가 토종닭을 잡아 농장주에게 전달하면 농장주는 출하차량 (어리장 차량)에 상차, 5톤 트럭을 이용한 다량 출하의 경우는 간혹 상차반이 동원되기도 한다. 토종닭 판매를 증대하는 유통업자들은 소규모 중간상인과 농장을 중간에서 연결하거나 도계 판매 알선 명목으로 1수당 50원의 수수료를 취한다. 통상적으로 유통업자로 칭하는 사람들로써 대부분 본인 명의의 농장을 소유하거나 위탁 사육 농장과 하치장 등을 가지고 유통업에 종사하고 있으며, 유통업자가 중간상인 역할을 겸하고 있는 경우가 종종 있는 것으로 조사되었다.

(가) 토종닭 산업화의 배경

광주·전남 상인연합회의 전신인 토종닭 유통 상인 연합회를 광주지역에서 1991년에 조직하여 1톤 차량을 이용하여 가든 식당에 토종닭을 공급하기 시작하였다. (주)H 계열사에서 '02년 이후 본격적으로 토종닭 사업을 시작하면서 산업화되었으며, 토종닭의 판매가 과거 가든 식당만을 대상으로 공급하던 시절에는 계절적 영향을 많이 받아 가격변동이 크고 시세에 민감하였고, 위탁사업보다는 개인 농가별 닭 사육 성향이 강하다.

(나) 토종닭 사육실태

전남 지역의 토종닭 사육수수는 최대 200,000수 정도로 타 지역과 비교할 때 많지 않은 편이며, 전남은 생식문화 등으로 주로 재래시장과 상설 생축판매장을 통해 소비가 이루어지는 지역이다. 국내 토종닭 사육 비율로 볼 때 경기, 충청지역보다는 전북지역이 낮지만, 시군 단위로는 최대의 생산처인 익산 함열과 정읍지역에서 가장 많이 사육되고 있다. 전국의 토종닭 사육농가는 약 800호, 호당 연간 출하수수는 약 6만수로 추정되며, 1만수 이상 규모의 농가는 약 400호이고 전체 생산량의 80%를 담당하여 높은 비율을 나타내고 있다.

표 32 지역별 현황(2007. 8월 현재)

지역	경기	강원	충청	전라	경상	기타
비율	31%	2%	32%	26%	6%	3%

표 33 사육규모별 현황

규모	1만 이하	1~2만	2~3만	3~4만	4만 이상
비율	20%	30%	26%	14%	10%

(다) 토종닭 소비실태

1997년까지 토종닭을 요리해서 판매하는 음식점(가든식당)의 수가 증가하다가 IMF 등의 영향으로 97년 가을부터 감소하기 시작하였다. 광주·전남 상인연합회 소속의 유통 상인들의 경우는 토종닭 농장에서 구입 시에는 건강 상태가 좋은 닭만을 선별해서 유통시키며, 그 양은 전체 토종닭의 10~30% 정도를 차지하고, 나머지 70%는 육가공업체 등에서 소비되기 때문에 생식문화가 있는 광주·전남 지역 내 소비자층은 구입 현장에서 외관상 토종닭의 건강성을 확인하고 구입하기 때문에 판매 당시에는 외관상 건강상태가 좋은 것을 판매하고 있다. 서울 근교 지역은 도계육을 주로 사용하고, 생닭의 유통량이 많지 않으며, 수도권은 모란 시장내 생닭집 4~5군데 정도만 생닭이 유통되고 있다. 광주·전남지역은 닭 가슴살을 육회로 먹는 전통적으로 생식문화가 성행하고 있기 때문에 생닭의 유통문화가 매우 발달한 지역이면서 어업이 성행하는 곳에서는 토종닭 및 산란계 노계 등을 구입하여 어선 내에서 어패류 등의 음식찌꺼기를 이용하여 사육하면서 어업활동 중에서 생닭을 잡아 생식과 백숙 등을 하여 단백질을 보충하기도 한다.

도계 값은 체중이 아무리 많이 나가도 도계장에서 2.3kg 까지만 닭 값을 인정해 주고 결제도 어음으로 하는 경우가 많아 대부분의 소규모 유통 상인들은 생닭의 경우는 체중대로 닭값을 지불할 뿐만 아니라 결제도 현금으로 하기 때문에 직접 농장 방문 구입에 대한 선호도가 매우 높다.

(2) 토종닭 국내 최대 생산지 및 유통 문화

전남·북의 경우는 타 도의 경우와 달리 소비자들이 생닭 선호도가 매우 높고, 특히 전남의 소비자들이 생닭 선호도가 더 높은 것으로 나타났다. 전북 정읍·익산(합열)·김제, 충남 논산·공주·천안, 경기 평택 등이 국내 토종닭 주산지이고, 시군별로는 토종닭 국내 최대 생산지는 전북 익산이며, 토종닭 유통 중개인이 많이 있고, 전남 나주와 영암은 오리 사육의 주산지로서 최근 들어 전국적으로 사육지역이 확대되고 있다. 광주·전남의 경우는 전북보다 토종닭 유통 중개인 2-3배 정도 많고 생닭 섭취 문화가 더 발달된 곳으로서, 전남지역의 소비자의 특징이 생닭을 제일 많이 먹지만 무조건 큰 닭을 선호하기 때문에 완전 성숙계는 즉시 판매하고 불완전 미성숙계는 계류장에서 사육 후 판매하고 있다. 광주·전남지역의 토종닭 중개인의 경우는 토종닭 국내 최대 생산지인 전북지역을 유통비 등을 감안하여 잦은 원거리 이동이 곤란하여 며칠 단위로 한번 구입하며, 구입 시에는 다량 구입 하는 경향이 있기 때문에 대부분 토종닭 중개인들이 계류장(하치장 : 임시사육시설 또는 소규모 농장 보유)을 보유하고 있고, 1차적으로 전북으로부터 구입된 생닭을 시장에 소비시킨 후 잔여 가금류를 임시 계류장에서 사육하면서 지속적으로 재래시장 또는 상설 생축판매장에서 판매하고 있다. 전북의 경우는 토종닭 생산처로써, 당일 전화로 주문을 받아 물량 숫자에 따라 즉시 구매 후 유통 처리를 하며, 구입 당일 생닭 집과 가든 식당 등에서 해당 물량을 소비하고 있으며, 대부분의 토종닭 유통업자들은 주로 전북지역에 거주하면서 전남·북, 충남지역 위주로 활동하면서 전국적으로 유통판매를 한다. 토종닭 유통업자들은 도계유통회사와 소규모 중간 상인으로 구성된 5톤 또는 1톤 트럭을 이용하여 직영 또는 용역차량 등으로 출하를 하며, 토종닭 주 생산지인 전북지역은 6-8명 정도, 충남의 경우는 2명 정도의 큰 유통업자가 존재하면서 이들 지역의 토종닭 유통 시장이 형성된다.

(3) 노계(폐계)의 유통실태

산란계의 노계는 출하 시에 축사별 올인 올 아웃을 하기 때문에 주로 5톤 트럭을 이용하여 배달(최고 2,400수, 최저 500수, 평균 700-800수)하고 있다. '08. 김제 용지면의 용지양계단지의 농장과 거래하는 소규모 중간상인들은 자가용 1톤 트럭을 이용하여 1일 평균 400-500수를 수집하여 산닭집 등에 판매하고, 수집된 노계, 폐계 중 200수 정도는 당일 판매되고, 나머지는 계류시설인 하치장에 1-2일 정도 두었다가 판매하며, 대부분의 노계들은 전문 도축장(전북 익산 H 계열회사, 충남 서산, 경기 포천 등 지역)에서 도축을 통한 소시지 가공육 등으로 제공 판매된다. 김제의 용지 양계단지내에서 구입한 노계는 전북 일원의 가든 식당, 생축판매장으로 판매하고 노계 전문 도계장이 있는 익산 H 계열사 또는 서산, 포천 등 지역 도계장으로 출하되어 소시지 등 가공육으로 판매되며 그리고 노계 출하 및 중추 입식을 전문으로 하는 산란계 농장의 상차 관련 전문 중개인(백OO : 정읍지역에 거주)이 천안, 평택 출하반과 연결되어 있

고, 출하 시는 농장에서 전문 상차반이 노계를 잡아내어 소규모 중간상인에게 전달하여 어리장 닭 차에 상차 시킨 것으로 조사되었다. 유통 중개 업체의 규모에 따라 내국인 위주로 구성되었거나 또는 외국인이 있는 경우도 있으며, 상차 시에는 거의 동일한 사람들이 동원되고 있으며, 보통 유통업체별 차이는 있으나 유통업체에 따라 상차반원들은 10~30여명을 두고 상차 규모에 따라 상차반 인력을 조정 편성하여 동원하고 있으며, 500수 이하 상차 시는 상차반을 이용하지 않고, 1,000수 가량일 경우 2명 정도 사용한다.

(4) HPAI 발생지역별 토종닭 유통실태 소비실태

(가) 호남권(전남 · 전북) HPAI 발생지역

인근 국내 H 계열사의 도계장 및 육계농장 등으로 출입하는 닭 어리장 차량이동 지역 내 1일 1,000~2,000대 이상 왕래가 있어 과거 육계 사육 시에 닭 질병이 만연되었다. 개인 농장들이 과거로부터 사육해 왔던 육계에서 토종닭 사육으로 전환과 백신접종을 한 후로부터 질병 발생을 인한 피해 저감으로 토종닭 선호로 사육 증가하였다. 전통적으로 전남 · 북 지역은 신선도가 높은 생식문화 발달로 생닭 집의 분포가 밀집되어져 토종닭 생산처와 소비처가 타 지역과 달리 공존하고 있어 토종닭 유통업체 및 중간상인들이 많으며, 경기도 등은 여러 시 · 군에서 분산 사육하는 반면, 전북은 익산, 김제, 정읍지역과 충남은 논산, 부여 등 지역 등 특정 지역에서 편중되게 토종닭을 밀집 사육하고 있다.

토종닭의 경우는 주로 70일~100일령 사육기간 내 수 차례에 걸쳐 출하(약 15~30일간 소요) 하는 과정에서 위험요인이 농장내로 유입 및 전파(육계는 올-인 올-아웃 형태로 입 · 출하 : 23~35일) 될 가능성이 있다. 육계는 계열회사의 일괄적인 도계형태로 대부분 도축 출하되지만, 토종닭의 경우는 출하기간 내 성장상태에 따라 부분적으로 도계형태와 소규모 중간상인을 통한 산닭 판매가 주요 출하 경로이다. 토종닭 농장에서 상인에게 직접 판매하는 이유는 소규모 중간상인에게 판매하면 현금 거래가 가능하기 때문이며, 일반적으로 유통 업자를 통한 도계육 판매는 대금 지급 기간이 길거나 어음 형태로 받은 대금결제가 실제 현금으로 받지 못하는 경우가 빈번하여 기피하기 때문이다. HPAI 발생 전부터 대부분 토종닭 사육농가들은 가격하락과 사료 값 및 유류비 상승 등으로 어려움을 겪었고, 작년 하반기 정부 수매과정 등에서 전북지역의 경우는 특정업체의 부도로 인해 유통 판매망이 차단되고 자금회전의 어려움 등으로 사양부실을 초래하였다. 토종닭 출하의 경우는 필요시마다 중개인들이 필요한 물량(생닭 집, 가든 등)을 받아서 수시로 농장에 출입하여 구입하고, 출하 규모가 큰 토종닭 사육농가의 경우는 많은 물량을 동시에 출하하기가 어렵기 때문에 일부는 5톤 트럭 소유 전문계열회사를 통해 도매출하를 하고, 토종닭 농가 입장에서는 수익이 많이 나는 1톤 트럭 소유 토종닭 중개인을 통해 소매 출하를 선호한다(* 토종닭 출하 시 지속적인 방역 상 문제점 노출됨). 1톤 트럭에 닭(오리) 어리장을 싣고 농장에서 직접 토종닭과 오리 등을 구매하여 산닭 집, 가든식당, 재래상인에게 판매하거나

산닭 차량에서 구매자에게 직접 판매한다. 소규모 중간상인들은 주로 토종닭만을 거래하지만 일부 상인들은 육용오리, 폐오리, 폐계, 노계, 오골계, 핑 등을 함께 취급을 전문적하는 경우도 있다. 소규모 중간상인들은 주로 유통 업자를 통해 농장을 소개받거나 직접 농장으로 찾아가 1톤 차량에 상차 후 판매하며, 일반적으로 상차 시 소규모 중간상인 또는 상차반이 소독 등 방역 조치 없이 직접 축사 안으로 들어가서 작업하거나 큰 계사의 경우는 1톤 차량이 직접 계사내로 진입하기 때문에 질병 전파의 위험성 상존하고 있다.

전북지역에 약 20여명의 소규모 중간상인이 있으며, 전남지역에 100~150여명으로 가장 많고 경기, 충청권에도 다수 있고, 전남은 전통적으로 생식문화가 발달로 산닭 수요량이 많아 산닭 집이 많고, 토종닭 최대 생산지인 익산, 정읍지역으로부터 수시 구입을 위해 다수의 상인이 존재한다. 상인들은 보통 1~3일마다 농장을 방문하여 당일 상차된 물량을(1회당 200여수) 구매한 금액에 1수당 500~1,000원을 더하여 당일 판매하며, 토종닭 생산지로부터 원거리에 있는 전남 상인들 대부분은 하치장을 소유하고 있고, 또한 하치장과 농장을 소유한 상인들의 경우 구매 시 다량 구매하여 판매하고 잔량은 본인의 농장에서 보관하며 추후 판매한다. 영남권 등 먼 거리에서의 상인은 왕추(15일령)를 다량 구매하여 구입한 상인이 직접 사육 후 판매하거나 농장으로 판매하며, 월추(얼치기 : 30일령)는 1톤 트럭의 최대 상차량이 800수인 반면 왕추(15일령)는 2배 이상 상차 가능하며 1회 방문으로 다량의 닭을 구매할 수 있어 물류비 절약이 가능하기 때문에 타 지역에서도 구입차 방문하고 있다.

상차반은 노계, 폐계, 토종닭, 오리 등 가리지 않고 모든 상차작업에 투입된다. 상차반은 상차 작업뿐만 아니라 백신접종까지 하고 지역을 옮겨 다니며 작업을 하고 있으며 최근들어 상차반은 우즈벡, 카자흐스탄 등 체력이 좋은 사람들이 많이 고용되고 있다. 토종닭 전문 상차반은 드물지만 토종닭의 큰 유통업체와 연결된 산란계 위주의 상차반이 종종 동원되며, 주로 천안, 평택 등 지역에서 투입된다. 상차 전문업체는 2-3개팀을 운영하며, 1개팀이 10-15명 가량으로 구성되어져 출하물량에 따라 탄력적으로 상차반의 인력이 공급되고 있다.

다. 상설 및 정기(5일장) 재래시장

2008년 HPAI 국내 전파 원인이었던 토종닭과 육용오리를 취급하는 중개인들의 가금류 취급 장소인 상설재래시장과 정기적인 5일장에 대한 조사결과 현재 464개소로 파악되었으며, 이들 자료는 제3세부과제 네트워크 개발 자료로 제공되었다.

표 34 상설 및 정기(5일장) 재래시장 조사결과(총 463개소 : 위치정보 확보)

시도별	상설시장	정기(5일장)	총합계
부산광역시	3		3
대구광역시	3	1	4
인천광역시	1		1
광주광역시	11	3	14
대전광역시	11	1	12
울산광역시		3	3
경기도	1	50	51
강원도		44	44
충청북도	2	24	26
충청남도		10	10
전라북도	7	31	38
전라남도	30	88	118
경상북도	17	50	67
경상남도	19	48	67
제주특별자치도	2	3	5
총 합계	107	356	463

라. 도축현황

표 35 용도별 및 연도별 닭 도축현황

구분	2008	2009	2010.2.4일 현재	총계
검용종(계)	11,789,870	15,741,190	493,599	28,024,659
산란노계	2,777,980	12,361,826	665,065	15,804,871
산란종계	140,190	74,371	32,597	247,158
삼계	89,490,401	112,592,623	4,963,990	207,047,014
육계	296,188,190	326,813,944	22,168,771	645,170,905
육용종계	627,369	1,150,331	26,229	1,803,929
총계	401,014,000	468,734,285	28,350,251	898,098,536

표 36 연도별 오리 도축현황

년도 별	도축 수
2008	27,894,442
2009	33,159,506
2010	3,462,257
총 계	64,516,205

마. 가금 관련 산업시설 위치 조사

표 37 지역별 도계장 소재지 (HACCP 지정업체에 한함)

지역별	업체명	소재지
대구, 인천, 광주광역시	(주)키토랑	대구 서구 중리동 1024
	인천식품(주)	인천 서구 가좌동 602-23
	(주)유성하이치킨	광주 북구 양산동 410-7
	소계	3개소
경기지역	(주)해담은세상	경기 화성시 봉담읍 수영리 387-1
	(주)디엠푸드	경기 용인시 고림동 676-1
	(주)마니커	경기 동두천시 하봉암동 127
	양근생오리	경기 양평군 양평읍 양근리 28-2
	(주)플러스푸드	경기 김포시 월곶면 갈산리 140-2
	(주)마니커 동두천	경기 동두천시 하봉암동 127
	정우식품주식회사	경기 포천시 신북면 가채리 295-1
	(주)청정계	경기 양주시 회정동 170
	대조	경기 광주시 실촌읍 곤지암리 80
	(주)한강CM	경기 화성시 안녕동 7-358
	농업회사법인 (유)화천	경기 파주시 법원읍 동문리 619-23
소계	11개소	
강원지역	대양산업(주)	강원 원주시 흥업면 사제리 138-1
	부원농축산영농조합법인	강원 인제군 인제읍 덕산리 590
	(주)산하	강원 강릉시 두산동 2-2
	(주)현진	강원 춘천시 동면 만천리 572
	소계	4개소
충북지역	(주)농협목우촌	충북 음성군 금왕읍 오선리 131
	(주)씨에스코리아	충북 충주시 이류면 완오리 683
	(주)에스엠	충북 충주시 용두동 291-1
	모란식품 영농조합법인	충북 음성군 대소면 오류리 534-39
	오리스	충북 진천군 이월면 사곡리 892
	인제산업(주)	충북 제천시 산곡동 64
	(주)주원산오리	충북 진천군 광혜원면 죽현리 산 55-13

	(주)체리부로식품	충북 진천군 이월면 중산리 산 10-1
	소계	8개소
충남지역	(주)해마로식품	충남 부여군 초촌면 세탑리 14-18
	성화식품(주)	충남 천안시 동면 화덕리 319-6
	(주)매산	충남 당진군 송악면 중흥리 358
	(주)육성	충남 보령시 오천면 영보리 307
	(주)일조코리아	충남 아산시 인주면 공세리 68-5
	에스에스티푸드	충남 서산시 고북면 기포리 137-5
	(주)창만축산	충남 공주시 의당면 청룡리 914
	토토	충남 예산군 오가면 원천리 894-12
	소계	8개소
전북지역	(주)삼호	전북 정읍시 고부면 덕안리 950
	(주)신명	전북 정읍시 북면 태곡리 925
	(주)아성	전북 김제시 순동 957
	(주)신성글로벌	전북 익산시 부송동 190-9
	(주)우림인티그레이션	전북 김제시 금산면 용산리 296
	(주)코리아더커드	전북 남원시 조산동 880-1
	(주)하림	전북 익산시 망성면 어량리 13-14
(주)동우	전북 군산시 서수면 관원리 507-1	
소계	8개소	
전남지역	(주)유진	전남 순천시 오천동 176-2 ,3,4
	(주)신촌자연오리	전남 나주시 오량동 313
	(주)화인코리아	전남 나주시 금천면 고동리 313
	(주)화인코리아 오리종합처리가공장	전남 나주시 금천면 고동리 3-1 외 8필지
	(주)금계	전남 장성군 동화면 남평리 452-19
	코리아팜도영농조합법인	전남 나주시 오량동 311
	대승영농조합법인	전남 목포시 석현동 15
	정다운	전남 나주시 동수동 325-1
소계	8개소	
경북지역	류성브로일러(주)	경북 청송군 청송읍 덕리 171-8
	체리부로	경북 구미시 선기동 747-63
	(주)올품	경북 상주시 초산동 666-3
	소계	3개소
경남지역	청수식품	경남 거창군 마리면 고학리 1295
	(주)신선 산오리 영농조합법인	경남 하동군 북천면 옥정리 394-2
	광진식품(주)	경남 진주시 지수면 청담리 1435
	(주)한려식품	경남 거제시 사등면 청곡리 97
소계	4개소	
제주지역	한라CFN	제주 제주시 구좌읍 행원리 542-10
	한라육계영농조합법인	제주 제주시 화북1동 2096-3
	소계	2개소
	총계	59개소

표 38 지역별 배합사료공장 소재지 (HACCP 지정업체에 한함)

지역별	업체명	소재지
부산, 대구, 인천, 울산,광역시	농협사료부산바이오	부산 남구 문현4동 1104-4
	대구축산농협배합사료공장	대구 북구 검단동 700-2
	고려산업(주)대구배합사료공장	대구 달서구 갈산동 400-33
	CJ주식회사 인천2공장	인천 중구 신흥동3가 64
	대한제당(주) 인천공장	인천 중구 북성동1가 6-35
	부국사료(주)	인천 남구 학익동 587-7
	대한사료공업(주)	인천 중구 북성동1가 3-14
	서부사료(주)	인천 부평구 갈산동 449-7
	서울사료(주) 인천공장	인천 남동구 고잔동 678-1
	제일곡산(주)	인천 중구 향동7가 93-1
	중앙축산사료(주)	인천 서구 가좌4동 469-5
	대한제당(주) 울산공장	울산 남구 용잠동 480
	(주)농협사료 울산배합사료공장	울산 남구 용잠동 466-11
	제일사료(주) 대전공장	대전 대덕구 대화동 40-36
	소계	14개소
경기지역	한일사료(주)	경기 용인시 기흥구 하갈동 213
	한국유업(주)	경기 평택시 포승면 원정리 1205-10
	홍성사료공업(주)	경기 안산시 단원구 목내동 490-1
	양주축협 배합사료공장	경기 양주시 덕계동 172-2
	서울축협 사료사업본부	경기 평택시 모곡동 451
	안양지구축협 배합사료공장	경기 안산시 단원구 성곡동 659-2 시화공단 4다 203호
	부천지구축협	경기 평택시 포승면 원정리 1174
	축산농협안산연합사료공장	경기 안산시 단원구 성곡동 670-2 시화공단 4라 403호
	(주)선진 이천공장	경기 이천시 대월면 사동리 114-1
	(주)에그리브랜드퓨리나코리아	경기 평택시 장당동 627
	대상팜스코(주) 중부공장	경기 안성시 미양면 계륙리 273-4
	두산생물자원(주)	경기 부천시 오정구 삼정동 15-6
	소계	12개소
강원지역	농협사료 횡성공장	강원 횡성군 횡성읍 목계리 70-1
	슈퍼피드(주)	강원 원주시 우산동 400-3
	(주)SCF	강원 원주시 우산동 333-3

	소계	3개소
충북지역	(주)농협사료 청주공장	충북 청주시 흥덕구 송정동 140-38
	(주)도드람비에프	충북 음성군 금왕읍 내송리 386
	(주)에이티생명과학	충북 청원군 오창면 송대리 313-2
	(주)나람	충북 음성군 대소면 소석리 51-2
	피그넷코리아주(주)	충북 충주시 신니면 광월리 709-1
	소계	5개소
충남지역	천안축협 배합사료공장	충남 천안시 성거읍 신월리 235-1
	한양사료공업(주)	충남 연기군 전동면 노장리 404-14
	(주)우성사료 논산공장	충남 논산시 은진면 토양리 33
	(주)우성사료 천안공장	충남 천안시 두정동 393-22
	(주)이지바이오시스템 제2공장	충남 천안시 입장면 양대리 259-5
	녹십자수의약품(주)	충남 예산군 신암면 두곡리 254
	현대사료(주)	충남 천안시 용곡동 141-3
	홍성축협 배합사료공장	충남 홍성군 홍성읍 월산리 277-12
	대주산업(주)	충남 서천군 장항읍 원수리 450-18
	보령축협 배합사료공장	충남 보령시 웅천읍 구룡리 산 11-1
	카길코리아주식회사 천안공장	충남 천안시 두정동 393-11
	(주)SCF당진배합사료공장	충남 당진군 순성면 중방리 660-1
	(주)선진사료	충남 논산시 가야곡면 483-46
	(주)삼양사 천안사료공장	충남 천안시 성거읍 소우리 195
	파레스바이오피드(주)	충남 홍성군 은하면 금국리 18
	당진축협 배합사료공장	충남 당진군 당진읍 읍내리 106-1
소계	16개소	
전북지역	천하제일사료 익산공장	전북 익산시 황등면 죽촌리 234-8
	농협중앙회 김제공장	전북 김제시 홍사동 219 (서흥농공단지)
	대상팜스코(주) 호남공장	전북 정읍시 영파동 500-2
	CJ(주) 군산공장	전북 군산시 소룡동 43
	서울사료(주) 김제공장	전북 김제시 만경읍 몽산리 106-26
	(주)에그리브랜드퓨리나코리아	전북 군산시 소룡동 56-4
	(주)도드람비티	전북 정읍시 신태인읍 백산리 1426-1
	카길코리아(주)정읍공장	전북 정읍시 하북동 859
소계	8개소	
전남지역	광주광역시축협 대불배합사료공장	전남 영암군 삼호읍 난전리 1714-2

	농협사료 나주공장	전남 나주시 문평면 옥당리 산 30
	(주)삼양사 목포사료공장	전남 목포시 석현동 816-10
	소계	3개소
경북지역	(주)서울사료	경북 경산시 진량읍 선화리 251
	농협사료안동공장	경북 안동시 남선면 이천리 829
	(주)농협사료 경주공장	경북 경주시 천북면 신당리 810
	(주)우성사료 경산공장	경북 경산시 진량읍 선화리 150
	케이씨피드(주) 배합사료공장	경북 영천시 금호읍 신월리 230-1
	소계	5개소
경남지역	농협사료 함안배합사료공장	경남 함안군 범수면 윤외리 1475-19
	농업회사법인(주)헤드림	경남 창원군 계성면 명리 517
	김해축협 배합사료공장	경남 김해시 한림면 병동리 1105
	대한사료공업(주) 창원공장	경남 창원시 동읍 송정리 15-15
	부경양돈협동조합 사료공장	경남 김해시 진영읍 본산리 280
	합천축산사료유통센터 영농조합법인	경남 합천군 울곡면 임북리 433-18
	(주)에그리브랜드퓨리나코리아김해공장	경남 김해시 진영읍 본산리 1 준공업지구 10B12L
	(주)제일사료 함안공장	경남 함안군 범수면 윤외리 1475-5
	소계	8개소
제주지역	탐라사료(주)	제주 제주시 화북동 2152-1
	(재)이시돌농촌산업개발협회 사료공장	제주 제주시 한림읍 한림리 1314-72
	소계	2개소
	총계	73개소

표 39 지역별 알가공장 소재지 (HACCP 지정업체에 한함)

지역별	업체명	소재지
부산, 대전광역시	(주)한려엔초비	부산 사하구 구평동 297
	행복담기(주)	대전 대덕구 신일동 1688-9
	소계	2개소
경기지역	(주)삼영후래쉬	경기 안성시 미양면 강덕리 91-1
	(주)성현	경기 광주시 태전동 595
	농업회사법인 세양(주)	경기 안성시 죽산면 장원리 1361
	(주)알로만	경기 파주시 광탄면 발랑리 258-8
	세원축산	경기 평택시 팽성읍 두리 177
	한국양계축산업협동조합	경기 평택시 진위면 가곡리 547
	농업회사법인가농바이오(주)	경기 포천시 가산면 우금리 618-6
	소계	7개소
충북지역	(주)정원식품	충북 영동군 용산면 상용리 348-3
	(주)풍림푸드	충북 진천군 이월면 노원리 14-1
	농업회사법인(주)조인맹동지점	충북 음성군 맹동면 쌍정리 8-6 맹동국민임대산업단지 8-6블럭
	돈돈팜주식회사	충북 음성군 대소면 소식리 12-1
	소계	4개소
충남지역	(주)피디에이논산공장	충남 논산시 은진면 시묘리 248-7
	농업회사법인(주)골드에그	충남 공주시 탄천면 남산리 670-1
	(주)한일이에프	충남 천안시 수신면 발산리 356-2
	소계	3개소
총계		16개소

바. 사육 가금류의 병성감정현황 및 예찰

(1) 사육 가금류의 병성감정결과

국립수의과학검역원, 시도가축방역기관, 전국 수의과대학, 병성감정지정기관 등으로부터 수행한 가금류에 대한 질병검사결과를 매월 집계를 하고 있고, 법정가축전염병에 대해서는 AIMS 프로그램을 통해 보고 받은 것을 매월 정리를 하고 있다. 현재 상반기 가금질병에 대한 병성감정 집계를 1차 정리를 한 상태이며, 연말 종합 집계를 하여 전체적인 분석을 실시할 계획이다.

(2) 사육 가금류의 혈청검사결과

국립수의과학검역원, 시도가축방역기관, 전국 수의과대학, 병성감정지정기관 등으로부터 가금

질병에 대한 혈청검사결과를 매월 집계를 하고 있고, 혈청검사 최종결과에 대해서는 연말에 종합정리 및 분석을 실시할 예정이다.

(3) 철새 및 재래시장 등 가금류에 대한 예찰

HPAI 예방을 위한 전국적인 예찰을 지속적으로 실시하고 있으며, 특히 야생조류의 분변검사, 야생조류 포획검사, 육용오리검사, 재래시장 유통가금검사, 종오리검사, 및 토종닭에 대해서는 H5, H7 항체검사를 실시한 결과 9종의 AI 항원이 검출되었다.

표 40 철새 및 재래시장 등 가금류에 대한 AI 예찰실적(2009.3.~2009.7월말 현재)

AI 항원 종류	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H9	H10	H11	기타	계
야생조류분변검사	6	1		2	1	1	1	2	6		20
야생조류포획검사	1			2				1			4
육용오리검사	3		9	2		21	1			H3+H6(1)	37
재래시장 유통 가금검사			3			8	53				64
종오리검사				2		2	1				5
H5, H7 항체검사(토종닭)					5						5
계	10	1	12	8	6	32	56	3	6	1	135

사. 조류인플루엔자 발생현황

(1) 국내 고병원성 조류인플루엔자 발생현황 조사

'08년에는 오리 7건(종오리 1, 육용오리 6), 닭 25건(토종닭 12, 육용종계 4, 산란계 9), 꿩 1건으로서 총 33건, '06/'07년에는 종오리 2건, 닭 4건(육용종계 2, 산란계 2), 메추리 1건으로서 총 7건이 각각 발생하였으나, '03/'04년에는 오리 9건(원종오리 1, 종오리 7, 육용오리 1), 닭 10건(육용종계 1, 산란계 7, 육계 2)으로서 총 19건이 발생하였다.

표 41 신고농가 기준의 발생현황

구분	합계	오리		닭				기타	
		중오리	육용오리	육용종계	산란계	육계	토종닭	메추리	꿩
'03/'04	19	8	1	1	7	2	-	-	-
'06/'07	7	2	-	2	2	-	-	1	-
'08	33	1	6	4	9	-	12	-	1

국내 고병원성조류인플루엔자(HPAI)의 공식적인 발생현황 외 역학조사과정에서 역학관련 추적농가 또는 예방살처분 과정 등에서 채취한 시료로부터 나온 검사결과에서 나타난 실제적인 양성 발생농장은 다음과 같다(HPAI 백서 참조). '08년도의 경우는 '08.4.1일 전북 김제에서 최초 신고 한 이후 '08. 5. 12일까지 신고농가 총 68건 중에서 역학관련농가(예방살처분농가 등)로 분류된 양성농장 9건을 제외한 발생농장은 33건(48.5%)이었고, 역학관련농가(예방살처분농가, 일부신고농가)중 양성농가는 65건으로써 총 98농가에서 HPAI 항원이 확인되었다. '06/'07년도는 '06.11.22일 전북 익산에서 최초 신고 한 이후 '07.3.20일까지 신고 된 농가 총 24건 중에서 발생농장은 7건(29.2%)이었고, 역학관련농가(예방살처분농가)중 양성농가(부화장)는 5건으로써 총 12농가에서 HPAI 항원이 확인되었다. '03/'04년도의 경우는 '03.12.10일 충북 음성에서 최초 신고 한 이후 '04.4.30일까지 신고 된 농가(병성감정, 일부역학조사) 총 56건 중에서 발생농장은 19건(33.9%)이었고, 그 외 역학관련농가(예방살처분농가)중 양성농가는 12건으로써 총 31농가에서 HPAI 항원이 확인되었다.

표 42 역학관련 농가(예방살처분) 포함된 발생현황

구분	합계	오리			닭				기타		
		중오리	육용오리	육용종계	산란계	육계	토종닭	메추리	꿩	부화장	
'03/'04	신고	19	8	1	1	7	2	-	-	-	-
	역학	12	-	3	-	9	-	-	-	-	-
	소계	31	8	4	1	16	2	-	-	-	-
'06/'07	신고	7	2	-	2	2	-	-	1	-	-
	역학	6	3	2	-	-	-	-	-	-	1
	소계	13	5	2	2	2	-	-	1	-	1
'08	신고	33	1	6	4	9	-	12	-	1	-
	역학	65	-	9	-	31	-	25	-	-	-
	소계	98	1	15	4	40	-	37	-	1	-
합계	신고	59	11	7	7	18	2	12	1	1	-
	역학	83	3	14	-	40	-	25	-	-	1
	총계	142	14	21	7	58	2	37	1	1	1

(2) 국내 저병원성 조류인플루엔자 발생현황

표 43 국내 저병원성 조류인플루엔자 발생현황

연도별	발생두수	발생건수	비고
2004	219,389	19	
2005	46,162	7	
2006	9,762	10	
2007	83,544	36	
2008	109,852	118	
2009	80,645	65	
합 계	549,354	255	

(3) 고병원성 AI 해외발생 동향 ('08년 이후 ~ '10.2.5. 현재)

표 44 과거 발생국 현황

아시아	유럽 및 아메리카	아프리카	비고
<ul style="list-style-type: none"> • 대한민국 : - 발생 : '08.4.1 ~ '08.5.12 - 최종보고 : '08.8.15 	<ul style="list-style-type: none"> • 영국 : - 발생 : '08.5.22(H7N7) 및 '07.12.27~6.25 - 최종보고 : '08.8.28 	<ul style="list-style-type: none"> • 이집트 : - 발생 : '08.6.14 ~ '06.2.17 및 '65년 - 최종보고 : '08.7.7 	현재 가금류 비발생국
<ul style="list-style-type: none"> • 일본 : ※ '08.4.18 ~ 5.8일 야생조류에서 확인 및 최종보고('09.4.1) 	<ul style="list-style-type: none"> • 독일* : - 발생 : '08년(10.9, 1.28), '07년 (12.14, 9.10, 6.24), '06.8.3 - 최종보고 : '09.1.14 ※ '09.1.10 ~ 3.6일중 야생조류에서 H5N1형(1건) 확인 보고(3.10) 	<ul style="list-style-type: none"> • 베닌 : - 발생 : '07.11.7 - 최종보고 : '08.5.1 	"
<ul style="list-style-type: none"> • 태국 : - 발생 : '08.10.27일 재발, '08.1.8 ~ '08.2.13일까지 및 '07.6월 발생 - 최종보고 : '09.2.27 	<ul style="list-style-type: none"> • 러시아 : - 발생 : '08.4.8, '07.1.12 ~ 5.8 및 '06.8월 발생 - 최종보고 : '08.10.15 ※ '09.10.26일 야생조류에서 확인 보고(11.5) ※ '09.6.11일 야생조류에서 확인 보고(6.24) 	<ul style="list-style-type: none"> • 나이지리아 : - 발생 : '08.7.22, '08.1.9, '06.1.10 - 최종보고 : '09.3.3 	"
<ul style="list-style-type: none"> • 미얀마 : - 발생 : '07.10.19일 재발, '07.7.28일까지 발생 - 최종보고 : '08.4.20 	<ul style="list-style-type: none"> • 스위스 : ※ '08.2.22일 야생조류에서 확인 보고(2.26) 및 최종보고(3.31) 	<ul style="list-style-type: none"> • 토고 : - 발생 : '08.9.9, '07.12.31, '07.6.6 - 최종보고 : '09.1.16 	"
<ul style="list-style-type: none"> • 라오스 : - 발생 : '09.1.30, '08.2.1 ~ 10.27, '07년 등 - 최종보고 : '09.4.4 	<ul style="list-style-type: none"> • 루마니아 : - 발생 : '07.11.27, '06.7월 - 최종보고 : '08.3.31 	<ul style="list-style-type: none"> • 코트디부아르 : ※ 과거 '06.3.30일 발생 이후 '07.3.23 최종 보고 	"
<ul style="list-style-type: none"> • 파키스탄 : - 발생 : '08.6.17일 재발, '08.3월, '07.2월, '06.7월 - 최종보고 : '08.9.25 	<ul style="list-style-type: none"> • 폴란드 : - 발생 : '07.11.30 ~ 12.22, '06.5.7 - 최종보고 : '08.4.11 	-	"

<ul style="list-style-type: none"> • 터키 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '08.3.9일 재발, '08.1.18~2.11, '07.4.2 발생 - 최종보고 : '08.4.14 	<ul style="list-style-type: none"> • 캐나다 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '07.9.23(H7N3) - 최종보고 : '08.4.18 	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 이란 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '07.12.10일 재발, '06.2월 발생 - 최종보고 : '08.8.3 	-	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 사우디아라비아 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '07.11.12~'08.1.29일까지 지속 발생, '07.3.27 - 최종보고 : '08.5.11 	-	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 홍콩 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '09.1.29~'09.3.3일까지 발생 지속, '08.12.8, '08.10월 - 최종보고 : '09.4.16 	-	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 아프카니스탄 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '07.2.12~3.5 - 최종보고 : '09.5.25 	-	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 네팔 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '09.1.8~2.17, '06.12월 - 최종보고 : '09.8.12 	-	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 몽골 : <ul style="list-style-type: none"> ※ '09.8.1일 야생조류에서 확인(8.6), 보고(8.10) 및 종식보고('09.10.12) ※ '09.6.5 및 5.22일 야생조류에서 확인 및 최종보고('09.7.30) ※ '06.5.4~6.5일 야생조류에서 확인 최종보고('06.7.28) ※ '05.8.2일 야생조류에서 확인 최종보고('05.8.27) 	-	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 우크라이나 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '08.1.15, '06.6월 - 최종보고 : '08.7.18 	-	-	"
<ul style="list-style-type: none"> • 캄보디아 : <ul style="list-style-type: none"> - 발생 : '09.12.16, '08.12.16, '07.5.20 - 최종보고 : '09.12.28 	-	-	"

※ 현재 각국에서 제출한 '08·'09·'10년도 OIE(세계동물보건기구) 긴급보고 기준임

※ 가금류에서 고병원성 AI(H5N1) 바이러스 확인시 발생국으로 취급함

※ 고병원성 AI에 대한 백신정책 국가(중국 등)는 청정국 지위 회복이 어려움

표 45 '10년 해외 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 발생현황

가금류 사육농가 발생 : 4개국	야생조류 발생 : 0개국
<ul style="list-style-type: none"> ○ 방글라데시(1.20~25) ○ 인도(1.12) ○ 이스라엘(1.24) ○ 베트남(1.17) 	

※ 현재 각국에서 제출한 '08·'09·'10년도 OIE(세계동물보건기구) 긴급보고 기준임

표 46 '09년 해외 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 발생국 현황 (총 13개국)

가금류 사육농가 발생 : 9개국	야생조류 발생 : 4개국
<ul style="list-style-type: none"> ○ 라오스(1.30) ○ 네 팔(1.8~2.17) ○ 홍콩(1.29~3.3) ○ 중국(2.1, 4.12) ○ 인도(~5.20) ○ 방글라데시(~8.29) ○ 스페인(10.9) ○ 베트남(~11.5) ○ 캄보디아('08.12.16~'09.12.28) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 몽골(8.1~8.2, 5.4~6.5) ○ 러시아(6.11, 10.26) ○ 독일(1.10) ○ 중국(5.8, 5.27) <p>* ()는 발생일자</p>

※ 참고 : 이집트, 베트남, 캄보디아 등 일부 국가에서는 사람에서 꾸준히 발생되고 있는 실정(이집트 포함시 발생국은 13개국)

표 47 '08년 해외 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 발생현황 (총 22개국)

가금류 사육농가 발생 : 19개국	야생조류 발생 : 3개국
<ul style="list-style-type: none"> ○ 대한민국(4.1~5.12) ○ 태국(1.8~2.13, 10.27) ○ 중국(3.28, 6.13, 12.9) ○ 홍콩(12.8) ○ 인도(1.4~5.11, 11.21) ○ 방글라데시(~8.29) ○ 캄보디아(4.6, 12.16) ○ 베트남(1.1~12.28) ○ 라오스(2.1, 8.27~10.27) ○ 파키스탄(3.3, 6.17) ○ 사우디아라비아(1.29) ○ 우크라이나(1.15~2.11) ○ 터키(1.18~2.11, 3.9) ○ 나이지리아(1.9, 7.22) ○ 이집트(~6.14) ○ 토고(9.9) ○ 러시아(4.8) ○ 영국(5.22) ○ 독일(1.8, 10.9) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일본(4.21~5.8) ○ 독일(1.10) ○ 스위스(2.22) <p>* ()는 발생일자</p>

※ 참고 : 이란은 '07.12.10일 발생 이후 '08.8.4일 종식보고('08년 발생은 없음), 이스라엘은 '07.12.27일 발생 이후 '08.4.8일 종식보고('08년 발생은 없음)

2. 조류 이동 상황 및 조류상 조사

HPAI의 국내 유입원으로 1차적으로 주목하고 있는 철새의 이동시기와 본 과제의 계약시기와 맞지 않아 HPAI 발생지역 및 주요 철새도래지에 대한 철새 이동상황 및 조류상 조사가 그 동안 수행하기가 어려웠고, 하반기에 본격적인 철새이동상황과 조류상 조사를 실시할 계획이다. 동남아시아, 남중국 등으로부터 국내로 유입되는 여름철새의 유입 시기는 3월과 4월경이며, 겨울철새는 9월 중순부터 11월경에 주로 국내로 유입되고 있어 과제 수행 기간 내 계절의 변화에 따라 특히, 봄철과 가을철, 그리고 겨울철에 집중적인 철새이동상황 및 조류상 조사를 실시할 계획이며 현재 실험을 수행하고 있다.

가. 주요 철새도래지 조사 결과

갯벌, 호수, 저수지, 강하구 등은 조류뿐만 아니라 많은 동물들에게 생활공간을 제공하는 중요한 장소로써, 이들 지역은 겨울철새에게 추운 겨울을 견딜 수 있게 월동지의 역할을 하며, 통과철새에게는 장거리 이동 중 휴식과 먹이를 제공하는 중간기착지의 역할을 하고, 텃새와 여름철새에게는 좋은 번식지가 되기도 한다. 그러나, 최근 들어 간척사업이나 신도시 개발, 환경오염 등으로 인해 이들의 서식처가 파괴되거나 훼손되면서 유입된 철새들의 수용 공간이 부족해지면서 내륙의 소하천, 저수지 등으로 철새들이 이동하면서 가금사육농가 근처에서 서식하는 경향이 증가함에 따라 철새에 의한 HPAI 발생 위험이 높아지고 있다. 따라서, 환경부 국립환경과학원에서 1999년부터 정기적으로 매년 실시하고 있는 “전국 겨울철새 센서스”를 실시하고 있는 철새도래지 128개소(2007년 현재)와 ‘03/’04, ‘06/’07, ‘08. HPAI 발생지역을 중심으로 한 철새서식처 주변의 가금 사육실태를 조사 분석을 실시하고 있으며, 금번 가을과 겨울철에 유입되는 겨울철새를 중심으로 본격적으로는 조류이동상황 및 조류 상 조사를 병행하여 철새도래지 주변의 가금 사육실태를 조사할 예정이다.

나. 조류 상 조사방법 및 결과

조류 상 조사는 과거발생지역 및 포획지역 인근지역에서 실시하며, 주요 철새도래지에 대한 조류조사는 조류상 변화 예찰이 용이한 지점을 선정하여 주기적으로 실시한다. 주요 철새 도래지의 조사는 겨울철새 도래시기 및 월동초기에 중점적으로 실시하고 있다. 조류조사는 쌍안경(Nikon, 8×40)과 Field scope(×20~60)를 이용하며, 선조사법과 정점조사법을 병행하여 이용하며, 서식지 환경특성에 맞추어 알맞은 방법으로 조사한다.

(1) 선조사법(Line Transect Method)

도로나 하천을 따라 시속 1.5~2.0km 정도로 보행하면서 하천의 좌우 25m 혹은 50m이내의 양쪽에서 출현하는 조류의 소리와 실제 관찰을 통하여 출현한 모든 조류의 종과 개체수를 기록하는 방법이다.

(2) 정점조사법(Point Census Method)

넓은 조사구역인 저수지나 강 하구 등에서 주로 사용되는 조사방법으로 관찰이 용이하고 사방을 한눈에 볼 수 있는 장소를 정점으로 정하고 종과 개체수를 기록하는 방법으로 일정한 간격으로 정점을 설정하여 조류의 소리 및 직접관찰 등으로 확인하여 종과 개체수를 기록하는 방법이다.



그림 139 조류 상 조사방법



소하천의 오리류



천안 용성양계단지



canon net(그물포)으로 포획한 오리류



cannon net(그물포)으로 포획한 흰뺨검둥오리



mist net으로 포획한 어치



mist net에 포획된 산새류



항문으로 분변 시료채취



채혈

그림 140 야생조류 포획방법과 시료채취

다. 철새 등 야생조류에 대한 병성감정결과
(‘08.하반기 · ‘10.02.05. 18:00 현재: 48건 306수)

(1) 2010년 철새 등 야생조류 병성감정현황

표 48 검사현황(2010.02.05, 현재)

의뢰 일자	의뢰 지역	의뢰두수	검사진행사항			검사 완료일
			검사중	완료	검사결과	
1.11.	창원 주남저수지	2(큰고니 2)	0	2	원인미상폐사	1.22.
1.20.	충남 당진 신평	7(야생오리 7)	0	7	모노크로토프스 중독증	2.1.
1.20.	충남 서산 지곡	30(기러기 30)	0	30	모노크로토프스 중독증	2.1.
1.25.	서울 중랑천	7(청둥오리2, 터오리2, 고방오리2, 홍머리오리1)	7	0	검사중	
1.27.	충남 당진 장고항	2(기러기 2)	2	0	검사중	
합계	5개 지역	50	9	41		

표 49 결과종합(‘08.-10. 1월 현재)

검사 결과		건
농약중독	다이아지논+포레이트중독증	1
	보툴리즘+LPAI+포레이트중독증	1
	모노크로토프스중독증	8
	메티다치온중독증	2
	메토밀중독증	2
	포스파미돈중독증	10
	모노크로토프스중독증+메토밀중독증	2
	카보퓨란중독증	1
세균감염	에어로모나스병	1
	보툴리즘	2
	살모넬라병	1
기타	사후변화	2
	AI음성	11
	원인미상폐사	2
합계		46

※ 의뢰축종(24종류) : 흰뺨검둥오리, 꿩, 청둥오리, 가창오리, 쇠오리, 넓적부리, 고방오리, 멧비둘기, 흑부리오리, 도요새, 야생오리, 비둘기, 까치, 콩새, 기러기, 독수리, 두루미, 떼까마귀, 부엉이, 바다쇠오리, 큰고니, 텃오리, 고방오리, 홍머리오리

(2) 2009년 철새 등 야생조류 병성감정결과

표 50 2009년 철새 등 야생조류 병성감정결과

의뢰 일자	의뢰 지역	의뢰두수	검사사항		검사 완료일
			완료	검사결과	
'09. 01.07	서울 남산	6수(비둘기 6)	6	메티다치온중독증	1.21
01.07	"	3수(까치 3)	3		1.21
01.08	구리시 아천동	5수(까치 5)	5	메토밀중독증	1.22
01.08	"	1수(콩새 1)	1	AI 음성	1.22
01.09	순천시 순천만	2수(청둥오리 2)	2	포스파미돈중독증	1.21
01.13	강릉시	5수(까치 5)	5	모노크로토포스 중독증	1.30
01.15	서산 대산읍	5수(기러기 5)	5		2.2
01.15	순천시 순천만	4수(청둥오리 4)	4	포스파미돈중독증	2.2
01.19	순천시 순천만	1수(독수리 1)	1		2.4
01.21	대전 유등천변	10수(원앙새 10)	10		2.4
01.22	순천시 순천만	1수(독수리 1)	1		2.4
02.03	동해시 전청강	2수(청둥오리 2)	2		2.11
02.10	연천 왕정리	1수(두루미 1)	1		모노크로토포스중독증
02.12	연천 강내리	1수(꿩 1)	1	메토밀중독증	2.26
02.12	인천자유구역7 공구	4수(청둥오리 등 4)	4	AI 음성	2.26
02.12	부산 강서구	4수(청둥오리 4)	4	카보퓨란중독증	2.26
02.17	울산 울주	7수(떼까마귀 7)	7	모노크로토포스중독증	3.2
02.20	울산 매곡동	5수(떼까마귀 5)	5	포스파미돈중독증	3.4
02.23	울산 천곡동	6수(떼까마귀 6)	6	포스파미돈중독증	3.11
03.02	태안군 남산리	6수(청둥오리 5)	6	포스파미돈중독증	3.18
03.02	화성기천저수지	3수(부엉이 1, 청둥오리 2)	3	모노크로토포스중독증	3.18
03.09	충남 보령	2수(흰뺨검둥오리 2)	2	모노크로토포스중독증	3.18
03.16	태안군 양잠리	9수(기러기 9)	9	포스파미돈중독증	3.27
04.17	순천시 도사동	3수(비둘기 3)	3	메토밀중독증	4.30
06.01	인천 중구	1수(야생꿩)	1	AI 음성	6.9
06.22	제주시 일도1동	9수(멧비둘기 9)	9	AI 음성	7.9
12.01	강원 고성 토성	10수(바다쇠오리 10)	10	사후변화	12.17
12.15	경기 화성 비봉	1수(참새1)	1	AI 음성	12.28.
12.18	경남 사천 용현	1수(독수리 1)	1	AI 음성	10.1.6.

12.24.	성남 분당 서현	2수(비둘기 2)	2	AI 음성	1.8.
12.25	강원 동해 망상	15(바다쇠오리 15)	15	AI 음성	1.8.
합계	26개 지역	135수	135		

(3) 2008년 하반기 철새 등 야생조류 병성감정결과

표 51 2008년 하반기 철새 등 야생조류 병성감정결과

의뢰 일자	의뢰 지역	의뢰두수	검사사항		검사 완료일
			완료	검사결과	
'08.10.15.	가양대교	4수(흰뺨검둥 3, 평 1)	4	원인체 미검출	10.23
10. 17.	안양천	7수 (흰뺨검둥 3, 청둥 4)	7	다이아지논중독증, 포레이트중독증	10.27
10. 18.	"	20수(흰뺨 4, 청둥 16)	20	보툴리즘	10.27
10. 19.	"	19수 (흰뺨 2, 청둥 17)	19	보툴리즘, LPAI 포레이트중독증	10.27
10. 20.	인천남동공단	5수(가창 4, 청둥 1)	5	보툴리즘	10.29
10. 21.	안양천 한강합수부	39수(청둥 10, 쇠오리 18, 흰뺨 9, 넓적부리 1, 고방 1)	39	AI 음성	10.31
10. 29.	시화호 남측	1수(고방오리1)	1	원인미상폐사	11.12
10. 31.	과주(서울대)	8수(멧비둘기8)	8	모노크로토포스중독증	11.12
11. 8.	시화호 북측간석지	11수(청둥7, 흰뺨1, 흑부리1, 도요새2)	11	살모넬라병	11.18
11.20	인천경제자유구 역	5수(청둥5)	5	Aeromonas병	12.02
12.10	김제 만경저수지	1수 (야생오리)	1	AI 음성	12.29
12.11	경기도 화성	2수(청둥오리)	2	AI 음성	12.29
합계	10개 지역	122수	122		

라. 지역별 조류 상 조사결과

(1) 경기도 지역

경기도 지역의 조류상 조사지역은 포천시 포천천 일대, 안산시 시화호일대, 안성시 용설저수지, 청미천 일대, 이천시 호법면 주미리 북하천 일대에서 실시하였다.

경기도 포천시 포획지역 일대의 조류상 분석은 신북면 만세교리 일대의 포천천에서 6월에

실시하였다. 포천천 포획지점 인근 조사결과 총 18종 198개체가 관찰되었다. 우점종은 붉은머리오목눈이였으며, 아우점종은 참새였다.

경기도 안산시 조류상 조사는 시화호 일원에서 실시하였으며 포획지역인 시화호 일원에 대하여 총 5회 조사가 실시되었다. 경기도 안산시 시화호 인근 조사결과 총 49종 5,221개체이었다. 우점종은 제비이였으며, 아우점종은 꿩이갈매기이였다. 1차 조사결과 관찰된 종과 개체수는 16종 348개체이였으며, 최우점종은 흰뺨검둥오리이였다. 2차 조사결과 관찰된 조류는 총 17종 325개체이였으며, 최우점종은 흰뺨검둥오리이였다. 3차 조사결과 관찰된 조류는 총 33종 1,493개체이였고 최우점종은 꿩이갈매기이였으며, 아우점종은 참새였다. 4차 조사결과 관찰된 조류는 총 27종 2,901개체이였으며, 최우점종은 제비, 아우점종은 꿩이갈매기이였다. 5차 조사결과 관찰된 조류는 총 11종 154개체이였으며, 최우점종은 흰뺨검둥오리이였다.

경기도 안성시 조류상 조사는 죽산면 용설리 용설저수지 일대와 일죽면 당촌리 청미천 일대에서 실시하였다. 조류상 조사는 안성시 죽산면 용설리에서는 1회, 청미천에서는 2회 실시하였다. 조류상 조사결과 관찰종 및 개체수는 47종 1,838개체이였다. 최우점종은 흰뺨검둥오리이였으며, 차우점종은 원앙이였다. 용설저수지 일대에서는 26종 226개체가 관찰되었으며, 우점종은 참새와 붉은머리오목눈이 이였다. 청미천 1차 조사결과 관찰된 종과 개체수는 총 15종 906개체이였으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 원앙이였다. 청미천 2차 조사결과 관찰된 조류상은 총 21종 706개체이였고, 최우점종은 흰뺨검둥오리였으며, 아우점종은 원앙이였다.

경기도 이천시 조류상 조사는 호법면 주미리 북하천 일대에서 실시하였다. 조류상 조사 결과 총 19종 473개체가 관찰되었다. 우점종은 흰뺨검둥오리였으며, 아우점종은 원앙과 청둥오리였다.

(2) 인천광역시 지역

인천광역시 일대의 조류상 조사는 강화군 일대에서 실시하였다. 인천광역시 포획지역 조류상 조사는 강화군 내가면 외포리 일대에서 실시하였다. 조사결과 관찰된 종과 개체수는 19종 802개체이였으며, 우점종은 꿩이갈매기였으며, 아우점종은 붉은머리오목눈이였다.

(3) 강원도 지역

강원도 일대의 조류상 조사는 철원군 김화읍 와수리 일대에서 실시하였다. 관찰된 조류상은 총 20종 67개체이였다. 우점종은 멧비둘기였으며, 아우점종은 직박구리, 붉은머리오목눈이, 피꼬리였다.

(4) 충청남도 지역

충청남도 일대의 조류상 조사는 아산시 탕정면, 배방면, 인주면 일대와 천안시 수신면, 풍세면, 목천면 일대, 논산면 광석면, 서천군 장항읍 일대에서 실시하였다.

충청남도 아산시 포획지역 일대의 조류상 조사는 탕정면, 배방면 일원의 곡교천에서 실시하였다. 포획지역인 곡교천 일원에 대하여 총 4회 조사가 실시되었으며, 아산만 일원은 1회 실시하였다. 충청남도 아산시 조류상 조사결과 총 44종 5,111개체가었다. 우점종은 흰뺨검둥오리이었으며, 아우점종은 쇠오리였다. 탕정면 곡교천 1차 조사결과 관찰된 종과 개체수는 17종 2,650개체가 관찰되었고 우점종은 흰뺨검둥오리와 쇠오리였다. 탕정면 곡교천 2차 조사결과 총 12종 169개체가 관찰되었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 쇠오리, 참새이었다. 탕정면 곡교천 3차 조사결과 총 12종 614개체가 관찰되었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 원앙이었다. 배방면 곡교천 4차 조사결과 총 17종 1113개체가 관찰되었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 원앙, 쇠오리이었다. 아산시 인주면 아산만 일대 조사결과 관찰된 종과 개체수는 24종 565개체가이었으며, 주요 우점종은 팽이갈매기와 붉은부리갈매기이었다.

충청남도 천안시 포획지역 일대의 조류상 조사는 수신면 병천천, 풍세면 봉강천, 목천면 성거산 일대에서 실시하였다. 충청남도 천안시 조류상 조사결과 관찰된 종과 개체수는 총 33종 3,116개체가이었으며 우점종은 흰뺨검둥오리이었으며, 아우점종은 청둥오리이었다. 수신면 장산리 병천천 조사결과 관찰된 종과 개체수는 11종 761개체가 관찰되었고 우점종은 흰뺨검둥오리와 쇠오리였다. 풍세면 용정리 봉강천 조사결과 총 12종 2,303개체가 관찰되었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리, 청둥오리이었다. 목천면 석천리 성거산 조사결과 총 17종 52개체가 관찰되었으며, 우점종은 물까치이었다.

충청남도 논산시 포획지역 일대의 조류상 조사는 광석면 오강리 석성천 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 18종 78개체가이었으며, 우점종은 참새였으며, 아우점종은 붉은머리오목눈이이었다. 충청남도 서천군 포획지역 일대의 조류상 조사는 장항읍 송림리 유부도 일대에서 실시하였다. 관찰종과 개체수는 총 43종 9,652개체가이었으며, 최우점종은 붉은어깨도요였으며, 아우점종은 개펄이었다.

(5) 대전광역시 지역

대전광역시 조류상 조사는 유성구 관평동, 문평동 일대의 갑천에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 19종 236개체가이었으며, 최우점종은 쇠오리이었으며, 차우점종은 흰뺨검둥오리이었다. 유성구 갑천 일대는 총 9종 209개체가 관찰되었으며, 우점종은 쇠오리이었다. 문평동 갑천 일대에서는 총 12종 27개체가 관찰되었으며, 우점종은 붉은머리오목눈이 이었다.

(6) 충청북도 지역

충청북도 조류상 조사는 음성군 맹덕면, 청원군 가덕면, 청원군 가락리, 청원군 옥산면, 청주시 흥덕구 일대에서 실시하였다.

충청북도 음성군 포획지역 일대의 조류상 조사는 맹동면 쌍정리 맹동저수지 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 31종 272개체이었으며, 우점종은 물까치였으며, 아우점종은 멧비둘기와 붉은머리오목눈이였다.

충청북도 청원군 포획지역 일대의 조류상 조사는 가덕면 괴곡리 대청호 일대와 옥산면 가락리와 덕촌리 미호천 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 37종 2,113개체이었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 원앙이었다. 청호 일대에서 관찰된 조류는 25종 211개체이었으며, 붉은머리오목눈이가 우점종이었다. 옥산면 가락리 미호천 일대에서 관찰된 종과 개체수는 11종 981개체이었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 원앙이었다. 옥산면 덕촌리 미호천 일대에서 관찰된 종과 개체수는 16종 921개체이었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 원앙이었다.

충청북도 청주시 일대의 조류상 조사는 흥덕구 강서동 미호천 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 15종 519개체이었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리였으며, 아우점종은 원앙이었다.

(7) 전라북도 지역

전라북도 조류상 조사는 김제시 용지면 일대와 익산시 삼례읍, 전주시 덕진구, 익산시 춘포면, 김제시 백구면의 만경강 일대에서 실시하였다.

전라북도 김제시 일대의 조류상 조사는 용지면 예촌리 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 21종 228개체이었으며, 우점종은 참새였으며, 아우점종은 제비였다.

전라북도 완주군 일대의 조류상 조사는 삼례읍 해전리와 전주시 덕진구 강흥동의 만경강 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 6종 1,142개체이었으며, 우점종은 큰기러기였으며, 아우점종은 청둥오리였다.

전라북도 전주시 일대의 조류상 조사는 덕진구 도덕동 만경강 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 17종 734개체이었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리였으며, 아우점종은 쇠오리였다.

전라북도 익산시 일대의 조류상 조사는 춘포면 춘포리 만경강 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 12종 579개체이었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리와 청둥오리였으며, 아우점종은 쇠오리였다.

전라북도 김제시 일대의 조류상 조사는 백구면 반월리 만경강 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 11종 567개체이었으며, 우점종은 흰뺨검둥오리였으며, 아우점종은 청둥오리였다.

(8) 전라남도 지역

전라남도 해남군 일대의 조류상 조사는 화원면 장춘리 개초저수지, 산호리 둔전저수지, 산수전수지일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 18종 1,591개체이었다. 화원면 장춘리 개체저수지 일대는 총 16종 751개체가 관찰되었으며, 우점종은 청둥오리와 홍머리오리였다. 화원면 장춘리 둔전저수지 일대에서는 5종 634개체가 관찰되었으며, 화원면 장춘리 산수전수지 일대에서는 8종 204개체가 관찰되었다.

(9) 광주광역시 지역

광주광역시 조류 조사는 서구 서창동 극락강 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 18종 941개체이었으며, 우점종은 쇠오리와 흰뺨검둥오리이었다. 1차 조사결과 관찰된 종과 개체수는 10종 193개체이었으며, 2차 조사결과 관찰된 종과 개체수는 17종 748개체이었다.

(10) 경상남도 지역

경상남도 창녕군 일대의 조류상 조사는 창녕읍 옥천리 구현산 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 18종 143개체이었으며, 우점종은 붉은머리오목눈이였으며, 아우점종은 물까치였다.

경상남도 창원시 포항지역 일대의 조류상 조사는 동읍 월잠리 주남저수지 일대에서 실시하였다. 관찰된 종과 개체수는 총 33종 10,329개체이었으며, 우점종은 가장오리였으며, 아우점종은 쇠기러기이었다. 1차 조사결과 28종 2,884개체가 관찰되었으며, 2차 조사결과 21종 7,445개체가 관찰되었다.

3. HPAI 발생지역 및 주요 철새도래지에 대한 가금 사육실태 및 분포현황 조사

가. 주요 철새도래지(철새 관측지)와 가금 사육농가 현황

표 52 주요 철새도래지, 가금류 사육농가 현황

철새도래지(관측지)	128개소
가금류 사육농가	7,864 농가
거위	296
메추리	152
산란계	1,711
산란오리	13
야생오리	23
유황오리	1
육계	2,075
일반오리	1,862
종계	248
종오리	114
청둥오리	329
토종닭	1,040

표 53 철새도래지로부터 5km이내 가금사육농가 현황

관측지 기준	합계	거위	메추리	산란계	산란오리	육계	일반오리	종계	종오리	청둥오리	토종닭
0.5Km이내	6				1	1	4				
1Km이내	41				1	2	7			31	
2Km이내	98	7	1	3	1	26	24			31	5
3Km이내	247	16	2	44	1	51	75	3		31	24
4Km이내	439	29	4	104	2	87	138	7	1	34	33
5Km이내	612	35	7	123	2	163	184	13	2	35	48

나. 과거 HPAI 발생지역과 주요 철새도래지별 5km 이내 가금사육농가 현황

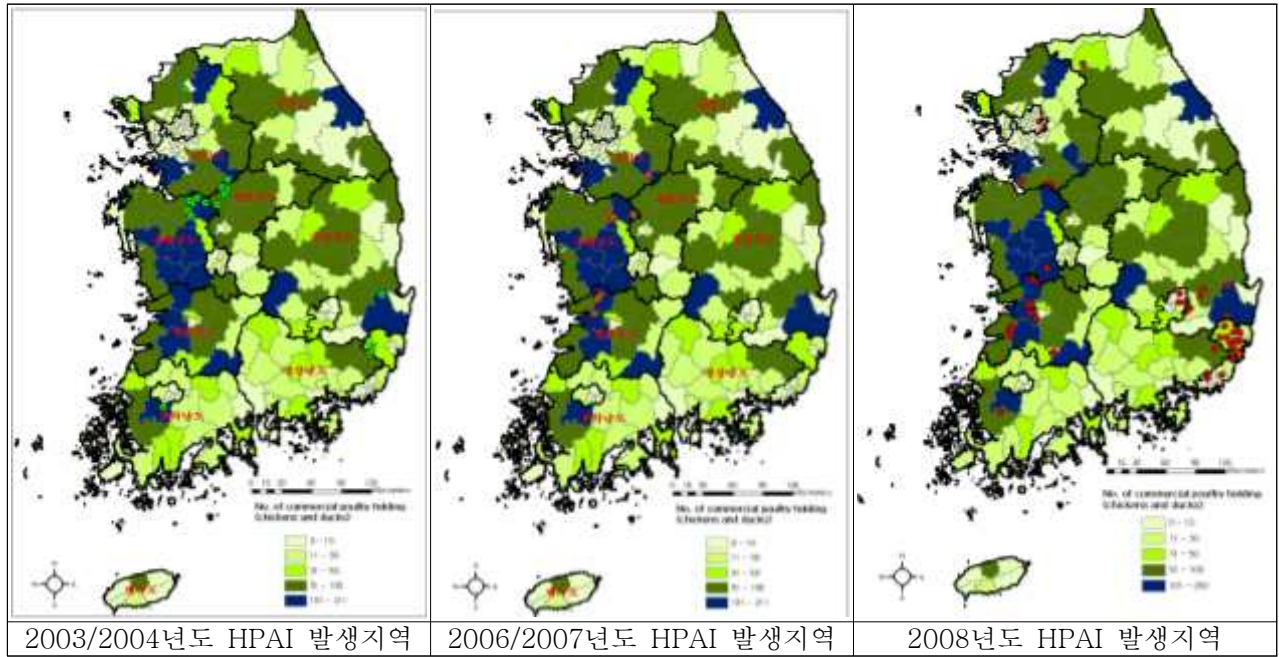


그림 141 GIS를 이용한 과거 국내 3차례 HPAI 발생지역과 가금류 사육지역 현황

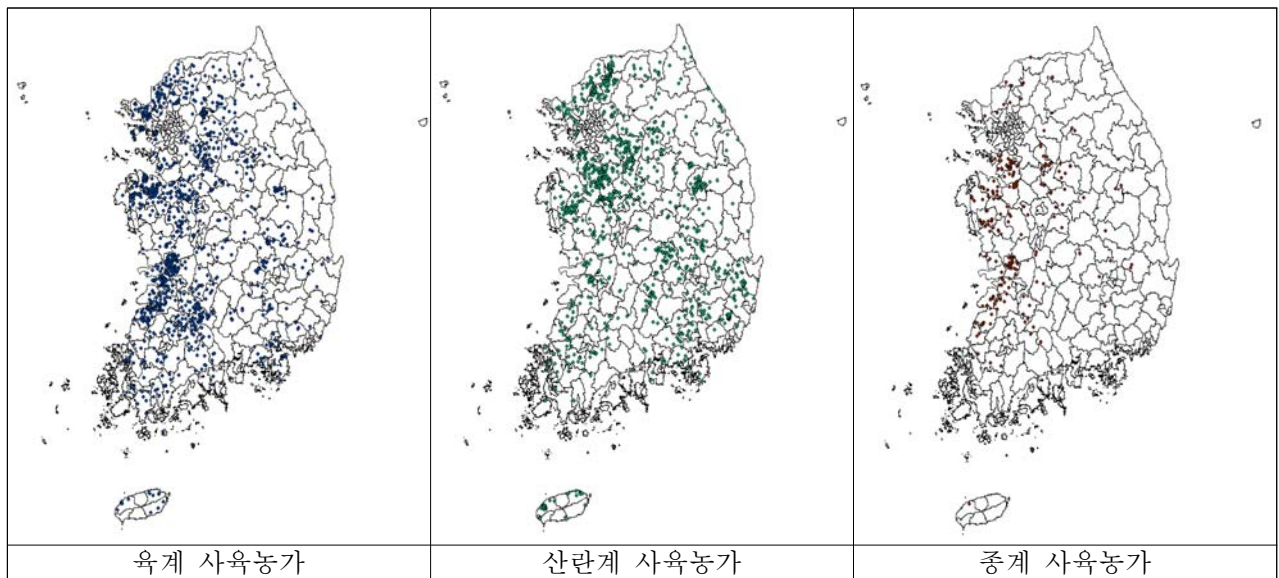


그림 142 닭 사육농가 현황

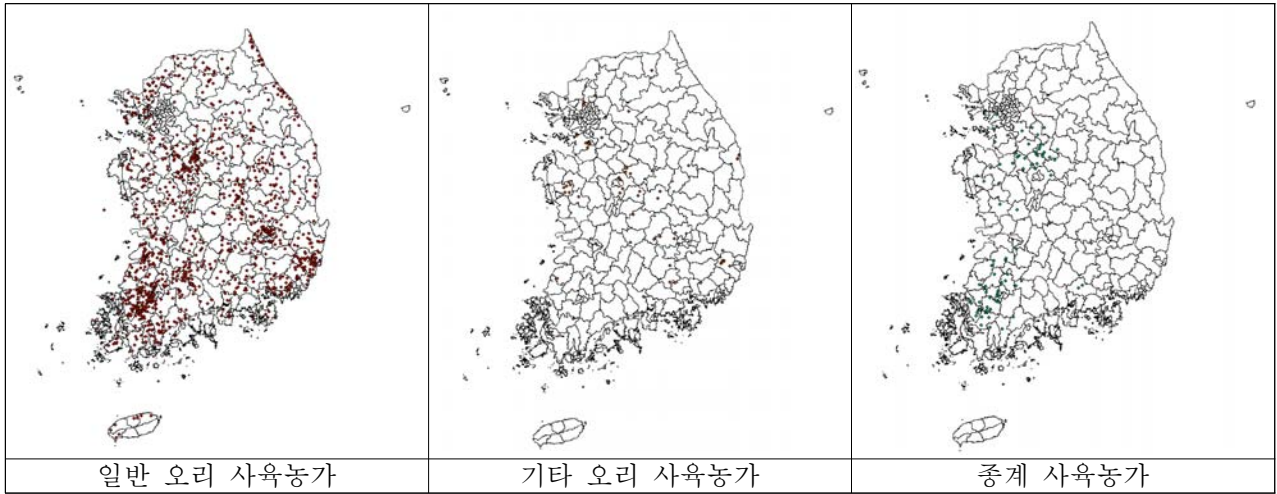


그림 143 오리 사육농가 현황

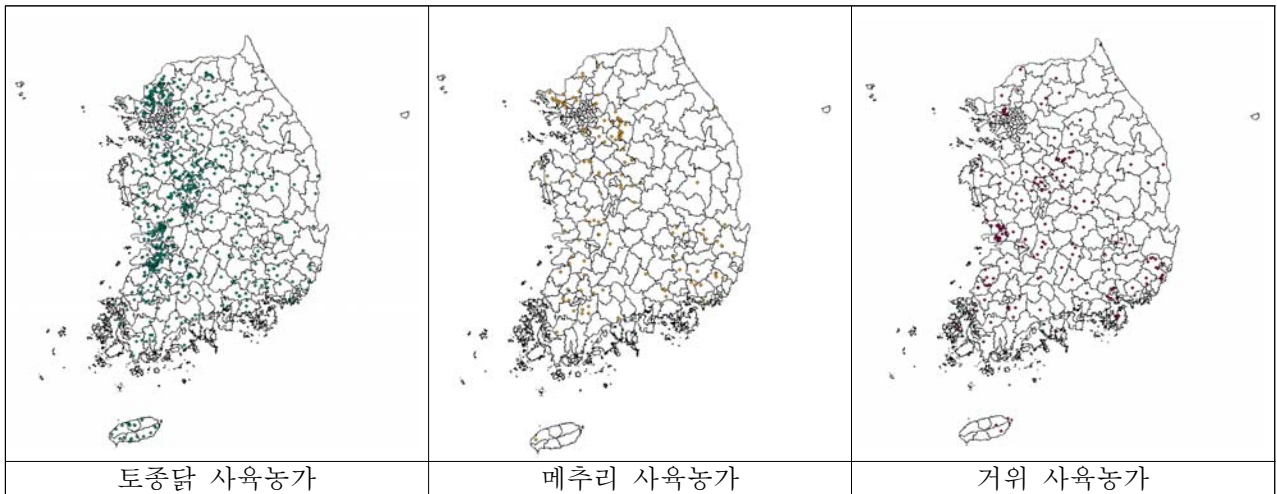


그림 144 기타 가금류 사육농가 현황

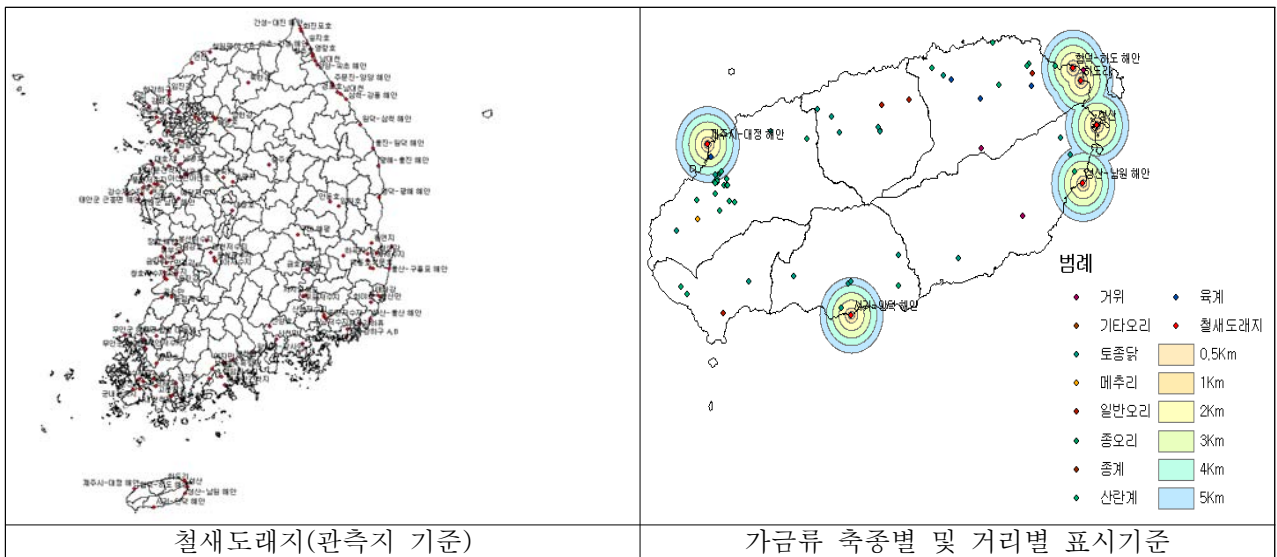
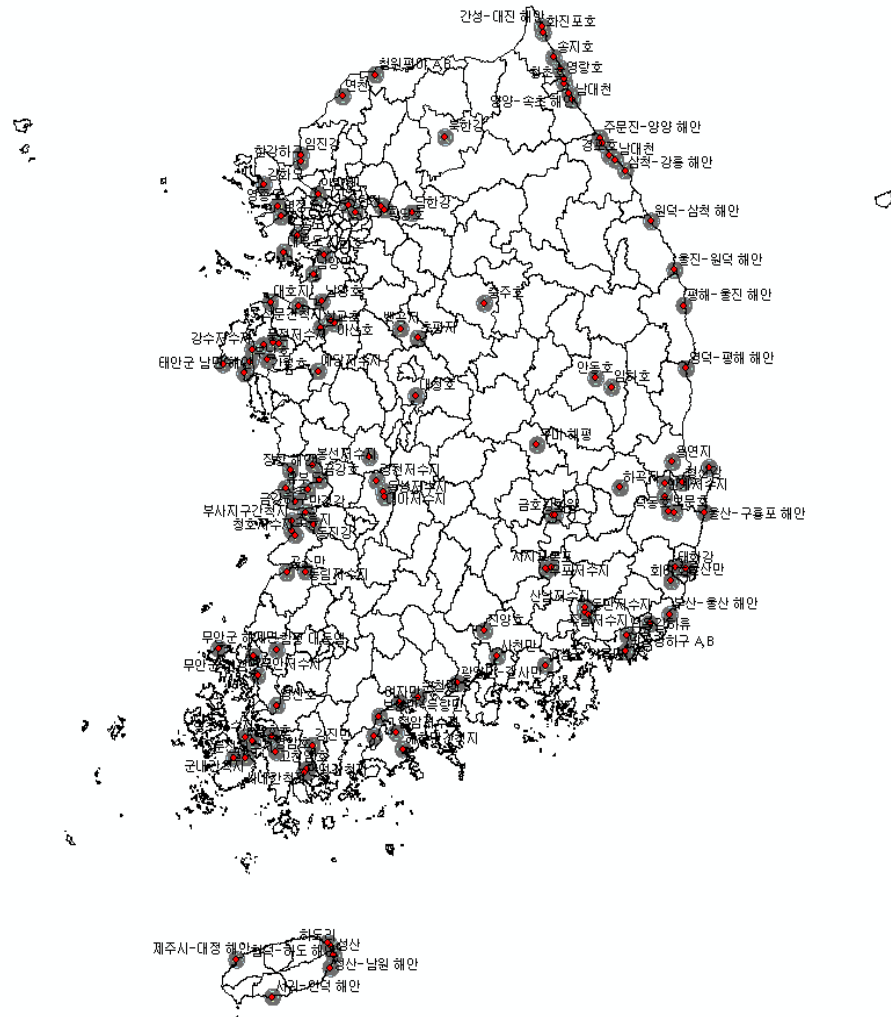


그림 145 주요 철새도래지와 가금류 사육농가 분포현황

다. HPAI 발생지역의 철새도래지(관측지)로부터 5km 이내 가금류 사육농가 분포현황



예) 제주도 확대
각각의 원은 반경 0.5, 1, 2, 3, 4, 5Km를 나타냄

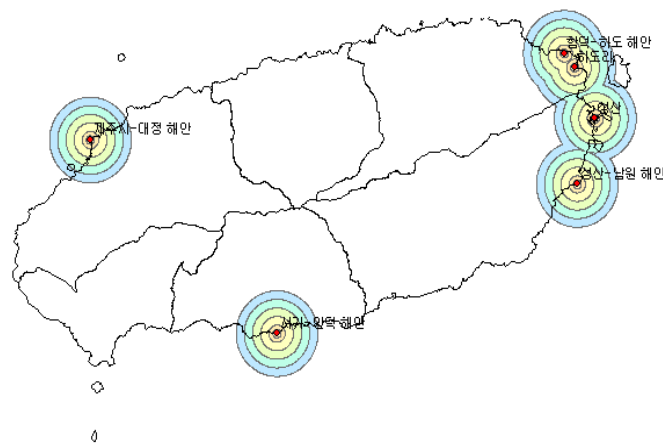
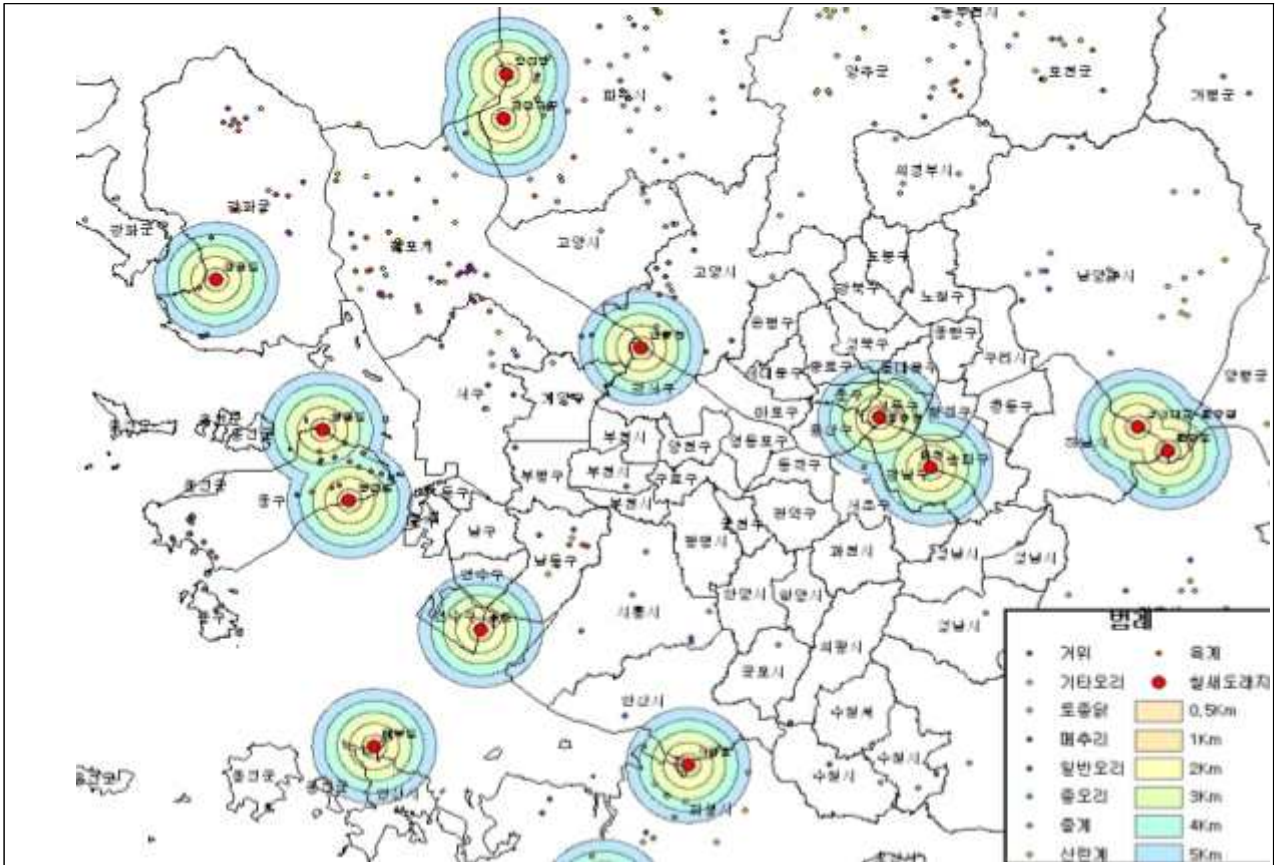
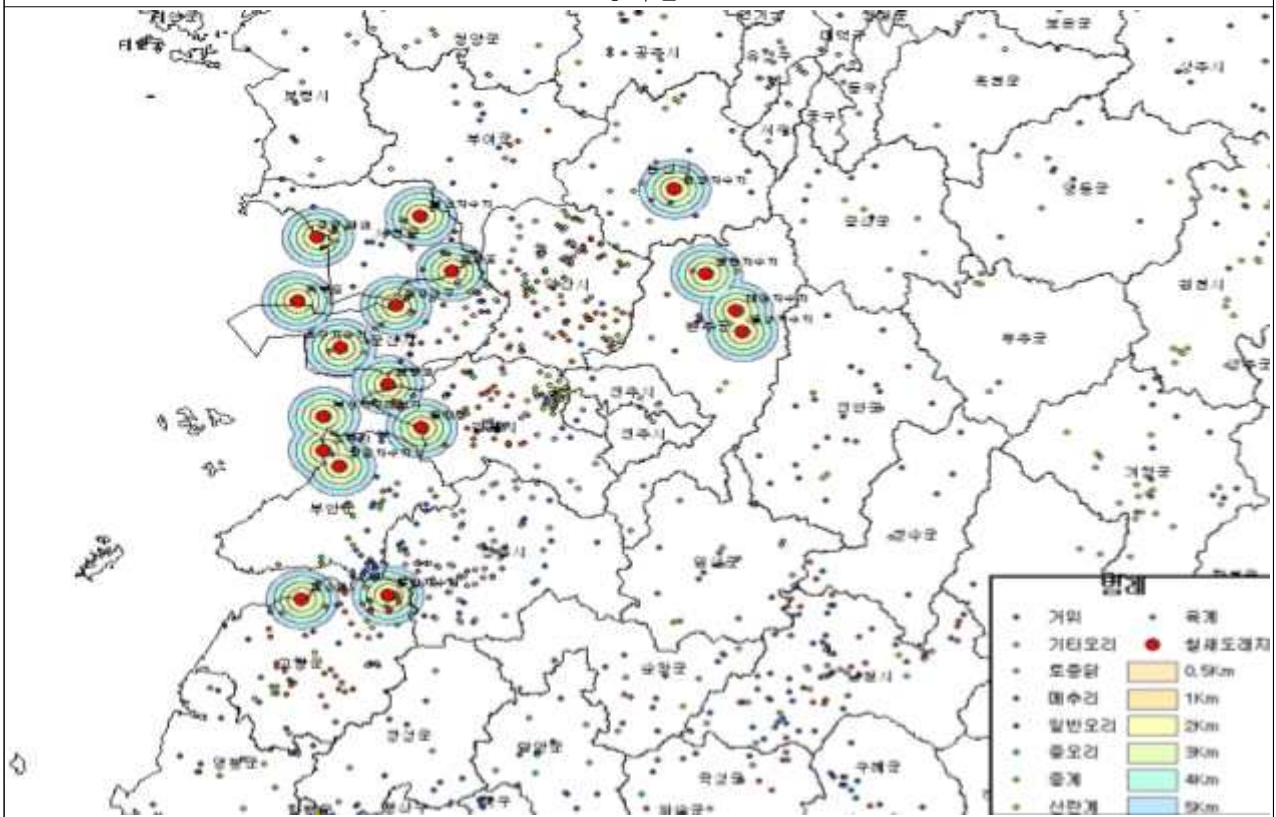


그림 146 HPAI 발생지역의 철새도래지(관측지)로부터 5km 이내 가금류 사육농가 분포현황

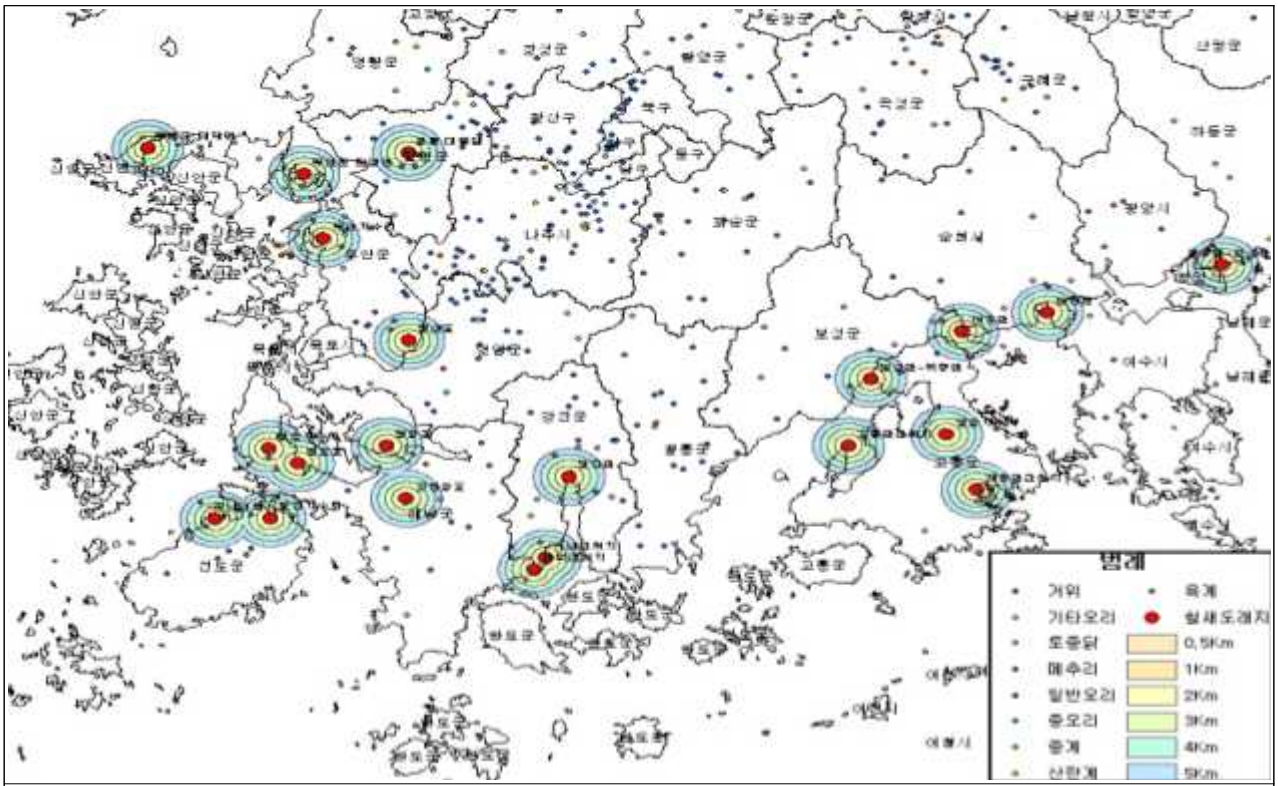


경기권

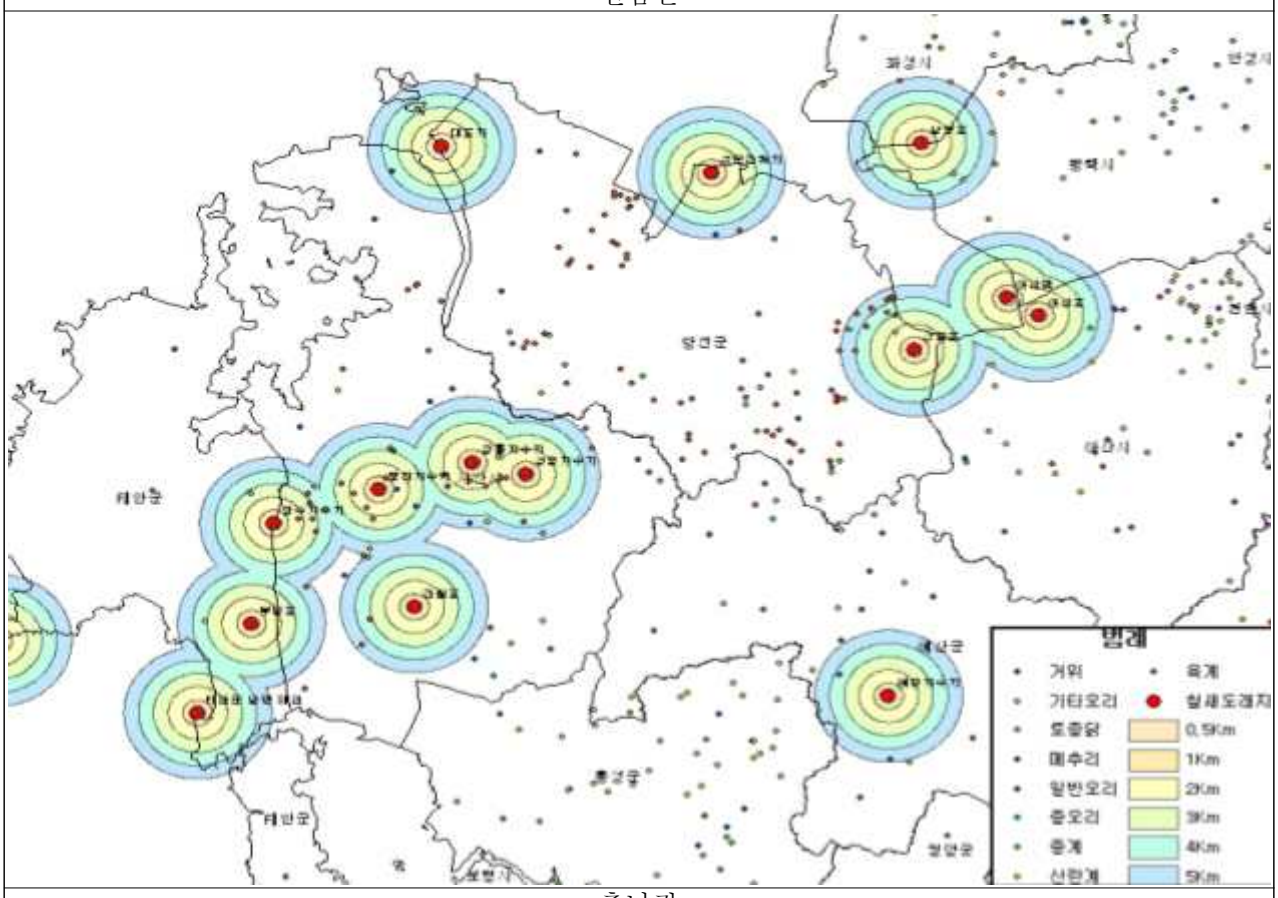


전북권

그림 147 지역별 철새도래지로부터 5km 이내 가금사육농가 분포도 - 1



전남권



충남권

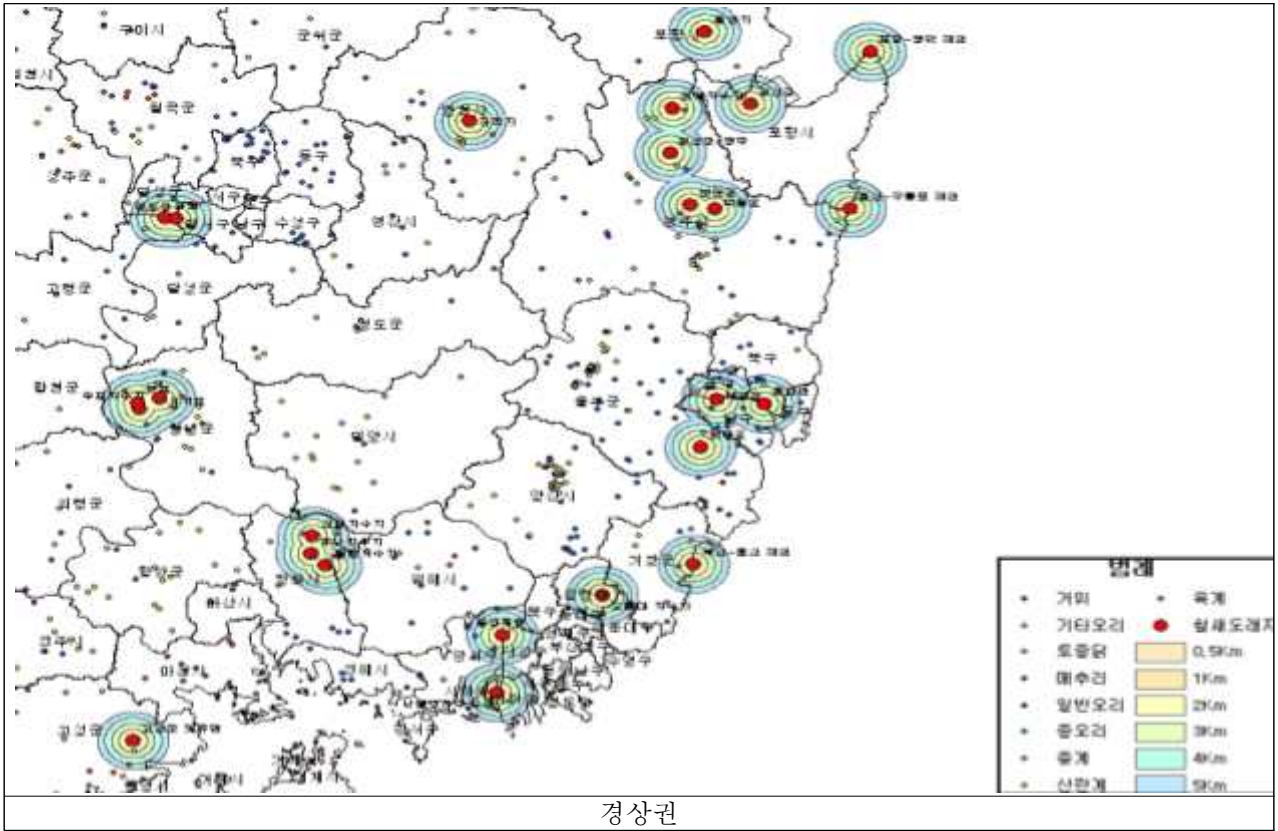


그림 148 지역별 칠채도래지로부터 5km 이내 가금사육농가 분포도 - 2

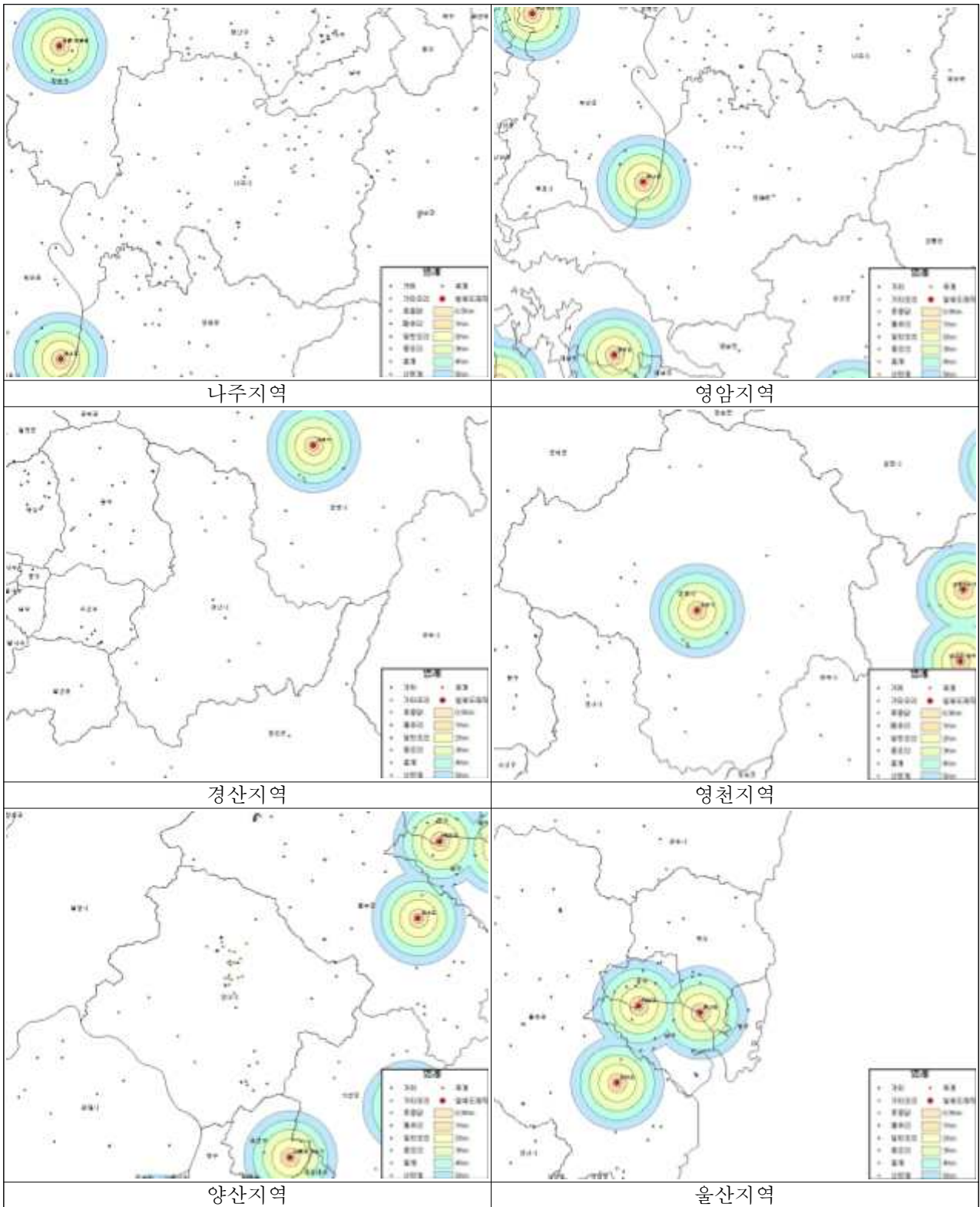


그림 149 HPAI 발생지역과 철새도래지 5km이내 가금 사육농가간 분포현황 비교 - 2

라. 시범지역(익산·김제·정읍)의 일별(월별) 어리장 차량이동 상황조사

표 54 전북지역 도축장별 출하(어리장) 차량 이동사항 조사결과

도축장명	시기	도계수수	차량이동횟수	품종(체중)으로 구별	차량이동지역
DW 도계장	성수기	24만~27만수/일	89~100회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 육계(32일령): 2,700~3,000수/5톤 - 삼계(41~43일령) 5,000수/5톤 	<ul style="list-style-type: none"> - 총 농가수 250여농가: · 전남(함평, 무안, 나주, 강진, 영암, 광양, 순천) 45% · 전북 35% · 충남(서천, 보령) 20% - 어리장 용역차량 44대
	비수기	17만수/일	63회/일		
	'09. 10.23	201,700수/일 (육계 141,700수/일, 삼계 60,000수/일)	57~65회/일		
HL 도계장	성수기	50만~60만수/일	200회/일 (*2~3회운행)	<ul style="list-style-type: none"> - 육계 · 비수기 3,000수/5톤 · 성수기 2,500수/5톤 - 삼계 · 비수기 5,000수/5톤, 성수기 3,500수 - 토종닭 · 비수기 2,000수/5톤 · 성수기 1,760~1,800수/5톤 	<ul style="list-style-type: none"> - 총 농가수 570농가: · 전남 30% · 전북 50% · 충청 20% - 어리장 용역차량 100대 · 성수기 3회/일 · 비수기 1회/일 · 세차 60대/일(주야간) · 전차량세차소독 1회/2일
	비수기	32만수/일	100~110회/일		
	'09. 10.23	32~35만수/일	100~120회/일		
AS 도계장	성수기	2~2.5만수	10~13회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 토종닭 · 10/12 : 19만수/월 6.4회/일 · 9/17 : 27만수/월 6.4회/일 	평택, 홍성 진안, 김제, 정읍, 익산 여수, 영동, 진천 김천, 전국
	비수기	1~1.5만수	6~7회/일		
	'09. 10.23	1~1.5만수	6~7회/일		
SH 도계장	성수기	2.5~3만수/일	10~15회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 육용오리 · 9월 : 424,683수 · 10월 : 266,324수 *1,000~1,500수/5톤 	전남(구례, 화순, 장흥, 나주, 함평, 장성, 영암, 보성, 고흥, 무안) 전북(부안, 정읍, 김제, 고창, 임실) 충남(천안, 홍성) 충북(영동), 경북(예천)
	비수기	1.5~2만수/일	8회/일		
	'09. 10.23	1.5~2만수/일	8회/일 (260회/일)		

※ 봄철 및 여름철 성수기에 추가로 조사할 예정임

마. 가금 산업별 분포 및 관련 물류 유통실태 조사

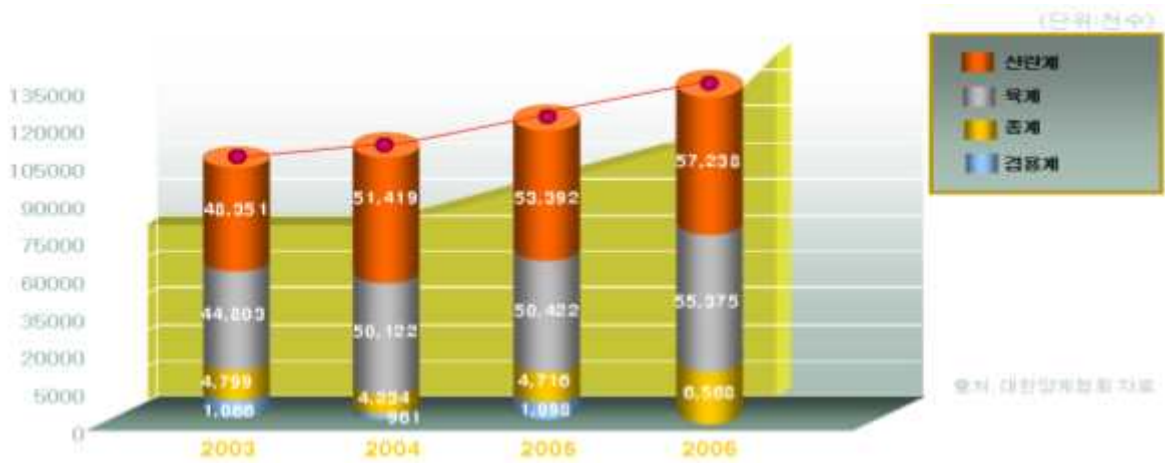


그림 150 양계 산업의 사육 현황

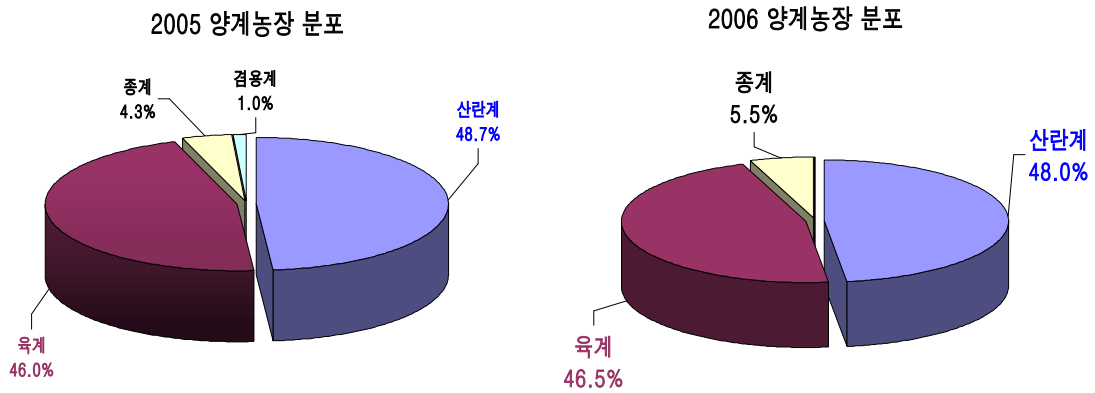


그림 151 사육 용도별 및 월령별 마리수 (단위 : 천소, %)

표 55 용도별 사육 두수

구 분	용 도 별			
	산란계	육 계	종 계	검용계
'02.12	50,191 (49.3)	45,005 (44.3)	5,255 (5.2)	1,242 (1.2)
'03.12	48,351 (48.8)	44,803 (45.2)	4,799 (4.9)	1,066 (1.1)
'04.12	51,419 (48.2)	50,122 (46.9)	4,234 (4.0)	961 (0.9)
'05.12	53,392 (48.7)	50,422 (46.0)	4,716 (4.3)	1,098 (1.0)
'06.12	57,238 (48.0)	55,375 (46.5)	6,568 (5.5)	-

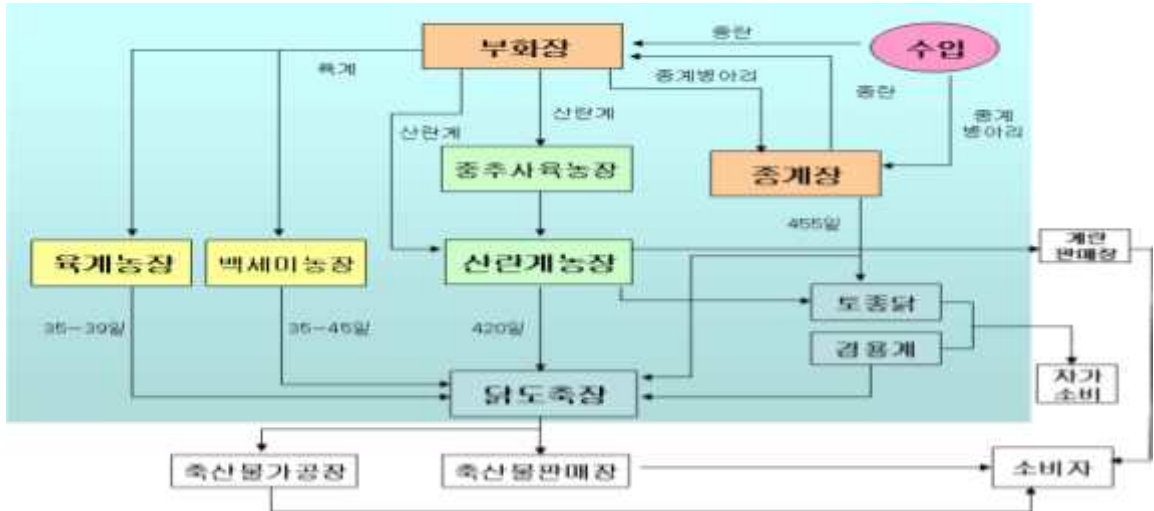


그림 152 양계 유통시스템 개요

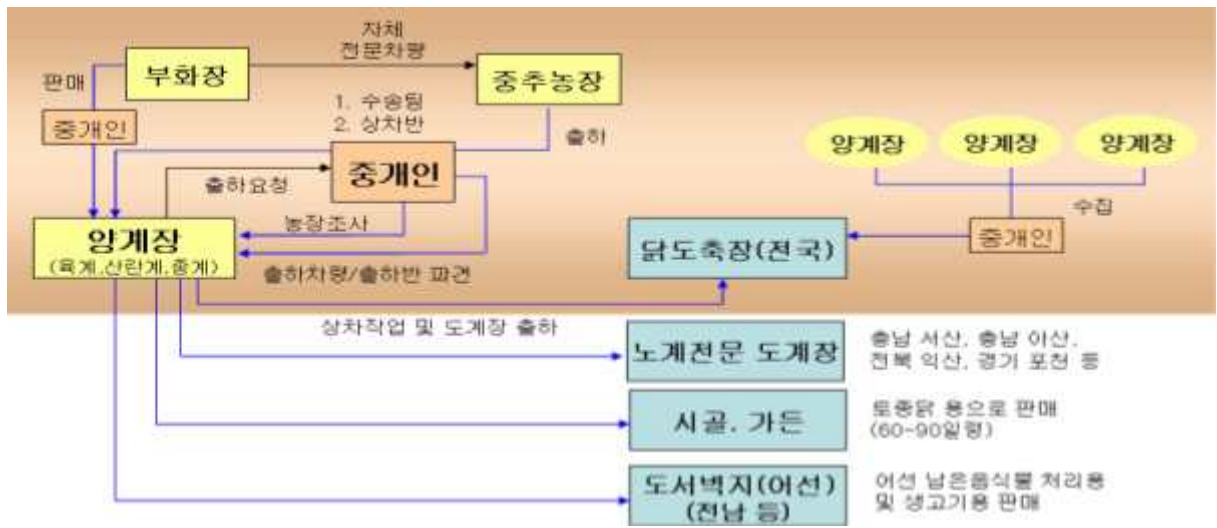


그림 153 양계 사육 및 출하 실태

(1) 토종닭 생산 및 유통체계



그림 154 토종닭의 생산체계 모식도

국내 토착화된 7세대(정립된 7세대 : ① PL ; 순계 ⇒ ② GGP ; 원원종계 ⇒ ③ GP ; 원종계 ⇒ ④ PS ; 종계 ⑤ CC ; 일반계) 가 종계이며, 지역 고유명으로써 한협 3호, 한협 7호, 한협 8호(주) 등은 GPS, PL(Pure line)이며, 우리맛닭(축산과학원), 유색수입종(싸쏘-프랑스, 바블라종 등), 경북토종(영남대생산), 고센 등이 있다(* 토종닭 1세대는 부화한 병아리가 다시 알을 낳아서 다시 병아리를 부화한 기간, 7세대는 200일 이상(6개월이상) 소요). 종란사육은 한협 3호 농가가 가장 많고, 대부분(80%) 종계장, 부화장을 소유하고 있으며, 부화장만 소유하면서 종란구매 또는 위탁해서 부화하는 농가가 20%정도이며, 2000년대초 정부 관계법의 규제완화 시기에 우후죽순 격으로 부화장이 난립되면서 가축방역 상 문제를 초래한 부분도 있다. 미등록 종계장(육계, 산란계, 종계)이 40% 정도가 되며, 농가에서 토종닭 구입 요청시 부화장에서 직접 공급하는 경우가 대부분(85%)이며, 봄과 여름철 보양식으로 가정에서 사육하는 경우는 재래시장(5일장)을 통해 유통된다.

종계사육	종란부화및유통	도종병아리유통
한협3호 35농가 우리맛닭 2농가 유색수입종 5농가 기타(경북토종,고센-등)	종계장, 부화장 소유 80% 종란구매, 종계사육 후 위탁부화 20%	농가에서 직접 주문하여 부화장에서 직접공급 - 85% 재래장(5일장) 및 공, 이를 가정에서 사육 - 15%

그림 155 토종닭의 사육, 종란 부화/유통, 병아리 유통 현황

(가) 토종닭 사육 및 출하체계

토종닭은 전통적으로 각 가정에서 산닭을 자가 도축하는 경우가 많았고, 현재까지도 재래상설시장 등에서 소비자가 구입 직전에 산닭을 도축한 것을 구입하는 사례가 있다. 토종닭의 생산처와 소비처가 증가되고 위생적인 도축판매와 전국적인 유통의 중요성이 증대되면서 점차적으로 도계장에서 도축하여 각 판매처에 도계육으로 판매되고 있다.



그림 156 토종닭 사육 및 출하체계 모식도

토종닭은 주로 4가지 경로를 통해 유통되며, 최근 도축장 또는 계육가공장 중심으로 한 계열사를 통한 유통과 생산농가가 직접 설립한 개인인티(영농법인)를 통한 유통이 있고, 소규모 유통으로는 일반상인과 소규모 중개인을 통한 마트, 재래시장, 가든, 식당 등으로 유통 판매가 되고 있다.



그림 157 토종닭 유통체계 모식도

백세미는 산란계 암컷과 육용계 수컷을 교잡시켜 생산된 삼계용의 닭을 말하며, 일반적으로 백세미부화장과 유통(계열사, 개인인티 등)들이 산란계 암컷농장과 육용계 수컷 농장 간의 계약으로 생산한다. 계열사와 개인인티는 백세미 부화장과 유통과의 계약이 이루어지며, 이때 일반적으로 250~300원에 계약된다(국내 유명 계육가공업체들 대부분이 이윤을 위해 백세미 부화장 유통을 실시하고 있었음). 계열사와 개인 인티는 백세미 사육농가와 300~350원에 계약되며, 토종닭 종계 환후 노계(35주령)는 1,000원 정도이며, 노계상인에게 500원을 더 지급하면서 구입하는 경우도 있다.



그림 158 백세미 유통체계 모식도

토종닭은 최근 들어 계열화된 계육가공장 등에서 위생적으로 도축처리 및 가공하여 전국적인 육계 유통망 등을 통하여 포장육 등으로 백화점 및 할인매장으로 40% 정도가 유통 판매되고 있다. 토종닭은 전통적인 소비형태인 산닭을 구입처인 채래시장, 소매점, 식당, 가든 등에서 직접 도축하여 판매하거나 도계육을 판매하는 경우가 60% 정도이다.



그림 159 토종닭 판매처에 따른 소비현황

(나) 오리 생산 및 유통체계

농장에서 정보를 주고 있지 않고, F1이 종오리로 사육중인 농가가 많아 종별 농가 수 파악이 곤란하며, 500수 이상 사육농장은 총 688농장으로 집계된다.

표 56 전국 오리농장 현황 (2005.12월 기준, 한국오리협회)

구 분	종오리(산란)	육용오리	기타	계
사육수수	1,652,253	6,583,176	153,318	8,388,747
사육 농가수	64	?	?	8,059

오리의 생산체계는 GGPS → GPS(원종오리) → PS(종오리) → F1(1대잡종) → CC(실용오리)와 같으며, PS는 연간 종란 280개, 오리새끼 238수 내외 생산하며, F1은 연간 종란 230개, 오리새끼 150-160수 생산(37% 수준)으로 현재 종오리로 쓰이는 오리의 70%가 1대 잡종인 것으로 추정된다.

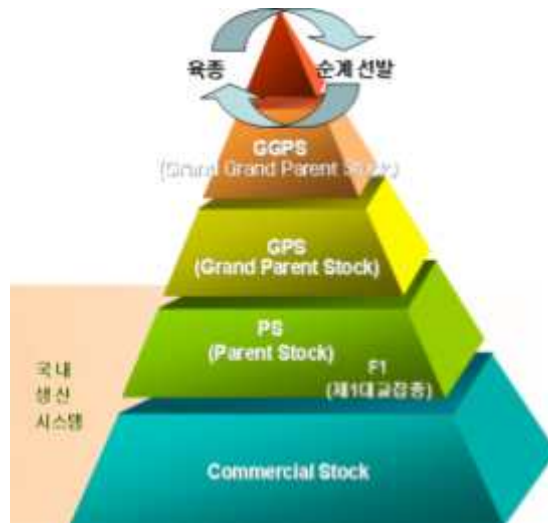


그림 160 오리 생산 시스템 개요

국내 오리 생산 시스템은 PS(중오리) 수입 → F1(1대잡종) → CC(실용오리)으로 나타낼 수 있으며, F1은 PS에서 생산된 CC(육용오리)에서 선발하여 F1으로 사용하며 이들은 부화 6개월 후부터 종란을 생산한다.

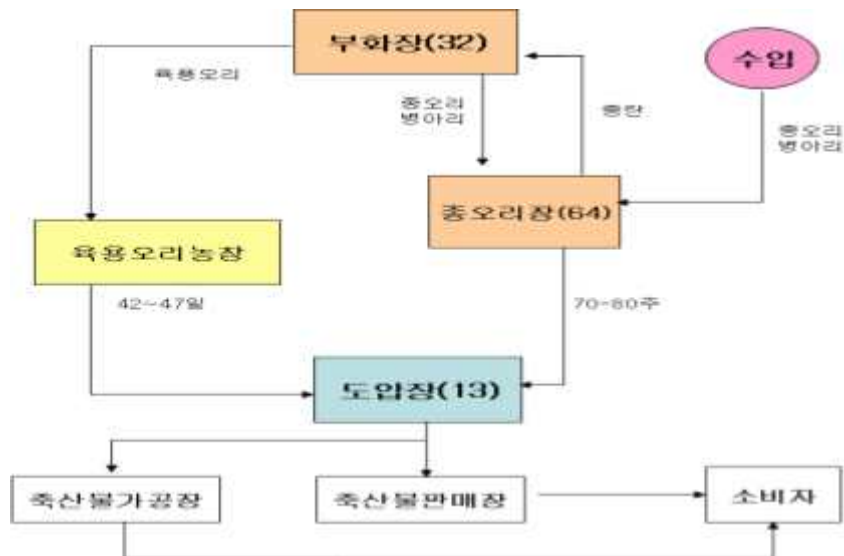


그림 161 국내 오리생산 및 이동형태 모식도

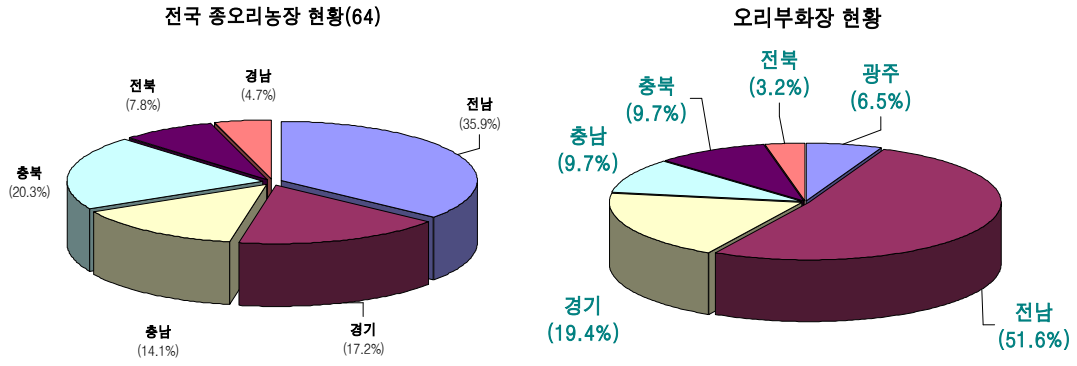


그림 162 전국 중오리 농장 및 부화장 현황

표 57 부화장 및 중오리농장의 전국 현황 조사 결과

구 분	광주	전남	경기	충남	충북	전북	경남	합계
부화장	2	16	6	3	4	1	-	32
중오리농장	-	23	11	9	13	5	3	64

표 58 오리 계열화사업장 현황

지역	법인명	사업장 소재지	계열사업형태	도입장 소유	비고
경기	혜준영농조합법인	경기도 안성시	혼합	부	
충남	(주) 엘로우덕	충남 공주시	수평	부	
	다영식품 영농조합법인	충남 천안시	수직	부	
충북	(주) 엠에스푸드	충북 음성군	수직	여	
	(유) 농업회사법인 진천오리인티	충북 진천군	수평	여	
	한국오리영농조합법인	충북 음성군	혼합	부	
광주	(주) 한성푸드	광주시 광산구	수평	부	
	주식회사 올히	광주시 광산구	수평	부	
	대승영농조합법인	광주시 북구	수평	부	
	성실농산영농조합법인	광주시 광산구	수직	부	
	(주) 유성하이치킨	광주시 북구	수직	여	
전남	화정축산영농조합법인	전남 나주시	혼합	부	
	(주) 정다운	전남 나주시	혼합	부	
	부성축산	전남 강진군	수직	부	
	보성낙돈	전남 보성군	수직	부	
	(주) 신촌자연오리	전남 나주시	수평	여	
	(주) 금계	전남 장성군	수평	부	
	(주) 화인코리아	전남 나주시	수평	여	
	하나로덕영농법인	전남 나주시	혼합	부	
	코리아팔도영농법인	전남 나주시	혼합	여	
	(주) 백미	전남 목포시	수평	부	
전북	(주) 코리아디커드	전북 남원시	수직	여	
	(주) 삼호	전북 정읍시	수직	여	
경남	신선산오리	경남 하동군	혼합	여	
부산	(주) 베텔농산	부산시 금정구	수직	부	
	(주) 근화물산	부산시 사하구	수직	부	

표 59 지역별 도압장 현황

주 소	도압장명	비 고
광주광역시	유성하이치킨	
경기	양근생오리, 참진오리	
충북	주원산오리, 오리스, 모란식품	
전북	삼호, 코리아더커드	
전남	화인코리아, 영흥실업, 코리아팔도, 초가집축산	
경남	부경농산	
제주	제주가금처리장	

① 사양형태 별 농장 경영 시스템

육용오리를 단독 경영하는 경우 농가 책임 하에 오리새끼, 사료,약품, 연료 등 모든 생산자재를 구입하여 자가 노동력으로 자가 또는 임차 사육장에서 오리새끼를 사육, 유통하며, 육계는 All-in All-out 하나 오리는 매주 입식, 출하한다.

육용오리를 계열화로 경영하는 경우에는 계열주체가 생산자재(사료, 오리새끼 등) 일체를 위탁하고 사육기술지도 및 유통판매까지 담당한다. 사육농가는 계열지침에 의해 사육 후 계열사에 납품하고 일정액의 사육비를 지급받는 형식을 사용한다.

육용오리의 계열화 생산 비중은 약 70% 차지하여 육계와 비슷하며, 주요 회사명은 주원산 오리, 화인코리아, 남원더커드, 모란식품, 삼호, 코리아팔도, 초가집축산, 오리스, 영흥실업, 양근샘오리등이 있다.



그림 163 계열화 생산 개요도

② 생산에서 출하까지의 기본 사육형태

국내 육용오리 공급체계를 요약하면 다음과 같다.

GGPS < Grand Grand Parents Stocks / 원원종오리 > → GPS < Grand Parents Stocks / 원종오리 > → PS < Parents Stocks / 종오리 > → CC < Commercial Chick(duck) / 실용계 (육용오리) >

'03/'04. 조류인플루엔자 발생 전에는 국내 원원종오리(GGPS : 체리베리종, 영국산) 공급을 주로 OO코리아(주)측에서 공급해왔지만, 조류인플루엔자 발생이후 다양한 이유로 인해 최근까지도 국내에 원원종오리(GGPS)가 수입되지 않았고, 다만 원종오리(GPS)만 한국오리협회(사) 주관으로 국내 종오리 농장들로부터 익년도에 농장에서 필요한 구입 예상물량(수수)을 1년전에 신청을 받아 일정 비율로 해당 종오리 농장에 공급해 왔었다('07. 오리협회 주관으로 원종오리 수입 추진 중). 따라서, F1의 경우는 원칙적으로는 GPS를 PS로 사용하는 것을 말하지만, 국내 GPS 농장으로부터 생산되는 PS가 부족하여 CC를 PS로 사용하는 것을 말하기도 한다.

종오리 산란 및 사육과정을 살펴보면, 종오리는 보통 18주령에 시산(초란 산란)을 하게 되며, 25주령에 50%의 산란율과 28주령부터서는 90%의 산란율을 나타내면서 지속적으로 상승하여 40주령까지 산란율이 peak에 도달하며, 이후부터서는 산란율이 저하되면서 80주령에 65% 정도의 산란율을 보이면서 도태하게 된다 (종오리 농장의 경영을 고려하여 국내 최대 수요자 발생시기인 여름 등을 고려하여 사육일령이 80주령에서 100주령 이상 연장(경우에 따라 환우과정을 거치는 경우도 있음). 종란 생산 중단시점에 도태되는 종오리는 육질의 상태가 매우 저하되어 있기 때문에 고기로 사용되는 경우는 드물고 소세지 등 가공육으로 판매되며, 종오리는 부화장에서부터 농장에 초생추(1~2일령)로 입식되며, 일정 공간(육추사)에서 20~21일간 성장한 후 타축사로 분동(이동)시켜 사육하며, 종오리(F1 : PS 또는 CC로부터 선발)로서 사육하고자 할 경우는 계속 사육하게 되며, 생후 18주령이후부터 종란을 생산하게 된다.

육용오리의 사육 및 출하과정을 살펴보면, 종오리와 같이 부화장에서부터 초생추가 농장으로 인식된 후 육추사에서 20~21일정도 사육하다가 분동을 하게 되며, 이후 3주가 지난 40~45일령 (평균 42일령 3.2kg)에 출하 하게 되며, 시중의 오리고기로 유통되게 된다.

오리 사육 및 출하 시 오리도 닭과 마찬가지로 성수기인 하절기 출하에 대부분 맞추어져 있기 때문에 봄철 육용오리 사육시장과 맞물려 종오리의 종란 생산이 이루어진다. 육용오리의 경우는 최소 2kg(37, 38일령)은 넘겨야 출하가 가능하며, 오리의 출하 관련한 상차반 및 출하(어리장) 차량은 오리와 닭이 구분 없이 작업이 실시된다(일부 도압장 및 계열사의 경우에 한함).

오리 유통시스템 조사결과, 성수기인 하절기 출하에 대부분 맞추어져 있기 때문에 봄철 육용오리 사육시장과 맞물려 종오리의 종란 생산이 이루어진다. 오리의 출하 관련한 상차반 및 출하(어리장) 차량은 오리와 닭의 구분 없이 작업이 실시된다(일부 도압장 및 계열사의 경우에 한함). 산란이 끝나서 도태할 폐 닭, 폐 오리 등 도태축만 전문으로 수집해가는 수집상이 별도로 있으며, 대부분 도태축의 경우는 소세지 등 가공육으로 출하된다. 수집상들은 농가에서 싼 가격에 닭과 오리를 수집하여 식당, 마트, 농가 등에 고가로 판매하는 경우도 종종 있다. 육용오리의 계열화 생산 비중은 약 70%를 차지하며 (육계와 비슷함), 종란 생산 중단시점에 도태되는 종오리는 육질의 상태가 매우 저하되어 있기 때문에 고기로 사용되는 경우는 드물고 소세지 등 가공육으로 판매된다.

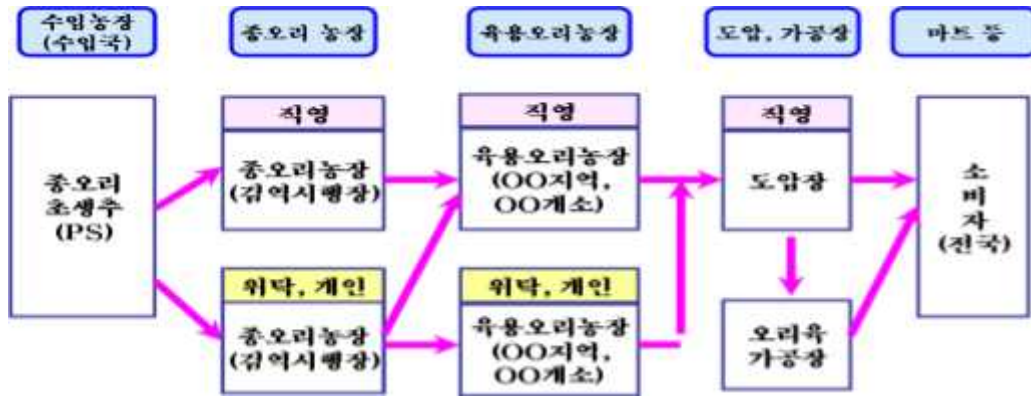


그림 164 오리 사육 및 유통 시스템

(다) 메추리 생산 및 유통체계

전국에 메추리 부화장은 약 7곳의 부화장이 있으며, 부화장은 자체 농장이 있어 메추리알을 공급 받고 있다. 종 메추리는 수입하지 않고 부화장에서 생산된 메추리를 자체 선발하여 종 메추리로 사용하며, 부화장끼리 종란이나 수컷을 바꿔 사용하여 종메추리 생산한다.

메추리 이동사항을 보면, 부화장에서 온 메추리 초생추(2일령)는 유추실에 25-28일까지 사육 후 산란장으로 이동하며, 이는 난포(알집)가 파손되는 것을 예방키 위해서이다. 31-35일에서 초란 발생하고 40-45일령때 산란율 80%, 60일령시 97-98%이다. 초란생산 후 6개월까지 산란 피크를 이룬 후에는 눈에 띄게 산란율 저하되며, 10~11개월령이면 보통 노계로 도태하게 된다. 메추리 알 성수기는 봄(3월- 학교급식, 장조림 유통이 많을 시기)과 가을(가을 소풍, 학교급식), 결혼 성수기 시기이며, 암컷 병아리 100마리에 낱품시 스트레스 등에 의한 폐사 우려로 2마리를 더 공급하는 것이 관례이다.

노메추리 처리사항은 폐계는 주로 개에게 사료로 공급, 퇴비에 버리거나 유통업자에게 판매하며, 메추리는 1시간 이상 이동하면 2/3 이상 폐사하므로 대량으로 생축으로 이동하지 않는다(병아리 초생추는 24시간 절식하여 이동하므로 이동시에 폐사율이 낮음). 경기도는 전체 메추리 농장의 50% 이상이 밀집되어 있어 자체 수요가 많지만 전북 지역은 그렇지 못하며, 노 메추리 전문 처리업자가 5-6명 정도로 추정하고 있으며, 서울 가락시장등에 전문적으로 유통한다(판매 가격 : 수당 80-100원).

대부분 메추리 부화장에서는 초생추 배달시 주로 일반 봉고차량을 이용하며 일부 부화장은 분양탑차 사용하며, 메추리 부화장에서 비용문제로 양계장에서 초생추 배달에 사용했던 병아리 박스를 수거하여 재사용한다.

4. HPAI 감염정도에 따른 가금류의 AIV 배출량과 전파속도 예측 모델 개발

가. 발생농장의 감염시기 추정 분석

가금류는 동물군당 개체수가 많아 개체별로 임상증상을 관찰하는 것이 불가능하다. 또한 불현성 감염으로 경과하면서 다른 농장으로 병원체를 확산시키는 역할을 하는 축종도 있다. 특히 타 질병에서 감염일 추정 방법에 흔히 적용하는 잠복기와 임상증상 등을 고려한 감염일 추정시는 한계가 있다. 발생농장의 역학조사 과정에서 수집한 자료를 이용한 감염단계 변화모델(SIR 모델)로 농장별 HPAI 바이러스 유입시기를 추정하고 농장 내 바이러스 확산 양상을 분석하여야 한다. 닭은 급격한 폐사율 증가, 오리는 급격한 산란율 저하 시점, 사육규모 및 축사 내 사육형태, 연령 및 항원·항체반응 양상, 위험요소 유입기간 등 다양한 조건을 보완하여 감염일 추정할 수 있다.

항원·항체 검사결과를 이용한 농장 간 전파(감염) 분석에서 감염기간이 중복되고 역학조사 내용만으로는 감염의 선후 관계를 명확히 구분할 수 없는 농장 간 상대적 감염(전파) 순서를 분석할 수 있으며, 감염군에서의 항원·항체 변화양상을 시간경과에 따라 아래와 같이 분류하여 농장별 감염 순서를 결정할 수 있다.

- 항원양성/항체음성->항원양성/항체양성->항원음성/항체양성

(①) (② - ③) (④ - ⑤)

- ① 항원양성/항체음성 : 감염후 시간경과가 가장 짧은 농장
- ② 항원양성/항체양성 (낮음) : 감염 후 면역개체가 증가하는 시기
- ③ 항원양성/항체양성 (높음) : 감염 후 면역개체가 증가하는 시기
- ④ 항원음성/항체양성 (높음) : 감염 완료 후 면역 지속기
- ⑤ 항원음성/항체양성 (낮음) : 감염 완료 후 면역 소실기

(1) 고병원성조류인플루엔자(HPAI) 전파속도(바이러스 확산기간) 비교

HPAI 최초 추정 감염일로부터 신고까지의 기간을 비교분석하기 위하여 국내 3차례 고병원성조류인플루엔자(HPAI) 발생농가에 대한 최초 감염 추정일로부터 관할 가축방역당국(시도 가축위생시험소, 시군 등)에 HPAI 의심축 신고까지의 기간을 분석한 결과, 2003/2004년도 국내 최초 HPAI 발생시에는 평균±표준편차가 11.3±11.1일이었고, 2006/2007년도 국내 두 번째 발생시에는 26.0±21.3일이었으며, 세 번째 발생시에는 8.8±5.7일로써 최초 감염추정일로부터 신고까지의 기간(일자)이 다양하게 나타났다.

국내 세 차례 HPAI 발생사례를 비교분석 결과, HPAI 발생을 두 차례 경험한 이후인 2008년도 세 번째 발생 사례에서는 최초감염추정일로부터 신고까지의 기간이 가장 짧았지만, 2003/2004,

2006/2007년 두 차례 HPAI 발생의 경우는 동절기(11월말~12월초)에 발생하여 다음해 하절기(6~7월)까지 발생된 사례이고, 세 차례 HPAI 발생인 2008년의 경우는 봄철(4월초)에 발생에서 하절기(6월)까지 발생된 사례로써 이때가 HPAI 발생기간이 가장 짧았다.

축종별 또는 품종별로 최초 추정감염일로부터 신고까지를 비교분석한 결과, 닭의 경우는 평균±표준편차가 8.9±6.8일이었고, 오리의 경우는 19.0±18.6일로써 오리가 닭보다 최초 추정감염일로부터 신고까지의 기간(일자)이 2~3배 정도 길었다(오리가 무증상감염으로 인해 신고가 지연).

국내 세 차례의 HPAI 최초 추정 감염일로부터 신고까지는 감염된 감수성 가축(닭, 오리 등)의 축종과 품종 외에도 감염된 감수성 가축의 직접 또는 간접 이동에 의한 전파와 병원체에 오염된 사람, 차량, 기구 및 물품 등의 이동에 의한 직접 또는 간접전파 요인 등에 의해 전파기간(일자)은 크게 차이를 보였다.

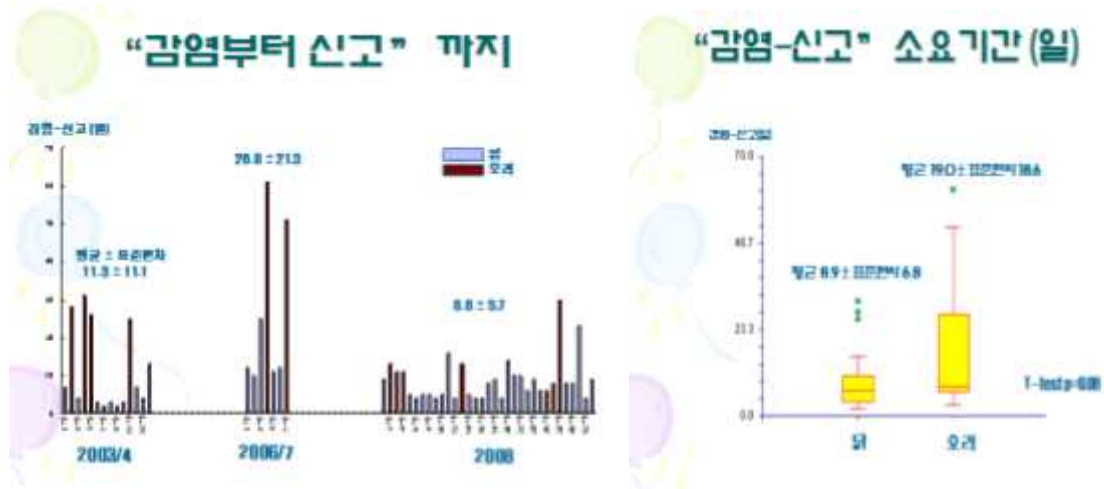


그림 165 감염부터 신고까지 기간 분석

(2) HPAI 의심축 신고일로부터 확진까지 기간 비교분석

국내 3차례 고병원성조류인플루엔자(HPAI) 발생농가에서 관할 가축방역당국(시도 가축위생시험소, 시군 등)에 HPAI 의심축 신고접수일로부터 정밀검사과정을 통해 최종적으로 HPAI을 확진하기까지의 검사기간을 분석한 결과, 2003/2004년도 국내 최초 HPAI 발생시에는 평균±표준편차가 3.4±1.8일이었고, 2006/2007년도 국내 두 번째 발생시에는 2.7±3.3일이었으며, 세 번째 발생시에는 3.5±1.8일로써 HPAI 의심축 신고일로부터 최종 확진까지의 기간(일자)이 평균적으로 1.8~3.5일로써 다양하게 나타났다.

국내 세 차례 HPAI 발생사례를 비교분석 결과, HPAI 발생농가의 신고로부터 최종 확진까지의 기간은 크게 차이는 없었지만, 2006/2007년도 HPAI 발생때가 의심축 신고로부터 최종 확진까지의 기간이 가장 짧았으며, 발생 계절과 관계없이 신고된 의심축의 축종과 품종의 차이 외에도 감염개체의 감염정도(병원성 또는 바이러스량 등), 검사물량(종란공급 등) 및 가검물 운송 거리 등에 따라 진단기간이 다소 차이가 있었다.

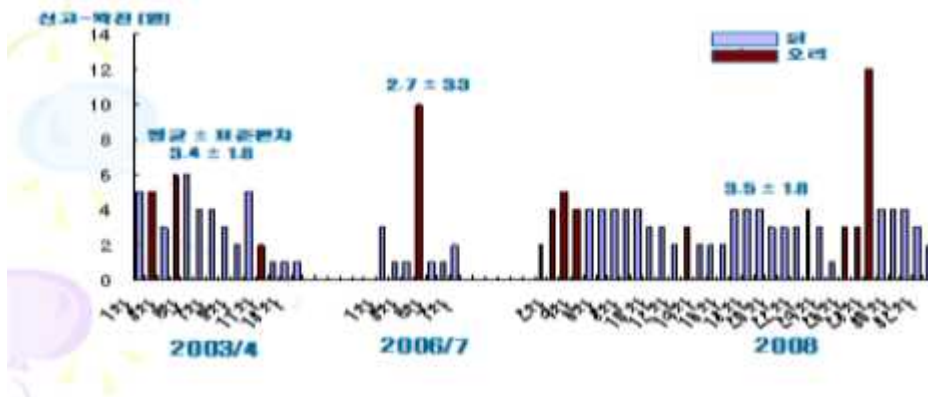


그림 166 신고부터 확진까지 소요 시간

(3) HPAI 바이러스 배출기간 비교분석 결과

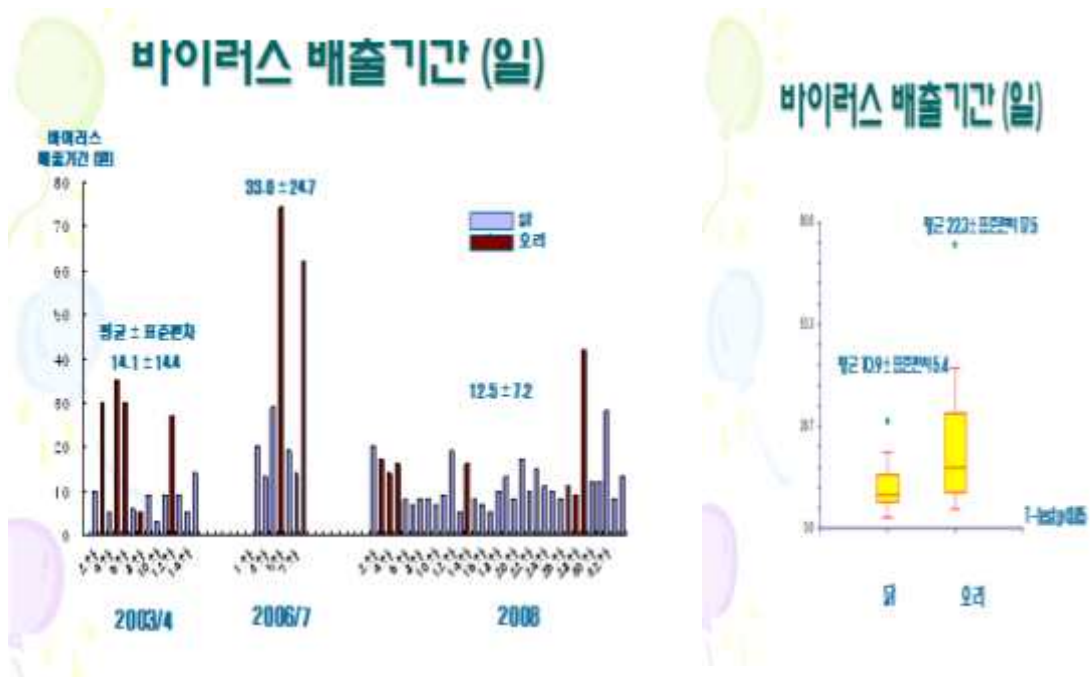


그림 167 HPAI 바이러스 배출기간 분석

연도별 국내 3차례 고병원성조류인플루엔자(HPAI) 발생농가별 HPAI 최초 임상 발현일부터 살처분(매몰 또는 소각)완료일까지 HPAI 바이러스 배출기간을 분석한 결과, 2003/2004년도 국내 최초 HPAI 발생시에는 평균±표준편차가 14.1±14.4일이었고, 2006/2007년도 발생시에는 33.0±24.7일이었으며, 2008년도 발생시에는 12.5±7.2일로써 HPAI 최초 임상발현일로부터 살처분완료일까지의 HPAI 바이러스 배출기간(일자)이 다양하게 나타났으며, 2003/2004년도 HPAI 발생시보다도 2006/2007년도가 2~2.5배 정도 바이러스 배출기간이 길었고, 2008년도는 2003/2004년도 발생시보다 바이러스 배출기간이 다소 기간이 짧았지만 크게 차이를 보이지 않

았으나 2006/2007년도 발생시와의 비교에서는 2.5~3배 정도로 크게 차이를 나타내었다.

축종별 또는 품종별로 최초 임상발현일로부터 살처분완료일까지를 비교분석한 결과, 닭의 경우는 평균±표준편차가 10.9±5.4일이었고, 오리의 경우는 22.3±17.5일로써 오리가 닭보다 최초 임상발현일로부터 살처분완료일까지의 기간(일자)이 2배 정도 길었다 (2003/2004년도와 2006/2007년도에는 대부분 오리가 무증상감염으로 폐사가 거의 없었고, 2008년도에는 오리에서 신경증상 및 폐사 등 임상증상).

국내 세 차례 HPAI 발생사례를 비교분석 결과, HPAI 발생농가의 최초 임상발현일로부터 최종 살처분완료일까지의 기간은 대부분 HPAI 최초 추정감염일로부터 의심축 신고일 또는 최종 확진일에서 살처분이 이루어져 감염개체로부터의 바이러스배출이 중단되지만, 축종과 품종에 따라 진단 소요기간이 달랐고, 특히 오리농가에 대한 진단이 지연되었다. 특히 평지 사육을 하는 육계, 육용오리, 종계, 종오리 등과 달리 케이지사육을 하는 메추리와 산란계 등은 계사의 단위 면적당 사육 개체수가 많아 바이러스 배출량이 타 축종 및 타 품종보다도 많은 것으로 추정되었고, 또한 평사와 달리 케이지사육에 따른 살처분 속도의 지연 등으로 바이러스 배출기간이 많았다. 2006/2007년도보다도 바이러스 배출기간이 2008년도가 2.5~3배 정도 짧았던 이유는 오리보다도 체내 바이러스의 잠복기간이 짧은 토종닭의 발생이 많았지만, 감염개체 또는 감염개체와 접촉된 감수성가축이나 오염된 사람 및 차량 등 인적·물적자원이 봄철 토종닭 판매망을 통해 전국적으로 HPAI 가 확산된 경우로써 바이러스 배출기간이 장기화에 따른 추가적 발생 위험도 높지만, 바이러스 배출 기간 내 감염개체와 직·간접으로 접촉되는 인적·물적자원의 이동에 의한 HPAI 전파 위험성이 크기 때문에 바이러스 배출기간 내 감염개체의 이동이나 감염개체와의 접촉에 의한 사람, 차량, 기구, 물품 등 인적·물적의 철저한 이동 통제의 중요성을 나타낸 사례라 할 수 있다.

(4) 연도별 HPAI 발생과 이동제한기간 비교분석 결과

표 60 HPAI 발생과 이동 제한 조사 결과

연도	발생건수	바이러스 배출기간(일)	신고-위험 -> 경계 지역해제(일)	신고->경계지역해제(일)
2003/4	19	126	171	141
2006/7	7	157	137	161
2008	33	56	67	89

연도별 발생건수를 비교한 결과, 2003/2004년도는 19건, 2006/2007년도는 7건, 2008년도는 33건으로써 2008년도가 가장 발생이 많았고, 최초 발생농가로부터 마지막 발생농가까지의 바이러스 배출기간을 연도별 분석한 결과, 2003/2004년도는 126일, 2006/2007년도는 157일, 2008년도는 56일로써 2008년도가 바이러스 배출기간이 가장 짧았다.

연도별 위험지역 해제이후 경계지역의 이동해제기간을 비교한 결과, HPAI 의심축 최초 발생 신고일로부터 발생농장 기점 반경 3km 이내인 위험지역의 이동제한 시기부터 단계별로 최종적으로 위험지역 외곽부터 반경 10km이내인 경계지역의 이동해제까지는 2003/2004년도는 171일, 2006/2007년도는 137일, 2008년도는 67일로써 2008년도가 이동통제기간이 가장 짧았다.

연도별 경계지역의 이동해제기간을 비교한 결과, HPAI 의심축 최초 발생 신고일로부터 최종 경계지역 이동해제까지는 2003/2004년도는 141일, 2006/2007년도는 161일, 2008년도는 89일로써 2008년도가 이동통제기간이 가장 짧았으나, HPAI 국내 최초 발생시기인 2003/2004년도의 경우는 위험지역 해제이후에 단계별로 경계지역을 해제한 것이 아니라, 먼저 경계지역을 먼저 해제하고 단계별로 위험지역을 나중에 이동해제를 하는 2006/2007년도와 2008년도와는 정반대 형태의 이동제한 후 해제하는 방역조치로 인해 2003/2004년도는 위험지역에 대한 이동해제 기간이 더 많이 소요되었다.

나. 품종별 방역조치 소요기간 비교분석

(1) 2003/2004년도 품종별 방역조치 소요기간 비교분석

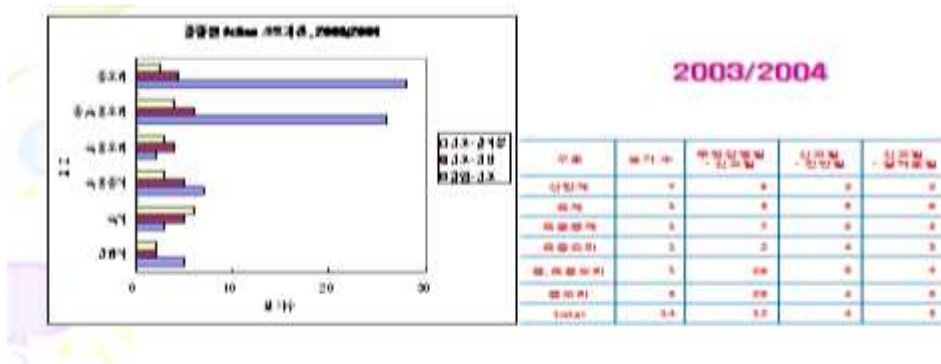


그림 168 품종별 방역조치 소요기간 조사 결과

2003/2004년도 축종별 및 품종별 추정 감염일로부터 방역당국에 신고하기까지 소요된 기간은 무증상감염으로 인해 오리가 닭보다 신고가 지연되었고, 품종별로는 오리에서는 종오리가 육용 오리보다 신고가 지연되었고, 닭에서는 육용종계가 산란계보다 신고가 지연되었으나 육계가 신고가 가장 빨랐다. 2003/2004년도 축종별 및 품종별 신고일로부터 최종 진단하기까지 소요된 기간은 종·육용오리농가가 종오리농가보다 진단이 2일간 지연되었으나 HPAI 국내 최초 발생 당시에는 채취된 가검물 운송과 진단과정 등에서 진단일이 다소 차이가 있었지만 산란계는 2일, 육계는 5일, 육용종계는 5일, 육용오리 4일, 종·육용오리 6일, 종오리 4일 등으로 축종별 및 품종별로 신고로부터 진단까지의 소요기간에 대한 유의성은 없었다.

2003/2004년도 축종별 및 품종별 추정 감염일로부터 감염개체가 살처분되기까지의 소요된 기간은 무증상감염으로 인해 오리가 닭보다 신고 지연 등으로 살처분도 지연되었고, 축종별로는

평균적으로 오리가 닭보다 살처분이 지연되었고, 오리에서는 종오리와 종·육용오리농가가 각각 30일로써 육용오리는 5일로 6배 정도 감소되었고, 닭에서는 육용종계 10일과 육계 9일로써 비슷하였지만 축사단위면적당 다수가 사육되는 산란계농가가 의외로 농가별 살처분기간이 짧았지만, 대부분 산란계농가의 경우는 집단화로 인해 양계단지 내 발생시에는 농가단위의 살처분 기간에는 별다른 차이가 없지만 발생지역의 위험지역과 경계지역내의 양계단지 살처분기간은 소요기간이 가장 지연되었다. 2003/2004년도 축종별 및 품종별 살처분일로부터 위험지역의 해제일까지 소요된 기간은 종·육용오리와 육용오리농가보다 종오리농가가 2배 정도가 많은 42일이었으며, 예상과 달리 육계농가가 위험지역과 경계지역의 이동 해제가 가장 늦었으며, 이것은 발생 지자체별로 소독 등 사후방역관리 등에 따라 분변내에 HPAI 항원의 존재여부에 따라 축종별 및 품종별로 살처분일부터 위험지역과 경계지역의 이동해제일의 소요기간에 대한 유의성은 없었다.

(2) 2006/2007년도 품종별 방역조치 소요기간 비교분석

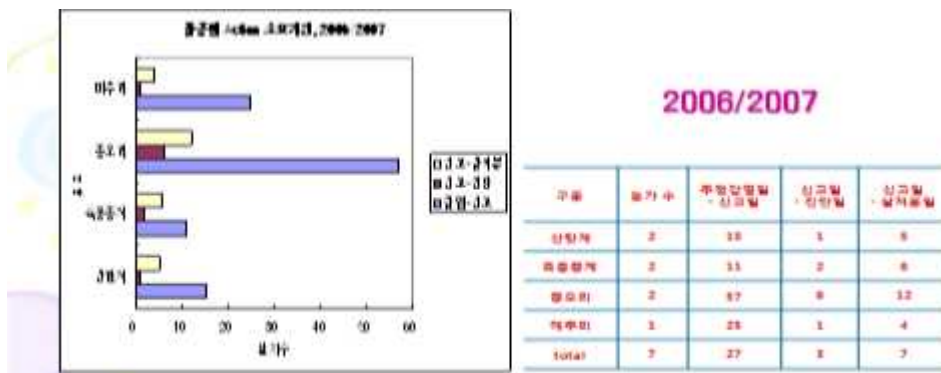


그림 169 품종별 방역조치 소요기간 조사 결과

2006/2007년도 축종별 및 품종별 추정 감염일로부터 방역당국에 신고하기까지 소요된 기간은 무증상감염으로 인해 오리가 메추리 및 닭보다 신고가 지연되었고, 축종별로는 종오리 57일, 메추리 25일, 산란계 15일, 육용종계 11일 등의 순으로 기간이 소요되었고, 특히 닭에서는 케이지사육인 산란계보다 평지사육을 하는 육용종계가 신고가 빨랐으며, 케이지사육을 하는 산란계와 메추리를 비교할 때 메추리가 산란계보다 신고가 2배나 지연되었다. 2006/2007년도 축종별 및 품종별 신고일로부터 최종 진단하기까지 소요된 기간은 종오리는 6일로써 타 축종 또는 품종보다는 지연되었지만 메추리와 닭 등은 1~2일로써 국내 최초 발생 당시보다 진단 기간이 1~5일 정도로 빨랐으며, 축종별 및 품종별로 신고일로부터 살처분기간은 2003/2004년도와 비교할 때 유사한 소요기간을 보였다.

2006/2007년도 축종별 및 품종별 추정 감염일로부터 감염개체가 살처분되기까지의 소요된 기간은 무증상감염으로 인해 오리가 메추리와 닭보다 신고 지연 등으로 살처분도 지연되었고, 축

중별로는 평균적으로 오리가 메추리와 닭보다 살처분이 지연되었고, 오리에서는 종오리는 73일 로써 메추리(29일)보다 2~2.5배 정도 지연되었고, 닭에서는 육용종계 17일과 산란계 16일 로써 비슷하였지만 종오리와 비교할 때 3~3.5배 정도 기간이 살처분기간이 짧았다. 2006/2007년도 축종별 및 품종별 살처분일로부터 위험지역의 해제일까지 소요된 기간은 육용종계가 종오리· 메추리·산란계보다 1.5배 정도 지연되었으며, 예상과 달리 종오리 및 메추리농가보다 육용종 계농가가 위험지역과 경계지역의 이동해제가 가장 늦었으며, 이것은 먼저 발생한 농가의 이동 해제전에 추가적으로 인근지역인 위험지역과 경계지역내에 발생에 따라 이동해제일의 연장되 면서 타 발생지역과 이동해제일의 비교분석의 유의성은 없었다.

(3) 2008년도 품종별 방역조치 소요기간 비교분석

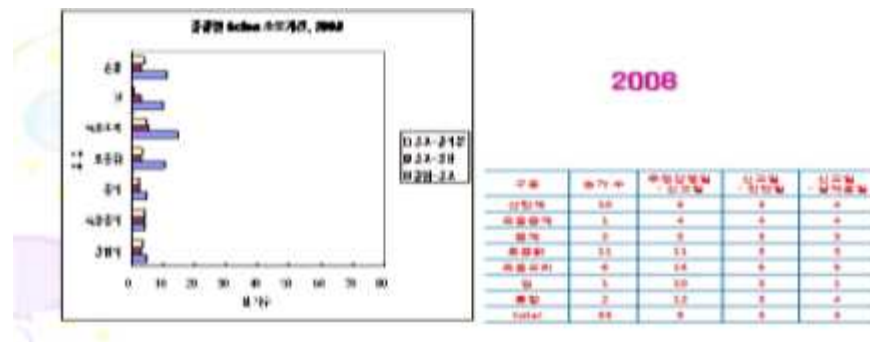


그림 170 품종별 방역조치 소요기간 정리 결과

2008년도 축종별 및 품종별 추정 감염일로부터 방역당국에 신고하기까지 소요된 기간은 무 증상감염으로 인해 오리가 꿩 및 닭보다 신고가 지연되었고, 축종별로는 육용오리 15일, 토종 닭 11일, 꿩 10일, 산란계 5일, 육용종계 4일 등의 순으로 기간이 소요되었고, 특히 닭에서는 토종닭은 산란계와 종계와 달리 신고가 2배나 지연되었으며, 봄철 토종닭 판매경로를 통해 전 국적인 확산 요인이 되었다.

2008년도 축종별 및 품종별 신고일로부터 최종 진단하기까지 소요된 기간은 종오리는 5일 로써 타 축종 또는 품종보다는 지연되었지만 토종닭, 꿩, 종계 등은 3~4일 로써 종오리보다 1~2일 정도 진단이 빨랐지만, 국내 최초 발생 당시(2003/2004년)보다 진단 기간이 1~2일 정도로 빨랐지만, 2006/2007년도보다는 1~2정도 진단기간이 지연되었다. 2008년도 축종별 및 품종별 추정 감염일 로부터 감염개체가 살처분되기까지의 소요된 기간은 무증상감염으로 인해 오리가 꿩과 닭보다 신고 지연 등으로 살처분도 지연되었고, 축종별 및 품종별로는 평균적으로 육용오리와 토종닭은 각각 13일간 지연되었고, 그 외 꿩 10일, 육용종계 8일, 산란계 9일로 살처분이 지연되었고, 대 부분 2003/2004년도와 2006/2007년도보다는 2배 정도 살처분기간이 대체적으로 짧아졌다. 2008 년도 축종별 및 품종별 살처분일로부터 위험지역의 해제일까지 소요된 기간은 육용종계가 육 용오리·토종닭·꿩·산란계보다 1.5배 정도 단축되었으며, 이것은 발생 지자체별로 소독 등

사후방역관리 등과 먼저 발생된 농가의 인근 농가에서의 추가 발생에 따른 이동해제일의 연장되면서 타 발생지역과 이동해제일의 비교분석의 대체적으로 유의성이 없었다.

다. 연도별 방역조치 소요기간 종합분석 결과

표 61 HPAI 추정감염일부터 살처분까지 비교 분석

구분	농가 수	추정감염일-신고일	신고일-진단일	신고일-살처분일
2003/4	14	12	4	3
2006/7	7	27	3	7
2008	33	9	3	3

연도별 HPAI 발생현황은 2006/2007년도가 7건으로 가장 적게 발생하였고 2008년도가 33건으로써 가장 많이 발생하였으며, 추정 감염일로부터 신고일까지 소요기간은 세 차례 발생중에서 2008년도가 9일으로써 가장 짧았고, 2006/2007년도와 비교 시는 3배정도 신고일이 단축되었다. 연도별 HPAI 신고일로부터 최종 확진까지의 진단 소요기간이 4일이었던 2003/2004년도 첫 발생시보다 2006/2007년도와 2008년도가 1일이 단축된 3일이내에 진단되었고, 신고일로부터 살처분까지는 2003/2004년도 와 2008년도는 각각 3일인 반면에 2006/2007년도는 7일이 소요되었다.

표 62 HPAI 살처분부터 이동제한 해제까지 비교 분석

구분	농가 수	추정감염일-살처분일	살처분일- 위험지역해제일	살처분일- 경계지역해제일
2003/4	14	15	43	42
2006/7	7	34	48	48
2008	33	11	8	48

연도별 HPAI 추정 감염일로부터 살처분까지는 소요기간은 세 차례 발생 중에서 2008년도가 11일으로써 가장 짧았고, 2006/2007년도와 비교 시는 3배정도 신고일이 단축되었으며, 연도별 살처분일로부터 위험지역 해제일까지의 소요기간이 43~48일간이었고, 살처분일로부터 경계지역해제일은 42~48일으로써 연도별 소요기간의 별다른 차이가 없었다.

5. HPAI 발생지역의 소규모 가금류 중간상인의 유통실태조사

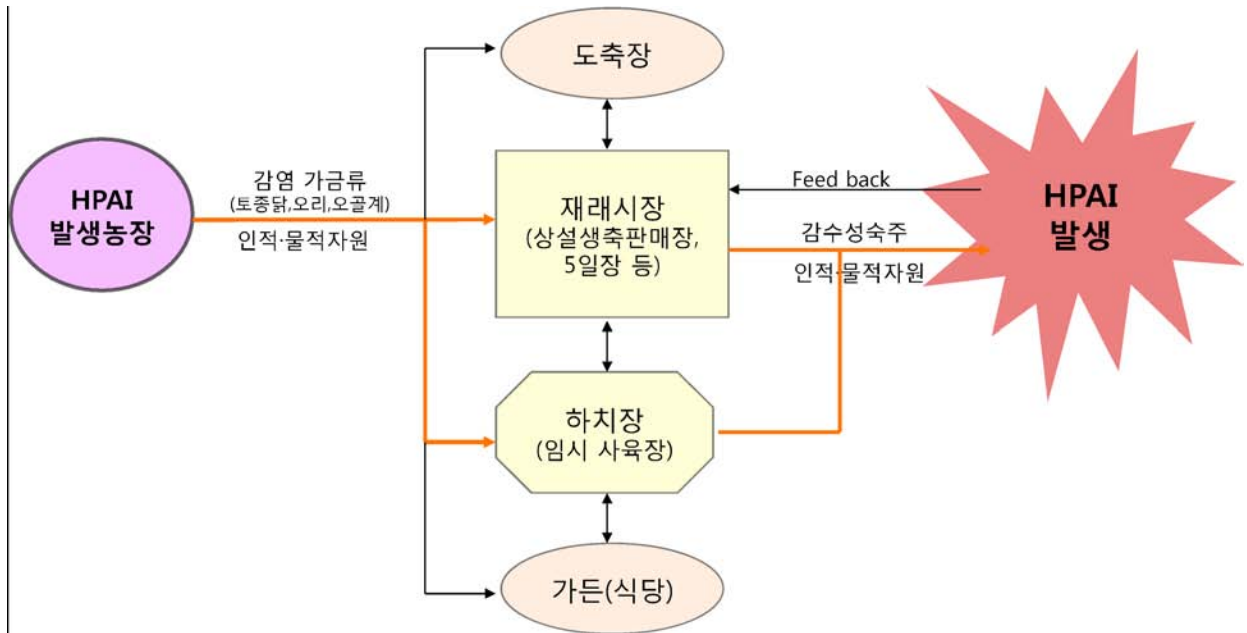


그림 171 직접전파 (주 전파경로) 모식도

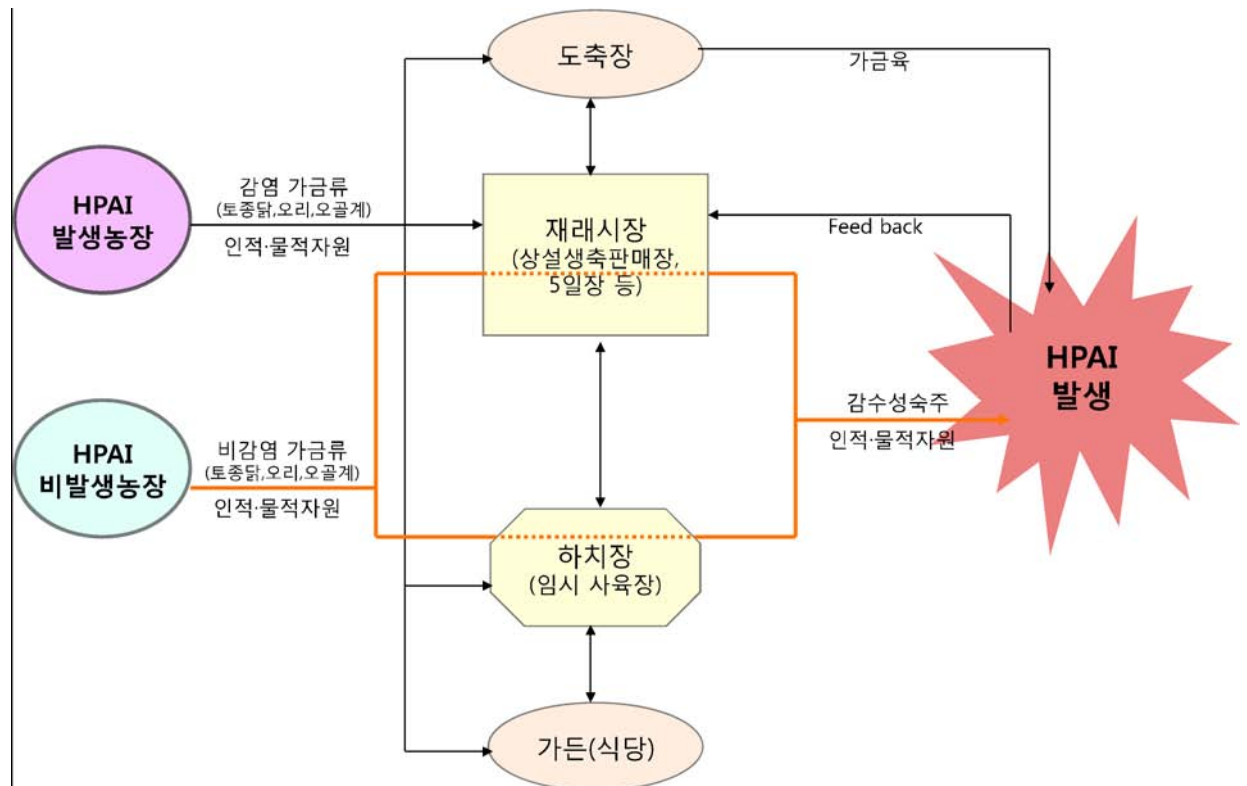


그림 172 간접전파 (기계적 전파) 모식도

가. 호남지역 토종닭 유통시스템 조사

(1) 광주, 전남지역 토종닭 유통 조사

광주·전남지역 토종닭 유통상인은 상인연합회 소속 30여명 외에도 상인연합회에 속하지 않은 상인 10여명이 추가로 더 있으며, 광주·전남 상인연합회 회원들은 토종닭만 유통시키지만, 일부 회원 중에는 오리도 유통시키는 상인이 1~2명 정도 있다. 광주·전남 상인들은 주로 전남지역에서 토종닭을 구입하나 일부는 충청도와 전북 익산, 남원, 정읍 등 지역에서 매입하며, 몇 년에 한번 씩 전남지역에 토종닭이 부족할 때에는 경북 김천 등 지역의 농장에 가서도 신고 오며, 광주지역의 상설 산닭 판매처는 양동시장, 말바우시장, 송정시장, 비아시장 등에 있으며, 광산구에 산닭집이 20~30곳 정도가 되며, 나주지역은 5일 시장 또는 상설 시장내 2~3곳에서 주로 산닭을 판매한다. HPAI 발생 전 정읍지역(OO마을) 토종닭 농장들과 가격문제로 분쟁이 있어 정읍쪽 농장을 잘 가지 않았고, OO마을(토종닭 유통업체명)에서 전남 상인들과 분쟁과정에서 차량 4대를 이용해서 광주·전남지역의 재래시장에 저가로 직접 공급하고 있다. 광주·전남상인연합회 소속의 중간상인들은 충남, 전북, 전남 등 농가에서 토종닭을 매입하고, 주로 취급(유통)하는 품종은 한협 2·5호(대전종계장), 한협 3호, Harco(대구 성진 종계장) 등 종계(토종닭)를 취급하며, 흔히 토종닭(갈색 닭)이라 불리는 품종은 10개 정도지만, 중간상인들은 이중 위의 3개 정도 품종을 취급하고 있다.

보통 70~75일령, 체중 2.5kg 정도의 토종닭을 취급하지만, 물량이 부족할 경우에는 체중이 덜 나가는 60일령 정도라도 취급하게 된다고 하며, 중간상인들은 보통 1톤 트럭(적재 가능 수량 : 42칸 × 20수 = 840수)에 닭장(1칸에 20마리 정도, 닭장 : 높이 7단 × 길이 3단 × 너비 2단 = 42칸)을 신고 다니며 매입하며, 중간상인들이 축사에 들어가서 매입할 닭을 선택하면 상차반들이 차있는 곳까지 운반하고, 농장주가 닭 어리장 차량에 넣으면서 수를 센다고 하며, 매입한 닭 값은 다음날 정도에서 은행이체 등을 통해 현금으로 지불한다. 매입한 닭은 토종닭을 요리해서 판매하는 가든식당이나 재래시장의 소규모 중간상인(일반 소비자에게 판매하는 상인)들에게 도매로 판매한다. 매입한 닭을 전량 판매하는데 걸리는 시간은 성수기인 여름에는 2~3일 정도, 비수기인 겨울에는 일주일 정도가 소요되며, 중간상인들은 보통 개별 하치장(계사)을 갖고 있어서 매입해 온 닭을 하치장에 내려놨다가 필요할 때마다 신고 나가 판매한다.

(2) 전남지역 토종닭 유통 조사

제주도에서 상인들이 육지로 차를 가지고 나와서 정읍·익산 등 지역에서 구입한 후 배를 이용하여 신고 들어간다(배를 이용). 제주도과 거래하는 전남지역의 중간상인들은 추석이후의 비수기에는 보름에 한번 약 700~800수 신고 가며, 여름 성수기에는 일주일에 한번 정도 700~800수 신고 가며, HPAI 발생 이후는 육지에서 제주도로 가금류를 신고 들어갈 수 없었지

만, 공식적인 발생이전에는 왕래를 하였다. 참고로 무안, 목포권에서 사육된 토종닭은 주로 신안군 등 섬 지역으로 들어간다.

(3) '08 HPAI 발생 전후 전북지역의 특이사항

토종닭 전문 유통업체(도축장 및 가공장 소유)인 (주)OO의 부도를 통해 전체 150억원의 피해 중 농가에서 40억원의 피해가 추정된다. 전북지역의 육계 농가는 H 계열 등 계열회사의 농가들이 90%이상이지만, 계열 농가는 회사측의 공급단가 등에 일방적으로 끌려 다니게 되는 단점이 있고, 또한 자금력이 약한 농가들은 초기 시설투자비용이 상대적으로 적고 질병에 강한 토종닭을 사육하게 되어 그 비중이 높아지게 됐지만, 자금력과 유통망 등이 미약하던 중에 (주)OO의 부도로 힘이 약한 농가들이 도미노 현상으로 무너지면서 공생의 필요성을 느끼고 유통공사를 설립하게 된다. 대부분 토종닭의 판매 유통이 5톤 트럭을 이용하여 도계 후 포장 판매되는 물량과 1톤 트럭을 이용하는 상인들을 통해 산닭 시장 및 가든식당 등에 판매되는 물량으로 나누어지는데 유통공사 측의 유통방식은 도계 판매의 형태이다. 특히 유통공사 측의 농가에서는 HPAI 등 전염병 확산 위험성이 큰 1톤 차량을 통한 상인들의 판매는 적고, 또한 이러한 유통방식은 반대하며 토종닭 전 물량을 5톤 트럭을 이용한 도계판매를 할 수 있도록 정부의 지원 희망하고 있다.

소규모 중간상인들도 마찬가지로 과거로부터 전래되어 온 전통적인 도축방식을 제도권내에서 수용하여 합법적인 경제활동을 바라고 있었으며, 보통 토종닭은 입추에서 출하까지는 100일 소요되며, 30-40일령은 1톤 트럭으로 전남지역에서 주로 많이 가져가고, 70-90일령 생닭은 전남·북 소규모 중개인이 운반하고, 나머지 상태가 좋지 않은 개체(골절 등)등은 도계육으로 판매된다. 경기 천안, 논산, 경기 평택 지역사람은 전북 익산 함열까지 와서 토종닭을 구매하며, 주로 경기(평택)상인이 익산 함열 소재 OO농장과 충청도 개인농장 등에서 산닭과 병아리를 구입해 간다. 토종닭 유통은 전국적으로 이루어지고 있고, 3년전까지는 전북에서 용차를 이용하여 경남·북으로 토종닭을 많이 판매하였으나, 최근 3년 이후부터는 경남·북 지역의 토종닭 수요가 급증하면서 경남·북도 지역의 토종닭 중개인이 조금씩 나타나면서 전북 김제, 익산, 정읍지역의 토종닭을 구입하려고 오고 있고, 금번 HPAI 발생으로 인해 토종닭 유통 업무가 마비되면서 생활고로 인해 생존권 차원에서 발생지역의 상인들이 이동제한이 없는 이동한 바가 있다. 전북지역 중개상인들은 전북(익산, 함열, 정읍, 김제), 충남(공주)에 토종닭을 구입하기 위해 주기적인 방문을 하고 있다.

표 63 전북, 충남 HPAI 발생지역 주요 유통업자 조사 결과

유통업자	소재지 (거주지)	위탁 농장수	위탁 (직영)수	위탁농장 위치	주 거래 소규모 중간상인	산닭(도계) 비중	출하도계장	비고
이OO	익산	50개소	50만수 이상	익산, 정읍, 김제, 논산, 전남 등	전북 10명, 전남 15명	50% (50%)	아O(김제) 신O(익산)	동물약품운영
십OO (김OO)	익산	11개소	35만수	익산 등	전북 4명, 전남 8명	90% (10%)	아O(김제)	종계장운영
소 O	익산	10개소	40-50만수	익산 등	J축산 (JM축산, 황O유통)	30% (70%)	아O(김제) 신O(익산)	금O축산 (남매 및 매제로 구성)
정OO	익산	10개소	47만수	익산 등	JM축산, 황O유통	30% (70%)	아O(김제) 신O(익산) 공O(공주)	토O나라 (부친형제와 자녀로 구성)
박OO 정OOO 신OO	익산 정읍	?	30만수	정읍, 익산 등	전남 · 북 중간상인(전남지역직접 유통)	?	?	목O마을 (노계, 왕추판매)
신OO	부여	10개소	35만수	전주(1), 임실(1), 청양(1), 부여(2), 논산(2) 등	JM축산 전남상인	50% (50%)	하O(익산) 아O(김제) 예O(예산)	부여 양O축산
신OO	아산	?	?	?	?	?	?	예O유통 (*울산 HPAI 관련)

(4) 전북지역 토종닭 유통 조사

전북지역의 토종닭 도계는 도계육 유통회사의 임도계를 주로 하며, 아O도계장(김제 소재), 신O도계장(익산 소재), 공O도계장(공주)에서 이루어진다. 전북 지역 대표적 토종닭 도계육 유통회사인 주명유통 등은 도계와 도계육 판매를 전문으로 관리하는 업체이다. (주)JM유통, (주)백O유통, 황O, (주)미O(부도), (주)송O푸드(부도), 이가축산등이다.

표 64 전북 토종닭 도계육 유통업자 조사 결과

유통업자명	소재지 (거주지)	위탁 농장수 (개소)	위탁(직영)수 수	위탁농장 위치	주 거래 소규모 중간상인	도계 (산닭) 판매 비중	도계장	비고
주OO	김제	30-40	70-130만수	익산(5), 김제(10), 정읍, 진안, 임실, 부여(3), 서천(3), 부안, 전남 강진 등	직영 · 용차 (5톤) 또는 1톤 소규모 중개인 이용 (산닭판매)	100% (?)	아O	JM축산
정OO	김제	20	70만수	김제(8), 익산(8) 논산(1), 부여(1)		100% (?)	아O	백O축산 성O유통 (도계육 마트)
정OO	익산	6	17만수	논산(1), 익산(1) 정읍(1), 고창(3)		90% (10%)	신O	황O유통

(5) 호남지역 기타 유통업체

(주)OO산물유통공사(본사 : 경기 안산 소재)는 '07년 대표적 도계육 판매유통 회사인 (주)OO의 부도로 인한 농가 피해가 발생하자 일부 대규모 토종닭 사육농가에서 위기를 극복하려고 '07년 자생적으로 만들게 된 회사이며, 경기도 안산에서 처음 생겼으며 국내 토종닭 최대 생산지인 익산 지역에 호남지역 지사가 발족되었고, 호남 지사의 농가는 위탁형태가 아니며, 유통공사에서 사료공급(OOO피드)과 토종닭(한협3호) 입추를 도와주며 판매경로는 상인을 통한 판매를 배제하고 (주)JM유통, HS유통이 담당하였다. J축산은 익산 · 정읍 소재의 토종닭 큰 유통업자인 6명 등으로부터 농장을 소개받아 중간 판매 상인들에게 연결하고 있다.

나. 영남지역 토종닭 유통시스템 조사

경남 · 북, 부산, 울산 등 지역에 주로 활동하는 토종닭 대형 유통업자는 거의 없고, 소규모 중간상인 수준에서 몇몇 위탁농장을 두고 채래시장 또는 5일장 등을 이용하여 판매하는 경우가 대부분이면서 간혹 타 지역까지 판매 유통을 하는 경우도 있다.

표 65 HPAI 발생지역 관련 토종닭 소규모 중개인

중개인	중개인 소재지	위탁농가 보유여부	하치장 보유여부	판매지역	거래 중개인	구입처	취급 품종
조OO	울산	양산지역 보유	500수 규모	울산, 경남	이OO, 임OO 채래시장 중간상인	충남, 전북, 경기 등	토종닭, 오골계
이OO	울산	양산지역 보유	1,000수 규모	울산, 부산, 경남	조OO, 차OO, 이OO 채래시장 중간상인	경기, 충남, 경남	토종닭, 오골계, 오리, 개 등
이OO	울산	양산, 울산지역	2,000수 규모	울산, 부산, 경남	양OO, 이OO, 최OO 채래시장 중간상인	경남, 충남 울산	토종닭, 오골계, 오리
차OO	경기	경기			이OO		토종닭
김OO	부산	양산지역 보유	200수 규모	울산, 부산, 경북, 경남	임OO 채래시장 중간상인	경남, 울산	토종닭, 오골계, 오리
임OO	부산	양산, 울산 지역	500수 규모	울산, 부산, 경남	조OO, 채래시장 중간상인	경남, 울산	토종닭, 오골계, 오리
정OO	부산	부산, 경남	200수 규모	부산, 경남	채래시장 중간상인	경남, 울산	오리
홍OO	김해	부산, 경남	2,000수 규모	부산, 경남	채래시장 중간상인	경남, 울산	오리, 토종닭
이OO	영천	영천, 경산	500수 규모	대구, 경북	채래시장 중간상인	경남, 울산	토종닭, 오골계, 오리
이OO	경산	영천, 경산	400수 규모	대구, 경북	이OO 채래시장 중간상인	경남, 울산	토종닭, 오골계, 오리

다. 중부권(수도권)지역 토종닭 유통시스템 조사

수도권지역의 경우는 도계육 위주로 공급되기 때문에 서울지역과 경기지역이 인접된 성남 모란시장의 경우는 하치장과 농장을 소유하면서 상설 산닭 판매장 등을 운영하는 5-6명의 중간상인들이 있고, 나머지 상설 판매장의 중간상인은 전적으로 경기 남부권, 충청권 및 전북권 으로부터 토종닭을 공급 받는다. 성남 모란시장은 과거로부터 내려온 전통적인 수도권에서 가장 크고 유명한 채래시장이며 상설 생축판매장이 있는 곳으로써 전국에서 가금류, 포유류, 파충류, 양서류 등 동물원을 방불하게 할 정도의 다양한 축종과 품종의 생축과 도축육이 판매 되는 곳이다. 판매되는 가금류 등이 잠시 동안 계류되어 잠복 감염개체 또는 발병축이 있더라도 현장 도축이 가능하기 때문에 살처분 효과를 가져와 모란시장 내에서 가금류 개체별 질병 감염여부를 확인하기가 쉽지 않지만 잠복 감염축 또는 정상 가축이 이곳의 오염원과 접촉될 경

우에는 타 지역 또는 비 발생농장으로 전파되는 허브 공항의 역할을 한다. 성남 모란시장은 다양한 축종과 품종의 전시장이기 때문에 질병의 특성에 따라 감수성 숙주가 다르고 병원성에 차이가 있어, 청소 및 소독 시 동일 가게 내 판매되는 특정 축종에 한정된 소독 등 방역활동은 실효성이 적다. 소규모 중간상인 또는 재래시장 내 상설 생축 판매장 주인들의 경우는 방역개념이 적어 특정 병원체들이 순환감염 또는 교차감염되면서 소규모 중간상인의 이동 과정에서 감수성 숙주와 인적·물적자원 왕래로 인한 질병 전파매개체 역할을 하는 곳이다. '08. HPAI 발생 당시의 전북지역으로부터 성남 모란시장으로 유입된 위험요인이 순환감염된 상태에서 소규모 중간상인들과 생축 구매자들에 의해 경기 안성, 서울, 춘천 등 지역으로 직·간접적인 전파가 이루어진 곳이다.

6. HPAI 발생농장 및 발생지역과 철새도래지에 대한 역학조사 및 위험평가

가. HPAI 발생 위험요소 조사 : Retrospective study

(1) 2003/2004년도 HPAI 발생농장 전파요인

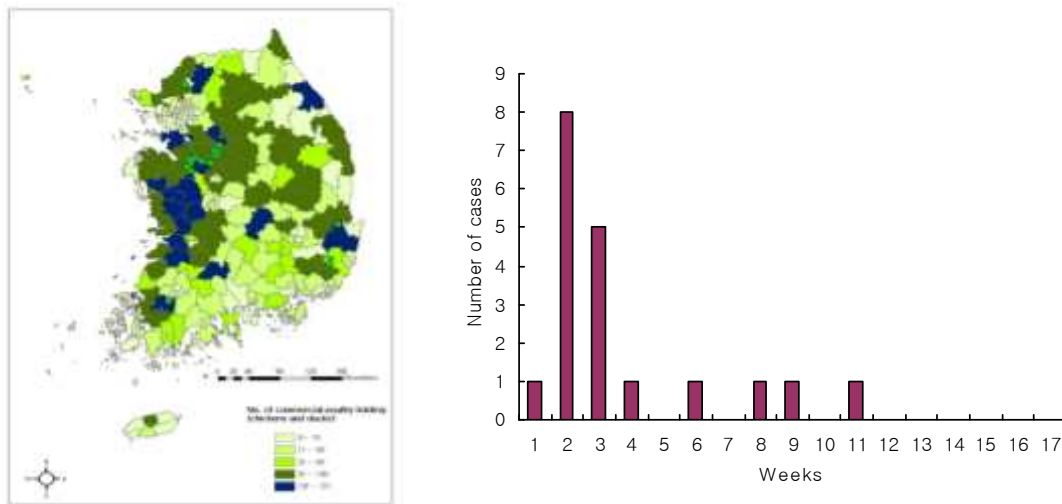


그림 173 '03/04년도 국내 HPAI 발생지도 (좌)와 epidemic curve (우)

'03.12.10. ~ '04.03.20일 간 19호(닭 10, 오리 9)에서 발생하였으며, 충남 천안 소재 오리농장이 국내 원발 농장으로 추정된다. 농장 간 전파는 원발농장을 기준으로 19개 농장 분석한 결과 오염차량 및 오염기구에 의한 전파 비율이 가장 높은 것으로 평가(표 26)된다.

표 66 국내 '03/04년도 HPAI 감염경로 추정

감염요인	발생분포	
	농장수	%
가축이동	1	5
오염사람	1	5
오염차량, 오염기구	11	59
인근진과	5	26
야생조류	1	5
합계	19	100

(2) 2006/2007년도 HPAI 발생농장 전파요인

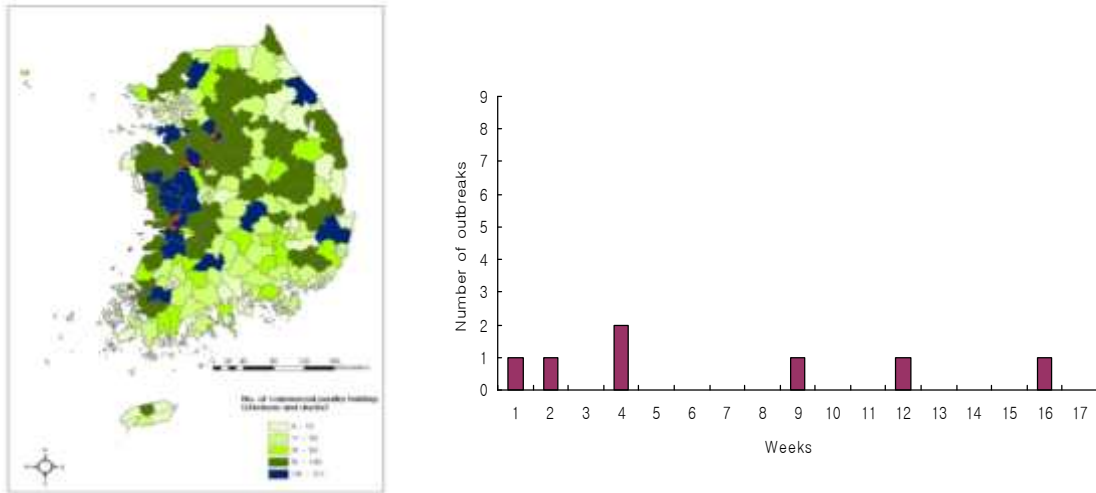


그림 174 '06/07년도 국내 HPAI 발생지도 (a)와 epidemic curve (b)

'06/07년도 국내 HPAI 발생상황으로, '06/'07. HPAI H5N1 바이러스의 국내 유입은 감염된 철새에 의한 가능성이 가장 높다. '08. HPAI 발생 당시 농장간 전파의 직접적 연결요소 확인이 어려우며, Risk estimation matrix를 이용하는 유입요인 확인기법을 개발(그림 18, 표 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33)하여 발생농장별 농장 및 계사에 대한 위험요소를 평가한 결과 농장유입의 주요 경로로 사람 및 차량(체중팀, 이웃, 축주, 집란, 사료배달 등)으로 확인하고자 하였다.



그림 175 HPAI 발생 유입 위험평가기법 개발(1) - 농장/계사 내 출입/유입 요소를 확인

표 67 발생농장 유입 위험평가기법 개발(2) 출입/유입 요소별 위험요소형태 분류

위험요소	분류기준
0형 위험요소	오염원인으로 추정되는 것과 접촉한 적이 없는 사람이나 물건
1형 위험요소	HPAI에 감염된 국가로부터 온 계육제품, 감염된 농장의 500m반경 내의 지역, 야생조류, 조류 분뇨
2형 위험요소	다음과 접촉한 사실이 있는 사람이나 물건: 양계농장, 양계와 관련이 있는 물건(사료, 깔짚, 분뇨), HPAI에 감염된 국가로의 방문

표 68 발생농장 유입 위험평가기법 개발(3) 위험요소별 취해진 방역조치에 따른 감염확률결정

분류기준		오염추정정도
위험요소	위생/방역조치적용	
1형 위험요소	하지 않음	매우높음
1형 위험요소	대부분 실시	높음
2형 위험요소	하지 않음	
1형 위험요소	항상 실시함	중간
2형 위험요소	대부분 실시	
오염가능성이 높은 것으로 분류되는 위험요소는 실험결과 같은 다른 분류기준에 근거해 더 낮게 책정될 수 있다.		
2형 위험요소	항상 실시	낮음
0형 위험요소	하지 않음	
오염가능성이 중간정도로 분류되는 위험요소는 실험결과 같은 다른 분류기준에 근거해 더 낮게 책정될 수 있다.		
0형 위험요소	대부분 실시	매우낮음
0형 위험요소	항상 실시함	무시할만함

표 69 발생농장 유입 위험평가기법 개발(4)축종별 감염가능시기를 농장별 확인

기 간	분류 기준
감염 예상(likely) 기간	닭, 메추리 : 감염 예상 날짜 2일 전후 오리 : 감염 예상 날짜 5일 전후
감염 가능(possible) 기간	닭, 메추리 : 감염 예상 날짜 3일 전후 오리 : 감염 예상 날짜 5일 전후

표 70 발생농장 유입위험평가기법 개발(5) -감염가능기간의 출입/유입횟수에 따른 노출위험 결정

분류 기준	노출 기회
감염 추정기간 2회 이상 출입	매우 높음
감염 추정기간 출입	높음
감염 가능기간 출입	중간정도
감염 추정 및 가능기간 출입이 없으나 동일 월에 출입	낮음
감염 추정 및 가능기간 출입이 없으나 1개월전에 출입	매우 낮음
감염 추정 및 가능기간 출입이 없고 1개월이후에 출입	무시할만함

표 71 발생농장 유입 위험평가기법 개발(6) - 농장단위로 HPAI를 유입시키는 고위험요소확인

오염기회	매우높음	높음	중간	낮음	매우낮음	무시할만함
매우높음	야생조류	체중측정 분뇨	유지보수	백신팀		
높음		지대사료 난좌	깔짚배송 별크사료			
중간	주인		질병통제팀 수의사 별크사료배송 계란수송	회사직원		
낮음		지대사료배송 깔짚	축사건축		철새 유입 (10월)	
매우낮음						철새 유입 (4월)
무시할만함						음수

표 72 발생농장 유입위험평가기법 개발(7)-계사단위로 HPAI 유입시키는 고 위험요소 확인

오염기회	매우높음	높음	중간	낮음	매우낮음	무시할만함
매우높음		체중측정 깔짚	유지보수팀	백신팀		분뇨 야생조류
높음	주인	지대사료 난좌	별크사료			깔짚배송
중간	주인		질병통제팀 수의사 계란수송	회사직원		
낮음		지대사료배송	별크사료배송	깔짚	철새유입 (10월)	축사건축
매우낮음						철새유입 (4월)
무시할만함	음수					

표 73 국내 '06/07년도 HPAI 감염 추정 경로

발생농장	축종	농장으로의 유입	계사로의 유입
농장1	육용종계	야생조류, 체중측정팀, 분뇨, 지대사료배송, 난좌	주인, 체중측정팀, 깔짚, 지대사료배송, 난좌
농장2	육용종계	야생조류, 이웃농가, 벌크사료, 깔짚	주인, 고용인, 깔짚
농장3	메추리	야생조류, 주인, 고용인, 지대사료배송	주인, 고용인, 지대사료배송
농장4	육용오리	야생조류, 주인, 고용인, 이웃농가	야생조류, 주인, 고용인
농장5	산란계	야생조류, 계란수집, 주인, 사료배송, 동물약품, 이웃농가	주인, 고용인, 동물약품
농장6	산란계	계란수집, 사료배송, 동물약품	주인, 고용인
농장7	육용오리	고용인, 계란수집	고용인, 계란수집

(3) 2008년도 HPAI 발생농장 전파요인

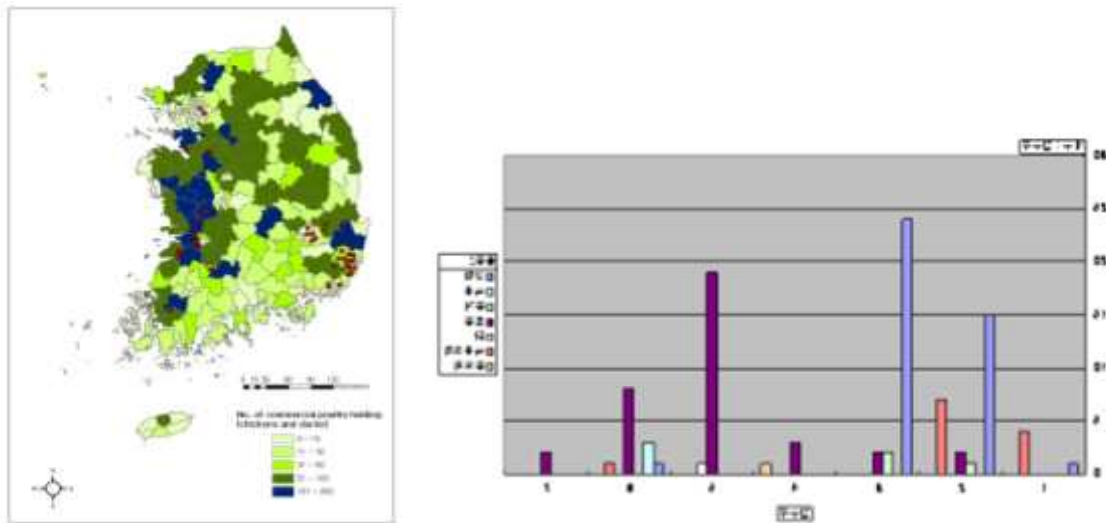


그림 176 '08년도 국내 HPAI 발생지도 (a)와 발생도표 (b)

'08년도 국내 HPAI 발생상황(그림 18)을 나타낸 것으로 육용오리→산란계→토종닭 농장 순서로 전파하는 양상 확인되었다. 지역적으로는 전라도→경상도 지역으로 전파하는 양상 확인되었으며, 전라도 지역은 3km 살처분 이후 감소되었고, 경상도 지역은 재래시장에 대한 방역조치 이후 감소되었다.

표 74 '08년도 국내 HPAI 발생 축종별 감염추정경로

요인W축종	산란계	육용계	종계	토종닭	일반계	육용오리	종오리	합계
컨설턴트	2					1		3
사료배송	3	1	2	3		4	1	14
재래시장		2		5	1			8
발생농장 방문	10							10
지역적	22		1	4		6		33
분뇨수집	2							2
감염된 조류				24				24
폐사체 처리	1							1
약품배송	1							1
야생조류						2		2
합계	41	3	3	36	1	13	1	98

표 75 '08년도 국내 HPAI 발생 지역별 감염추정경로

요인지역	서울	경기	강원	충남	전라	경상	합계
컨설턴트					3		3
사료배송		1		1	9	3	14
시장	2	1				5	8
발생농장방문					10		10
지역적					31	2	33
분뇨수집					2		2
감염된조류			2		2	20	24
폐사체처리		1					1
약품배달						1	1
야생조류					2		2
합 계	2	3	2	1	59	31	98

산란계 농장의 주요 감염경로는 인근전파와 감염농장의 방문으로 확인되었고, 토종닭 농장의 주요 감염경로는 감염축의 구입으로 확인되었다. 전라도 지역 농장의 주요 전파경로는 인근전파, 감염농장 방문, 사료배달 관련으로 확인 ⇒ 3km 지역 살처분 방역정책이 효과적이었다. 경상도 지역 농장의 주요 전파경로는 감염축의 구입 및 재래시장에서의 교차 감염으로 확인 ⇒ 재래시장의 관리로 방역 효과적이었다. 위험요소 중 타 축종으로의 전파와 관련성이 있는 것으로는 중개상인, 재래시장, 인근전파, 출하차량이 있다.

나. HPAI 발생 위험요소 조사 : 농장 수준의 환례-대조군 연구(Case-control study)

환례(case) : 2008년 전북 김제지역에서 HPAI 발생 및 예방 살처분과정에서 양성이 확인된 산란계 농장(35개소)

대조군(control) : 2008년 전북 김제지역 HPAI 비 발생 산란계 농장 중 사육규모, 지역 등이 유사한 농장(35개소)

설문서는 7개 대 분류 항목과 소 분류 항목 121개 폐쇄형 문항에 대하여 중앙역학조사반의 현장 대면 질의를 통해 설문조사를 실시하였다. 설문조사 항목은 축산관련기관 및 단체로부터 설문내용을 검토하게 한 후 일선 농가들이 직접 작성을 하도록 하여 나타난 문제점 등 보완하여 전문지와 전문잡기 내용등과 비교를 하였다.

표 76 설문조사에 사용된 변수 목록

대 분류	소 분류 : variable	문항수
A. 일반현황	주소, 사육경력 등	8
B. 사육현황	1. 사육현황 : 사육형태, 수수, 계사수, 품종, 계군, 기타 가축 등	10
	2. 사육시설 : 계사형태, 환기, 급수 등	6
	3. 사료급여 및 관리 : 사료급여량, 회사, 사료통 위치 등	5
	4. 계분처리 : 처리방법, 보관장서, 제거방법	3
	5. 산란 : 산란율	1
	6. 환우 : 환우, 환우관련 산란율	3
C. 입지환경	환경, 1km 이내 가금농장, 타축종농장, 축산시설, 인근도로, 야생조류 서식지	6
D. 질병관리	1. 발생질병 : 과거발생질병, 주원인(추측)	2
	2. 폐사율 : 폐사시기, 주원인(추측)	3
	3. 예방접종 : 프로그램 수행, 대상질병, 수행자	3
	4. 동물약품	1
	5. 컨설팅	1
E. 농장방역	1. 출입 : 외부경계, 주차장, 출입문, 표지, 초소, 소독시설, 소독조, 신발 등	4
	2. 소독 : 농장, 계사, 소독방법, 음수소독	5
	3. 폐사체처리 : 처리방법	1
	4. 야생동물차단 : 농장출현여부, 접촉여부, 사료와 접촉여부	4
F. 새, 알의 이동	1. 입식 : 입식경로, 부화장	2
	2. 출하 판매 : 도계장 출하	3
	3. 계란 판매 : 판매경로, 주기, 난좌사용, 재활용 등	5
G. 출입자의 관리	1. 축주 및 가족 : 상주, 타농장 운영, 출입시 조치사항 등	4
	2. 고용인력 : 인력수, 외국인, 관리자, 경력 출입시 조치사항 등	6
	3. 외부 백신팀 : 출입시 조치사항	4
	4. 가축사료 : 벌크, 지대, 출입시 조치사항	5
	5. 동물약품 : 출입시 조치사항	3
	6. 입식관련 : 차량소유, 출입시 조치사항	3
	7. 출하관련 : 차량소유, 출입시 조치사항	3
	8. 계란 : 상차반 작업자, 출입시 조치사항	3
	9. 수의사 : 출입시 조치사항, 출입횟수	3
	10. 분노처리 : 출입시 조치사항, 외부 차량 소독 여부	4
	11. 왕겨 : 사용여부, 공급처, 공급횟수, 출입시 조치	6
	12. 기타 : 기타 출입자, 주요 현안문제 등	1
		121

(1) 통계 분석

다변량 모델에 포함될 변수는 다음과 같이 선정하였다. 다변량 로짓 모델을 통한 변수들 간의 조합된 효과 분석을 수행하였다.

- Fisher's exact test를 통한 변수 사이의 관련성 검토
- 단변량 로짓 모델을 이용하여 단변량 교차위험도 추정
 - 종속변수 : HPAI 발생 여부
 - 독립변수 : 총 121개 설문문항
 - 총 121개의 질문 중 33개의 변수(variable)를 다 변량 분석 대상으로 선정

(2) 요인 별 분석 결과

사육현황 관련 12개의 Variable 중 4개가 Multivariate analysis 대상 조건을 만족하였다. 이는 과거 HPAI 발생 시/군, 분뇨처리업체 이용, 백신외부용역 이용, 1km 이내 가금사육농장 사육 등이다.

표 77 국내 산란계 농장에서 HPAI 유입시키는 위험요소를 평가한 단일변수 분석결과 (농장 유지 변수)

변수 명	농가수		Fisher's exact	교차위험도	(95% 신뢰구간)
	발생농가	대조군			
과거 HPAI 발생이 있었던 시/군					
있음	34	6	-	164.3	(18.7-1,445.4)
없음	1	29	<0.01	1	-
자가 소유					
여	34	33	-	2.1	(0.2-23.8)
부	1	2	1.00	1	-
사육규모					
≤30,000수	28	19	-	3.4	(1.2-9.7)
>30,000수	7	16	0.02	1	-
계사 수					
≥10동	3	1	-	3.2	(0.3-32.2)

≤9동	32	34	0.47	1	
농장 내 다른 동물					
있음	18	22	-	0.6	(0.3-1.6)
없음	17	13	0.33	1	-
계사형태					
개방형	28	21	-	2.7	(0.9-7.8)
타형태	7	14	0.07	1	-
계사바닥					
흙바닥	0	2	-	0.2	(0.0-3.8)
타형태	35	31	0.23	1	-
환기현채					
개방환기만 실시	14	16	-	0.8	(0.3-2.0)
다른 형태 환기와 혼합	21	19	0.63	1	-
음수					
지하수만 공급	34	29	-	7.0	(0.8-61.9)
다른 형태 음수 공급	1	6	0.11	1	-
분뇨처리					
전문회사	23	14	-	2.9	(1.1-7.6)
다른 형태	12	21	0.03	1	-
백신접종팀					
고용	30	18	-	5.7	(1.8-18.0)
고용하지 않음	5	17	<0.01	1	-
1km이내 다른 가금농장존재					
있음	34	17	-	36.0	(4.4-292.9)

없음	1	18	<0.01	1	-
----	---	----	-------	---	---

닭·계란 관련 7개의 variable 중 계란판매상인으로만 유통, 파란의 전문상인 판매 2개가 multivariate analysis 대상 조건을 만족하였다.

표 78 국내 산란계 농장에 HPAI 유입시키는 위험요소를 평가한 단일변수 분석결과(계란관련변수)

변수 명	농가 수		Fisher's exact	교차위험도	(95% 신뢰구간)
	발생농가	대조군			
판매 방식					
전문상인을 통합	16	17	-	0.9	(0.4-2.3)
다른 경로	19	18	0.81	1	-
입식 및 출하(올인올아웃)					
미실시	7	12	-	0.5	(0.2-1.4)
실시	28	23	0.18	1	-
노계처리					
가금 중개인 통합	34	31	-	4.4	(0.5-41.4)
다른 경로	1	4	0.36	1	-
분뇨 속 폐사체					
발견	8	3	-	3.2	(0.8-13.1)
미발견	27	32	0.19	1	-
강제환우급여					
실시	32	28	-	2.7	(0.6-11.3)
미실시	3	7	0.17	1	-
계란 판매					
중개인만을 통합	28	20	-	3.0	(1.0-8.7)
다른 경로	7	15	0.04	1	-

파란 판매					
중개인을 포함	26	18	-	2.7	(1.0-7.5)
다른 경로	9	17	0.05	1	-

축주·고용인 및 방역관련 13개 Variable중 축주의 타 농장 운영, 농장 외부에 주차장 미확보, 차량소독시설 미설치, 농장전용 신발 미확보 등 5개가 Multivariate analysis 대상이다.

표 79 국내 산란계 농장에 HPAI 유입시키는 위험요소를 평가한 단일변수

변수명	농가수		Fisher's exact	교차위험도	(95% 신뢰구간)
	발생농가	대조군			
다른 가금농장에서도 작업					
여	10	2	-	6.6	(1.3-32.8)
부	25	33	0.01	1	-
고용인					
없음	20	12	-	2.6	(1.0-6.7)
있음	15	23	0.05	1	-
외국인 노동자					
있음	3	11	-	0.2	(0.1-0.8)
없음	32	24	0.02	1	-
농장 주변 경계					
없음	24	16	-	2.6	(1.0-6.9)
있음	11	19	0.05	1	-
농장 외부 주차장					
없음	30	16	-	7.1	(2.2-22.7)
있음	5	19	<0.01	1	-
농장문					
없음	26	21	-	1.9	(0.7-5.3)
있음	9	14	0.20	1	-
경고표시					
없음	16	12	-	1.6	(0.6-4.2)

있음	19	23	0.33	1	-
농장초소					
없음	34	31	-	4.4	(0.5-41.4)
있음	1	4	0.36	1	-
차량소독시설					
없음	22	11	-	3.7	(1.4-9.9)
있음	13	24	<0.01	1	-
신발소독조					
없음	10	8		1.4	(0.5-4.0)
있음	25	27	0.58	1	-
농장용 신발					
없음	17	30	-	0.2	(0.1-0.5)
있음	18	5	<0.01	1	-
계사마다 별도 신발소독조					
없음	5	4	-	1.3	(0.3-5.3)
있음	30	31	0.72	1	-
계사마다 별도 신발					
없음	27	30	-	0.6	(0.2-1.9)
있음	8	5	<0.36	1	-

분석결과(고용인/위생 관련 변수)

(3) HPAI 발생 위험평가

전국 행정구역(시/국)별 국내 HPAI 발생위험평가(그림 15)를 실시하여 과거 HPAI 발생건수와 가금 사육밀도를 기준으로 위험수준에 따라 0-8로 평가하였다.

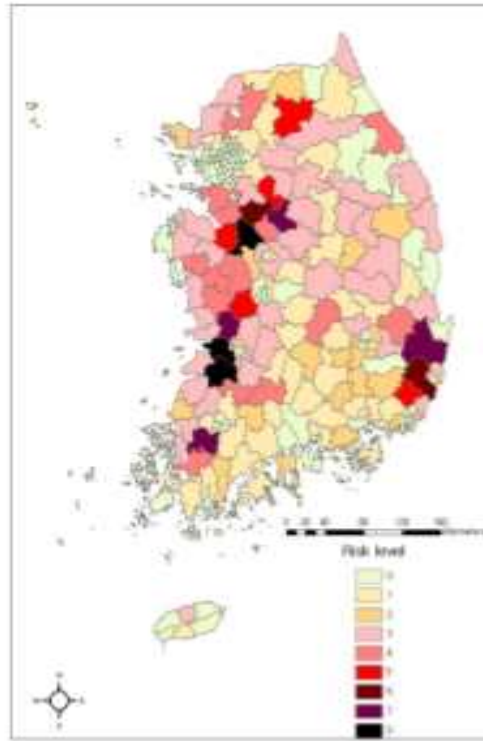


그림 177 산 밀도를 이용한 스코어링 시스템에 기반한 HPAI 발생 위험 지역 표시 지도

표 80 통합 스코어링 기준 시/군단위로 0부터 8까지 표시함

Combined Score	Risk level
0	Negligible
1	Extremely low
2	Very low
3	Low
4	Moderate
5	Medium
6	High
7	Very high
8	Extremely high

표 81 과거 HPAI 발생 농장 수에 따른 단계별 스코어링 기준(b)

Score	No. of farms	Score	No. of HPAI outbreaks
0	<=10	0	0
1	<=30	1	1
2	<=50	2	2
3	<=100	3	3

GIS를 이용한 국내 우선 예찰지역 선정을 위하여 전국을 10km 격자로 구분하고 각 격자를 HPAI 위험수준에 따라 0-4로 평가하였다. 127개의 주요 철새 서식지와 고위험 격자(3, 4등급)와 일치하는 11개 지역을 우선 예찰지역으로 선정(그림 16)하였다. 11개 우선지역은 아산호, 탐정(논산) 저수지, 만경강, 동진강, 형산강(형산교-제1강동교), 안계저수지, 용연저수지, 오류대(회동) 저수지, 회야호, 형산강(나정교-강동교)로 선정되었다.

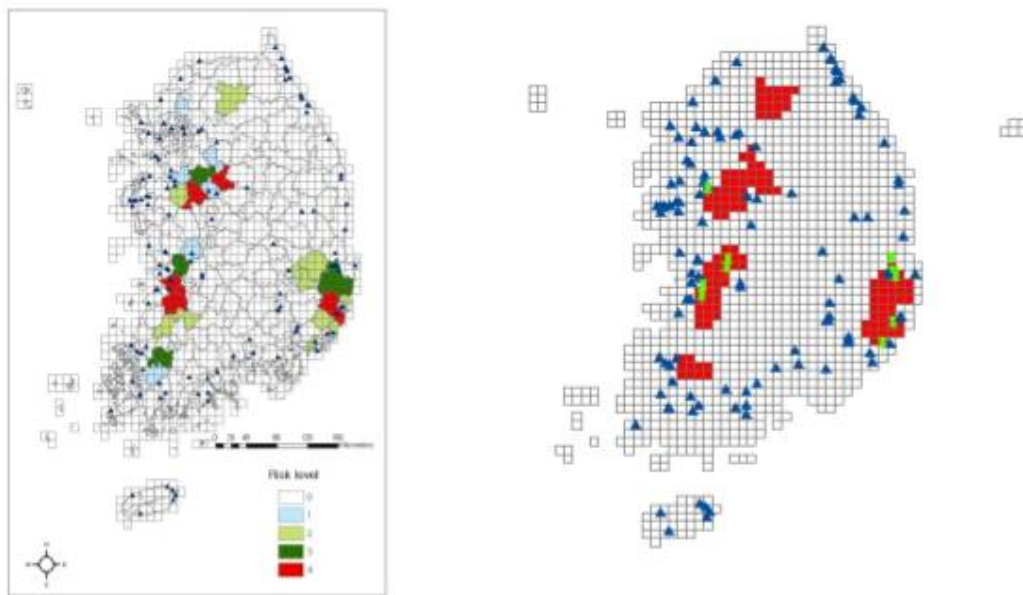


그림 178 HPAI 위험수준을 표시한 등치지역도 (a) 파란색 삼각형은 127개의 주요 철새도래지(b)

위험도가 높은 것부터 무시할만한 수준까지 0에서 4로 스코어링하여 10km 스퀘어 단위로 HPAI 위험수준을 표시한 등치지역도 (a) 파란색 삼각형은 127개의 주요 철새도래지(b)이며, HPAI 야생조류 예찰을 위한 우선지역을 표시하였다.(3에서 4정도의 고위험을 표시한 붉은 스퀘어와 주요 철새도래지가 겹쳐지는 곳은 초록색깔로 표시하였으며 이들은 총 11개 지역으로 우선 예찰해야할 지역으로 확인되었음)

(4) 농장설문조사를 통한 HPAI 발생 위험평가

총 349개 가금농장(산란계 111호, 종계 39호, 토종닭 79호, 종오리 29호, 육용오리 91호)에 대한 설문조사 실시하였다.

계사별 All in all out을 실시하는 비율은 산란계, 종계 농장이 높은 것으로 조사되었으며 토종닭과 육용오리에서는 실시하지 않는 비율이 더 높았으며, 입식, 출하가 수시로 이루어 질 경우 Bio-security 유지가 더 어려우며 병원체의 유입기회가 증가하며, 계사 입식관련 질병유입 위험은 토종닭과 오리농장이 산란계, 종계농장에 비해 높다.

기타 가축사육은 산란계, 종계농장에서 사육하지 않는 경향이 많은 반면 토종닭과 육용오리 농장에서는 개를 사육하는 경우가 가장 많았으며, 산란계, 종계장의 Bio-security가 상대적으로 높은 것으로 평가되었다.

분뇨 제거는 종계농장은 용역업체를 통하는 경우가 많았고 산란계의 53%, 토종닭과 육용오리의 대부분이 자가소비 또는 판매방식을 택하고 있는 것으로 나타났으며, 질병의 전파위험이 높은 분뇨 및 관련 차량에 의한 농장 간 전파 위험 확인되었다.

백신프로그램에 따른 예방접종은 산란계와 종계농장에서 많이 이루어지고 있음을 확인되어, 토종닭과 육용오리에서는 백신 프로그램의 수행도가 낮은 것으로 나타났으며 임상증상이 있을 때만 접종하거나 아예 백신을 접종하지 않는 경우가 많은 것으로 나타났다.

1km 이내 가금 사육농장의 존재는 산란계의 경우 존재하는 경우가 많았으나(65%) 토종닭, 육용오리, 종계에서는 없는 경우가 더 많았으며, 인근 전파에 의한 위험은 산란계에서 많이 존재하는 것으로 추정되었다.

표 82 가금 종별 HPAI 감염 위험 추정요소를 평가하기 위한 설문조사결과(농장 유지 관련 변수, 백분율, %)

항목	답변	산란계	중계	토종닭	육용오리
계사별 all-in, all-out 실시	Yes	75	85	36	36
	No	18	15	56	50
	기타(무답 등)	9	-	8	14
기타가축사육	Yes	65	44	37	44
	No	32	51	62	51
	무응답	4	5	1	5
계분판매/제거	자체판매/제거	53	23	74	73
	용역업체	28	51	13	12
	비료공장	14	21	3	8
	혼합	1	5	1	2
	기타	5	-	8	4
	무응답	-	-	1	1
백신 접종 방식	프로그램에 따라 운용	94	97	49	34
	임상증상 있을 때만 접종	4	3	22	18
	접종하지 않음	-	-	29	44
	혼합	1	-	-	1
	무응답	1	-	-	3
1km 이내 가금사육농장	Yes	65	44	37	44
	No	32	51	62	51
	무응답	4	5	1	5

닭, 계란과 관련하여 입식경로는 산란계와 육용오리의 경우 대부분 계열회사 부화장을 통하는 경우가 많았고 토종닭은 계약농장 및 부화장을 통하는 경우가 많았다. 산란계에서 노계의 출하는 중개상인에 의해 높은 비율로 이루어지는 것을 확인되었으며, 폐사체의 주요 처리방법은 매몰 또는 소각이었으며, 가축에 급여되는 비율도 낮지 않은 것을 확인되어, 농장 내 매몰/소각인 경우에는 농장 외부로의 전파 위험은 낮은 것으로 평가되지만 폐사체의 적절한 처리방법에 대한 검토 필요할 것으로 판단된다.

산란계에서 환우를 수행하는 농장의 비율이 아직 높은 것으로 확인되었으나 높은 등급의 계란을 목표로 사육, 또는 산란계 수수의 확보가 어렵지 않은 농장에서는 실시하지 않았다. 연란/파란의 처리는 산란계의 경우 전문상인에 의한 처리가 높은 것으로 확인되었으며 중계는 자가판매, 종오리에서는 폐기하는 비율이 높은 것으로 조사되어, 전문상인에 의한 유통조사 필요할 것으로 판단된다.

표 83 가금 종별 HPAI 감염 위험 추정 요소를 평가하기 위한 설문조사결과 (동물 이동 및 계란관련 변수, 백분율, %)

항목	답변	산란계	종계	토종닭	육용오리	종오리
입식경로	계열사	54	-	9	31	-
	계약농장	31	-	38	23	-
	중개상인	-	-	32	21	-
	자가부화	10	-	-	-	-
	혼합	-	-	-	5	-
	기타	5	-	20	19	-
	무응답	-	-	1	1	-
폐사체 처리 방법*	매몰/소각	58	56	72	73	-
	가축급여	5	13	9	3	-
	판매	2	-	8	-	-
	계분(퇴비)	22	8	-	13	-
	렌더링	-	3	-	-	-
	혼합	1	5	5	7	-
	기타	7	13	6	2	-
	무응답	5	2	-	2	-
환우 실시	Yes	75	18	-	-	-
	No	20	72	-	-	-
	무응답	5	10	-	-	-
연란/파란 처리	폐기	20	26	-	-	81
	전문상인	60	18	-	-	4
	직접판매	8	33	-	-	4
	기타	3	8	-	-	7
	혼합	8	10	-	-	4
	무응답	1	5	-	-	-

(5) 축주/고용인 방역사항

축주의 타 농장 운영여부는 전체적으로 낮은 것으로 조사되었다. 외국인 고용인력 비율은 종계가 산란계, 토종닭, 육용오리보다 매우 높은 것으로 조사되어, 종계 농장에서의 외국인 고용인 관리가 중요하며, 관리형태의 조사 필요하다. 농장 외부에 주차장 확보는 종계가 가장 높은 것으로 조사되며, Bio-security 측면에서는 종계장이 일반적으로 높은 수준을 유지하는 것으로 보이며 산란계, 토종닭, 육용오리 농장은 차량에 의한 유입 위험이 상대적으로 높았다. 농장과 외부의 경계 설치는 육용오리 농장이 가장 높은 것으로 조사되었다. 농장 입구에 차량소독기는 종계에서는 대부분 설치한 것으로 조사되었으며, 농장 입구 출입제한 표지 설치는 산란계와 종계에서는 대부분 설치되어 있었으나 토종닭, 육용오리는 설치되지 않는 경우가 더 많았다. 농장입구에 발판 소독조는 토종닭을 제외한 대부분 농장에서 전반적으로 높은 비율로 설치되었다.

표 84 가금 종별 HPAI 감염 위험 추정 요소를 평가하기 위한 설문조사결과 (노동자/위생 관련 변수, 백분율 %)

항목	답변	산란계	종계	토종닭	육용오리
축주 타 농장 운영	Yes	10	26	3	11
	No	82	64	96	85
	무응답	8	10	1	4
외국인 고용인력	Yes	26	49	1	9
	No	72	51	92	80
	무응답	2		7	11
농장 외부에 주차장 설치*	Yes	36	56	31	31
	No	64	44	69	69
농장과 외부의 경계 설치	Yes	46	33	50	60
	No	54	67	50	40
농장입구 출입 차량 소독기	Yes	66	95	23	30
	No	34	5	77	70
농장입구 출입제한 표지 설치여부	Yes	67	82	37	46
	No	33	18	63	54
농장입구 발판소독조	Yes	86	79	35	58
	No	14	21	65	42

7. HPAI 국내 유입 위험요인 조사 및 분석

FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) 보고서(Epidemiology of H5N1 AI in Asia and Implication for Regional Control) 에 따르면, 2003년 한국발생 당시 원 발농장은 야생조류에 의한 발생특징을 갖고 있으며, H5N1 발생국의 위험요소를 평가 결과 한국에서는 철새에 의한 위험 요소가 가장 높았다. 철새가 직접적으로 농장 전파에는 관여하지 않더라도 기타 텃새 등의 비자연적 숙주(면역이 없는)를 감염시킴. 이렇게 감염된 새들은 바이러스도 더 많이 배출하고 사육조류와의 접촉 기회도 더 많기 때문에 H5N1 발생의 원인이 될 수 있다.

표 85 H5N1 발생관련 요인에 대한 위험도 평가

위험요소	한국	일본	홍콩	말레이	중국	인니	태국	캄보디아	라오스	베트남
합법 조류이동	1	1	3	1	1	1	2	2	2	2
불법 조류이동	1	1	1	3	4	4	4	5	5	5
제어되지 않는 국내 조류이동	1	1	1	3	4	4	4	5	5	5
생축시장	1	0	3	3	5	5	5	5	5	5
사람과 오염물의 이동	1	1	2	3	4	5	4	5	5	4
야생 텃새	3	3	2	2	5	5	4	5	5	4
철 새	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
투 계	0	0	0	2	1	3	5	3	3	5
축주 신고 미흡	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4
축주 질병인지 미흡	1	1	1	2	4	4	4	5	5	4
보상 미흡	0	0	0	?	5	5	5	5	5	5
민속행사와 소비의 급격한 증가	0	0	2	?	4	2	2	2	2	3
사체 처리	1	1	1	1	2	2	2	4	4	4
환축이나 사축의 판매/소비	0	0	1	1	2	2	2	4	4	4
농가의 혼합 사육	2	2	0	3	5	5	5	5	5	5
관상 조류의 이동 국내로/국내	1	2	1	1	4	2	2	1	1	3
국내 풍토병	1	1	0	2	5	4	5	5	5	5
전 체 점 수	20	20	24	34	65	63	66	70	70	72
위험 등급	저	저	저	저	중고	중고	고	고	고	고
2003.12. ~ 2005.2.11. 사이 H5N1 발생	19	5	0	10	50	169	1064	13	45	1764

* 위험요소 점수 : 0 = 위험없음, 1 = 극저위험, 2 = 저위험, 3 = 중간위험, 4 = 고위험, 5 = 극고위험

'08년 HPAI 발생은 철새에 의한 국내 유입 가능성이 높으며, 그 이유 중 하나로는 원발 농장의 가능성이 높은 것으로 추측되는 농장이 주요 철새도래지와 야생조류 서식지로부터 근접해 있다는 것임. 원발농장 가능성이 높은 것으로 조사된 농장은 김제의 처음 보고된 산란계 농장(IP1), 김제에 위치한 오리 사육농장(PP1), 정읍의 오리농장(IP2)이 있었다. IP1은 '07. 12. 27 일 우리나라의 철새도래지인 만경강 상류(전주)에서 도착한 흰뺨검둥오리에서 H5항체가 검출

된 지점으로부터 약 8Km 거리에 농장 위치하며 농가 주위가 논·밭으로 쇠오리 흰뺨검둥오리 등이 다수 출현 한 것이 확인되었다.

표 86 가금사육농장의 주요 위험요소에 대한 AI 바이러스 오염도 조사('10.11월말 현재)

구분		계 획	추진실적		결 과	비 고 (양성내역)	
			금월	누계			
오리 검사	중오리농장	항원	83농가 457계사 3,656건(73,120점)	26농가 129계사 389건(7,770점)	322농가 1,883계사 4,190건(83,720점)	양성(4농가) 음성(308농가) 검사중(10농가)	H6(1), H7(3)
		항체	83농가 457계사 36,560건	26농가 121계사 3,150건	320농가 1,802계사 42,752건	음성	
	육용 오리농장	항원	986농가 2,988계사 23,904건(478,080점)	320농가 494계사 2,817건 (56,009점)	2,741농가 7,889계사 20,987건 (417,639점)	양성(47농가) 음성(2,653농가) 검사중(41농가)	H3(5), H6(32), H7(3), H8(1), H9(2), H12(1), H3&H6(3)
	친환경농 법이용오리	항원	27개소 54건(1,080점)	17개소 36건(320점)	25개소 52건(1,040점)	음성	
		항체	27개소 540건	17개소 360건	25개소 520건	음성	
철새 검사	야생 조류 분변(항원)	철새 도래지	41개 지역 20,910점 (※ 4,182건)	91개소 2,740점 (※ 656건)	679개소 17,155점 (※ 3,593건)	양성(29건) 음성(4,067건) 검사중(251건)	H1(15), H3(1), H4(2), H5(1), H6(7), H7(1), H10(2)
		집중 관리 지역	22개 지역 4,400점 (※ 880건)	54개소 540점 (※ 112건)	375개소 3,790점 (※ 754건)		
	야생 조류 포획	항원	1,600수	10개소 567수	54개소 1,482수	양성(4수) 음성(1,478수)	H4(2), H6(1), H7(1)
		항체				양성(1수) 음성(1,481수)	H5/H7(1)
닭 검사	H5, H7형 LPAI 항체검사	원종계	9농가 1,280건	-	13농가 1,120건	음성	
		종계	325농가 29,200건	41농가 3,440건	277농가 23,100건	음성	
		산란계	280농가 11,200건	97농가 2,374건	570농가 13,122건	음성	
		토종닭	290농가 11,600건	98농가 2,293건	463농가 10,542건	음성	
기타 가금 류	메추리, 꿩 및 칠면조 등	항원	175농가 2,232건 (11,160점)	122농가 1,224건	371농가 3,480건	양성(1농가) 음성(295농가) 검사중(75농가)	H9(1)
		항체	175농가 11,160건	65농가 2,391건	289농가 7,244건	음성(234농가) 검사중(55농가)	
재래시장 유통가금류	항원	160개소 2,560건 (12,800점)	54개소 473건 (2,406점)	255개소 2,157건 (11,428점)	양성(16건) 음성(2,141건)	H3(3), H6(2), H9(11)	
관상용 및 전시용 조류검사	항원	106농가 424건 (4,240점)	28농가 56건 (560점)	205농가 410건 (4,100점)	음성		
철새 도래지 등 돼지 AI 검사	항원	신종플루 검사연계 (※1,972호 35,496두)	463호 8,880두	1,650호 26,523두	음성		
사료용 수입원료검사	항원	300점	2개소 66점	9개소 312점	음성		

가. 주변 국가별 HPAI 국내 유입 위험요인 조사 및 분석

(1) HPAI 발생국 현황조사와 국가간 철새 이동경로 조사

'03/'04년과 '06/'07년 두 차례의 HPAI를 겪으면서 야생철새의 이동에 따른 지속적인 발병위험 역학관계 구명을 위하여 적극적인 예찰활동을 수행하고 있다. '07년도 이후 계속적으로 “야생조류의 HPAI 감염실태 조사 계획”을 수립하여 야생조류(철새)를 포획하여 검사를 실시한 결과 H5형 항체가 검출되었고, 올해 우리나라의 발생시기 및 분리된 바이러스의 유전자형이 동일한 일본에서는 한국에서 이동한 야생조류를 원인으로 지목하였다. HPAI 바이러스의 구체적 유입 원인을 찾기 위해 다양한 각도에서 위험평가를 실시한 결과, 철새에 의한 국내 유입 가능성이 가장 높은 것으로 분석되며, 야생조류에 대한 체계적이고 과학적인 역학조사 활동을 실시한 결과를 다음과 같이 제시하였다.

(가) 국내 도래하는 야생조류 조사

국립환경과학원에 의하면 2007년에 우리나라를 찾은 철새가 198종 1,597천수로 1999년 조사 이래 가장 많은 것으로 확인되었으며, 2002년부터 지속적인 증가 추세를 나타내고 있다. '07년의 경우 특징적인 현상은 전세계 개체군의 95%이상 우리나라에 도래하는 가창오리가 '99년 본 조사 시작 이래 최대인 82만 마리가 관찰되었는바, 이는 지금까지 가장 많이 관찰되었던 '04년 45만 마리의 1.8배, '06년 27만 마리의 3배에 달하는 유례없는 규모이다.

표 87 연도별 우리나라 철새 도래 개체수

구 분	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999
조사지역(개소)	128	127	124	118	118	118	114	100	69
종수	198	195	182	185	197	179	197	198	174
개체수(천수)	1,597	1,227	1,186	1,113	976	932	964	1,157	954

겨울철새는 봄부터 여름에 걸쳐 주로 시베리아 등지에서 번식하고, 가을에 우리나라를 찾아와 겨울을 나고 봄이 되면 북으로 돌아간다. 대표적인 새로 기러기류, 오리류, 고니류, 두루미류 등을 들 수 있다. 여름철새는 봄에 동남아시아 등 남쪽에서 찾아와 우리나라에서 번식하고 가을에는 다시 남쪽으로 이동한다. 우리나라에서는 주로 4월말~5월초에서 9월 초중순까지 머문다. 대표적인 새로 피꼬리, 삿꾸기, 제비, 백로류, 피꼬리, 뜸부기, 파랑새, 물총새, 솔부엉이 등이 있다. 나그네새는 우리나라 북쪽에서 번식하고 우리나라 남쪽에서 겨울을 나는 새로써 우리나라는 봄과 가을에 북상 또는 남하하기 위해 거쳐 지나가며, 대표적인 새로 도요나 물떼새류, 꼬까참새, 제비갈매기 등이며, 통과철새라고도 한다.



그림 179 겨울 철새 이동 경로



그림 180 여름 철새 이동 경로



그림 181 나그네새의 이동 경로 (* 출처 : 금강생태관광 종합정보시스템 (www.gunsaneco.net), 국립환경과학원 자료를 바탕으로 군산시청에서 제작한 지도자료임)

우리나라에 도래하는 철새들의 이동경로를 조사한 결과, 겨울철새들은 시베리아, 알래스카, 북중국, 몽고, 러시아 연해주 등으로부터 월동을 위해 남하하여 가을철에 국내 유입 또는 일부는 통과하여 동남아시아 및 남중국 등에서 월동한 후 이듬해 봄철 번식처인 남하이진 서식처로

북상하는 과정에서 국내를 재통과하고 있다.

여름철새는 겨울철새의 월동지중에 하나인 동남아시아 및 남중국 등에서 봄철 북상지역 우리나라 등에서 번식한 후 가을철이 접어들 때 남하하고 있음. 또한 시베리아, 중국, 알래스카, 러시아 등 지역으로부터 오스트레일리아, 뉴질랜드 등까지 대륙간 이동하는 도요목 등이 우리나라를 경유하여 통과하고 있다. 이와 같이 우리나라는 겨울철새, 여름철새, 나그네새의 주서식지 또는 경유지로서 계절과 상관없이 연중 철새들에 의한 HPAI 유발 위험요인은 상존하지만, 시기적으로 가장 위험성이 높은 시기는 HPAI 발생국 또는 지역으로 최초 유입시기가 호발시기인 만큼 월동조류인 겨울철새와 여름철새가 국내로 갓 유입되는 가을철과 봄철이 철새로 인한 HPAI 발생 위험이 가장 높은 것으로 추정하였다.

(나) 봄철 한반도를 통과하는 철새와 HPAI

한국에서 1차와 2차 HPAI 발생한 시기는 초겨울로 북방에서 도래하는 가을 또는 겨울철새에 의해 유입된 것으로 추정된다. 그렇지만 이번에 발생한 HPAI는 겨울철새가 거의 북쪽으로 떠난 시기인 4월 초에 발생해 국내의 유입경로가 이전과는 다를 것으로 추정된다. 매년 3-4월에 외국에서 한국으로 도래하거나 통과하는 조류의 종류는 매우 다양하지만, 서식지 선호도 및 이동 패턴, 이동시기에 따라 다음과 같이 4개 그룹으로 나눌 수 있으며, 봄철에 한국에 도래하는 철새는 대부분 동남아시아 중국 남부에서 도래하며, 도요류는 호주와 뉴질랜드에서부터 도래한다.

(다) 조류 그룹별 이동 경로

쇠오리, 청둥오리, 고방오리, 발구지 등 소형 오리류 국제적인 AI 전파 가능성이 가장 큰 그룹으로 알려지고 있으며, 쇠오리, 청둥오리 등의 오리류는 대표적인 겨울철새이지만 가을에 남쪽으로 이동하면서 일부는 한반도에서 월동하고 일부는 한반도를 통과하여 중국 남부 및 동남아시아까지 남하하여 월동한다. 따라서 겨울철새가 북상하기 시작하는 3월부터 한국에서 관찰되는 오리류의 많은 수가 동남아시아와 중국 남부에서 출발하여 한국에 잠시 머무르는 개체들로 추정된다. 그러므로 이번 AI 발생은 시기적으로 동남아시아에서 북상하는 오리류가 한반도를 통과하는 시기와 일치하는 것으로 보인다.



그림 182 쇠오리, 청둥오리, 고방오리, 발구지 등 소형오리류의 봄철 이동경로

(2) 중국에서 오리류의 이동경로 추적결과

US Geological Survey 팀에서 중국 양자강 일대의 Poyang Lake에서 '07. 3월에 부착한 인공 위성 추적장치를 여러 종류의 오리류에 부착하여 이들의 이동경로를 추적하였다. 연구목적은 HPAI의 전파경로를 확인하기 위함으로, 인공위성 추적결과 중국 양자강 일대의 오리류는 주로 북동방향으로 북상하였다. 특히 가창오리는 양자강 하구에서 황해를 건너 충남 천수만 지역으로 이동한 후, 아산만 일대, 그리고, 그리고 한강하구 일대를 통과하는 것으로 밝혀짐. 가창오리는 중국연안에서 4.5일에 기록되었고, 4.8일 천수만 지역에서 전파가 포착되었으며, 이후 4.17일까지 한강하구에서 머무는 것이 확인되었다. 청머리오리 1개체는 양자강 하구에서 황해를 건너 경기도 일대를 통과하는 것으로 확인됨. 청머리오리는 4.12일까지는 중국 연안에서 그리고 4.21일에 중국 선양일대에서 기록되었으며, 번식을 마친 후 다시 남하하여 11.13일에 한강하구에 도착한 후에 일시적으로 머무른 다음 12.17일 황해를 건너 중국 연안에 도착한 것이 확인되었다. 쇠오리는 5.1일, 홍머리오리는 3.25일까지 중국 연안에서 기록된 후에 압록강 하구로 각각 5. 4일과 4. 19일에 이동 후 시베리아 번식지로 이동하였으며, 이후 다시 남하하여 강원도와 함경남도 해안지역으로 이동하는 것이 확인하였다. 이상과 같은 중국에서 실시한 인공위성을 이용한 오리류의 이동경로를 추적한 결과, 중국남부, 그리고 동남아시아에서 봄철에 북상하는 많은 수의 오리류가 황해를 건너 한반도로 이동하는 것으로 추정되며, 따라서 이들 오리류에 의해서 동남아시아 계통의 HPAI가 유입되었을 가능성이 높다.

백로류(중대백로, 쇠백로, 왜가리 등)는 우리나라 야산에서 집단 번식하는 종류으로, 주로 동남아시아와 중국 남부에서 월동하고, 봄철에 한국, 일본, 중국, 러시아로 이동하여 번식한다. 동남아시아의 논 등 습지에서 서식하기 때문에 AI를 전파시킬 가능성은 있지만, 그 위험성은 낮은 것으로 추정되며, 다만 국내 유입 직전 논밭등에 방사된 오리 및 토종닭과 접촉시는 발병

위험성을 완전히 배제하지는 못한다.

도요·물떼새류(좁도요, 붉은어깨도요, 뒷부리도요, 민물도요 등)는 봄과 가을에 우리나라를 통과하는 조류이며, 일부는 겨울철에 우리나라의 연안 습지에서 월동하기도 한다. 한국을 통과하는 시기가 봄철 북상기는 2-5월, 가을 남하기는 9-10월이며, 시베리아와 중국, 그리고 일부는 알래스카 일대에서 번식하고 가을에 남하하는 개체들은 한국을 통과하여 동남아시아, 호주 뉴질랜드까지 이동하여 월동한다. 주요 서식지가 인가에서 멀리 떨어진 연안 습지(주로 갯벌)이기 때문에 AI 전파시킬 가능성은 낮은 것으로 추정된다.

제비 등 소형 여름철새는 봄철(2월-5월)에 동남아시아에서 북상하여 한국, 만주, 일본, 사할린, 중국, 시베리아로 이동하여 번식한다. 농경지 및 산림으로 이동하며, 이들 종류의 특성상 국제적으로 AI 전파 가능성은 크지 않은 것으로 추정하고 있다.



그림 183 백로류(중대백로, 쇠백로, 왜가리 등)의 봄철 이동경로



그림 184 도요·물떼새류의 봄철 이동경로



그림 185 제비 등 소형 봄철 여름철새의 이동경로(한국환경생태연구소)

(3) 일본 발생관련 큰고니의 이동경로 추적

아시아권 큰고니는 주로 우리나라와 일본의 월동 한계선으로 겨울철 강, 하천 및 하구 등에 월동한다. 최근 큰고니의 월동지역으로 알려진 일본에서 조류인플루엔자 발생하였다. 일본의 조류인플루엔자 발생지역(철새도래지)은 아키타현 도와다 호반 (2008. 4. 20 발생)과 홋카이도 동부 (2008. 4. 24 발생)이다. 일본의 조류인플루엔자 발생지역 일대는 동남아에서부터 오키나와 해상을 통해 본토를 통과하여 캄차카반도까지 이동하는 소형오리류와 큰고니의 월동지역이 교차하는 지역이다. 특히, 일본의 인공위성 추적장치를 이용한 고방오리 연구를 통해 큰고니의 월동지 및 번식지 이동경로가 이들과 중첩되는 것이 확인된다. 한국의 큰고니 월동개체군이 일본열도로 이동할 가능성은 희박하며 인공위성 추적으로 통해 국내 월동군은 대부분 낙동강을 하한선으로 대부분 북쪽 번식지로 되돌아가는 것으로 판단된다.

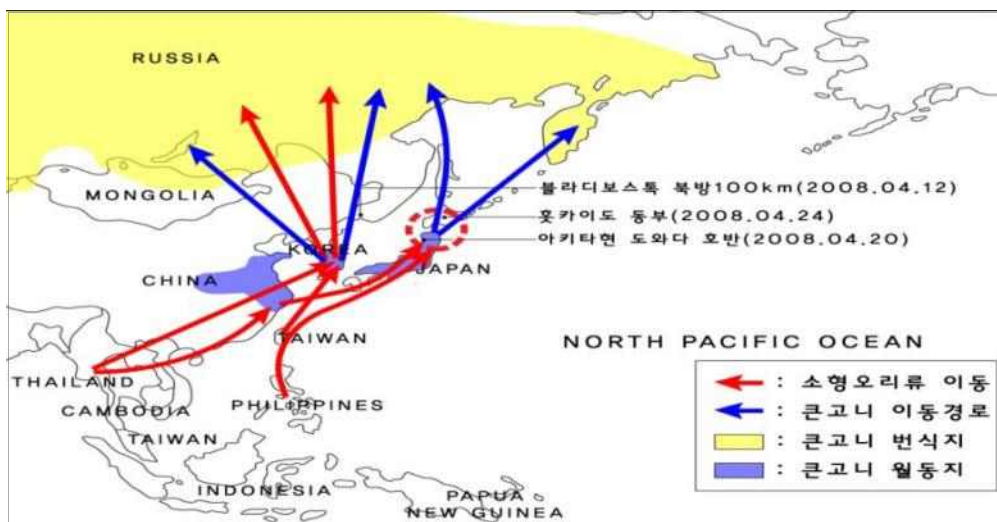


그림 186 큰고니와 소형 오리류의 이동경로 추정(한국환경생태연구소)

(4) 러시아 발생관련 큰고니의 이동경로 추적

러시아의 조류인플루엔자 발생지역(사육 닭 및 Guinea fowl)은 블라디보스톡 북방 100km 지점 (2008. 4. 12 발생)이다. '08. 4. 28일 러시아 Primorskiy Kray, Ussuriy, Vozdvizhenka 소재 마을에서 방사하는 42수의 감수성 가금류 중 총 28수에서 HPAI 감염이 확인되었다(닭 28수 중 21수, guinea fowl 8수 중 7수, muscovy duck 3수 중 0수, 오리류 3수 중 0수). 닭에서 분리한 바이러스주 A/chicken/Primorje/1/2008은 Genbank에 등록되었으며, 유전자서열을 비교한 결과 일본에서 분리한 A/whooper swan/ Hokkaido/1/2008의 유전자와 매우 유사한 것으로 밝혀졌다. 이와 같이 러시아에서의 발생과 일본의 고니에서의 발생은 역학적으로 관련이 있는 것으로 보이며, 야생조류에 의한 장거리 이동의 가능성을 제시하였다.

나. 야생조류 예찰

포획대상은 HPAI 발생국(지역)경유, HPAI 감염보고, 서식조건 등을 종합하여 국내 중점관찰 대상 야생조류 31종 위주로 선정하였고, 포획지역은 지리정보시스템(GIS)을 이용한 위험평가에 의해 선정된 지역(HPAI 과거 발생지역, 주요 철새지역, 가금사육농장 밀도를 종합하여 선정)을 우선하여 실시하였다.

표 88 주요 예찰대상 야생조류 (31종), 기러기목 오리과 (구개서식 45종, 선정 20종)

분류	종	월동시기 (도래~복상)	우리나라 분포지	번식지
수면성 오리류	청둥오리 1), 2)	겨울새	우리나라 전역	북위 30-70° 사이의 북반구 대부분 지역
	넓적부리1)	10월중순 ~3월하순	제주도 성산포 해안, 경기도 소래포구	시베리아, 캄차카, 사할린
	쇠오리1)	10월~3월	우리나라 전역	만주 북부, 아이슬란드, 시베리아, 일본
수면성 오리류	가창오리2)	10월초순 ~4월초순	서산 천수만, 해남 고천암, 주남저수지 ※ 전세계 개체 대부분이 국내에서 월동	시베리아 동부
	알락오리1)	11월하순 ~3월초순	경남 낙동강 하구, 창녕, 제주도 성산포, 서울 한강, 탄천 등지	유라시아 대륙과 북아메리카 대륙
	홍머리오리2)	10월~3월	제주도 성산포, 경남 낙동강 하구	아이슬란드, 유럽 북부, 시베리아, 캄차카반도

수면성 오리류	고방오리 1), 2)	11월초순 ~3월초순	중부 이남의 호수나 저수지	북반구 북부
	흑부리오리2)	10월하순 ~월동	낙동강 하류, 진도 연안, 완도 부근	유라시아 온대, 영국, 스칸디나비아, 시베리아 남부
	황오리1)	10월하순 ~3월	충북이남 해안의 가까운 농경지, 한강 난지도	유라시아 대륙 중부
	흰뺨검둥오리 (일부털새)	11월초순 ~3월초순	우리나라 전역	우리나라 전역
잠수성 오리류	흰죽지2)	11월초순 ~3월중순	낙동강 하구, 서울 한강, 강원도 청초호, 경남 을숙도	스칸디나비아반도, 독일, 흑해, 유럽동부, 바이칼호, 사할린
	댕기흰죽지 1), 2)	10월하순 ~3월하순	우리나라 전역의 호수, 하천, 해안 (강원도 청초호, 경남 낙동강 하구)	유럽과 아시아의 북부
	검은머리 흰죽지2)	월동	우리나라 전역의 호수, 해안 (강원도 청초호, 고성군 아야진)	시베리아 동부, 캄차카, 쿠릴열도
잠수성 오리류	흰뺨오리	11월초순 ~3월초순	전역의 해안선 (낙동강 하구, 거제도 연안, 강원도 해안, 서울 한강 등지)	스칸디나비아반도, 캄차카반도, 아무르, 사할린
	비오리	월동	제주도를 제외한 우리나라 전역의 저수지, 하천, 호수	유럽, 아시아
	흰비오리	11월하순 ~2월하순	강원도 속초시 청초호, 경기, 충남, 경북지역 한천이나 강가 등	스칸디나비아반도 북부, 시베리아 동부, 아무르

1) 인간 생활지 인근(인가, 야산, 습지, 농경지 등)에서 서식하는 품종

2) 백여수 이상이 무리를 이루어 군집생활을 하는 특성을 가진 품종

표 89 기러기목 오리과, 국내서식 45종

분류	종	월동시기 (도래~복상)	우리나라 분포지	번식지
기러기류	쇠기러기 1), 2)	11월~3월	우리나라 전역의 큰 저수지 (경남 을숙도, 주남저수지)	툰드라(유라시아, 북아메리카 대륙의 일부 한대지역)
	큰기러기 1), 2)	10월하순 ~3월초순	우리나라 전역 (산악지대 제외), 을숙도, 주남저수지	유라시아 대륙의 아한대~한대
꼬니류	큰꼬니	11월~3월	강원 경포대 및 경포호, 경남 합천·창녕·창원·낙동강 하구, 진도·해남	시베리아, 만주서북부, 아무르 계곡, 우수리북부, 사할린
	꼬니	11월~3월	경남 주남 저수지, 낙동강 하구	시베리아, 만주서북부, 아무르 계곡, 우수리북부, 사할린

1) 인간 생활지 인근 (인가, 야산, 습지, 농경지 등)에서 서식하는 품종

2) 백여수 이상이 무리를 이루어 군집 생활을 하는 특성을 가진 품종

표 90 도요목(국내 서식 68종, 선정 : 4종)

분류	종	월동시기 (도래~복상)	우리나라 분포지	번식지
갈매기류	재갈매기2)	10월~3월초순	동해안, 남해안, 낙동강 하구	번식지의 남쪽, 때로는 아열대까지
	붉은부리 갈매기1), 2)	10월~3월초순	우리나라 서남해안, 하구·항만·호수 등지	몽골, 만주, 시베리아 등
도요새류	마도요2)	4,5월(이동)~9, 10월	서해안 갯벌지역	북아메리카, 알래스카, 중부유럽, 시베리아 중부, 러시아 중부, 캄차카반도, 쿠릴열도, 사할린
	민물도요1)	4,5월(이동)~9, 10월	낙동강 하구, 서해안 갯벌지역	아프리카, 아시아 남부, 북아메리카 남부, 한국

- 1) 인간 생활지 인근(인가, 야산, 습지, 농경지 등)에서 서식하는 품종
- 2) 백여수 이상이 무리를 이루어 군집 생활을 하는 특성을 가진 품종

표 91 논병아리목(국내 서식 5종, 선정 : 2종)

분류	종	월동시기 (도래~복상)	우리나라 분포지	번식지
논병아리과	빨논병아리	10월하순~3월	우리나라의 연안 (특히 남해안 일대)	아시아의 온대, 시베리아 남부, 중국, 러시아, 몽골, 티베트, 유럽, 호주, 뉴질랜드, 아프리카
	논병아리	10월하순~3월초	우리나라 전역의 하천, 호수, 저수지, 연못 등	중국 동북부, 한반도 북부, 일본 및 쿠릴 열도, 우리나라, 호주

표 92 참새목(국내 서식 22종, 선정 : 2종)

분류	종	월동시기 (도래~복상)	우리나라 분포지	번식지
까마귀과	갈까마귀 1), 2)		우리나라 전역(주로 떼까마귀 무리에 소수가 섞여 도래)	시베리아 남부, 아무르, 우수리, 중국 북동 및 북서부, 몽골, 티베트
	떼까마귀 1), 2)	초가을~3월	우리나라 전역	아무르, 중국 동북부 및 남부, 몽골 등 유라시아 북부

- 1) 인간 생활지 인근 (인가, 야산, 습지, 농경지 등)에서 서식하는 품종
- 2) 백여수 이상이 무리를 이루어 군집생활을 하는 특성을 가진 품종

표 93 매목(국내 서식 30종, 선정 : 1종) / 두루미목(국내 서식 16종, 선정 : 2종)

분류	종	월동시기 (도래~복상)	우리나라 분포지	번식지
수리과	독수리	10월중순 ~3월	강원 철원, 연천, 파주, 낙동강, 해남, 주남저수지, 순천만, 경남 고성	몽골, 아시아 동부
두루미과	두루미	10월~3월	철원, 강화	시베리아, 만주, 아무르, 몽골, 우수리, 일본, 북해도(털새)
	채두루미	10월~3월	철원, 강화, 주남저수지, 낙동강 하구	시베리아, 만주, 아무르, 몽골, 우수리, 일본, 북해도(털새)

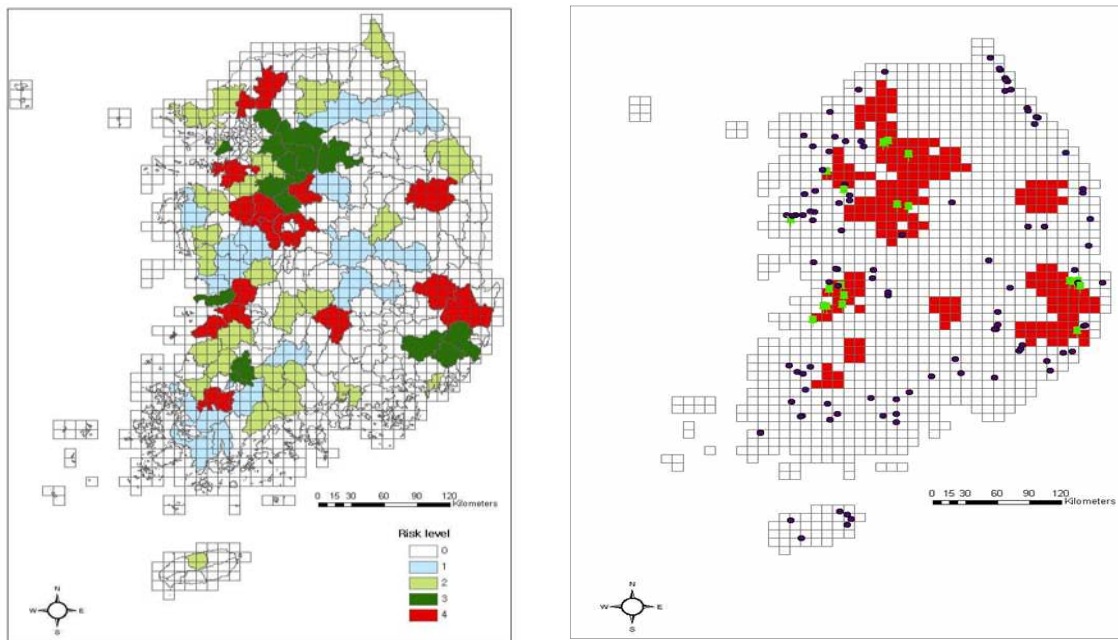


그림 187 지리정보시스템을 이용한 야생조류 포획검사 중점지역 - 적색 격자지역 : 위험평가를 통한 우선 예찰지역, 녹색 점 : 전국 주요 철새 도래지 127 지역 중 우선예찰 철새 도래지, 청색 점 : 전국 주요 철새 도래지 127 지역 중 우선예찰 외 철새 도래지

다. 철새의 위험도 평가

HPAI 바이러스 전파원으로서 철새의 역할에 대한 평가 기준은 다음과 같다.

- ① 국내 발생지역과 서식의 연관성
- ② 이동 경로를 통한 기발생지와 직·간접적 연계성
- ③ AI 바이러스에 대한 감수성 및 병원성(단위시간당 바이러스 배출량, 배출기간, 불현성 보균체로서 살아남아 이동할 수 있는 가능성)
- ④ 가금류와의 접촉가능성
- ⑤ 서식지의 종류 (민물 습지, 해안가 등)

- ⑥ 이동 시기
- ⑦ 군집성
- ⑧ 무리의 크기

우리나라에서 HPAI 중점 관찰대상 조류 종을 AI 바이러스 감염시 폐사여부, 인간(가금)의 생활지 인근 서식여부, 우리나라 HPAI 기발생지와와의 관계, 군집성 등을 고려하여 선정 (31종) 하였다.



그림 188 겨울철새의 이동경로, 표지방조를 통한 조사결과에 근거(환경부 국립환경과학원)

라. 2010/2011년도 야생조류 HPAI 검출관련 역학분석결과

표 94 야생조류 HPAI 검출현황 조사 결과

순번	신고일시	장 소	종류	규모 (두수)	시료내역	비고
1	'10.11.29	전북 익산시	청둥오리	39	1수	
2	'10.11.26	충남 서산시	수리부엉이	2	폐사체 2수	털새
3	'10.11.23	전남 해남군	가창오리	74	폐사체 20~30수	
4	'10.11.26	경남 사천시	원앙	5	폐사체 5수	

5	'10.12.28	충남 천안시	분변	98점	분변 1점	
6	'10.12.30	경남 사천시	원양	1	폐사체 1수	
7	'11.1.1	전북 익산시	분변	40점	분변 40점	
8	'10.12.29	충남 천안시	분변		요막액 4점	
9	'11.1.7	전남 해남군	가창오리	1	폐사체 1수	
10	'11.1.7	충남 아산시	쇠기러기	5	폐사체 2수	
11	'10.12.13	경기 하남시	큰고니	1	폐사체 1수	
12	'11.1.3	충북 청원군	분변		염기서열	
13	'11.1.6	충남 천안시	분변		요막액 1점	
14	'11.1.17	경기 평택시	새매	1	폐사체 1수	
15	'11.1.23	충남 예산군	수리부엉이	1	폐사체 1수	털새
16	'11.1.30	울산 울주군	수리부엉이	1	폐사체 1수	털새
17	'11.1.30	경기 남양주시	수리부엉이	1	폐사체 1수	털새
18	'11.2.7.	전남 보성군	수리부엉이	1	폐사체 1수	털새
19	11.2.8	경남 김해시	황조롱이	1	폐사체 1수	털새
20	'11.2.13	경기 화성시	흰뺨검둥오리	14(오리13,까치1)	폐사체13수	

(1) 천수만 지역 수리부엉이에서 HPAI 검출

천수만은 매년 20만 마리 이상의 물새류가 도래하는 국내 최대 철새도래지이다. 2010년 11월 26일, 29일 구조된 수리부엉이 사체에서 HPAI 발생하였다. 천수만 지역은 시베리아 등지에서 번식을 하고 겨울철 남하하는 철새의 주요 이동경로에 위치한 지역으로 수많은 철새들의 월동지 및 중간기착지로서 그 중요성이 있다. 특히 10월 초순부터 오리, 기러기류를 포함한 물새류가 20만 마리 이상이 찾아오고 있음. 이후 천수만 농경지의 먹이인 벼 낱곡이 소진되면 천수만 간척지를 떠나 이동하며, 천수만을 떠난 물새류의 일부는 한국을 떠나 중국으로 이동하는 것으로 판단되며, 일부는 남부지방으로 이동한다. 따라서 국외(러시아, 몽골, 중국 등)에서 AI에 감염된 오리류 중에서 천수만에 도래한 개체를 수리부엉이가 사냥하여 포식함으로써 감염되었을 가능성이 높다.

한국에 서식하는 수리부엉이는 비교적 드문 텃새로서 암벽지대와 바위산의 언지리에서 정착해 살아가는 야행성 맹금류이다. 폐사한 수리부엉이는 천수만 지역을 행동권으로 하는 개체로서 천수만에 도래하는 겨울철새(오리류) 및 설치류를 먹이로 한다. 수리부엉이는 지역 의존성이 강한 정주성 맹금류로 행동권은 약 10-25km²로 반경 약 2~3km 이며, 수리부엉이는 겨울철(1~2월)에 번식을 시작하는 생태적 특성을 가지고 있으며, 따라서 그 이전부터 암수 두 마리가 짝을 이루어 생활한다. 수리부엉이의 발견장소, 행동권, 생태적 특성을 고려하면 폐사한 2개

체는 번식을 준비 중인 한쌍으로 판단되며, 수리부엉이가 먹이를 먹는 행동특성에 따라 AI에 감염된 오리류를 사냥하여 나눠먹어 두 마리가 동시에 감염된 것으로 판단됨. 수리부엉이는 수컷이 먹이를 사냥하여 암컷에 제공하면서 구애하는 행동 특성이 있다.

표 95 천수만 지역의 겨울철 월별 개체수변화(한국환경생태연구소 자료)

시 기(2010년)	1월	2월	3월	10월	11월
종 수	52	56	61	55	52
개체수	16,480	32,300	8,943	316,755	234,868



그림 189 수리부엉이 HPAI 검출지점 및 추정행동권.

(2) 만경강 지역 청둥오리에서 AI 검출

만경강에는 매년 겨울철에 10,000개체 이상의 오리류가 도래하는 지역으로 국내 대규모 철새 도래지인 새만금 지역과 약 30km 떨어진 지역이다. 2010년 11월 29일 익산시 춘포면에서 포획한 청둥오리(♀) 1개체에서 HPAI 발생확인 되었다. 관찰종은 총 50종 10,376개체(최대개체수)이었으며, 월동중기(12월~1월)에 오리류가 가장 많이 관찰되었다. 발생지역 인근의 주요 우점종은 청둥오리(우점도 18.3%), 흰뺨검둥오리(16.4%), 홍머리오리(14.9%), 떼까마귀(13.5%), 쇠오리(7.8%)이었다.

청둥오리는 전국적으로 10월부터 도래하여 이듬해 3월까지 월동하며, 주 서식지는 주변에 농경지가 있는 호소, 간척지, 하천, 해안 등 농경지와 수계가 공존하는 지역이다. 국내 대표적인 분포지역은 한강하구, 시화호, 금강하구, 천수만, 영암호, 영산호 등 서남부해안에 위치한 대규모 간척지와 내륙의 일정규모의 하천에 분포한다.

가락지 추적을 통한 청둥오리 이동경로 및 번식지역 추정결과, 러시아에서 포획된 청둥오리

3개체에 대한 확인결과 번식기에는 러시아 사하차치공화국(Yakutia 지역)으로 이동하여 번식하는 것으로 추정되며, 이후 10월에 다시 국내에 도래하여 월동하는 것으로 판단된다. 이와 같은 청둥오리 이동경로와 가락지 회수결과로 판단한 결과 국내에 도래하는 청둥오리의 일부는 올해(2010년) HPAI 발생지역인 몽골 수흐바타르 지역을 거쳐 국내에 들어오는 경로를 이용하는 것으로 추정하고 있다.

표 96 러시아에서 사냥으로 포획된 청둥오리 3개체의 상세정보

가락지 번호	국내부착일	부착장소	가락지 수거일	사냥에 의해 수거된 장소	비고
100-04652	2008. 10. 24.	만경강	2010. 5. 15.	Russia, Yakutia, Suntarskiy, Ulus, Agdary	
090-08529	2008. 11. 6.	미호천	2010. 5. 16.	Russia, Yakutia, Myndaba, Buor-Urava	
100-02401	2009. 3. 24.	풍세천	2009. 8. 23.	Russia, Yakutia, Namskiy distr., Sygynnakh	

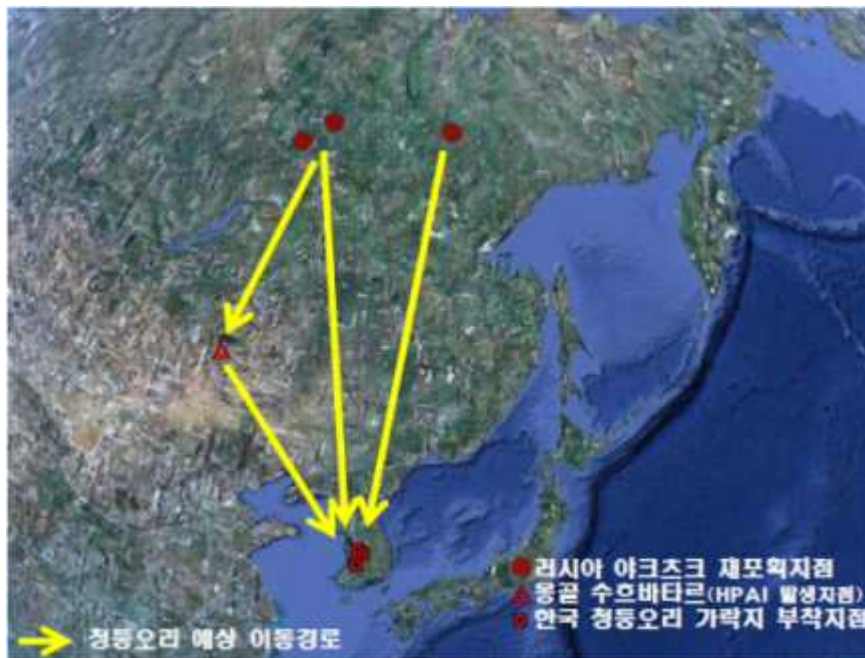


그림 190 청둥오리 3개체의 국내 가락지 부착지역과 러시아 재포획 지역, 몽골 야생 물새류에 HPAI 발생지역.

(3) 남부 주남저수지

창원시 주남저수지는 대규모 철새도래지인 낙동강 하구와 우포늪의 중간에 위치하고 있는

철새도래지이다. 현재 고병원성 AI의 발생은 없으며, 가락지 추적을 통한 고방오리 이동경로를 추적하였다. 고방오리는 동남아시아에서 월동한 후 동북 시베리아, 알래스카 까지 이동하여 번식하며, 고방오리의 이동경로(USGS자료)를 보면 국내 또는 일본을 통해 번식지(러시아)와 월동지(중국남부)로 이동한다 (그림 197). 특히 재포획을 통한 가락지 추적 결과 일부 개체는 일본에서 한국으로 서로 이동하는 것으로 추정되며, 매년 동일장소인 주남저수지에 지속적으로 도래하는 것을 확인하였다.

표 97 재 포획된 고방오리 상세정보

가락지 번호	국내 부착일	부착장소	가락지 수거일	수거장소	비고
090-08710(한국) 10B07888(일본)	08.01.11 (일본)	일본 사이타마현 고시가야시	08. 12. 09	주남저수지	
100-02797(한국) 10B29598(일본)	-	일본	09. 12. 02 (한국부착)	주남저수지	
090-08743	08. 12. 09	주남저수지	09. 12. 02	주남저수지	
100-02725	09. 12. 02	주남저수지	10. 02. 04	주남저수지	
100-02747	09. 12. 02	주남저수지	10. 12. 06	주남저수지	
100-02868	09. 12. 02	주남저수지	10. 12. 06	주남저수지	
100-02379	09. 03. 09	주남저수지	10. 12. 06	주남저수지	
090-01656	10. 02. 04	주남저수지	10. 12. 06	주남저수지	
100-02852	09. 12. 02	주남저수지	10. 12. 06	주남저수지	
090-01662	10. 02. 04	주남저수지	10. 12. 06	주남저수지	
100-02737	09. 12. 02	주남저수지	10. 04. 07	Russia, Primorskiy, (Vladivostok), Khankayskiy distr., Melgunovka	



그림 191 고방오리 이동경로

8. 주변국 HPAI 발생현황 및 위험요소 조사

가. 몽골지역

최근 몽골 HPAI 발생 현황 및 예찰상황 조사한 결과 2005년부터 2010년까지 야생조류에서 7차례 HPAI 발생하였다. 3차례 HPAI 발생은 중앙연구소 직원이 모니터링 과정에서 확인하였으며, 4차례 HPAI 발생은 현지 주민, 의사 등이 호수가 폐사체를 병성감정 의뢰하여 확인되었으며, 몽골 7차례 HPAI 발생은 모두 철새에서 발생하였다. 2010년 5월경 국내 겨울철새의 직접 유입경로 상에 있는 수바트라호수(몽골 동북부지역)에서 큰고니, 회색기러기, 홍머리오리 등에서 주로 발생하였다.



그림 192 야생조류에서 몽골 HPAI 발생지역

표 98 최근 가금 사육 가축현황

축종별	사육두수	비고
닭	40만수	울란바트내 10개 농장에서 30만수 사육 *10만수는 2천여 가구 사육
오리	1천수	전통적으로 새를 사육하지 않고, 주로 야생오리임
계	40만 1천두(수)	

최근 몽골인 10% 정도가 한국 근무경력으로 인한 식생활 변화로 돼지고기, 닭고기를 찾는 사람들이 증가하여, 양돈장과 양계장이 생겨나고 있다(일부 큰 농장의 농장주가 한국인임). 몽골의 축산물 유통현황을 살펴보면, 몽골 국민 대비 닭 총족 예상 공급수수는 약 200만수 정도로

계란의 60%는 러시아 수입, 40% 몽골 생산 공급하고 있다. 닭고기는 주로 미국산(슈퍼, 마켓 등에서 누구나 판매가 가능)이며, 산닭은 주로 러시아산, 일부 중국산을 수입하고 있다.

몽골 현지에서는 HPAI 및 ND 등은 확진과 동시에 방역기관 수의사들이 발생지역에 대한 20일간 이동통제와 발생농장과 인근 닭 등을 살처분 실시하고 있으며, 철새도래지역 발생시는 죽은 철새는 다 모아서 매몰 또는 소각처리, 인근 가축이동 금지, 발생 호수 주변 이동통제(경비 강화)를 실시한다.

국내 3차례 HPAI 발생 시 대부분이 아시아-태평양 철새 이동경로 상에서 국내 유입경로가 간접적인 곳(흡수골 등)에서 발생하였으며, 2010년 5~6월경 야생조류(큰고니, 홍머리오리 등)에서 HPAI 발생 지역인 수마트호수는 월동 야생조류(철새)의 국내 직접 유입 이동 경로로써 과거 HPAI 발병 위험도가 매우 높은 것으로 판단된다. 몽골로부터 유입되는 월동 조류(겨울철새)는 국내 겨울철의 HPAI 발생의 직접적인 원인이 되고 있다.

전통적으로 몽골에서 가금류 사육이 거의 없다가 최근 일부 농가에서 닭 사육을 하고 있지만 대부분이 울란바트르 시내의 계사에서 사육되고 있어 HPAI 발병 위험은 매우 낮다. 야외사육의 경우는 철새와 접촉 가능성이 있어 HPAI 발병 가능성은 있지만 이들 가금류는 농가에서 식용 처리 되고 있어 사육 가금류에 의한 HPAI 오염원이 국내로 유입될 가능성은 매우 희박하다.

가금육 유통에 의한 HPAI 유입 위험평가 결과를 살펴보면, 몽골 재래시장을 통해 유통되는 가금육이 대부분이 미국, 러시아, 중국 등으로부터 수입된 가금육이며, 일부는 사육 가금류를 도축한 것이며, 몽골 재래시장에서 유통되는 가금육이 불법으로 국내로 유입될 가능성은 거의 없고, 일부 가금육 가공품이 몽골인 또는 여행객을 통해 국내 유입될 가능성도 매우 낮다.

몽골인 또는 여행객(철새전문가 등)들에 의해 철새도래지 등에서 HPAI 오염된 야생조류(철새) 배설물과의 접촉 가능성이 있지만 접촉자는 소수에 불과할 것으로 추정되며, 몽골 공항에서 HPAI 오염원 소독에 대한 조치 및 예방홍보가 없어 유입 가능성이 있다.

나. 중국지역

중국의 가금 사육 현황을 살펴보면, 최근 닭은 지지분하다고 하여 농가 소규모 사육 감소하는 추세이며, 중국은 대략 30년간 주기로 3~8% 정도 가금류 사육이 증가한다. 닭 사육수수는 연간 150억 수수 정도로 추정되며, 오리 사육수수 연간 200억 수수 이상으로 추정(전 세계 오리육 3/4가 중국산)된다.

최근 5년간(2004~2008) HPAI 발생 현황을 살펴보면, 2007년 닭 4건 발생, 사람 5명 발병(사망 3건)하였으며, 2008년 닭 6건 발생, 사람 사망 4건이 발생하였다. 또한 조류 2건(Xinjiang ; 2월, Tibet ; 4월), 사람 7건(모두 1월 발생; Shangdong, Shanxi, Huan, Xinjiang, Guizhou, Guangxi, Hunan)발생하였다.

표 99 최근 5년간 HPAI 발생 현황

Year	Outbreaks	Deaths (1,000)	Slaughtered (1,000,000)
2004	50	129	9
2005	32	155	22
2006	10	47	3
2007	4	27	0.25
2008	6	9	0.59

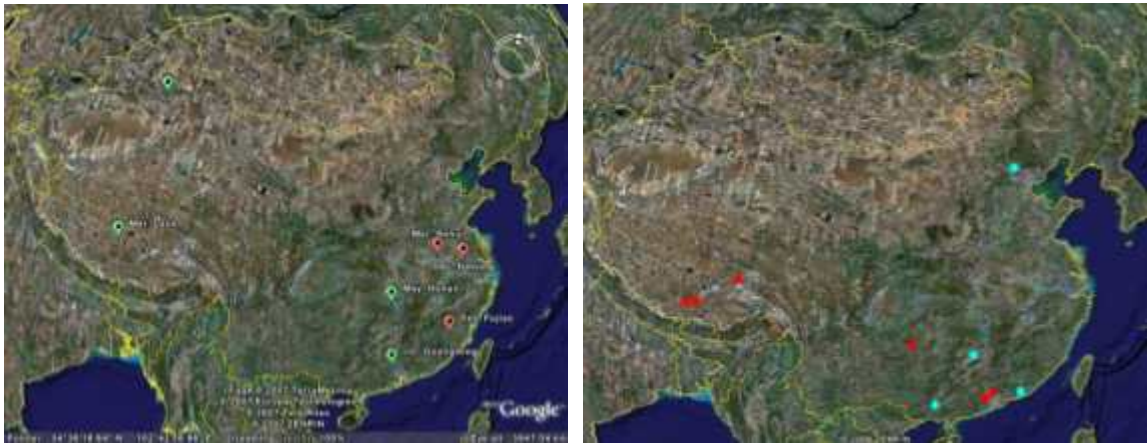


그림 193 최근 2년간 HPAI 발생지역

중국의 HPAI 예찰방법은 총 6가지 타입으로 나눌 수 있다.

- ① Passive surveillance(수동적 예찰)
- ② Active surveillance(능동적 예찰)
- ③ Serological surveillance(혈청학적 예찰)
- ④ Pathogenic surveillance(병원체 예찰)
- ⑤ Scanning surveillance(무작위 예찰)
- ⑥ Targeted surveillance(목적 예찰)

표 100 Pathogenic surveillance(병원체 예찰) 결과(2004~2008)

Year	Pathogen samples (unit : 1,0000)	Pathogenic Positives
2004	93	16
2005	209	21
2006	465	50
2007	306	40
2008	542	80
Total	1,615	207

HPAI 예찰 시스템 및 예찰 지점으로는 국경에 146개소의 동물 질병 예찰소 운영하고, 동물 사육밀도가 높은지역에 304개소의 동물질병 예찰소 운영, 혈청학적 검사가 가능한 행정구역 단위의 2,800개소의 예찰 실험실과 예찰소 운영, BSL-3 Labs이 설치된 3개소의 국가 예찰센터 (CADC, CAHEC, NAIRL) 운영하고 있다. HPAI 관련 주요 예찰 대상은 사육 가금류 및 야생 조류, 돼지, 다른 형태의 가금류 사육농장, 생축(재래시장)등이다. HPAI 방역조치 방법(3단계)은 초기에는 예찰(환축 발견), 신고, 진단을 수행하고, 신속은 초동방역조치(반응), 통제는 엄격한 통제를 수행한다.

HPAI 종합 방역대책으로는 강제적(의무적) 가금류 백신접종(야외 사육가금류 포함) 및 예방적 살처분을 수행하여 역학적 지점과 지역 내의 모든 감염된 것과 감수성 있는 동물을 살처분(매몰, 소독, 차단방역조치 등)한다. HPAI 최종검사는 중앙기관에서 하지만, 지방기관의 경우는 1년에 몇 군데를 지정하여 검사를 실시하며, 진단과정은 성에서 시료채취 및 운송기간은 보통 2일정도 소요가 되며, 검사소에서 검사기간은 1일 정도 소요된다. HPAI 발생시 전 부처가 자동으로 동원되는 시스템이 구축되어 발생지역 관할 시청에서 공안부가 먼저 출동하고, 이후 농업부, 재정부, 교통부 등이 자동적으로 출동하고, 농업국장이 HPAI 발생지역 이동통제 관련한 사항을 이야기하지 못하고, 전적으로 공안국장이 알아서 이동통제를 한다. HPAI, FMD 발생시는 3km이내 이동통제 실시, 지방정부는 의심동물과 사람등에 대한 이동통제 실시, 중앙정부는 이동통제에 관한 범위 등을 최종결정한다.

철새도래지는 임업부에서 관리를 하고, 철새 폐사 발생시에는 농업부와 합동조사를 하며, 살처분 보상방법은 발생 신고전 폐사체는 미보상, 신고이후 폐사체는 50% 보상, 생축 살처분은 100% 보상금 지급한다. HPAI 발생시 중앙과 지방역학 합동조사반 구성 운영한다.

베이다이호(北戴河)는 북경으로부터 고속도로를 차량을 이용하여 3~4시간 이동거리(400~500km 이상)에 있으며, 북경에서 가장 인접한 주요 철새도래지이다. 베이다이호의 철새이동상황 및 조류종 조사(2010.10.12.) 결과 베이다이호의 대부분 겨울철새들은 시기적으로 남하한 상태였고, 일부 겨울철새들은 서식하고 있었다(몽골, 시베리아 등으로부터 남하하는 겨울철새의

중간기착지이며, 동남아 또는 우리나라 서해안으로 유입되는 겨울철새들이 서식하는 곳임).

표 101 베이다이호(북대하) 철새도래지 조류상 조사결과(2010.10.12.)

※ 청둥오리, 쇠오리, 흰뺨검둥오리, 큰고니 등은 미관찰함

조류종	서식수수	비 고
붉은부리갈매기	1,800수	서해안, 남해안에 주로 도래하는 종
재갈매기	220수	
민물가마우지	19수	
쇠백로	120수	
개펄	48수	
청다리도요	40수	알래스카로부터 중국, 한국을 통과하여 호주까지 왕래 가능 종
마도요	2수	
붉은어깨도요	3수	
민물도요	37수	
흰물떼새	320수	
10종	2,609수	

중국으로부터의 국내 HPAI 유입 위험평가 결과, 중국의 HPAI 발생지역은 전국적으로 광범위하게 발생되며, 주로 남중국, 내몽골지역에서 많이 발생한다. 남중국의 경우는 여름철새의 국내 직접 유입경로이며, 그 외 지역은 겨울철새의 국내 직·간접 이동경로 상에 놓여 있다. 아시아-태평양 철새이동경로 상에서 몽골, 러시아 등으로부터 국내 겨울철새의 유입과정에서 베이다이호 등의 철새도래지에 통과새가 중간 기착하는 과정에서 북중국과 몽골지역 등으로부터의 HPAI 오염원이 직·간접적으로 국내 유입 가능성이 상당히 높다. 북중국과 몽골로부터 유입되는 월동 조류(겨울철새)는 국내 겨울철의 HPAI 발생의 직접적인 원인이 되고 있고, 남중국과 동남아시아로부터는 여름철새에 의한 국내 봄철의 HPAI 발생의 직접적인 원인이 되고 있다.

전통적으로 중국은 전 세계의 3/4 정도 오리를 사육하고 있고, 또한 닭 등 가금류 사육이 많으며, HPAI 상재지역이라 할 수 있다. 계사(오리사)내에 사육하는 가금류도 많지만, 야외사육도 많기 때문에 감염된 가금류 또는 감염된 철새로부터 순환감염이 용이한 나라로써 HPAI 발병 가능성은 상존한다. 최근 도계육을 선호는 하고 있지만 전통적으로 생축시장(live market)에서 판매하는 생닭을 구입하여 도계하는 것을 선호하기 때문에 전국적으로 생닭 유통과 투계에 의한 HPAI 전파 및 확산 가능성 상존한다. 남중국의 소수 민족 중에서는 소, 돼지, 개, 오리, 닭과 사람들이 거주지내에서 함께 생활하는 과정에서 HPAI 변이형 출현 초래 가능성 상존한다.

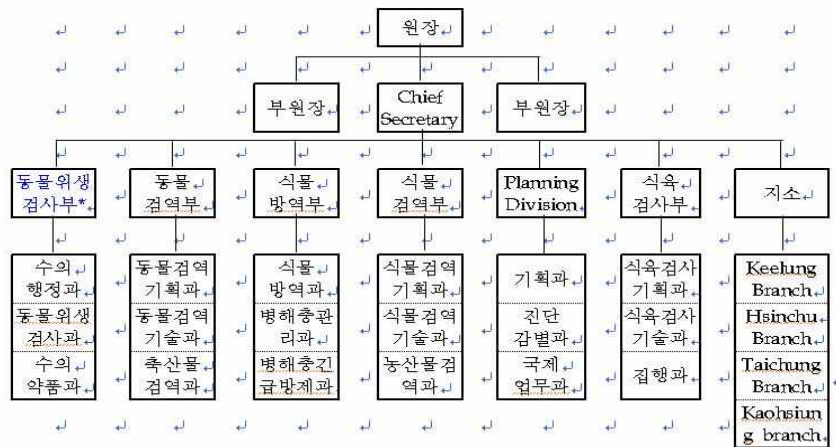
오리육 및 계육 등 가금육의 수출이 가장 많은 나라로써, 수출 가금육을 통한 전 세계 HPAI 전파 확산 가능성이 가장 높음 나라이다. HPAI 감염오리 및 닭 등 가금육이 중국내 유통 가능

성이 매우 높고, 사육농가 및 사육수수가 워낙 많아 이들에 대한 HPAI 검사가 현실적으로 불가능한 부분이 많았다. 중국산 가금육이 수입될 경우, 이들 가금육으로 HPAI 국내 유입 가능성이 상존(현재 가공된 가금육만 수입)한다.

중국인 및 해외여행객(몽골 방문 후 중국 경유 포함)들이 재래시장, 가금류 사육농가, 철새도래지 등을 방문한 직후 귀국 시 국내 HPAI 유입 가능성 상존하며, 북경 및 청도공항에서 HPAI 오염원 소독에 대한 조치 및 예방홍보가 없어 HPAI 유입 가능 상존한다.

다. 대만지역

(1) 가축방역조직 및 축산현황



※ 출처 : <http://www.baphiq.gov.tw>

그림 194 가축방역 조직 현황

대만의 동물위생검사부의 역할은 다음과 같다.

- 돼지열병 및 구제역 방역프로그램 수행 및 지방 정부의 동물 방역 활동 관리 감독,
- 가축전염병의 조사, 모니터링, 경고시스템 강화 및 해외에서 동물전염병 유입 방지
- 동물 질병 진단 능력 향상 및 동물 질병 관리 기술 개발
- 해외 질병 및 병해충 정보 검색 및 최신자료 보관
- 수의사 등록 및 관리, 훈련
- 수의약품의 검사 및 등록, 인허가 업무 수행

표 102 대만의 축산현황 (기준 : OIE, 2009)

축종	소	돼지	산양
두수	137,638	6,145,950	212,766

(2) 대만 공항의 동물검역 사항

대만공항 입국장은 휴대용 항공화물로 승객들이 회수하는 장소에 휴대품을 즉시 검사할 수 있는 동물검역시설이 별도로 설치되어 있었다. 휴대품에 대한 동물검역이 강제성보다 신고자에 한하여 동물검역을 실시하는 것으로 판단되었으며, 입국자에 대하여 동물검역대상을 신고하도록 각종 홍보물이 설치되어 있다. 입국자의 휴대품에 대한 별도의 세관검색 또는 동물검역이 없었으며, 입국장은 입국자에 대한 신발소독용 카펫트 또는 소독조 등이 설치되어 있지 않았다.



그림 195 대만 국제공항 출입국장의 동물검역소

(3) 철새이동상황 및 조류종 조사사항

(가) 대만의 조류 및 조류 서식지

대만은 태평양의 가장자리에 위치하면서 중국 남동부와 필리핀 일본 사이에 위치하고 있으며, 중국본토에서 약 150km정도 떨어져 있는 도서국가이다. 대만은 작은 섬이지만 해안의 열대기후부터 산악지대의 냉대기후까지 다양한 환경과 온도차로 인하여 다양한 야생조류가 서식하는 지역이다. 특히 우리나라의 여름철새의 남하 경로 상에 위치하고 있으며, 중간 기착지 혹은 월동지로서의 기능을 담당하고 있는 지역으로, 대만에서 기록된 종은 전체 471종의 조류이며, 그 중 15종은 고유종, 27종은 국제적 멸종위기종이다.

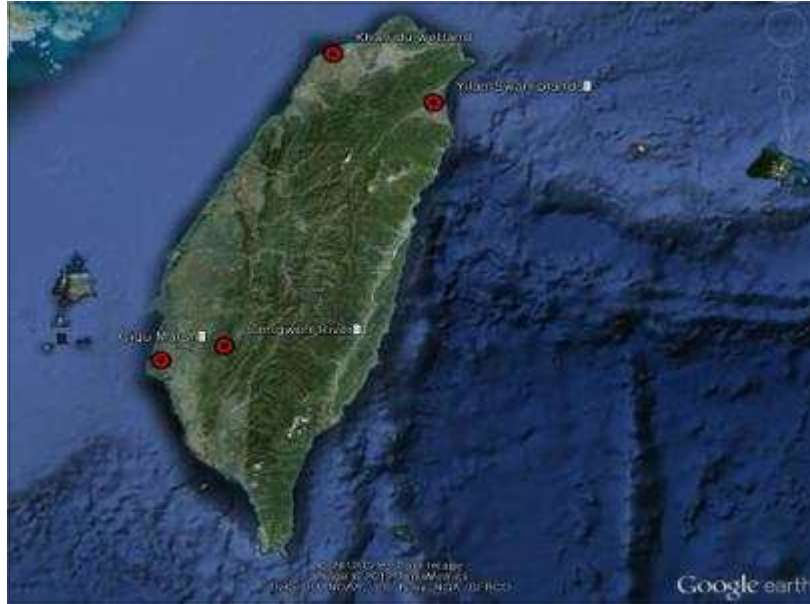


그림 196 각 서식지별 위치도

Yilan Swamplands 은 Lanyang 평야에 위치한 습지대로 다양한 물새들의 서식지로 알려져 있다. 이 지역은 과거 늪지대였지만 이주민들에 의해 논으로 만들어져 대규모의 논농사가 이루어지고 있는 지역으로, 겨울에 무논 등을 조성하여 다양한 물새들의 서식환경이 조성되고 있다. 겨울에 황새류, 백로류, 해오라기류, 오리류 등 약 170여종의 조류가 서식하는 것으로 알려져 있으며, 일부 저어새의 중간기착지로 이용되고 있다.



그림 197 Yilan Swamplands 의 전경

Cigu Marsh 는 우리나라에 여름철에 도래하여 번식하는 저어새의 월동지 및 중간 기착지로 이용되는 지역으로, 60여종의 물새류를 관찰할 수 있으며, 겨울철에는 오리류, 이동시기(봄, 가을)에는 도요물떼새 등을 관찰할 수 있는 지역이다.



그림 198 Chigu Marsh 의 전경

Cengwen River 와 Sicao Wetland는 대만에서 보기 드문 자연 생태환경을 가지고 있으며, 겨울철 많은 수의 물새들이 월동하는 도래지이다. 저어새, 뒷부리도요, 장다리물떼새 등의 희귀 조류 도래지로 알려져 있으며, 그 외 다양한 오리류들의 월동지로 알려져 있다. 특히 저어새의 전세계 개체수의 50%이상이 월동하는 월동지로 알려져 있다.



그림 199 Cengwen River 와 Sicao wetland의 전경

Kuan-du 국립공원은 55ha 규모의 갈대밭이 있으며, 일부 저수지와 맹그로브 습지로 되어 있는 하천 합수지점은 조류가 서식하기에 양호한 환경을 가지고 있다. 현재 이 지역에서 서식하는 조류는 약 300여종에 이르며, 황새를 비롯한 저어새 등 희귀조류 등도 서식하고 있다.



그림 200 Kuan-du 국립공원의 전경

(4) 대만 주요 철새도래지 현장 방문조사

(가) 타이찌양 국립공원 (Taijiang National Park)

대만의 남서쪽 연안인 타이난 시(Tainan city)의 외곽인 작은 섬의 해안에 위치한 타이찌양 국립공원주변은 주변은 귀구강(Qigu River), 쑹웬강(Cengwen River), 류에멘강(Lu'ermen River), 안수웨이강(Yanshuei River)이 위치한다. 타이찌양 국립공원은 남서쪽 연안을 따라 북부권, 중부권, 남부권으로 크게 구분된다.

- 북부권(Qingshan Harbor~Perimeter of Qigu Lagoon Dingtoue Sandbar Area)
- 중부권(Perimeter of Qigu Lagoon Dingtoue Sandbar Area ~ Chengsi Protection Forest Area)
- 남부권(Chengsi Protection Forest Area ~ Sicao Fish Farm Area)



그림 201 타이찌양 국립공원

철새이동상황 및 조류종 조사결과 Dazhong temple(네델란드군과 전쟁 시 전사한 중국군의 추모 사찰) 반경 20~30km 지점이 국립생태보전지역으로 이 주변은 생태 수로와 양식장, 염전, 저수지 등이 산재되어 있다. 염전지대(저어새 보호지역)에는 과거 철새들이 많이 도래하여 국가에서 염전을 폐쇄하고 국가 생태보전지역으로 지정하여 현재 저어새의 철새도래지로서 세계적으로 유명한 곳이다. Salt Pan Ecological and Cultural village, Salt worker memorial, Beishanwei waterfowl resrrve, Beishanwei wetlands scenic area 등으로 구성되어 있으며 저어새 등 각종 철새보호를 위해 철새도래지를 일반인들이 접근하지 못하게 철책(울타리)이 설치되어 있고, 출입구는 잠검 장치가 설치 되어있어 출입 시 반드시 허가를 득한 사람에게 부분적으로 출입 허용하고 있다. 월동시기인 겨울철에는 저어새, 오리류, 도요목 등을 비롯한 많은 겨울철새들이 서식하고 있다. 철새이동상황 및 조류종 조사결과 대부분 오리류 겨울철새 철새들은 이동하였고, 일부 잔류하고 있는 월동조류들도 조만간 몽골, 시베리아, 알래스카, 북중국 등 지역의 번식처로 이동할 것으로 추정된다.

표 104. 타이찌양국립공원(타이난) 철새도래지(염전과 양식장지역) 조류상 조사결과(2012.03.27.)

조류종	서식수수	비 고
저어새	250수	전 개체
넓적부리(오리류)	500수	복상 예정 조류종
쇠오리	40수	* 도요류는 알래스카로부터 중국, 한국을 통과하여 호주까지 왕래 가능 종
도요류	3,000수	
장다리 물떼새	1,000수	
뒷부리장다리 물떼새	300수	일부 개체
중대백로	300수	복상예정 조류종
왜가리	220수	
8종	5,610수	

※ 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 큰고니 등은 미 관찰하고 쇠오리는 관찰함

양식장(Sicao Fish farm Area, Chengsi Fish Farm Area)이 논둑을 높게 쌓아 저수지 형태 순환 양식장이 주변에 많이 산재되어 순환양식장은 수차와 폭기조를 이용하여 물고기를 양식하고 있다. 양식어종은 새우 등 바다고기를 비롯한 다양한 어종을 생산한다. 겨울철에는 월동 조류들이 양식장 주변에 많이 서식하였다고 한다. 양식장의 논둑과 양식장내에서 여름철새와 겨울철새가 다수 서식

저수지(Sandpiper Wetland Scenic Area, Chengxi Wetland Scenic Area)는 철새서식을 위해 인위적 또는 자연적으로 형성된 많은 저수지와 주변 수로들에 월동기간에 다양한 겨울철새들이 많이 서식하고 있다. 2012.3.10일까지 이곳에서 계속 월동하던 오리류들이 2012.3.27일 철새 이동상황 및 조류종 조사 시에 관찰되지 않았다(복상한 것으로 추정). 2주전 이곳으로부터 몽골, 시베리아, 북중국, 알래스카 등 지역의 번식처로 이동한 것으로 추정되며, 한국의 서남해안(전남, 경남)지역으로 통과 또는 일시적으로 체류하는 시기는 2012.3.15일 전후로 추정되며, 현재 이곳에서 복상한 오리류 등 겨울철새들이 한국에서 잔류할 것으로 추정된다.

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과 국가 생태보전지역으로 지정하여 인위적 또는 자연적으로 철새들에게 최적의 서식조건을 제공함으로써 대만지역으로 유입된 겨울철새들이 충분한 수용력으로 이곳의 철새도래지로부터 벗어나 타 지역으로 이동하지 않고 이곳에서 겨울을 나도록 하고 있다.

이곳 남서쪽 연안으로 유입되는 겨울철새들이 한국과 달리 오리류는 적고, 도요새 등 다른 종류들이 많이 서식하고 있다. 월동조류 대부분이 이곳 철새도래지에서 플랑크톤, 수초, 물고기 등을 주로 섭취하는 조류종으로서 한국처럼 추수기의 논밭의 낙곡을 먹이로 삼는 경우는 없다. 대만지역에서는 월동조류들이 한국처럼 추수기의 낙곡이나 봄철의 보리를 먹이로 삼는 것과 다르게 추수기때의 낙곡과 모내기한 벼 등을 먹는 경우가 한번도 목격되거나 언론 보도된 사

례도 없다.

월동조류 도래시기를 보면 대만의 북쪽인 타이베이 지역과 남쪽의 타이난 지역과는 논농사 시기가 다소 차이가 있고, 남쪽지방의 경우는 대부분 이모작을 실시하고 있다. 봄철(3월경)에 모내기를 하고 여름철(7~8월경)에 수확을 하고, 여름 및 가을철(7~8월경)에 모내기를 하고 겨울철(1~2월경)에 수확하는 이모작을 함으로서 월동조류가 10월~11월경 도래할 때 낙곡을 섭취할 기회가 우리나라보다 적고 낙곡 섭취종이 철새도래지를 벗어나지 않는다.

철새도래지 진입로에 대한 소독 등 특별한 방역조치가 없고, 다만 국제멸종위기종인 저어새 최대서식처인 염전지역 철새도래지에 소독조치는 없고 출입문만 설치하여 출입자를 통제하고 있었으며, 30km 이내에 가금사육농가는 거의 없고, 주변은 바다, 저수지, 강, 산업공단, 도시 등으로 둘러쌓여 있어 철새로부터의 직접적인 위협요인은 거의 없었다.

(나) 타이난 생태보육교육장 철새도래지

타이난 국립공원 철새도래지로부터 내륙으로 30~50km 위치한다. 주변은 사탕수수밭과 논밭으로 둘러쌓여 있고, 생태교육장내에는 야자수, 파파야, 바나나 등 다양한 나무들과 꽃과 수초들이 형성되어 있으며, 3~4개의 작은 저수지(연못)가 한곳에 몰려 있고, 수련과 수초들이 연못에 가득차 있어, 오리류 등 다양한 철새들이 서식하는 곳이다. 초·중·고학생과 일반인들을 대상으로 철새 생태에 관한 교육장으로서, 야생조류의 사진과 함께 해당 조류의 특징을 설명한 안내판이 설치되어 있고, 철새탐조소가 4~5곳 구성되어 있다. 야생조류를 부화 및 육성보호와 철새전망대를 통해 야생조류의 조류종과 생태 등을 관찰하는 야생조류에 대한 산 교육장으로 8명의 직원들에 의해 운영되고 있었다.

철새이동상황 및 조류종 조사결과 오리류 등 월동조류가 일부 존재하고 대부분은 번식처인 몽골, 북중국, 시베리아, 알래스카 등 지역으로 2~3주전에 이동한 것으로 추정되며 여름철새인 중대백로, 제비 등이 다수 서식하고 있었다.

표 105. 타이난 생태보육교육장 철새도래지(저수지) 조류상 조사결과(2012.03.27.)

조류종	서식수수	비 고
물평	40수	일부 개체 복상예정 조류종 (대부분 복상하지 않고 이곳에서 서식할 것으로 추정)
쇠물닭	25수	
제비	100수	
논병아리	60수	
중대백로	5수	
5종	230수	



그림 202 타이난 생태보육교육장

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과 철새 수용력 평가에서 타이난 철새 보호육성장내 철새도래지는 충분한 수용력을 갖추고 있었다. 저수지(연못)내 많은 수초와 플랑크톤, 물고기 등 먹이가 풍부한 지역으로 타이난 철새보호육성 교육장내 철새도래지에서는 철새들이 타 지역으로의 이동보다 월동 초기부터 번식을 위해 떠나기까지 계속 서식하는 것으로 판단된다. 타이난 국립공원내 철새도래지와 마찬가지로 10월과 11월경에 월동을 위해 도래했다가 다음해 3월 중순경에 번식처로 이동하는 것으로 추정된다.

타이난 철새보호육성교육장 내 철새도래지는 야생조류의 부화 및 육추시설이 있어 야생조류종을 보호하기 위해 번식시키고 있었다. 타이난 철새보호육성교육장의 철새도래지 진입은 출입문이 설치되어 있고, 허락없이 자유로운 왕래는 차단되고 있었다. 3km는 가금사육농가가 없지만 30km 이내에는 가금사육농가가 많다. 주변과 30km이내에는 모내기 직전의 물이 있는 논과 저수지 및 소하천에 도요목 등 다양한 철새들이 여러 곳에서 서식하고 있었다.

(다) 타이난 백로 번식처

타이난 시내를 가로 지르는 하천의 고수부지와 인근 농가에 있는 각종 수목(맹그로브나무 등) 위에 집단으로 서식하고 있었다. 고수부지인 백로 번식처의 하천둑 위로 많은 조강객과 산책객들의 왕래가 많이 있지만 백로들이 사람들의 접근을 개의치 않고 서식하고 있었다. 타이난 시내를 가로지르는 하천의 폭은 직선으로 100m 정도였고, 하천 둑의 아래 고수부지와 강의 모래톱 등에는 수많은 수목과 수초들이 자라고 있고, 흐르는 많은 물과 물고기, 플랑크톤 등이 풍부하게 형성된 백로번식처였다. 백로번식처는 아래쪽에서 위쪽을 쳐다보는 형태의 우리나라의 번식처와 다르게 하천 둑 위에서 수목 위에서 휴식과 먹이를 섭취하는 형태를 쉽게 관찰할 수 있는 위에서 아래로 내려보는 형태의 백로 서식처이다.

철새이동상황 및 조류종 조사결과 중대백로, 중백로, 황로, 왜가리, 해오라기 등 여름철새들이 번식하고 있었다. 중대백로는 부리 기시부의 얼굴주변에는 붉은색에서 번식기에는 청색으로 변환하고 눈동자 주변은 적갈색으로 변화하고 있었다(여름철은 백색으로 변환). 중백로는 부리 기시부의 얼굴주변에는 번식기에는 연두색으로 변환하고 눈동자 주변은 붉은색으로 변화하고

있었다(여름철은 백색으로 변환). 황로는 번식기에 얼굴과 두부가 황색으로 변환되어 있고, 여름철이후 가을철에는 백색으로 변환된다.

표 106. 타이난 백로서식지 조류상 조사결과(2012.03.27.)

조류종	서식수수	비 고
쇠오리	8수	전 개체 복상 예정 조류종
쇠백로	250수	일부 개체 복상예정 조류종 (대부분 복상하지 않고 이곳에서 서식할 것으로 추정)
중백로	130수	
왜가리	40수	
황로	150수	
해오라기	200수	
6종	778수	



그림 203 타이난 백로 번식지

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과 철새 수용력 평가에서 백로 서식처 및 번식처로서는 최적의 환경조건을 갖춘 곳으로 충분한 수용력을 갖춘 곳이었다. 백로, 황로, 왜가리, 해오라기 등이 많이 서식하고 있고, 주변 환경조건들이 여름철새들이 장기간 충분히 서식할 수 있는 조건이었다.

백로 서식처는 일부 월동조류들이 서식할 수는 있는 환경조건은 갖추고 있었지만 오리류 등 월동조류의 대부분은 연안 습지 등에서 주로 서식한다. 조사 당시는 월동조류가 관찰되지 않았지만 동 지역에서 일부 겨울철새가 월동하였다면 번식처인 몽골, 북중국, 시베리아, 알래스카 등 지역으로 대부분 이동한 것으로 추정된다. 월동조류의 번식처 이동시기에 여름철새도 함께 일부 북쪽으로 이동한 것으로 추정된다.

타이난 시내의 백로서식처로서 백로, 황로, 중대백로, 중백로, 왜가리, 해오라기 등의 여름철새로서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로의 유입 가능성은 거의 없을 것으로서

판단된다. 일부 여름철새들이 번식을 위해 한반도 등 북쪽으로 이동할 가능성은 배제할 수 없지만 대부분 이들 지역에서 장기간 서식하는 것으로 판단된다.

(5) 가금사육농가 위험요인 조사

(가) 닭 사육농가 (양계장)

타이난의 연안지역을 벗어난 내륙방향으로 논농사 지역에 대부분에 위치하고 있다. 타이난 시내로부터 30~50km 지점에 20~30여 농가 이상이 위치하고 있는 대규모 양계(산란계) 단지이다. 대부분 3~5동 정도의 2층 또는 1층 축사로서 A형과 V형 케이지가 대부분이었고, 일부는 종계 등 일부 산란계는 평사였다. 양계농장은 대부분 주변이 논이었고, 또한 양식장 또는 저수지가 많이 위치하고 있었다.

철새이동상황 및 조류종 조사결과 타이난 국립공원에서 오리류 등 월동조류 들이 충분한 수용력을 갖추고 있어, 대부분 연안 습지 등에서 서식하고 있고 양계장 주변인 논밭으로는 접근하는 경우는 없었으며, 양계장의 인근 저수지와 양식장에는 여름철새인 중대백로, 쇠백로 등이 다수 서식하고 있었다.

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과 철새 수용력 평가에서 주변 환경조건은 철새들이 서식할 충분한 조건이지만 인근 타이난 국립공원이 있어 양계장 주변의 논가 등에서는 겨울철새들이 잘 관찰되지 않았다.

대부분 2모작으로 인해 도래하는 겨울철새가 도래하는 시기(10월~11월)가 추수시기(1월~2월)가 아니기 때문에 가금사육농가의 주변의 논에 낙곡을 섭취할 기회가 없고, 도래하는 조류종 대부분이 낙곡 섭취를 하는 조류종이 아니라 연안 습지에 서식하는 조류종이다.

대만으로 유입되는 겨울철새 대부분이 연안 습지인 타이난 국립공원 등에 주로 서식하며 가금사육농가와 타이난 국립공원 철새도래지와간 원거리에 있어 가금사육농가로 접근하는 겨울철새는 없는 것으로 판단되기 때문에 야생조류로 인한 직접적인 위험은 없는 것으로 판단된다. 벼농사 이모작 국가로서 모내기 및 추수기가 철새도래시기와 일치하지 않고, 대만으로 접근하는 철새종류가 대부분 낙곡을 섭취하는 종류보다 연안 습지의 물고기, 플랑크톤, 수초 등과 갯벌들에서 먹이를 주로 섭취하는 조류종이 많이 서식함으로써 양계장 주변의 논밭으로 접근하는 경우가 적다. 닭 사육농가들 대부분은 계사 주변에 울타리와 계사는 방조망이 설치되어 있고, 양계장 입구에는 차량 소독시설이 설치된 곳은 한곳도 없었다 타이난 지역의 양계장에 고병원성조류인플루엔자가 발생되었지만 방역지역에서의사람, 차량통제 등을 하는 통제초소와 이동지역 등을 확인하지 못했으나 발생농장(미공개)주변만 이동제한을 하는 것으로 추정한다.

(나) 오리 사육농가

타이난의 연안지역을 벗어난 저수지와 수로가 많고 수목들이 울창한 지역과 논밭 지역 등에 대부분 위치하며, 타이난 시내로부터 30~50km 지점에 오리농가들이 한곳에 집중되어 있지 않고 곳곳에 여러농가들이 분산되어 있었다. 대만의 오리농가 대부분은 친환경적으로 주변에 여러 개 또는 한개의 저수지(웅덩이)사이로 개방형 오리축사를 한가운데 또는 저수지 옆에 사료통과 함께 설치되어 있고, 오리를 오리축사에서 사육하지 않고 모두 방사하고 있었다. 저수지(웅덩이)의 주변은 평편하면서 완만한 경사를 가진 진흙바닥 또는 모래톱으로 된 하상에서 오리들이 대부분 휴식과 먹이를 섭취하고 있었다

타이난 국립공원 주변이 오리류 등 월동조류 들을 충분히 수용함으로서 대부분 연안 습지에서 서식하고 있고 오리사육농가 주변인 내륙의 논밭과 저수지 및 수로 등으로는 접근하지 않았으며, 오리 농가의 인근 저수지, 수로, 양식장 등에는 여름철새인 중대백로, 쇠백로 등이 다수 서식하고 있었다.



그림 204 타이난 오리농장

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과 주변 환경조건은 철새들이 서식할 충분한 조건이지만 서남해안지역에 타이난 국립공원이 있어 오리농가 주변의 논밭, 저수지, 양식장 등에서 겨울철새들이 잘 관찰되지 않았다.

대부분 2모작으로 인해 도래하는 겨울철새가 도래하는 시기(10월~11월)가 추수시기(1월~2월)가 아니기 때문에 가금사육농가의 주변의 논에 낙곡을 섭취할 기회가 없고, 도래하는 조류중 대부분이 낙곡 섭취를 하는 조류종이 아니라 연안 습지에 서식하는 조류종이다.

대만으로 유입되는 오리류 등 겨울철새 대부분이 연안 습지인 타이난 국립공원 등에 주로 서식하며, 오리사육농가와 타이난 국립공원 철새도래지와간 원거리에 있고, 대부분 오리를 개방형 오리축사에 방사를 하고 있지만 오리축사로 접근하는 오리류 겨울철새는 없는 것으로 판단되기 때문에 야생조류로 인한 직접적인 유입 위험은 없는 것으로 판단된다. 벼농사 이모작 국가로서 모내기 및 추수기가 철새도래시기와 일치하지 않고, 내만으로 접근하는 철새종류가 대부분 낙곡을 섭취하는 종류보다 연안 습지의 물고기, 플랑크톤, 수초 등과 갯벌들에서 먹이

를 주로 섭취하는 조류종이 많이 서식함으로써 오리사육농가 주변의 논밭, 저수지, 수로 등으로 접근하는 경우가 없었다. 오리농가의 입구에는 차량 소독시설이 설치된 곳은 없었으며, 타이난 지역의 양계장에 고병원성조류인플루엔자가 발생되었지만 방역지역에서의사람, 차량통제 등을 소독을 하는 통제소를 확인하지 못했고, 발생지역에 고병원성 조류인플루엔자 발생한 사실과 방역협조 안내문도 없었다.

(다) 재래시장

타이난 시내의 주요 시장인 영락시장, 수산공시장 등 3곳에 대한 가금과 가금육을 유통판매 상황에 대한 조사를 실시한 결과, 대부분 가금육과 계란 등이 판매되고 있고, 일부는 생닭이 판매되고 있었다. 대부분 시장은 쇠고기, 돼지고기, 가금육을 판매하는 정육점이 주로 한곳에 모여 있고, 일부는 정육점이 별도로 격리된 곳도 있었다. 우리나라의 상설재래시장의 생닭판매 장처럼 시장 내에서 직접 닭을 현장 도축하여 판매를 하고 있었다.



그림 205 타이난 재래시장 생축 가금류 판매장

라. 태국지역

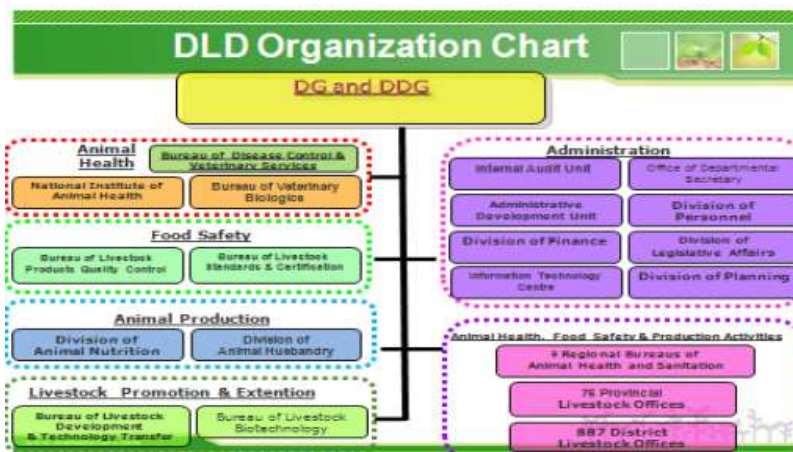


그림 206 태국의 가축방역조직

(1) 태국 공항의 동물검역 사항

태국공항 입국장은 휴대품에 대한 입국자 모두에게 검역을 하지 않고 입국자 중에서 세관원 및 검역관이 무작위로 선정하여 휴대품 검사 실시한다. 휴대품에 대한 동물검역에 대한 안내문이 별도로 없었고, 동물검역을 대상자에 한하여 실시하는 것으로 판단되었다. 입국자에 대하여 동물검역대상을 신고하도록 각종 홍보물이 설치되어 있었으며, 입국자의 휴대품에 대한 별도의 세관검색 또는 동물검역이 없었다. 입국장에 입국장에 대한 신발소독용 카펫트 또는 소독조 등이 설치되어 있지 않았다.

(2) 철새이동상황 및 조류종 조사사항

태국의 조류상을 분석한 결과, 태국은 인도차이나 반도 중앙부에 있는 나라로 열대몬순 기후이며 다양한 조류가 서식하고 있는 곳으로 알려져 있다. 전체 982종의 조류가 기록되어 있으며, 49종의 국제적 멸종위기종이 기록되어 있다. 태국은 우리나라에 도래하는 여름철새의 월동지이며, 일부 북상하는 겨울철새가 국내를 거쳐 번식지로 이동하는 곳으로 알려져 있다.

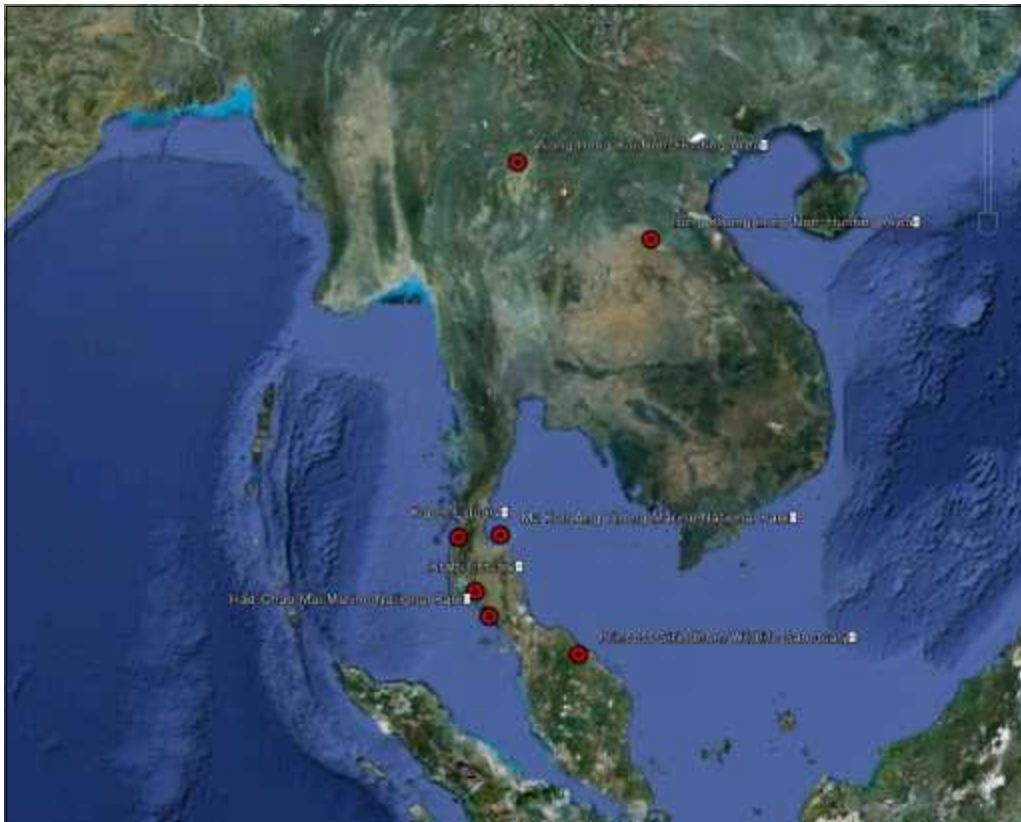


그림 207 태국의 주요 조류 서식지별 위치도

Bung Khong Long Non-Hunting Area는 태국에서 가장 큰 호수중의 하나로 규모는 약

2,214ha 이며 이 지역은 멸종위기에 처한 조류 및 어류가 서식하는 지역으로 겨울철새 33여종이 서식하는 지역이다. 특히 국제적멸종위기종 *Aythya baeri* 의 도래지로 알려져 있다.

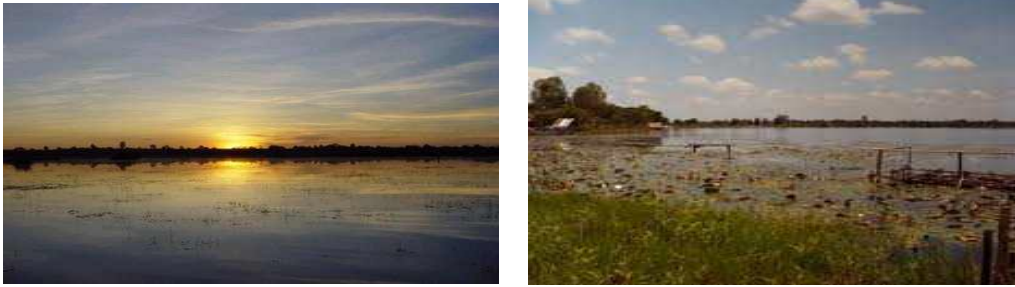


그림 208 Gung Khong Long Non-Hunting Area의 전경

Had Chao Mai Marine National Park은 약 66,313ha의 규모의 국립공원으로서 모래해변, 바위해안, 갯벌, 산호초, 해변식물들이 있는 습지 생태계를 이루고 있으며, 이 지역에서 국제적 멸종위기종 뿐만 아니라 약 212종의 조류가 서식하고 있는 것으로 알려져 있다.



그림 209 Had Chao Mai Marine National Park의 전경

Kaper Estuary는 122,046ha 규모의 생물권보호구역이며, 태평양 지역에서 가장 큰 규모의 맹그로브 숲으로 알려져 있다. 모래해변, 바위해안, 갯벌, 산호초, 해변식물들이 있는 습지 생태계를 이루고 있다.



그림 210 Kaper Estuary의 전경

Krabi Estuary는 모래와 맹그로브숲 그리고 갯벌 등으로 이루어져 있는 해안가로 약 221종의 조류가 서식하고 있는 곳으로 알려져 있다. 철새의 동남아시아 이동경로상 중간기착지 및 월동지로서 중요한 위치에 있으며, 다양한 철새들을 확인할 수 있는 지역이다.



그림 211 Krabi Estuary의 전경

Nong Bong Kai Non-Hunting Area는 메콩강의 유역권으로 중요한 자연형 습지로 알려져 있다. 다양한 철새 들이 도래하는 지역으로 특히 국제적으로 멸종위기에 처한 54종의 조류가 서식하는 지역으로 알려져 있다.



그림 212 Nong Bong Kai Non-Hunting Area의 전경

Mu Koh Ang Thong Marine National Park는 42개 섬으로 이루어진 코사무이의 북서부에 위치한 지역이다. 거대한 석회암 바위와 독특한 동굴 등이 어루어진 해안 국립공원으로 텃새와 철새(물새류)의 주요 서식지로서 중요한 역할을 하고 있으며, 특히 3-10월 경 흰죽지류의 도래지로 알려져 있다.



그림 213 Mu Koh Ang Thong Marine National Park

Princess Sirindhorn Wildlife Sanctuary (Pru To Daeng Wildlife Sanctuary)는 20,100ha 규모의 태국 최대의 늪지대로 알려져 있다. 약 217종의 조류가 서식하고 있는 것으로 알려져 있으며 조류 서식지로서 중요한 역할을 수행하고 있는 지역이다.



그림 214 Princess Sirindhorn Wildlife Sanctuary (Pru To Daeng Wildlife Sanctuary)

(3) 태국 주요 철새도래지 현장 방문조사

(가) 태국 연안 습지 철새도래지

태국의 방콕으로부터 서쪽지역의 100km~200km해안선에 위치하며, 바다와 강의 수로에 수상가옥들 집단으로 형성된 논농사와 양식장 지역이다. 야생원숭이들이 많이 서식하는 수상가옥이 있는 해안마을로서 일부 마을에는 규모화된 양계장이 있다.

철새이동상황 및 조류종 조사결과, 대부분 겨울철새들은 이동하고 일부 겨울철새들이 논농사 지역에는 서식하고 있었으며, 겨울철새와 여름철새가 함께 수로와 해안습지 및 양식장에서 주로 서식하고 있었다

표 107. 태국 연안습지 철새도래지 조류상 조사결과(2012.03.30.)

조류종	서식수수	비 고
도요류	200수	전 개체 복상 예정 조류종
쇠백로	200수	일부 개체 복상예정 조류종 (대부분 복상하지 않고 이곳에서 서식할 것으로 추정)
중대백로	70수	
쇠물닭	20수	
개평	150수	
왕눈물떼새	200수	
갈매기류	400수	복상하지 않는 조류종
흰날개 해오라기	80수	
8종	1,320수	

태국의 해안선은 습지와 수로와 양식장 및 염전이 잘 발달되어져 겨울철새 들을 충분히 수용할 수 있는 환경조건을 갖추고 있었다. 이곳 남서쪽 연안으로 유입되는 겨울철새들이 한국과 달리 오리류는 적고, 도요새 등 다른 종류들이 많이 서식하고 있으며, 월동조류 대부분이 오리류보다 도요새 종류들이 많이 서식하고 있고 낙곡을 섭취하는 오리류 월동조류의 서식은 드물었다.

월동조류 도래시기를 보면, 태국은 대부분 2모작, 일부 지역은 3모작까지 하는 경우가 있다. 조사 당시에도 일부 지역은 모내기를 준비하고 있고, 다른 논에는 모내기가 끝난 상태였으며, 모가 자라는 크기가 제각기 달랐고, 일부 지역은 추수 후 벼짚을 수확하고 있었다. 월동조류의 태국 유입시기는 10월~12월경에 유입되는 것으로 추정, 다음해 3월에서 4월사이에 월동조류들이 복상하는 것으로 추정된다.

철새도래지 진입로에 대한 소독 등 특별한 방역조치가 없었으며, 철새도래지에 대한 방역홍보물 등이 없었다.



그림 215 태국 연안 습지철새도래지

(나) 태국 국립 철새도래지 (도요새)

태국 국립공원 철새도래지로서 해안선에 위치하면서 대규모 염전단지 내에 위치하고 있으며, 해안선을 따라 계속되는 대규모 염전지역(반경 50km이상)내 곳곳에 도요류가 서식하고 있었다. 염전지대의 플랑크톤과 주변 수로의 수초와 물고기 등을 먹이를 섭취하면서 서식하며, 국립철새도래지 도요새 전망대에는 다양한 도요류 등이 겨울철내내 다량 서식한다. 서식하던 도요류가 시베리아, 알래스카 등 지역으로 2~3주전에 많이 이동한 것으로 추정되며, 잔류하고 있는 도요류는 조만간 4월경 북상할 것으로 추정된다.

표 108. 태국 팍탈레(Pak Thale) 철새도래지 조류상 조사결과(2012.03.30.)

조류종	서식수수	비 고
학도요	15수	전 개체 북상 예정 조류종
흑꼬리도요	250수	
기타 도요류	3,000수	
흰물떼새	250수	일부 개체 북상예정 조류종 (대부분 북상하지 않고 이곳에서 서식할 것으로 추정)
장다리물떼새	400수	
개평	600수	
왜가리	15수	
중대백로	20수	
쇠백로	50수	
흰날개 해오라기	20수	
10종	4,620수	

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과 태국 국립 도요새 철새도래지는 넓은 염전지대내 충분한 수용력을 갖추고 있었다. 염전지대의 풍부한 플랑크톤과 인근 수로의 수초 등 먹이가 풍부한 지역으로, 태국 국립 도요새 철새도래지에서는 철새들이 타 지역으로의 이동보다 월동 초기부터 번식을 위해 떠나기까지 계속 서식하는 것으로 판단된다. 월동조류 도래시기는 태국 국립 도요새 철새도래지와 마찬가지로 10월과 11월경에 월동을 위해 도래했다가 다음해 3월과 4월경에 알래스카 등 지역으로 이동하는 것으로 추정된다.

태국 국립 도요새 철새도래지 인근에는 소규모 가금사육농가가 곳곳에 산재해 있었으며, 소규모 가금사육농가는 판매보다 축주가 식용목적으로 사육하는 것으로 추정된다.



그림 216 태국 국립도요새 철새도래지

(다) 태국 논농사지역

태국 국립 철새도래지인 해안으로부터 반경 50km~100km 내륙지역의 논과 밭에 서식하는 철새를 조사하였으며, 논농사 지대는 모내기를 준비하는 곳과 모내기 후 모가 자라고 있는 곳과 추수후 벗짚 수확 등으로 여름철새들이 대부분 서식하고 있었다.

철새이동상황 및 조류종 조사한 결과 중대백로, 중백로, 황로, 왜가리 등 여름철새 들이 번식하고 있었다.

표 109. 태국 논농사지역 조류상 조사결과(2012.03.30.)

조류종	서식수수	비 고
황로	300수	일부 개체 복상예정 조류종 (대부분 복상하지 않고 이곳에서 서식할 것으로 추정)
논병아리	50수	
중대백로	20수	
왜가리	35수	
쇠물닭	6수	
황새류	4수	복상하지 않는 조류종
6종	415수	

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과 논에는 여름철새인 백로들이 서식할 수 있는 최적의 환경조건을 갖춘 곳으로 충분한 수용력을 갖춘 곳이다. 오리류인 월동조류 들은 2모작과 3모작 등으로 인해 월동조류가 서식할 수용력은 부족하다. 월동조류의 10월과 11월경 도래한 후 다음해 3월과 4월경에 오리류 겨울철새들은 복상한 것으로 추정된다. 태국 연안 습지주변과 내륙의 논농사지역에는 가금농가가 드물었으며, 소규모 방사형 가금사육농가는 다수 존재한다.



그림 217 논농사 지역 추수와 모내기철 (이모작) 황새류

(4) 가금사육농가 위험요인 조사

(가) 닭 사육농가 (양계장)

태국 연안습지와 철새도래지 주변의 논농사 지역인 마을에 대부분에 위치하며, 염전, 양식장, 저수지 등으로 대규모 없고, 소규모 양계장이 대부분 존재한다. 1층 축사로서 A형과 케이지로서 산란계 사육농가와 축주가 식용으로 사육하는 방사형 가금 축사가 다수 존재한다.



그림 218 철새도래지 주변 소규모 닭 사육 농가

소규모 양계장의 주변은 염전, 양식장, 저수지 등이 있고, 겨울철새인 도요류와 여름철새인 중대백로, 쇠백로 등이 다수 서식하고 있었다. 전 개체 북상예정 조류종은 도요류 500수, 일부 개체 북상예정 조류종은 중대백로 40수, 쇠백로 30수, 왜가리 10수가 있었다.

철새도래지에 대한 위험요인 및 방역조치사항 분석결과, 태국 연안습지 및 국립철새도래지(도요새)에서 도요새 등 월동조류 들이 충분한 수용력으로 대부분 연안 습지와 염전지대에서 서식하고 있고 방사형 가금축사 주변은 염전과 소하천 및 수로 등이 있어 철새서식조건은 충분하였다. 주변 환경조건은 철새들이 서식할 충분한 조건이지만 태국 연안습지와 국립철새도래지(도요류)에서는 양계장 주변에는 겨울철새인 도요류외는 관찰되지 않았다.

대부분 2모작 또는 3모작을 하고 월동조류 도래시기에 낙곡을 섭취할 겨울철새가 드물고, 주변이 추수기에 낙곡이 발생할 시간적인 여유가 없이 2모작 및 3모작이 시작되기 때문에 오리

류 겨울철새 접근은 거의 없다. 10월과 11월경 도래하여 다음해 3월과 4월경 북상하는 것으로 추정된다. 규모화된 양계장은 양계장 주변이 울타리가 설치되어져 외부인 출입이 철저히 통제되고 있었으며, 원숭이마을의 경우는 원숭이 등 야생동물이 양계장으로 접근할 수 없도록 양계장 주변에 울타리와 계사내 철제울타리가 2중으로 설치되어져 사람과 야생동물이 접근하는 것을 철저히 차단하고 있었다. 소규모 방사형 계사인 경우는 간이 그물이나 철망으로 울타리가 설치되어 있으나 야생동물이나 야생조류가 접근이 용이하였다.

(나) 재래시장

끄렁띠이(Khlong Toei) 재래시장에는 태국의 수도 방콕에서의 가금류(닭, 오리 등) 생축의 최대 상설 재래시장으로서 70~100여개 이상의 판매소가 있다. 상설 재래시장 가금류 생축 판매소에서 탈모기가 설치되어 있어 현재에서 즉시 도축하여 도계육, 도축오리육 등 가금육을 현장에서 비위생적으로 도축판매하고 있었다. 도계육 및 도축오리육과 계란 및 오리알 등을 판매하는 곳이 100~120여 개소 이상이 산재해 있으며, 쇠고기, 돼지고기 정육점도 100여 개소 이상이 곳곳에 산재해 있다. 태국의 방콕에 있는 코리아타운과 택시로 5분~10분 이내 거리에 있으면서 태국 최대의 재래시장 중에 하나로서 자국민 외에도 많은 재 태국 한국인과 관광차 온 한국인과 외국인들이 많이 찾는 시장이다.

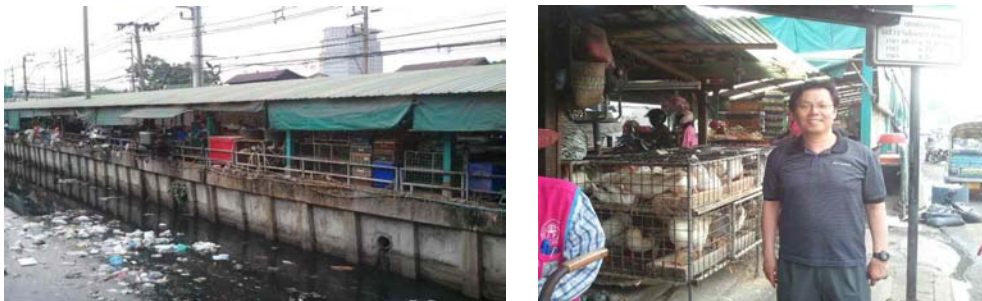


그림 219 상설재래시장의 생축 가금류 판매장

태국의 수도인 방콕에서 주요 재래시장 중에 하나로서 많은 사람들이 물품 구입 또는 쇼핑 차원에서 왕래가 잦은 곳으로서 가금류 생축상설판매소로부터 조류인플루엔자 바이러스 항원과 직간접 접촉 가능성이 상존하는 시장이었다. "끄렁띠이 재래시장"은 재 태국 교민 및 한국인관광객과 외국인들도 마찬가지로 많이 출입하는 곳으로서 가금류 상설 재래판매소를 방문하는 과정에서 재래시장바닥의 분변 등과 직·간접적으로 접촉 시 조류인플루엔자 바이러스 항원과의 접촉 가능성이 존재하고, 이들 분변과 접촉 직후 국내로 입국 시에 분변에 접촉된 산발 등으로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 유입될 가능성이 있다.

짜뚜착(Jatuchak) 재래시장은 태국으로 방문하는 한국인관광객과 외국인관광객이 각종 기념품 구입과 각종 태국음식을 맛보면서 쇼핑을 할 수 있는 최대의 재래시장으로서 많은 관광객

이 찾는 곳으로, 태국의 수도 방콕에서의 반려동물(애완견, 애완조류, 이구아나 등)과 수생동물이 판매되는 최대 상설 재래시장으로서 70~80여개 이상의 판매소가 있다. 상설 재래시장내에는 반려동물인 개, 토끼, 기니피그, 햄스터 등을 전문으로 판매하는 곳과 앵무새, 카나리아, 구관조 등 다양한 애완조류와 이구아나 등 파충류와 수족관등에는 관상어, 거북 등 수생동물 등이 다양하게 판매되고 있었다. 태국 최대의 애완조류 전문 판매장으로서 앵무새, 카나리아, 구관조, 기타 애완조류들이 많이 판매되고 있고, 주변 도로에 차량 정체시에 애완조류가 들어있는 작은 조류상자를 들고 판매를 하고 있다. 태국에서 국내로 밀반입되는 앵무새, 카나리아, 구관조 등 대부분의 애완조류가 "짜뚜착(Jatuchak) 재래시장"의 애완 조류 판매 및 유통상인들과 많이 연결될 것으로 추정된다.

태국의 수도 방콕에서 외국인관광객과 한국인관광객이 가장 많이 찾는 전통 재래시장 으로서 많은 사람들이 각종 기념품 구입 또는 쇼핑차원에서 왕래가 잦은 곳으로, "짜뚜착(Jatuchak) 재래시장은 애완조류의 최대 판매유통시장으로서 애완조류 판매자와 구입자들의 왕래가 잦기 때문에 조류인플루엔자 발생국인 태국의 가금류 사육농장으로부터 조류인플루엔자가 이곳으로 언제든지 유입될 수 있고, 또한 "끄렁띠이 재래시장" 처럼 태국 내의 많은 가금류 생축 판매시장과의 위험요소가 상호전달될 가능성 상존한다. 국내로 밀반입되는 고가의 애완조류(앵무새, 카나리아, 구관조 등)가 이곳 "짜뚜착(Jatuchak) 재래시장처럼 애완조류 판매시장 등으로부터 구입된 애완조류가 국내로 밀반입되는 과정에서 "끄렁띠이 재래시장"처럼 가금류 생축 또는 도축담과 오리육이 국내로 직접 반입될 가능성은 없지만 조류인플루엔자의 감수성 가축인 애완조류가 직접 밀반입 될 경우는 조류인플루엔자가 국내로 유입 위험도가 가장 높다.



그림 220 관상용 애완조류 판매장

(다) 사원 및 도로정체구간의 가금류 판매

태국 궁전 또는 사원 등 관광지과 교통 정체구간에서 투게 및 앵무새 등을 가금류를 일상적으로 판매하고 있었다. 가금류 중 닭이 불교국가인 태국에서 기복불교의 상징적인 존재로서 각 가정에서 관상용 애완조류를 많이 사육하는 것으로 판단된다.



그림 221 왕궁 및 사원 등 관광지에서 투계 판매

마. 주변국 4개국과 우리나라 HPAI 발병 위험요소 분석결과

(1) 주변국의 철새도래지의 위험요소 분석결과

우리나라와 주변국인 몽골, 중국(북중국), 대만, 태국의 주요 철새도래지에 대한 현장 조사를 실시하였다. 조사시기는 몽골 및 중국(북중국)은 우리나라로 철새가 월동을 위해 국내로 처음으로 유입되는 시기이면서 이들 지역에서 남하하는 시기인 9~10월경에 초점을 맞추어 철새들의 이동경로와 조류상을 조사하였고, 또한 대만 및 태국은 월동조류와 여름철새가 번식을 위해 우리나라로 처음으로 유입되는 시기이면서 북상하는 시기인 3~4월경을 택하여 현지 방문조사를 실시하였다. 그리고 우리나라는 주요 철새도래지에 대하여 지속적으로 철새이동상황 및 조류상 조사를 실시하였다.

표 110. 주변국의 철새도래지의 위험요소 조사결과 분석 비교 (주변국의 철새도래지에 대한 위험요소 분석결과는 현지 방문 조사한 철새도래지에 한함)

구분		한국	몽골	중국(북중국)	대만	태국
철새서식조건		양호	양호	양호	양호	양호
철새수용력		충분	충분	충분	충분	충분
서식 조류종		다양	다양	다양	다양	다양
주요 조류종		오리류 도요류	오리류	오리류, 도요류	오리류, 도요류	도요류
법씨 등 낙곡 섭취 주요 조류종 서식밀도 (가금농가 접근 조류종)		가장 많음	가장 많음 (낙곡 섭취 곤란 지역)	중등도	미약	미약
월동조류 유입/납하시기		9월중순 ~10월초 (국내 첫 유입시기)	8월말 ~9월초 (월동조류 납하시점)	9월초 ~9월중순 (월동조류 통과시점)	10월말 ~11월초 (대만 첫 유입시기)	10월말 ~11월초 (태국 첫 유입시기)
월동조류 복상시기	국내 서식 월동조류 복상시기	3월중순 ~5월초순	4월말 ~6월초	4월말 ~5월말	3월초 ~4월말	3월초 ~4월말
	복상과정 월동조류 국내 통과시기	3월말 ~5월중순	(월동조류 복상시점)	(월동조류 통과시점)	(월동조류 복상시점)	(월동조류 복상시점)
여름철새 유입/복상시기		3월말 ~6월말	5월중순 ~7월초순	4월말 ~6월말	4월초순 ~6월초순	4월초순 ~6월초순
조류인플루엔자 오염도		아주 높음	아주 높음	높음	중등도	중등도
철새도래지 간 가금사육농가간 거리별 위험도		아주 높음	없음	없음	미약	높음
조류인플루엔자 발병 위험도 (종합 분석결과)	철새	매우 높음	매우 높음	높음	중등도	중등도
	가금 사육 농가	매우 높음	미약	미약	미약	높음

우리나라를 포함한 주변 4개국에 대한 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요소를 분석하기 위하여 현장 방문조사를 한 철새도래지에 대한 10개 항목 이상에 대하여 각종 주요 위험요인을 평가한 결과, 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요인을 비교 평가한 주변 4개국보다 우리나라에서 고병원성조류인플루엔자 발병 위험도가 월등히 높다는 것을 알 수 있었다.

우리나라의 철새도래지로 유입된 월동조류 중 고병원성조류인플루엔자 바이러스에 잠복감염 가능성이 높은 조류종인 오리류의 서식이 가장 많았다. 또한 이들 오리류가 가금사육농가들이 밀집되고 있는 소하천 및 저수지 등에서 많이 서식하고 있으며, 이들 철새들이 국내로 유입되는 시기가 가을철 추수기이기 때문에 가금사육농가 주변에 낙곡들이 많아 오리류들이 풍부한 먹이로 인해 월동조건이 양호하여 월동조류가 축사 주변으로 쉽게 접근을 하고 있다. 그러나 몽골의 경우는 전통적으로 양고기, 쇠고기, 말고기 등으로 선호하고 있고, 최근 우리나라와 교류를 많이 하는 과정에 맥주와 통닭 등을 좋아하게 되면서 철새도래지와 무관한 지역인 몽

골 수도인 울란바트 주변에 일부 양계장이 생기고 있는 실정이다. 몽골의 철새도래지는 넓은 초원과 호수 등에서 번식을 하기 때문에 철새들이 양계장으로 접근할 이유가 전혀 없다. 다만 일부 농가에서 야생오리를 포획하여 야외사육하는 하는 경우가 있지만 철새도래지와는 원거리로서 발병 위험이 거의 없고, 철새도래지내에서 서식하는 철새에서는 고병원성조류인플루엔자가 발생할 수가 있다.

그리고, 북중국의 경우에는 월동조류들이 남중국과 우리나라 등에서 월동을 하기 위해 잠시 체류형태로 서식하는 경우가 있지만, 월동조류가 남하하는 시기에는 북중국 주변은 몽고처럼 위도가 높아 장기적인 서식보다는 통과새로서 철새도래지에서 잠시 머물다가 남하하고 있고, 대부분 연안 습지와 저수지, 강, 호수 등에서 머물다가 남하하는 것으로 알려져 있다.

또한 대만의 경우는 대부분 철새도래지가 연안습지와 염전, 양식장 등에 주로 있고, 서식하는 철새도래지와 주변의 풍부한 서식환경조건으로 인해 철새의 수용력이 충분하며 타 지역으로의 이동이 거의 없고, 주로 서식하는 조류종들이 연안습지, 염전, 양식장 등에서 갯벌을 저어서 먹이를 섭취하는 저어새의 세계적인 도래지로서, 낙곡을 섭취하는 오리류보다 수초, 플랑크톤, 물고기 등을 섭취하는 조류종이기 때문에 내륙의 가금사육농가 주변의 논밭으로 접근하는 경우가 거의 없었다. 그리고 산란계농장 등은 철새가 접근할 수 없도록 농장 주위는 울타리가 설치되어 있고, 더운 지역임에도 불구하고 축사들은 하부는 윈치커튼이 설치되어 있고, 상부는 개방되어 있었다. 그러나, 오리사육농가의 경우는 친환경적으로 연못을 중심으로 개방형 축사에서 오리는 방사하고 있고, 농장 주변은 울타리를 쳐서 야생동물의 접근은 차단하고 있었지만 야생조류에 대한 방조망은 설치되어 있지 않았다. 이 처럼 대만 지역은 논밭에서 오리류의 겨울철새를 목격할 사례는 없는 것으로 파악되었다.

태국의 경우는 대만처럼 철새도래지들이 연안습지에 대부분 위치해 있고, 주변이 광활한 염전지대와 주변 저수지 등에서 철새들이 서식하고 있었다. 태국의 철새도래지에 서식하는 주요 조류종은 도요새로서, 세계적인 도요류의 서식처답게 염전지역의 곳곳에서 많은 도요류가 서식하고 있었다. 도요류 서식처 주변의 민가에서는 소규모로 토종닭을 방사하는 농가가 많이 있었다. 과거 우리나라 60~70년대처럼 목책으로 된 울타리에 10여두 미만의 돼지와 닭들을 철새도래지 주변에서 사육하고 있었다.

따라서, 우리나라와 주변 4개국의 철새도래지에 대한 위험요소를 평가한 결과 우리나라에서의 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험도가 가장 높았다. 그러나, 아시아-오스트렐리아 철새 이동경로상에 있는 일본, 홍콩, 필리핀, 베트남, 라오스, 캄보디아 등 지역과 우리나라를 통과하여 남하한 오리류의 최대 월동지인 남중국에 대한 추가적인 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요소에 대한 조사가 필요하다. 그리고, 철새에 대한 조사가 시기별 위험요인이 크게 달라지기 때문에 주변 4개국의 조사시점이 우리나라로 철새들이 유입되는 시기를 전후로 본 연구가 수행되었지만, 향후에는 철새도래지에서 최대로 서식하는 시기인 번식과 월동시기에 대한 현지 방문조사가 필요한 것으로 사료되었다.

(2) 주변국의 가금사육농가의 위험요소 분석결과

우리나라와 주변국인 몽골, 중국(북중국), 대만, 태국의 가금사육농가에 대하여 철새도래지 주변농가에 대하여 철새로부터의 고병원성조류인플루엔자가 가금사육농가로 유입될 수 있는 각종 위험요인을 조사 분석을 하였다.

우리나라를 포함한 주변 4개국의 철새도래지로부터의 위험요소 유입에 의한 가금사육농가에서의 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요소를 분석하기 위하여 현장 방문조사를 한 가금사육농가에 대하여 축종별 및 품종별 12개 항목 이상에 대하여 각종 주요 위험요인을 평가한 결과, 가금사육농가에서의 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요인을 비교 평가한 주변 4개국보다 우리나라에서 고병원성조류인플루엔자 발병 위험도가 매우 높다는 것을 알 수 있었다. 우리나라로 유입된 월동조류 중 가장 많은 조류종인 고병원성조류인플루엔자 바이러스에 잠복감염 가능성이 높은 오리류들의 서식이 가장 많았다. 또한 이들 대부분의 월동조류는 논밭에서 낙곡을 섭취하는 조류종으로서 가금사육농가들이 많은 소하천 및 저수지 등에서 많이 서식하고 있었다. 그리고, 이들 월동조류들이 월동하는 겨울철에 가을철 추수기에 발생된 낙곡들을 섭취하면서 월동을 하고 있는 과정에서 논밭에서 배설한 조류인플루엔자 바이러스에 오염된 철새 분변이 직·간접적으로 야생조수류 및 인적·물적자원들과 접촉한 후 가금사육농가로 왕래하는 과정에서 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입되고 있다.

그러나, 몽골의 경우는 가금사육농가도 거의 없고, 최근 가금사육농가가 일부 생겼지만 도심 주변에 있고, 철새도래지와는 원거리에 있기 때문에 철새로 인한 가금사육농가로의 위험요소 유입 가능성은 거의 없고, 다만 일부농가에서 소규모로 포획한 야생오리류를 사육하는 과정에서 조류인플루엔자의 오염원이 가금사육농가로 유입될 가능성은 있지만, 발병 가능성은 거의 없었다.

또한 북중국의 경우에는 월동조류들이 남중국과 우리나라에서 월동을 하기 위해 남하하는 과정에서 잠시 체류 서식하는 통과새로서 철새도래지를 벗어나 원거리에 있는 가금사육농가로 겨울철새들이 접근하는 경우는 거의 없다.

그리고 대만의 경우에도 대부분 철새도래지가 연안습지와 염전, 양식장 등에 주로 있고, 주로 서식하는 조류종이 대부분 낙곡섭취보다 갯벌과 염전 등에서 플랑크톤, 물고기 등을 섭취하기 때문에 가금사육농가가 밀집된 논밭으로 접근하는 경우가 거의 없고, 특히 오리농가의 경우는 오리류의 월동조류가 서식할 수 있는 좋은 서식환경조건을 갖추고 있으나, 철새도래지와 원거리에 있는 오리사육농가로 오리류의 월동조류 등이 접근하는 경우는 없었다.

그리고, 태국의 경우에도 철새도래지들이 연안습지에 대부분 위치해 있고, 주변이 염전지대로서 규모화된 가금사육농가가 거의 없고, 대부분 야외 사육하는 소규모 토종닭 사육농가들이 다소 있었다. 이와 같이 야외사육하는 토종닭 사육농가로의 유입 위험요소 외는 별다른 위험요소는 없었다.

따라서, 우리나라와 주변 4개국의 가금사육농가들에 대한 위험요소를 분석한 결과에서도 우

리나라가 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요소가 가장 많았고, 특히 가금사육농가로 월동 조류가 접근하는 경우는 우리나라가 유일한 국가였었다.

표 111. 주변국의 가금사육농가의 위험요소 조사결과 분석 비교 (주변국의 철새도래지에 대한 위험요소 분석결과는 현지 방문 조사한 철새도래지에 한함)

구분		한국	몽골	중국(북중국)	대만	태국
철새도래지 주변의 가금사육농가 밀집도		밀집	없음	없음	희소	희소
철새도래지 인접 야외 가금사육(방사) 유무		다소 존재	없음	없음	없음	다소 존재
가금사육농가의 주요 가금의 종류		오리, 닭, 메추리 등	야생오리 야외사육	오리, 닭	오리, 닭	오리, 닭 등
철새도래지 30km이내 닭 농장	산란계	많이 존재	없음	없음	다소 존재	다소 존재
	육계	많이 존재	없음	없음	다소 존재	다소 존재
	종계	많이 존재	없음	없음	다소 존재	없음
	부화장	다소 존재	없음	없음	다소 존재	없음
철새도래지 30km이내 오리 농장	육용오리	많이 존재	없음	없음	다소 존재	없음
	종오리	많이 존재	없음	없음	다소 존재	없음
	부화장	다소 존재	없음	없음	다소 존재	없음
가금사육 농가의 지리적 환경조건	철새도래지 30km이내	바다, 산, 강, 소하천, 저수지, 논밭, 도심, 공장, 과수원 등	강, 소하천, 산, 초원	바다, 강, 저수지, 소하천, 도심	바다, 염전, 저수지, 논밭, 수로, 과수농장	바다, 염전, 강, 수로, 논밭
	가금농가 1km 이내 환경조건	대부분 논과 밭, 그 외 소하천, 저수지	도심, 강, 산, 소하천	강, 저수지, 소하천	주로 논과 밭, 그 외 저수지, 소하천	논, 밭, 저수지, 소하천, 바다, 염전,
가금농가 방역조치	농장 주변 울타리 설치	일부 설치	미 설치	미 설치	설치	설치
	가금사육축사 울타리 또는 방조망 설치	일부 설치	미 설치	미 설치	일부 설치	일부 설치
	농장 출입구 소독시설 설치	일부 설치	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치
닭 농가 축사형태	산란계	대부분 케이지, 비 개방형	없음 (계란 수입)	케이지 및 방사, 비 개방형	케이지 및 방사, 비 개방형	케이지 및 방사, 비 개방형
	육계	평사, 비 개방형	거의 없음	평사, 개방 및 비 개방형	평사, 개방 및 비 개방형	평사, 개방 및 비 개방형
	종계	평사, 비 개방형	없음	평사, 개방 및 비 개방형	평사, 개방 및 비 개방형	평사, 개방 및 비 개방형
	토종닭	평사, 개방형, 비개방형	없음	평사, 개방형(방사)	평사, 개방형(방사)	평사, 개방형(방사)
오리농가 축사형태	육용오리	평사, 비 개방형	없음	평사, 주로 개방형	평사, 주로 개방형	평사, 주로 개방형
	종오리	평사 비 개방형	없음	평사, 주로 개방형(방사)	평사, 주로 개방형(방사)	평사, 주로 개방형(방사)
논농사 형태		1모작	없음	1모작	2모작	2~3모작
가금농가 주변 철새 출현여부	월동조류	많이 출현	미 출현	미 출현	미 출현	미 출현
	여름철새	많이 출현	미 출현	미 출현	출현	출현
	나그네새 (통과새)	많이 출현	미 출현	미 출현	미 출현	미 출현
철새로부터 HPAI 가금사육농가 유입 위험도		가장 높음	가장 낮음	중등도	낮음	높음

(3) 주변국의 상설재래시장의 위험요소 분석결과

우리나라와 주변국인 몽골, 중국(북중국), 대만, 태국의 주요 상설재래시장에 대한 현장 조사를 실시하였다. 조사 시기는 이들 나라에 대한 철새이동시기 및 조류상 조사시기와 가금사육농가를 조사하는 시기가 동일한 시점에서 수행되었다.

우리나라를 포함한 주변 4개국의 상설재래시장에 대한 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요소를 분석하기 위하여 현장 방문조사를 한 상설재래시장에 대한 11개 항목 이상에 대하여 각종 주요 위험요인을 평가한 결과, 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요인을 비교 평가한 주변 4개국 중에서 우리나라와 태국의 재래시장이 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험도가 가장 높았고, 그 다음이 중국(북중국)과 대만이였다. 그러나, 고병원성조류인플루엔자를 제외한 구제역의 발병 위험요소는 몽골이 가장 높았고, 그 다음이 중국(북중국), 태국, 대만 순이였다.

우리나라의 상설재래시장은 지역별 크게 차이를 보이며, 전남 광주·나주지역이 토종닭과 오리 등의 가금류 생축을 현장에서의 자가 도축을 많이 하고, 가장 판매업소가 많은 곳이며, 그 외 전북, 충남, 경기, 부산, 울산, 경북 등의 상설재래시장과 5일장 등의 재래시장에서 전남지역과 마찬가지로의 형태로 자가 도축판매를 하고 있다. 또한 상설재래시장을 통한 고병원성조류인플루엔자의 발생 사례가 많이 있으며, 몇 년전부터 국가방역사업의 일환으로서 매년 주기적으로 상설재래시장에 대한 조류인플루엔자 오염여부를 지속적으로 실시하고 있다.

그러나 몽골의 경우는 가금류를 사육하는 농가가 거의 없고 일부 사육농가는 산란계이기 때문에 가금류 생축을 상설재래시장에서 자가도축하는 경우는 없으며, 다만, 외부에서 수입된 가금육과 계란 등을 판매하고 있다. 또한 몽골의 경우는 양고기, 쇠고기, 말고기, 낙타고기 등이 많이 판매되고 있어 구제역에 노출될 가능성을 배제할 수 없다.

그리고, 중국의 북쪽지역에 해당되는 수도 베이징의 경우에는 재래시장이 크고, 가금류의 생축이 현장에서 자가도축되는 경우도 일부 있지만, 대부분 베이징 올림픽과 월드컵개최이후 도축된 가금육과 계란 등을 판매하는 경우가 많았다. 그러나, 내몽골 자치구 등으로부터 유입되는 양고기, 쇠고기 등이 구제역에 오염될 경우에는 국내로 유입될 가능성이 매우 높은 지역이였다. 또한 최근 한국인들의 관광객들이 중국을 많이 방문하는 과정에서 상설재래시장을

자주 방문하고 있기 때문에 병원체에 오염원과 접촉된 신발과 의복류를 통해 국내로 구제역과 조류인플루엔자 등이 상시 유입될 가능성이 있다.

대만 타이난의 경우는 상설재래시장 3곳에서 가금류를 현장에서 자가 도축을 하고 있었지만 규모는 작았고, 가금육과 계란 등이 많이 판매되고 있었지만, 한국인 및 외국인관광객이 방문이 적은 곳으로서 4개국 중에서 조류인플루엔자 및 구제역의 유입 위험요소는 가장 낮았다.

태국의 경우에는 상설재래시장이 전남 광주·나주의 상설재래시장처럼 가금류 생축을 현장에서 자가도축 판매하는 업소가 한 시장에서 100여개 이상이 있었고, 주로 토종닭, 오리, 거위, 토끼 등을 현장에서 자가도축판매를 하고 있었다. 또한 한 시장은 관상용 애완조류인 앵무새, 카나리아, 토끼, 기니피크, 마우스, 이구아나, 물고기, 애완견 등 다양한 관상용 조류, 어류, 포유

류, 파충류 등을 판매하고 있었다. 이들 두 시장은 한국인 및 외국인관광객이 방문하는 필수코스로서 조류인플루엔자와 구제역의 국내 유입원인이 될 수 있는 곳이었다.

따라서, 우리나라와 주변 4개국의 상설채매시장에서의 조류인플루엔자의 오염도는 우리나라와 태국이 가장 높았고, 그 다음이 중국(북중국)과 대만이었다.

표 112. 주변국의 상설재래시장의 위험요소 조사결과 분석 비교

구분		한국	몽골	중국(북중국)	대만	태국
전통재래시장 규모		대규모, 중등도	대규모	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모
재래시장 내 가금시장 규모		대규모, 중등도	중등도	중등도	중등도	대규모
생축 가금류 판매규모	토종닭	대규모, 중등도	없음	소규모, 중등도	소규모, 중등도	대규모
	오리	대규모, 중등도	없음	소규모, 중등도	소규모, 중등도	대규모
	타 가금류	소규모, 중등도	없음	소규모, 중등도	소규모, 중등도	대규모
가금육 판매규모	닭고기	대규모, 중등도	소규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도
	오리고기	대규모, 중등도	소규모	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도
	타 가금육	소규모, 중등도	소규모	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도
알 판매규모	계란	대규모, 중등도	소규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도
	오리란	대규모, 중등도	거의 없음	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도
	타 계란	소규모	거의 없음	소규모	소규모	대규모, 중등도
기타 축산물 판매규모	양고기	거의 없음	대규모	중등도	소규모	소규모
	쇠고기	대규모, 중등도	대규모	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도
	돼지고기	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도	대규모, 중등도
	말고기	거의 없음	대규모	소규모	거의 없음	소규모
	기타 고기	거의 없음	소규모	소규모	거의 없음	소규모
재래시장 출입자 왕래규모	내국인	출입 잦음	출입 잦음	출입 잦음	출입 잦음	출입 잦음
	외국인 관광객	일부 출입	일부 출입	일부 출입	일부 출입	출입 잦음
	재외국민 및 내국인 관광객	해당사항 없음	일부 출입	출입 잦음	일부 출입	출입 잦음
재래시장 출입자 구입품목	내국인	식료품 등	식료품 등	식료품 등	식료품 등	식료품 등
	외국인 관광객	쇼핑, 선물 등	쇼핑, 선물 등	쇼핑, 선물 등	쇼핑, 선물 등	쇼핑, 선물 등
	재외국민 및 내국인 관광객	해당사항 없음	쇼핑, 선물 등	쇼핑, 선물 등	쇼핑, 선물 등	쇼핑, 선물 등
AI 모니터링 여부		실시	미 실시	미 실시	미 실시	미 실시
방역조치/홍보교육		방역조치/일부 홍보	미 조치/미 실시	미 조치/미 실시	미 조치/미 실시	미 조치/미 실시
조류인플루엔자 위험요소 평가		고위험	저위험	중위험	중위험	고위험

(4) 주변국의 국제공항만의 위험요소 분석결과

우리나라와 주변국인 몽골, 중국(북중국), 대만, 태국의 국제공항과 국제항만에 대한 현장 조사를 실시하였다. 조사 시기는 이들 나라에 대한 철새이동시기 및 조류상 조사시기와 가금사육 농가 및 상설재래시장을 조사하는 시기가 동일한 시기에서 수행되었다.

우리나라를 포함한 주변 4개국의 국제공항과 국제항만으로부터 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험요소가 국내로 유입될 가능성을 분석한 결과, 우리나라가 동물검역이 가장 강한 편이였고, 대만을 제외한 입국장에는 동물검역시설이 별도로 설치되어 있지 않았다. 그리고 출국장에서의 홍보물은 몽골과 중국에서 국내로 입국하기 위한 국제공항 출국수속 장소에 동물검역 홍보물이 제공되어 있었다. 특히 중국에서 국내로 입국하는 대부분의 보따리장수와 내국인관광객 등에 대하여 국제항만의 출국수속장소와 국제여객선내에서도 동물검역 홍보물이 제공 및 안내문이 부착되어 있었다.

따라서, 주변 4개국은 조류인플루엔자 및 구제역 등이 다발하는 국가이지만, 상재국으로서 자국으로 유입되거나 자국으로 나가는 각종 위험요소에 대한 동물검역조치들이 매우 빈약한 수준에 머물고 있어 이들 국가로부터 유입되는 각종 위험요소에 대한 지금보다 더 실효성 높은 철저한 동물검역이 필요하다.

표 113. 주변국의 국제공항만의 위험요소 조사결과 분석 비교

구분	한국	몽골	중국(북중국)	대만	태국	
국제공항 동물검역 수준	높음	낮음	보통	보통	낮음	
국제항만 동물검역수준	높음	해당사항 없음	보통	미 조사	미 조사	
입국장 동물검역	동물검역 홍보물	설치	미 설치	미 설치	설치	미 설치
	신발 소독시설	설치	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치
	대인 소독시설	설치	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치
	대물 소독시설	설치	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치
	축산관련자 입국신고	신고	미 신고	미 신고	미 신고	미 신고
출국장 동물검역	동물검역 홍보물	설치	한국동검 홍보물설치	한국동검 홍보물설치	미 설치	한국식검 홍보물설치
	신발 소독시설	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치
	대인 소독시설	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치
	대물 소독시설	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치	미 설치
	축산관련자 입국신고	신고	미 신고	미 신고	미 신고	미 신고
위험요소 평가	입국장	고위험	고위험	고위험	중위험	고위험
	출국장	저위험	고위험	고위험	고위험	고위험

4 절. 철새도래지와 가금사육농가 간 HPAI 발병위험요인 분석

고병원성조류인플루엔자의 발생지역과 철새도래지의 위험요인을 조사 분석하기 위한 기초자료 수집을 위한 범위 설정을 위해서 조류인플루엔자 방역실시요령에서 설정된 방역지역과 환경부의 야생조류 거동조사결과에 따른 철새도래지의 철새 수용력 등을 전제로 한 상태에서 해당 철새도래지를 중심으로 한 가금사육농가 위치등을 고려하여 철새의 거동거리를 감안하여 조사 분석을 실시하였다.

조류인플루엔자 방역실시요령에서는 고병원성조류인플루엔자에 걸린 것으로 확인된 가축을 “환축”이라고 말하며, 고병원성조류인플루엔자가 걸렸다고 믿을 만한 상당한 이유가 있는 가축으로서 정밀검사를 진행 중인 가축을 “의사환축”이라고 한다. “환축”과 “의사환축”이 발생된 가축의 사육시설(축사)이 있는 농장을 “발생농장”이라고 하며, 발생농장이 소재하는 마을을 “발생지”라 한다.

발생농장을 중심으로 반경 500m 이내의 지역을 “오염지역”이라고 하고, 고병원성조류인플루엔자의 확산이 우려되는 지역으로서 발생농장을 중심으로 하여 반경 500m로부터 3km 이내의 지역을 말하고, 위험지역으로부터 고병원성조류인플루엔자의 확산을 차단하기 위하여 방역조치를 하여야 하는 지역으로서 발생농장을 중심으로 하여 반경 3km를 초과하여 10km이내의 지역을 말한다.

방역지역은 오염지역·위험지역·경계지역을 말하며, 이들 방역지역을 시장·군수가 해당지역의 축산업 형태, 지형적 여건, 야생조류 서식실태, 계절적 요인 또는 역학적 특성 등을 감안하여 경계지역의 범위를 시도지사와 협의하여 확대하거나 축소를 할 수가 있다.

우리나라의 겨울철새, 여름철새, 나그네새 등은 전 세계 주요 8개의 Flyway 중에서 아시아·오스트레일리아 flyway를 통해 국내로 유입되며, 이들 대부분이 국가간의 원거리 이동이면서 기온 변화에 따라 한반도의 남과 북을 왕래하고 있어, 사실상 전국이 야생조류의 일일생활권에 놓여 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나, 철새도래지를 중심으로 한 풍부한 먹이(낙곡, 프랑크톤, 갯벌의 지렁이 등)와 야생조류가 월동하는 과정에서 천적이나 사냥꾼, 서식처 개발 등 환경조건의 영향을 크게 받지 않는다면 국내로 도래한 철새가 서식할 수 있는 충분한 수용력이 존재하다면 동일 서식처에서 장기간 머물게 되면서 철새도래지를 중심으로 주변에서 먹이를 찾는 과정에서 가금사육농가에게로 오염원이 전파될 수 있다는 것을 가정하여 환경부가 실시한 야생조류의 거동조사에서 일반적으로 국내 도래 오리류(월동조류)의 일일 행동반경이 30km 이내로 행동반경이 넓은 것으로 밝혀져 철새도래지별로 오염지역·위험지역·경계지역 등의 방역지역과 국내 도래 오리류의 일일 행동반경을 고려하여 500m, 3km, 10km, 30km 단위의 거리 내 사육되는 가금류를 조사하였다.

1. 철새도래지별 가금사육농가간의 위험요인 조사 분석

환경부 국립환경과학원에서 1999년부터 정기적으로 매년 실시하고 있는 “전국 겨울철새 센서스”를 실시하고 있는 철새도래지 128개소(2007년 현재)와 ‘03/’04, ‘06/’07, ‘08. HPAI 발생지역 등을 참고로 하여 주요 철새도래지를 선정하였으며, 선정된 철새도래지를 중심으로 국가동물방역통합시스템(KAHIS)에 등록된 위험요소인 가금류 사육농가를 거리별로 분포도를 분석하였다.

가. 서울·인천·경기지역

서울, 인천, 경기지역은 야생조류가 월동을 하기위해 국내에 유입되는 과정에서 가장 먼저 철새들이 도착하는 곳 중에 한 곳으로서, 시베리아, 몽골, 알래스카, 홋카이도 등 지역에서 국내로 남하하기 직전에 야생(월동)조류 또는 가금사육농가 등에서 고병원성조류인플루엔자가 발생할 경우와 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원에 오염된 지역 등에서 이들 오염원과 접촉한 후국내로 유입될 경우, 감염 또는 오염된 월동조류의 체내 또는 체표(깃털, 다리) 등에 존재하고 있던 오염원(고병원성조류인플루엔자 바이러스 항원)을 고스란히 국내로 이동시킬 수 있다.

현재 남북간에 상호왕래가 자유롭지 못하지만 야생조류의 경우는 실시간 왕래가 가능하고, 또한 휴전선 접적지역인 경기 북부권인 파주, 연천, 포천, 동두천 등 지역의 월동조류들은 북한 쪽의 고병원성조류인플루엔자 발생상황을 제대로 알지 못하고, 안다고 하더라도 우리 측에서 방역조치를 할 수 없기 때문에 남북을 왕래하는 야생조류는 가금사육농가들에게 시한폭탄과 같은 존재일 수가 있다.

서울지역은 한강 하류지역인 민간인 통제지역이면서 오두산 통일전망대가 있는 고양시와 파주시와 인접해 있는 천혜의 철새서식조건을 갖춘 “장항 습지”로부터 상류 쪽으로 거슬러 올라가면 밤섬, 뚝섬 등 모래톱과 수초 등이 잘 형성된 곳과 소하천 등에서 월동조류들이 많이 서식하고 있다.

인천지역은 서해안과 예성강, 임진강, 한강 등의 물이 합해지는 하구로서, 주변의 논과 습지 및 갯벌 등에서 철새들에게 풍부한 먹이를 제공하고 있으며, 특히 강화도는 조수간만의 차가 크기 때문에 간조 시에는 해안선 전체가 갯벌이 넓게 펼쳐지고, 북쪽의 해안선은 철조망에 둘러싸여 민간인들의 접근이 거의 없다. 또한 강화도는 도서지방이지만 고려가 개성에서 강화도로 잠시 천도할 때에도 넓은 평야가 있었기 때문에 유민들이 생활을 충분히 영위할 수 있었다. 이 처럼 강화도지역은 추수기에 발생한 낙곡과 갯벌 등으로 인해 철새서식처로는 천혜의 환경조건을 갖춘 곳이라 할 수 있다.

경기지역의 휴전선 접적지역은 북한강, 임진강, 한탄강 등이 있고, 이들 주변의 수초 및 모래톱과 논밭 등에서 주로 철새들이 서식을 하면서 민통선지역을 왕래하고 있다. 특히 임진강 하류인 장단 곳과 주변의 논밭과 강변의 모래톱에는 독수리와 기러기들이 집단으로 서식하고 있

다. 또한 임진강 주변인 파주시 적성면과 연천군 장남면 일대의 논밭에도 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 기러기, 독수리 등이 월동을 하고 있으며, 일부 포천천, 동두천 등과 같은 소하천 등에서도 월동조류들이 많이 서식을 하고 있다. 그러나, 경기지역에서 다양하고 가장 많은 철새들이 도래하는 곳인 시화호는 최근 각종 개발로 인하여 철새의 수용력 부족에 따라 과거보다 서식하는 개체수가 현저히 감소하고 있고, 인근의 개발이 덜한 남양호 등으로 이동하는 경향도 관찰되고 있다. 그리고, 경기남부 내륙지역은 왕송저수지, 고삼저수지, 용설저수지, 송전지, 성호저수지, 신갈저수지, 청미천 등에서 주로 많이 서식하고 있다.

(1) 시화호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

시화호 철새도래지는 경기 시흥시, 안산시, 화성시 등에 위치하고 있으며, 서해안쪽은 시화호 방조제와 조력발전소가 있고, 북쪽은 안산시내와 반월공단 등이 있다. 또한 남쪽은 과수원과 함초와 갈대숲이 우거진 습지가 있고, 동쪽도 남쪽과 마찬가지로 습지와 도로공사 및 신도시 건설공사가 진행되고 있다.

○ 철새 분포상황

시화호 철새도래지는 환경부 국립환경과학원에서 매년 실시하고 있는 “전국 겨울철새 동시 센서스” 자료에 의하면 2007년도에 시화호 일원에 대하여 총 5회에 걸쳐서 조사가 실시되었을 때, 조사시기별 관찰된 종과 개체수는 다소 차이가 있었지만 대부분 최우점종은 흰뺨검둥오리와 꿩이갈매기이었으며, 조류종은 11종에서 33종이었다.

최근 시화호는 2007년도 조사 당시와는 달리 철새도래지 주변이 각종 개발로 인해 서식하는 철새의 개체수와 조류종 들이 많이 감소는 하고 있으나 여전히 다양한 철새들이 많이 도래하여 서식을 하고 있다. 대부분의 조류종은 큰고니, 흑부리오리, 쇠오리, 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 고방오리, 흰죽지, 비오리, 물닭, 민물도요, 꿩이갈매기 등이 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

시화호 철새도래지에 있는 형도에는 일부 농가에서 무허가 축사시설을 설치하여 소규모로 토종닭, 돼지, 개 등을 사육하고 있어으며, 울타리 또는 방조망이 제대로 설치되어 있지 않아 야생조수류에 의한 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험이 매우 높았다. 시화호 철새도래지 주변의 가금사육농가들의 분포를 보면, 시화호로부터 3km~10km이내 1농가를 포함하여 30km이내에는 303농가에 2,648,370수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 67농가에 79,132수가 사육되고 있다.

또한 사람과 야생동물의 직접적인 이동거리에는 가금사육농가가 드물지만 철새의 거동거리 내에서는 250만~300만수의 가금류가 사육되고 있다. 그러나, 철새도래지로부터 가금사육농가로

오염원을 직접 전파시킬 야생동물들의 이동반경과는 다소 거리가 있기 때문에 시화호 철새도래지를 통한 직접 전파보다는 철새도래지를 방문한 사람(함초를 채취하는 주민, 낚시꾼 등)과 차량 등에 의한 간접적인 전파요인에 의한 조류인플루엔자의 발병 가능성은 있지만 철새도래지와 거리의 거리와 축사 주변의 환경이 과수원과 주거지가 밀집되어 철새들이 낙곡을 섭취하려 접근하기가 용이하지 않는 지역 등을 고려할 때 시화호 철새도래지의 위험요소의 이동에 의한 조류인플루엔자의 발병 요인은 타 지역에 비해 매우 낮았다.

표 113. 시화호 철새도래지(서해안지역)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적(㎡)	개체수	면적(㎡)	개체수	면적(㎡)	개체수	면적(㎡)
500 m								
3 km								
10 km	1	150						
30 km	302	2,648,220	67	79,132	1	-	1	600
합계	303	2,648,370	67	79,132	1	-	1	600

○ 방역조치사항

시화호 철새도래지를 접근하는 주요 진입로와 출입구에 대한 조류인플루엔자 예방홍보물 및 소독조 설치 등 효과적인 방역관리가 실시된다면 타 지역 철새도래지에 비해 30km 이내의 가금사육농가에게로 오염원이 전달될 가능성은 매우 낮다. 그리고, 형도지역의 가금사육농가에게 철새도래지를 피해 가금류를 사육하도록 권고를 하거나 또는 불법시설로 추정되는 가금사육농가인 만큼 사육제한명령 등을 가할 필요가 있다. 또한 인천 남동공단 등으로부터 폐목재를 구입하여 톱밥을 제조하여 왕겨와 함께 경기와 충청권의 닭과 오리 사육농가에 전문적으로 판매를 하는 업체와 안산 및 화성지역에 전북지역과 직접 연결망을 갖추고 있는 가금유통회사들에 의해 조류인플루엔자의 오염원들이 원거리에서 동 지역으로 유입될 수가 있기 때문에 인적·물적자원의 이동에 의한 고병원성조류인플루엔자의 발병 위험은 결코 낮다고 볼 수 없다.

(2) 임진강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

임진강 철새도래지는 임진강 하류지역이면서 민통선지역인 장단 곳에 매년 월동시기에 독수리와 기러기 등이 주로 많이 서식하고, 또한 상류지역인 파주시 파평면, 적성면과 연천군 전곡읍 일대까지의 임진강 주변은 대부분 철책선으로 둘러 쌓여 있고, 주변의 논밭에는 낙곡으로

인한 풍부한 먹이가 있고, 군인을 제외한 일반사람들의 접근이 거의 없는 천혜의 철새서식조건을 갖춘 곳이라 할 수 있다.

임진강 철새도래지는 휴전선 접적지역인 민통선지역으로서 임진강을 따라 계속 이어지는 철책선 등으로 인해 민간인들의 접근이 어렵고, 또한 사냥꾼들로부터 벗어난 안전한 지역이면서 주변의 넓은 논밭으로부터 풍부하게 먹이를 섭취할 수 있는 곳으로서, 국내 철새서식처 중에서 가장 호조건의 철새 수용력을 갖춘 곳이기 때문에 철새들이 이곳에서 안심하고 월동을 하면서 기온에 따라 남북을 자유롭게 왕래를 하고 있다.

임진강 철새도래지의 주변은 휴전선 접적지역이기 때문에 타 지역보다 민간인들의 경제활동에 많은 제약이 따르는 군사지역으로서, 서울의 인접지역이면서도 그 동안 산업 측면에서는 대규모공단 등 경제적인 생산기반시설이 거의 없었다. 최근 들어 일부 대규모 아파트단지와 대규모공장들이 건설되는 과정에서 가금사육농가들이 점차적으로 감소는 하고 있지만 아직도 전통적으로 국내 축산물의 최대 소비처인 서울과의 접근성 때문에 이들 지역의 주요 산업으로서 가금산업과 더불어 축산업의 비중이 높다.

○ 철새 분포상황

임진강을 하류인 장단 곳으로부터 상류인 파주시 파평면, 적성면과 연천군 전곡읍 일대의 강가의 수초와 모래톱과 민가 주변의 논밭 등에서 독수리, 쇠기러기, 큰기러기, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리 등이 주로 많이 서식하고 있다.

임진강 철새도래지를 중심으로 부직포가 덮혀진 비닐하우스형의 소규모의 열악한 가금축사내에서 닭과 오리를 사육하는 농가가 아직도 많고, 또한 일부 농가는 소하천이나 저수지 등을 끼고 토종닭 등을 방사하는 농가도 있으며, 최근 몇 년간 이들 지역에서 방사하는 토종닭 등에서 조류인플루엔자가 발생한 사례도 있었다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

임진강 철새도래지로부터 가금사육농가의 분포를 보면, 500m이내 1농가, 3km이내 15농가, 3km~10km이내 123농가를 포함하여 30km이내에는 663농가에 18,790,280수가 사육되고 있었다. 이와 같이 이 지역에서는 가금류 사육농가가 밀집해 있고, 가금사육농가 주변의 논과 밭으로 접근하는 철새들이 많이 있는 지역으로서 경기지역의 어느 지역보다 철새들로부터의 조류인플루엔자가 발생할 수 있는 호조건을 갖추고 있다.

표 114 임진강 철새도래지 (휴전선 지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적
500 m	1	35,000						
3 km	15	440,306						
10 km	123	4,577,299	3	22,050	1	55,000		
30 km	524	13,737,675	40	102,077	2	30,000	4	22
합계	663	18,790,280	43	124,127	3	85,000	4	22

○ 방역조치사항

임진강 철새도래지는 민간인의 접근이 용이하지 않아 철새도래지로부터의 직접적인 오염원의 이동은 타 지역보다 낮지만, 먹이를 구하는 과정에서 가금사육농가 주변의 논밭에 일시적으로 체류하는 과정에서 철새들이 배설한 오염된 분변이 까지, 참새, 까마귀 등 야생조류 및 새, 방견, 방묘, 족제비 등 야생동물 또는 사람, 차량, 기구 등의 인적·물적자원들과의 접촉으로 인해 오염원이 가금사육농가로 유입될 수 있다.

임진강 철새도래지로부터의 각종 위험요인을 사전에 제거하거나 차단하기 위해서는 가금사육농가들은 축사 주변으로 철새와 야생조류들의 접근을 차단하기 위해 울타리 또는 방조망을 설치한다. 또한 철새들이 먹이를 섭취하지 못하도록 축사 주변의 논밭에 낙곡방지 또는 소방서의 협조를 받아 바람이 없는 날씨를 택해 논밭을 소각하거나 가금사육농가와 원거리에 있는 철새도래지 주변에 풍부한 먹이를 제공하여 철새도래지가 충분한 철새의 수용력을 갖도록 하여 타 지역으로의 이동 방지와 철새도래지내에서 월동을 하도록 유도를 하는 것이 철새에 대한 효과적인 방역조치라 할 수 있다.

(3) 남한강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

남한강 철새도래지는 양평과 여주지역의 남한강일대의 습지와 모래톱에서 서식하면서 주변의 논밭 등에서 먹이를 섭취하고 있다. 주로 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 흰죽지 등 월동조류가 주로 많이 서식하는 곳으로서, 남한강 주변이 펜션, 모텔, 음식점 등이 타 지역보다 많이 산재해 있다. 4대강 사업으로 인해 남한강에 풍부했던 습지와 모래톱이 많이 사라지고 수심이 깊어지고 유속이 빨라지면서 철새들이 편안하게 서식할 휴식공간이 사라지면서 과거보다 남한강 철새도래지는 수용력 부족으로 철새의 개체수가 현격히 감소하고 있다.

○ 철새 분포상황

남한강 철새도래지 주변의 각종 개발 등으로 인해 철새도래지의 수용력 부족으로 철새들의 개체수가 점차 감소하고 있지만 인근의 저수지 및 소하천 등에서 서식하면서 여주평야 등 주변의 논밭에서 낙곡 등 풍부한 먹이를 섭취하고 있다. 남한강 철새도래지에 논병아리, 큰고니, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 흰죽지, 땡기흰죽지, 비오리 등이 주로 서식하고 있다.

4대강 개발이전의 경우는 남한강의 습지와 모래톱에서 주로 서식을 하였지만 철새들의 천혜의 서식 환경조건이 사라지면서 이들은 인근의 저수지와 소하천을 서식처를 찾는 과정에서 과거보다 가금사육농가 주변의 논과 밭으로 철새들이 이동하게 되면서 조류인플루엔자의 발병 위험성은 높아지고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

남한강 철새도래지로부터 가금사육농가 분포를 보면, 3km이내 17농가, 3km~10km이내 121농가를 포함하여 30km이내에는 1,097농가에 13,114,013수의 닭이 사육되고 있고, 오리도 30km이내 88농가 365,405수가 사육되고 있다. 이와 같이 이들 지역에는 닭, 오리, 메추리 등 가금류 사육농가들이 밀집해 있다.

또한 경기 광주·여주·이천지역 등은 원종오리농장 및 종계장과 닭 및 오리도축장 등이 많이 있고, 이천과 여주 등 지역의 넓은 평야지대에서 낙곡을 섭취하는 철새들이 많이 있으며, 이들 철새들의 배설해 놓은 오염된 분변을 인적·물적자원이 접촉한 후 가금사육농가로 유입 시킬 가능성이 높은 지역이기 때문에 경기지역에서 철새도래지로부터의 직·간접적인 오염원의 유입 및 전파에 의한 조류인플루엔자가 발생 가능성이 매우 높은 지역이라고 할 수 있다.

표 115 남한강 (도압장 1개소)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	17	311,119	1	30				
10 km	121	1,936,478	16	132,123				
30 km	959	10,866,416	71	233,252	4	166,000	4	1,018
합계	1,097	13,114,013	88	365,405	4	166,000	4	1,018

○ 방역조치사항

남한강 철새도래지는 기존의 남한강의 수초 및 습지와 모래톱에서 서식하면서 월동할 경우 보다 최근의 4대강 사업에 따른 환경적 변화로 철새의 수용력이 부족하면서 주변의 소하천과

저수지 등으로 많이 이동함에 따라 가금사육농가로의 조류인플루엔자 바이러스항원의 위험성이 점차적으로 높아지고 있다.

따라서, 가금사육농가 주변의 논밭을 트랙터 등을 이용하여 땅을 뒤집어 주거나 소각 또는 소독을 실시하고, 특히 야생조수류의 접근을 차단하기 위한 방조망 또는 울타리 등을 설치하도록 한다. 또한 철새들은 주간에는 고양이, 닭, 족제비 등과 같은 천적들에게 잡혀 먹히지 않으려고 주간에는 수면이나 모래톱 등에서 휴식을 취하고, 일몰과 일출직전에 먹이를 찾아 비행하면서 주로 야간에 가금사육농가 주변의 논밭에서 먹이를 섭취한다. 그러나, 일반적으로 축주들은 먹이섭취를 위해 야간에 축사 주변으로 철새들이 접근할 경우, 철새들이 축사 주변으로 접근했었던 사실을 전혀 알지도 모르는 경우가 많기 때문에 반드시 주간에 축사 주변의 논밭에 철새들이 서식했었던 흔적인 오리류 등의 철새 발자국, 깃털, 분변, 우렁이껍질, 눅혀진 수풀 또는 벼짚, 풀을 먹은 자국 등을 관찰하여야 한다.

그리고, 가금사육농가 주변의 논밭에서 철새들의 접근 흔적을 관찰한 후에는 반드시 신었던 장화 또는 신발을 철저히 세척과 소독을 실시한다. 또한 축사 주변의 소하천과 저수지 주변의 잡초 등 수풀과 잡목을 제거하거나 소각하는 것이 좋다. 또한 철새도래지의 인근 가금사육농가 또는 철새가 접근한 흔적이 있거나 철새들이 목격된 가금사육농가 일수록 농장 주변에 울타리를 설치하고 축사는 방조망을 설치하며, 농장을 출입하는 모든 사람들의 신발을 소독할 수 있는 소독조를 설치한다.

나. 강원지역

(1) 북한강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

북한강 철새도래지는 청평, 가평, 춘천, 화천지역의 북한강일대의 수초와 습지 및 모래톱 등에서 서식하면서 주변의 논밭에서 먹이를 섭취한다. 또한 북한강 철새도래지는 월동조류의 국내 유입시기와 결빙 전에는 많은 철새들이 서식하지만 결빙 시에는 타 지역보다 겨울철 결빙기간이 장기간 지속되는 곳으로서 기온변화에 따라 결빙 시에는 따뜻한 비 결빙지역으로 월동조류들이 이동하며, 주변의 남한강 철새도래지보다 지리적으로 평야지대보다 산악지형이 많아 폭설 시와 결빙 시에는 먹이섭취에 더 많은 어려움이 있다.

또한 화천지역의 경우는 동절기에 개최되는 “산천어 축제”로 인해 북한강 철새도래지 주변인 북한강 강변도로와 주변 관광지로 전국에서 관광객들이 일시에 많이 방문하는 과정에서 동 지역에서의 오염원이 전국으로 확산될 수 있는 위험요인이 있지만, 대부분 행사장이 철새가 서식하지 않는 빙판위에서 개최되고 있어 예상보다 조류인플루엔자 오염원의 전파 위험요인은 매우 낮다.

○ 철새 분포상황

북한강 철새도래지에서는 주로 흰뺨검둥오리, 흰죽지, 호사비오리, 비오리, 독수리, 청둥오리, 쇠오리, 알락오리 등 월동조류가 주로 많이 서식하고 있다. 또한 북한강 주변이 펜션, 모텔, 음식점 등이 남한강지역 보다도 더 많이 산재해 있고, 주변의 각종 개발로 인해 철새들이 편히 서식할 공간이 점차 사라지면서 과거보다 북한강 철새도래지에 서식하는 철새들이 많이 감소하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

북한강 철새도래지 주변은 가평, 청평, 춘천 등 유흥음식점이 많고, 특히 춘천의 경우는 전국적으로 닭갈비가 유명하여 관광객 등 외부인들이 동 지역을 방문 시에 우선적으로 찾는 식문화가 있어, 도시의 규모에 비해 닭고기의 소비가 많아 육계 사육농가를 비롯하여 가금류 사육농가가 예상보다 많이 사육하고 있다.

북한강 철새도래지로부터 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 4농가, 3km~10km이내 37농가를 포함하여 30km이내에는 823농가에 8,573,113수의 닭이 사육되고 있고, 오리도 30km이내 54농가 8,573,113수가 사육되고 있으며, 메추리의 경우는 30km이내 10농가 845,000수로서 남한강 철새도래지 주변보다 오히려 더 많이 사육되고 있다. 북한강 철새도래지 주변의 30km이내 지역은 닭, 오리, 메추리 등 가금류 사육농가가 많이 있다. 또한 야생동물인 고양이, 족제비, 삵 등의 이동반경인 3km이내와 일반 주민들이 도보, 자전거, 경운기 등으로 이동하는 거리이면서, 일일 생활권인 반경 10km이내에서는 가금사육농가가 많지 않고, 북한강 철새도래지로부터의 오염원의 직접적인 전파는 희박하다. 다만, 10km~30km이내에는 가금사육농가가 많기 때문에 북한강 철새도래지를 출입한 사람, 차량 등에 의한 간접전파와 철새의 거동거리가 30km이내인 점을 고려할 때 철새도래지로부터 먹이 섭취를 위해 가금축사 주변으로 접근하는 과정에서 배설한 분변을 야생조수류, 사람, 차량들과의 접촉 시 오염원이 직접 축사내로 유입될 가능성은 완전히 배제할 수 없다.

표 116 북한강 (도압장 1개소)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	4	3,120	1	60				
10 km	37	347,619	1	3				
30 km	782	8,222,374	52	51,598	10	845,000	5	1,526
합계	823	8,573,113	54	51,661	10	845,000	5	1,526

○ 방역조치사항

북한강 철새도래지는 가금사육농가의 위치와 주변의 서식 환경조건들을 감안할 때, 남한강 철새도래지로부터 가금사육농가로의 직·간접으로 오염원이 유입되는 위험도에 비해 조류 인플루엔자의 발병 위험도 낮은 지역이라 할 수 있다.

또한 타 지역과 마찬가지로 추수기에는 가금사육농가 주변의 논밭에 낙곡방지와 트랙터 등을 이용하여 땅을 뒤집어 주거나 소각 또는 소독을 실시하며, 야생조수류의 접근을 차단하기 위하여 축사는 방조망을 설치하고 농장 주변은 울타리를 설치하도록 한다.

(2) 한탄강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

한탄강 철새도래지는 하류지역인 경기 포천시 관인면 지역으로부터 상류인 강원도 철원군 갈말읍·서면·북면·김화읍 지역 등으로 이어지는 한탄강의 습지와 모래톱 등과 주변의 민통선지역인 철원평야(백마고지, 아이스크림고지, 유곡리, 남대천)와 토고저수지, 동송저수지, 학저수지 등과 소하천 등에서 주로 독수리, 두루미, 재두루미, 흑두루미, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 큰기러기, 쇠기러기 등 다양한 월동조류가 서식하고 있다.

한탄강 철새도래지의 주변은 민통선지역으로서 철책선이 둘러 싸여져 있고, 넓은 철원평야를 중심으로 주변 풍부한 먹이와 군인을 제외한 사람들의 접근이 제한된 철새도래지로서 천혜의 서식환경조건을 갖춘 곳이라 할 수 있다. 또한 한탄강 유원지와 직탕폭포 주변의 논밭과 소하천 등으로 기러기, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 두루미 등이 민통선지역으로부터 날아와 먹이를 섭취하고 있다.

○ 철새 분포상황

한탄강 철새도래지는 휴전선 접적지역으로서 민통선지역이 많아 민간인들의 접근이 어렵기 때문에 사냥꾼들로부터 안전한 지역이면서 철원평야의 풍부한 먹이 등으로 인해 국내 철새서식처 중에서 충분한 수용력을 갖춘 곳이기 때문에 철새들이 이곳에서 안심하고 월동을 하고 있다. 그러나, 폭설기에는 쌓여있는 눈과 결빙 등으로 인해 먹이확보가 곤란하여 철새들이 생존이 어려워지면서 폐사하는 경우가 많고, 기온의 변화에 따라 이곳에서 남하와 북상을 반복하고 있다.

또한 철원지역(철원평야, 아스크림고지, 유곡리 등)으로 두루미, 재두루미, 흑두루미 등 국내 첫 도래하는 지역이면서 국내에서 두루미가 가장 많이 서식하는 곳이다. 천연기념물이면서 국제멸종위기종인 두루미, 재두루미, 흑두루미 중에서 두루미는 철원지역에서 월동을 많이 하지만 재두루미와 흑두루미는 또 다시 월동을 하기 위해 다시 남쪽지방인 경남 주남저수지와 전남 순천지역으로 이동하여 일부 서식하고, 특히 순천지역은 흑두루미의 국내 최대의 서식처로서 매년 400~500여수가 월동을 하고 있다. 그리고, 전 세계적으로 재두루미의 70~80% 이상인

10,000수 정도가 일본의 이즈미지역에서 서식하고 있다. 이와같이 재두루미, 흑두루미, 두루미 등은 월동을 위해 시베리아 등 지역에서 한반도를 경유하여 일본의 이즈미지역으로 이동하는 경로가 확실하게 알려져 있는 월동조류으로서 한일 양국간의 고병원성조류인플루엔자의 발생 예측시기 등을 추정하는 중요한 지표 조류종이라 할 수 있다.

독수리의 경우는 임진강 주변인 경기도 파주시 장단곶·파평면·전곡읍과 강원도 양구와 철원의 토고저수지 등에서 주로 서식하다가 월동을 위해 경남 고성 등 지역으로 남하하여 서식하고 있으며, 나머지 월동조류들도 강추위와 결빙과 폭설로 인해 마찬가지로 이곳에서 기온변화 따라 남하와 북상을 반복하고 있다.

한탄강 철새도래지는 주로 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 독수리, 재두루미, 두루미, 흑두루미, 캐나다두루미, 큰고니, 큰기러기, 쇠기러기 등이 서식하고 있다.

또한 혹한기에는 한탄강 철새도래지의 월동조류들의 먹이섭취가 어렵기 때문에 철새들에게 먹이를 주는 행사가 잦고, 한탄강 유원지내에 있는 야생동물구조센터내로 구조되어 오는 야생조수류가 증가하면서 기존 치료를 받고 있던 야생조류들과 새롭게 구조된 야생조류들간에 교차감염이 일어나거나 새로운 오염원이 유입에 의해 질병들이 새롭게 발생할 가능성을 배제할 수 없는 곳이다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

한탄강 철새도래지로부터 3km이내 28농가, 3km~10km이내 59농가를 포함하여 30km이내에는 628농가에 14,256,573수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 41농가 63,748수가 사육되고 있었다. 한탄강 철새도래지는 임진강 철새도래지처럼 군사도시로서 대부분 군부대가 포진하고 있어 대규모공단 등 생산시설이 타 지역보다 열악하여 주민들이 농업과 축산업이 타 지역보다 많은 비중을 차지하고 있다. 또한 주변은 철원읍, 동송읍, 갈말읍, 신철원 등이 있지만 가금 소비처로서의 인구 및 경제 규모가 작지만 2~3시간 거리에 있는 서울지역의 소비처를 겨냥하여 가금류가 예상보다 많이 사육되고 있다.

표 117 한탄강 철새도래지 (휴전선 지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	28	759,503	1	1,000				
10 km	59	2,444,914	1	3			1	-
30 km	541	11,052,156	39	62,745			1	2
합계	628	14,256,573	41	63,748	-	-	2	2

○ 방역조치사항

한탄강 철새도래지는 절반이 민간인의 접근이 용이하지 않아 철새도래지로부터의 직접적인 오염원의 이동은 타 지역보다 낮지만, 민통선지역 외 지역에서의 먹이를 구하는 과정에서 가금사육농가 주변의 논밭에 일시적으로 체류하는 과정에서 배설한 오염된 분변이 야생조수류, 사람, 차량, 기구 등과 같은 인적·물적자원들과의 접촉으로 인해 오염원이 가금사육농가로 유입될 수 있다.

한탄강 철새도래지의 위험요인을 제거하거나 차단하기 위해서는 민통선지역내에 있는 토고저수지, 동송저수지 등이 있는 철원평야(백마고지, 아이스크림고지, 유곡리, 양지리, 강산리 등)를 출입하는 사람(철새탐방객 등), 차량 등 인적·물적자원 등의 위험요소에 대한 세척과 소독을 철새도래시기 및 서식기간에는 민통선통제소 출입구 등에서 실시하고, 비 민통선지역인 한탄강유원지, 직탕폭포, 학저수지 등과 주변의 논밭을 출입하는 사람과 차량 등에 대해서도 마찬가지로 세척과 소독을 실시한다.

또한 가금사육농가들은 축사 주변으로 철새와 야생조수류들의 접근을 차단하기 위해 방조망을 설치하고, 또한 철새들이 먹이를 섭취하지 못하도록 추수지에 축사 주변의 논밭에 낙곡방지 와 논밭의 흙을 뒤집어 둔다. 또한 군인들의 동 지역에서 군사훈련 시에 이동 경로를 가금사육농가로부터 떨어진 곳으로 이동하고, 군사훈련이후는 군화바닥 등을 세척과 소독을 하도록 하고, 외출 시는 훈련 시 사용했던 군화를 교체하여 신도록 홍보를 한다.

(3) 화진포 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

화진포 철새도래지는 강원도 고성지역으로서 아시아-오스트렐리아 철새이동경로 상에서 몽고, 북중국, 시베리아 등 지역 외에도 알래스카, 러시아 북동부, 캐나다, 일본 홋카이도 등 지역으로부터 북태평양 연안과 동해안의 해안선과 백두대간을 따라 국내 동해안 지역으로 유입되는 철새들이 가장 먼저 도착하는 곳이다.

화진포 철새도래지는 북쪽으로는 통일전망대와 금강산출입국사무소가 있는 휴전선이 인접해 있고, 동쪽으로는 화진포해수욕장이 있는 동해바다가 있고, 서쪽으로는 백두대간이면서 태백산맥의 줄기인 건봉산 등과 같은 산악이 있고, 남쪽으로 강원도 고성군 거진읍 등으로 사면이 둘러 쌓여 있다.

○ 철새 분포상황

국내로 유입되는 철새들의 위험도를 비교할 때, 그 동안 과소평가되어 왔지만, 이들 지역으로 유입되는 철새는 조류인플루엔자 바이러스항원의 종류가 가장 많고 가장 보존이 잘 되고 있는 빙하지역인 알래스카 등 지역으로부터 직접 유입되는 월동조류와 나그새(통과새)들에 의해서 조류인플루엔자 바이러스항원이 국내로 유입될 수 있다.

특히 알래스카와 캐나다로부터 국내로 유입된 도요류들이 대만, 남중국, 홍콩, 필리핀, 태국

등 동남아시아를 경유하여 호주와 뉴질랜드까지 대륙 간 이동을 하면서 조류인플루엔자를 환태평양 지역으로 전파 확산 시킬 수는 있는 민물도요, 갯도요, 세가락도요 등과 같은 도요류 등이 통과하는 철새도래지 중에 한 곳이다. 또한 주변의 서식환경조건이 삼면은 산과 바다와 휴전선에 둘러싸여 있고, 남쪽에는 인근에 소도시가 있어 많은 개체수의 철새들을 수용할 수 있는 평야와 습지가 부족하여 다양하고 많은 수의 철새들이 서식하기에는 다소 어려운 점이 있다.

화진포 철새도래지는 수용력이 매우 부족한 상태에서 겨울철의 폭설과 결빙으로 인해 월동 조류들이 겨울을 나기가 매우 부적합 곳으로서 많은 수의 철새들이 월동할 수 없는 서식환경 조건에 놓여 있으며, 특히 김일성 별장, 이승만대통령 별장, 이기봉 별장 등이 있어 겨울철에도 관광객들의 지속적인 왕래 등으로 국내의 다른 철새도래지와 비교할 때 서식환경조건이 그다지 좋지 못한 곳이지만 청둥오리, 땡기흰죽지, 흰죽지, 갈매기 등의 월동조류가 다수 서식하는 곳이다.

그리고, 화진포 철새도래지의 수용력 부족에 따른 동해안 지역으로 유입된 철새들은 대진항과 거진항으로 연결되는 동해안의 해안선을 따라 있는 모래톱과 주변의 소하천 등과 송지호, 영랑호, 청초호, 경포호 등으로 분산되어 서식하는 것으로 추정되고 있으며, 대부분의 월동조류의 종은 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리, 흰죽지, 팽이갈매기, 재갈매기, 쇠가마우지, 비오리 등이 다양하게 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

화진포 철새도래지로부터 인근 가금사육농가들의 분포를 보면, 3km이내 9농가, 3km~10km이내 43농가를 포함하여 30km이내에는 172농가에 45,513수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 34농가 1,145수가 사육되고 있다. 지리적으로 북쪽으로는 휴전선의 철책선에 가로 막혀있고, 서쪽으로는 백두대간인 태백산맥에 둘러싸여 있고, 동쪽으로는 바다가 있고, 남쪽으로는 거진읍이 위치해 있다.

또한 강원도 고성지역은 백두대간과 동해안 사이에 형성된 지역으로서 대부분 군부대가 차지하고 있어, 산업측면에서 활용한 가능한 농지는 제한적이고, 군사지역의 특징 상 대규모 산업시설도 없어, 수산업을 제외하고는 대부분의 주민들은 농업에 의존하면서 한우와 가금 등을 사육하는 농가가 많다. 하지만 전업 축산농가는 드물고, 또한 타 지역의 가금사육농가들과 달리 대부분 전업화된 양계업이 아니고 소규모가금사육농가로서 사육농가수는 많지만 사육수수는 매우 적다.

표 118 화진포 철새도래지 (휴전선 지역)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	9	54	3	104				
10 km	43	614	4	59				
30 km	120	44,845	27	982			1	700
합계	172	45,513	34	1,145	-	-	1	700

○ 방역조치사항

화진포 철새도래지는 삼면이 휴전선과 바다와 산악으로 둘러 쌓여 있어 타 지역보다 조류인플루엔자의 발생 위험도가 낮지만 농지면적과 인구 등을 비교할 때 소규모 사육농가가 타 지역에 비해 결코 적은 농가수가 아니기 때문에 화진포 철새도래지로부터 직접적으로 오염원의 유입보다 간접적인 오염원의 유입 가능성이 높은 지역이라 할 수 있다.

이들 지역의 가금사육농가는 전업양계농가가 아니기 때문에 일부 가금농가들은 수산물과 농업 부산물 등을 이용하여 소규모로 닭과 오리를 사육하고 있다. 또한 조류인플루엔자의 예방의식이 매우 낮은 지역으로서 가금사육농가들의 자율방역의식을 고취시키기 위한 홍보교육이 절대적으로 필요한 지역이다.

특히 조류인플루엔자를 제대로 경험하지 않아 타 지역의 이야기로만 받아들일 경향이 높은 지역으로서 주기적인 홍보교육과 더불어 반드시 방역조치사항 등에 대한 이행여부를 확인할 필요가 있는 지역이다. 또한 토종닭 등의 방사과정에서 야생조수류에 의한 직·간접적인 오염원과의 접촉을 차단하기 위해서는 반드시 방조망과 울타리를 설치하고 주변을 청소와 소독을 주기적으로 실시한다.

(4) 영랑호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

영랑호 철새도래지는 강원도 속초지역으로서 화진포와 송지호 철새도래지와 마찬가지로 아시아-오스트렐리아 철새이동경로 상에서 몽고, 북중국, 시베리아 등 지역 외에도 알래스카, 러시아 북동부, 캐나다, 일본 홋카이도 등 지역으로부터 북태평양 연안 및 우리나라 동해안의 연안과 백두대간을 따라 동해안 지역으로 유입되는 철새들이 국내에 가장 먼저 도착하는 곳 중에 하나이다.

또한 과거 동해안지역에서 철새서식처로서 최적의 조건을 갖춘 곳이었으나 최근 몇 년간에

우후죽순격으로 주변에 콘도, 방송국셋트장, 물놀이장, 온천, 모텔, 음식점 등이 들어서고 철새도래지에서 산책도로 등이 설치되면서 철새들이 휴식과 먹이를 섭취할 수용력 부족으로 점차적으로 도래하는 철새들이 감소하고 있다.

○ 철새 분포상황

영랑호 철새도래지는 속초항과 청초호가 인접해 있고, 또한 속초는 동해안 지역 중에서 강원 지역에서 강릉과 더불어 가장 많은 관광객이 왕래하는 곳으로서, 주변의 서식환경조건이 매우 나빠지면서 철새도래지로서의 기능은 점차적으로 상실되어 가고 있다.

또한 철새들의 수용력 부족으로 인해 이들 지역에 서식하던 철새들이 인근의 경포호 및 송지호와 소하천 등으로 이동하거나 동해안의 해안선을 따라 모래톱이 발달된 해수욕장 등에서 집단 또는 분산되어서 서식하고 있으며, 대부분의 월동조류의 종은 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 흰죽지, 비오리, 갈매기 등이 서식하고 있지만, 서식하는 개체의 종은 다양성이 부족하고 개체수가 적다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

영랑호 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 11농가, 3km~10km이내 105농가를 포함하여 30km이내에는 534농가에 69,381수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 78농가 2,020수가 사육되고 있다.

지리적으로 서쪽으로는 백두대간인 설악산의 울산바위에 둘러 쌓여 있고, 동쪽은 바다와 직접 접해있고, 남쪽은 속초시내가 있으며, 백두대간과 동해안의 해안선을 따라 소규모 농지들이 위치해 있다. 영랑호 철새도래지는 속초시내와 인접해 있지만 대규모 가금사육농가가 들어설 위치가 되지 못하여 대부분 소규모 가금사육농가로서 사육농가수는 화진포보다 2~3배 정도 많지만 사육수수는 농가 수에 비해 더욱 적다.

표 119 영랑호 철새도래지 (휴전선 지역)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	11	77	4	303				
10 km	105	39,685	25	916			1	700
30 km	418	29,619	49	801			2	33
합계	534	69,381	78	2,020	-	-	3	733

○ 방역조치사항

영랑호 철새도래지는 삼면이 산악과 바다와 도시로 둘러 쌓여 있어, 타 지역보다 조류인플루엔자의 발생 위험도가 낮지만 속초시라는 소비처로 인해 화진포 철새도래지보다 오히려 가금사육 농가수는 많지만 사육수수는 적기 때문에 화진포 철새도래지와 마찬가지로 영랑호 철새도래지로부터 직접적인 오염원의 유입보다는 간접적인 오염원의 유입 가능성이 높은 지역이라 할 수 있다.

또한 이들 지역의 가금사육형태는 전업화된 양계산업이라 하기에는 너무나 소규모로 사육하고 있어 조류인플루엔자의 예방의식이 매우 낮은 지역이기 때문에 화진포 철새도래지와 마찬가지로 가금사육농가들의 자율방역의식을 고취시키기 위한 홍보교육과 방역조치사항 이행여부를 반드시 확인해야 하는 지역이다. 다만, 동해안 지역의 철새도래지의 주변은 지리적으로 철새들의 수용력 부족과 주변이 휴전선, 산과 바다, 도시 등으로 인해 가금사육농가가 철새도래지로부터 10km이내인 직접적인 위험지역을 벗어나 있다.

그리고, 대부분 10km~30km이내 지역에서도 소규모 사육과 가금축사 주변에 철새들이 먹이 섭취할 공간인 논밭이 드물고, 논밭에 먹이섭취를 할 철새들의 개체수가 적기 때문에 직접적으로 조류인플루엔자의 오염원을 전달할 가능성이 매우 낮은 지역으로서 영랑호 철새도래지도 마찬가지로 직접적인 오염원의 전달보다 철새도래지를 방문한 사람과 차량 등에 의한 오염원의 간접적인 전파에 의한 조류인플루엔자 발생 가능성을 배제할 수는 없다.

(5) 경포호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

경포호 철새도래지는 강원도 강릉지역으로서 화진포 철새도래지와 영랑호 철새도래지와 더불어 동해안 지역으로 유입되는 월동조류들이 국내에 가장 먼저 도착하는 곳 중에 하나로서, 다른 곳과 마찬가지로 과거 동해안지역에서 철새서식처로서 최적의 조건을 갖춘 곳이었으나 주변의 개발로 인해 철새들이 휴식과 먹이를 섭취할 수용력 부족으로 서식하는 철새들이 점차적으로 감소하고 있다.

○ 철새 분포상황

경포호 철새도래지는 경포대해수욕장과 인접해 있어 동해안 최대의 관광지 중에 하나이며, 많은 관광객의 왕래가 잦은 곳으로서 동쪽인 바다를 제외하고는 주변이 야산과 음식점, 모텔 등에 둘러 쌓여 있다. 철새들이 먹이를 섭취할 논밭과 소하천 등이 거의 없어 서식환경조건은 매우 열악하다. 대부분의 월동조류는 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 흰죽지, 비오리, 갈매기 등이 서식하고 있지만 개체수가 그리 많지 않다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

경포호 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 21농가, 3km~10km이내 217농가를 포함하여 30km이내에는 785농가에 197,018수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 44농가에 2,603수가 사육되고 있었다. 지리적으로 경포호 철새도래지는 동쪽은 동해바다, 북쪽은 경포대, 서남쪽은 강릉시가 에워 쌓고 있다.

그리고, 강릉은 강원도 동해안 지역에서 정주 인구와 관광객등이 가장 많고, 철새도래지로부터 가금사육농가로 위험요소가 전달될 수 있는 야생조수류와 사람과 차량에 의한 직접 오염원이 유입될 수 있는 거리인 3km이내에서의 가금사육농가수는 화진포 철새도래지와 영랑호 철새도래지와는 달리 동해안지역의 철새도래지 중에서는 가금농가수가 가장 많았다.

또한, 도보로서 동일생활권내인 3km~10km이내와 철새도래지로부터 철새의 거동거리인 30km이내에는 가금사육농가가 많았고, 화진포 철새도래지와 영랑호 철새도래지에 비해 가금사육농가수를 대비해보면 사육수수가 더 많았다. 강릉지역은 두 지역과 달리 30km이내에 평지가 많고, 대규모 소비처가 인근 강릉지역에 있어 토종닭 등 소규모 가금사육농가와 전업화된 가금사육농가가 병존하는 지역이었다.

표 120 경포호 철새도래지 (휴전선 지역)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수
500 m								
3 km	21	1,227	8	1,175				
10 km	217	38,238	36	1,428			4	72
30 km	547	157,553	55	5,088	1	30	8	133
합계	785	197,018	44	2,603	1	30	12	205

○ 방역조치사항

경포호 철새도래지는 화진포 철새도래지와 영랑호 철새도래지와 입지적인면과 철새 수용력 면에서 크게 차이가 없지만, 강릉시라는 큰 소비처와 두 지역에 비해 평지가 많아 가금사육농가수와 가금사육수수가 많아 강원도 동해안의 이들 두 지역에 비해 조류인플루엔자의 발병 위험요인이 많았다.

또한 주변이 산과 바다와 도시 등으로 둘러 쌓여 있어 전국의 철새도래지와 조류인플루엔자의 발병 위험요소를 비교할 경우는 타 지역보다 조류인플루엔자의 발생 위험도가 매우 낮지만, 화진포 철새도래지와 영랑호 철새도래지에 비해서는 야생조수류, 사람, 차량 등에 의해 직접 또는 간접적으로 오염원이 가금사육농가로 유입될 수 있는 지역이기 때문에 가금사육농가에

대하여 위험요인 제거 및 차단과 철저한 소독을 하도록 지도 홍보교육을 강화한다.

다. 충북지역

(1) 충주호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

충주호 철새도래지는 충주시와 제천시에 걸쳐 있는 한반도 중심부에 있는 거대한 인공호수로서 주변은 풍부한 습지와 소하천이 발달되어 있고, 또한 충주호 주변에 논과 밭이 많아 철새도래지로서 안성맞춤지역이라 할 수 있다.

국내 내륙지역에서의 철새서식처로서 최적의 환경조건을 갖춘 중에 하나로서, 주변에 음식점, 모텔, 관광지가 있지만 철새들이 휴식과 먹이를 섭취할 서식조건등을 고려할 경우, 철새를 충분히 수용할 입지조건이 되기 때문에 여전히 많은 철새들이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

충주호가 차지하는 면적이 워낙 넓기 때문에 충주호 권역별로 서식하는 조류종이 다소 차이가 있지만 충주호의 상류와 하류 모래톱과 습지를 중심으로 많은 종류의 철새들이 서식하고 있다. 주로 서식하는 주요 조류종은 원앙, 홍머리오리, 청머리오리, 알락오리, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 흰죽지, 비오리, 물닭 등 다양한 개체들이 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

충주댐의 하류지역인 충주, 음성지역으로 이어지는 남한강 상류와 소하천 및 저수지 등에 많은 철새들이 서식을 하고 있으며, 이들 지역이 중부 내륙지역에서 오리도축장(도압장)과 닭도축장(도계장)이 가장 많이 있기 때문에 닭과 오리 등 가금사육농가수 및 가금사육수수가 가장 많은 지역 중에 하나이다.

충주호 철새도래지 중에서 오리 및 닭의 사육이 가장 많은 충주댐의 하류지역으로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 5농가, 3km~10km이내 86농가를 포함하여 30km이내에는 1,192농가에 11,663,443수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 89농가에 243,041사육되고 있다.

또한 지리적으로는 인근 충주시라는 소비처가 있지만 대부분 국내 유명 닭과 오리도축장에서 닭과 오리를 도축하여 식육 또는 가공육으로 가공하여 거리상 접근성도 좋기 때문에 서울, 경기지역을 비롯하여 전국적으로 판매되고 있다. 그리고, 강원지역의 철새도래지 주변의 사육농가와와는 다르게 대부분 전업화 또는 계열화된 가금사육농가이며, 가금농가수도 많지만 타 지역과 다르게 사육농가수를 대비해보면 사육수수가 굉장히 많다는 걸 알 수 있다.

표 121. 충주호 철새도래지(오리 단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	5	57						
10 km	86	1,315,243	10	25,920				
30 km	1,101	10,348,143	79	217,121	3	66,000	5	1,518
합계	1,192	11,663,443	89	243,041	3	66,000	5	1,518

○ 방역조치사항

충주호 철새도래지는 철새들이 서식하기 좋은 환경조건에 놓여 있어, 풍부한 철새의 수용력을 갖추고 있는 반면에, 주변에 닭 도축장 및 오리 도축장과 종계장 및 종오리농장 등 대규모 가금사육농가들이 밀집하여 있기 때문에 조류인플루엔자의 발병 위험요인이 곳곳에 산재해 있다. 또한 충주댐에서 청주의 미호천까지 이어지는 소하천과 주변 논밭에는 많은 수의 철새들이 있다.

또한 이들 소하천 주변에는 닭과 오리사육농가가 많이 있어 충주호 철새도래지로부터의 직접적인 오염원 유입과 가금사육농가 주변의 논밭에서 철새들이 먹이 섭취과정에서 배설한 오염된 분변 등이 야생조수류와 사람 등을 통해 직·간접적으로 가금사육농가로 조류인플루엔자의 오염원이 유입될 수 있다.

2003년 국내 최초로 고병원성조류인플루엔자(HPAI)가 발생한 지역인 충북 음성지역이 위치해 있다. 고병원성조류인플루엔자의 발생 당시 이들 지역은 닭과 오리 등 가금사육농가들이 밀집해 있었기 때문에 짧은 시간 내에 전파 확산된 바가 있었다. 충주호 철새도래지는 국내 조류인플루엔자의 발생 가능한 고위험지역으로서 철새도래지에 대한 방역관리와 더불어 이들 지역의 소하천 주변의 가금사육농가는 특별방역관리가 필요하다.

따라서, 소하천 및 저수지 등의 소규모 철새도래지와 가금사육농가가 인접된 곳은 주변의 잡목과 수풀 등을 제거하거나 소각하고, 축사 주변의 논밭은 땅을 뒤집어 준다. 또한 가금사육농가 주변 또는 철새도래지 주변의 논밭을 출입 시는 신발을 세척 및 소독하거나 장화 등 신발을 잘 갈아 신는다. 그리고, 가금사육농가는 세뇌교육 수준의 방역위생교육을 주기적으로 하고, 가금사육농가들의 소독 등 방역관리 실태를 수시로 확인하면서 질병예방에 관한 지도홍보를 한다.

(2) 대청호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

대청호 철새도래지는 대전광역시, 청원군, 보은군, 옥천군에 걸쳐 있는 중부권의 거대한 인공 호수로서 주변은 풍부한 습지와 소하천이 발달되어 있고, 대청호 철새도래지 주변의 논밭과 소하천 및 저수지 등이 많아서 철새들의 서식환경조건이 매우 좋다.

○ 철새 분포상황

중부권 내륙에서의 철새서식처로서 최적의 환경조건을 갖춘 중에 하나로서, 대청호와 금강 주변에는 음식점, 모텔, 관광지가 있지만 대청호와 주변의 소하천 및 저수지 등에서 철새들이 휴식과 먹이를 섭취할 서식 조건 등은 타 지역 비교할 때 서식조건은 매우 좋다. 또한 대청호에 서식하는 조류종은 아주 다양하며, 대청호의 하류인 금강의 모래톱과 습지를 중심으로 많은 종류의 철새들이 서식하며, 주요 조류종은 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 비오리 등 다양한 개체들이 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

대청호 철새도래지 중 오리사육이 많은 지역으로부터 3km이내 1농가, 3km~10km이내 32농가를 포함하여 30km이내에는 968농가에 5,375,967수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 89농가에 50,994수가 사육되고 있었다. 이들 주변의 논과 밭에서 먹이를 섭취하는 과정에서 배설한 오염된 분변 등과 접촉된 야생조수류, 사람, 차량 등을 통해 가금사육농가로 조류인플루엔자의 오염원이 유입될 가능성을 완전히 배제 할 수가 없다.

또한 지리적으로는 인근 대전시라는 큰 소비처가 있어 대부분 전업화된 가금사육농가가 많지만 대청호 권역별로 주변의 위험요인들이 다소 다르다. 또한, 대전광역시, 청주시를 제외한 청원군, 보은군, 옥천군지역은 인근의 음성군, 진천군 등에서 닭도축장과 오리도축장이 많이 있다. 그리고, 이들 도축장을 중심으로 종계장과 종오리 농장의 계열농가들이 밀집해 있어 조류인플루엔자의 발병 가능성이 매우 높은 지역이다.

표 122 대청호 철새도래지 (오리 단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적당	개체수	면적당	개체수	면적당	개체수	면적당
500 m								
3 km	1	5						
10 km	32	22,893	4	8,077			1	4
30 km	935	5,353,069	85	42,917	6	330,004	18	3
합계	968	5,375,967	89	50,994	6	330,004	19	7

○ 방역조치사항

대청호 철새도래지는 철새들이 서식하기에는 풍부한 수용력 등 갖추고 있어 서식환경조건은 좋지만, 인근 시군의 닭 및 오리도축장과 종계장 및 종오리농장 등의 계열화된 농장들이 많기 때문에 충주호 철새도래지와 마찬가지로 조류인플루엔자의 발병 위험요인이 많이 산재해 있다. 또한 대청댐에서 금강으로 이어지는 소하천과 주변 논밭에는 많은 수의 철새들이 서식하고 있고, 이들 소하천 주변에는 닭과 오리사육농가가 많이 있기 때문에 대청호 철새도래지로부터의 직접적인 오염원 유입과 가금사육농가 주변에는 철새들의 먹이 섭취과정에서 배설된 오염된 분변, 깃털 등과 접촉된 야생조수류와 사람 등을 통해 직·간접적으로 가금사육농가내로 오염원이 유입될 수 있다.

또한 대청호 철새도래지는 충주호 철새도래지와 마찬가지로 국내 조류인플루엔자의 발생 가능성이 높은 고위험지역 중에 하나로서 철새도래지와 주변 소하천 및 저수지 등과 인접한 가금사육농가는 특별방역관리가 필요하다.

(3) 백곡천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

백곡천 철새도래지는 백곡지로부터 발원하여 진천군을 가로지르는 소하천으로서 수초 및 습지와 모래톱 등의 발달이 좋고, 주변 농경지로부터 풍부한 먹이를 구할 수 있어 철새들이 많이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

백곡천 철새도래지 주변은 아직도 개발이 덜 이루어져 철새들이 휴식과 먹이를 섭취할 서식환경조건이 좋아 서해안지역 등 타 지역의 난개발 등으로 인해 철새의 수용력 부족에 따라 내륙 깊숙히 유입되는 철새들이 가장 많이 서식할 수 있는 곳이기도 하다. 백곡지로부터 백곡천

에는 많은 철새들이 서식하고 있고, 주요 서식 조류종은 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리 등이 대부분을 차지하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

충북 진천지역은 오리와 닭 도축장이 4~5곳 이상 많이 위치해 있고, 이들 주변에는 계열화된 종계장과 종오리 사육농장 등 가금사육농가들이 밀집되어 있어 조류인플루엔자의 발병 가능성이 매우 높은 지역이다. 특히 백곡천 주변의 가금사육농가들은 인근에 서식하는 철새들이 배설한 오염된 분변 등이 야생조수류, 사람, 차량 등과의 접촉하는 과정에서 가금사육농가로 유입될 수 있다.

백곡천 철새도래지 중 오리사육이 많은 지역으로부터 3km이내 18농가, 3km~10km이내 108농가를 포함하여 30km이내에는 1,014농가에 22,242,957수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 333 농가에 4,078,045수가 사육되고 있었다. 지리적으로는 인근 청주시와 대전시라는 큰 가금류 소비처가 있기 때문에 대부분 전업화된 가금사육농가가 많다. 또한 백곡지 및 백곡천 주변의 음성군과 진천군에는 가금산업이 도축장을 중심으로 종계장과 종오리 농장과 이들과 계열화된 가금사육농가들이 밀집해 있어 조류인플루엔자의 발병 가능성이 항상 높은 지역이다.

표 123. 백곡천 철새도래지 (오리 단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수
500 m								
3 km	18	178	3	38,500				
10 km	104	1,508,542	71	934,934				
30 km	892	20,734,237	259	3,104,611	10	636,003	3	60
합계	1,014	22,242,957	333	4,078,045	10	636,003	3	60

○ 방역조치사항

백곡천 철새도래지는 주변은 타 지역과 달리 닭과 오리의 도축장과 가공장이 많이 있고, 이들 가금산업과 연계된 종계장 및 종오리농장과 계열화된 가금사육농가들이 많아 철새도래지로부터의 가금사육농가로의 위험요인이 직접적으로 유입될 경우에 조류인플루엔자의 발생 가능성이 매우 높은 지역으로서 강도 높게 특별방역관리가 필요한 지역이다.

백곡지와 백곡천 외에도 인근의 소하천 및 저수지에는 철새들을 수용하기가 부족할 정도로 많은 수의 철새들이 도래하고 있고, 대부분의 가금사육농가들이 닭도축장과 오리도축장과 철새도래지(소하천, 저수지 등)에 둘러 쌓여 있어 언제든지 조류인플루엔자가 발생할 수 있는 모든

위험요소가 집약된 곳이기 때문에 철새도래지에 대한 철저한 방역관리와 가금사육농가에 대한 방역위생교육을 강화하고 가금사육농장에 대해서는 철저한 소독을 하도록 하며, 특히 농장의 방역위생수준의 등급을 정하여 하위등급은 방역지도를 병행한 확인점검을 실시한다.

(4) 미호천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

미호천 철새도래지는 청주시, 청원군, 증평군을 가로 지르는 미호천은 금강과 연결되며, 주변의 보강천, 백곡천, 병천천 등과 인접해 있으면서 잘 형성된 수초와 습지 및 모래톱들과 주변의 논밭에서의 풍부한 먹이로 인해 다양한 종류의 철새들이 많이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

미호천 철새도래지는 야생조류의 분변에서 고병원성조류인플루엔자 바이러스(H5N1)가 검출된 지역으로서 많은 월동조류들이 서식하고 있다. 특히, 인근의 보강천, 백곡천, 병천천, 곡교천, 금강 등과 소하천 및 저수지 등에서도 마찬가지로 많은 철새들이 서식하고 있다. 또한, 미호천 철새도래지는 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리, 고방오리, 알락오리, 넓적부리, 원앙 등이 서식하고 있다.

미호천 철새도래지는 곡교천, 병천천, 풍서천의 철새도래지와 마찬가지로 매년 야생조류가 배설해 놓은 분변과 포획한 철새의 분변 및 혈액에서 다양한 조류인플루엔자 바이러스항원과 항체들이 많이 검출되고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

미호천 철새도래지는 백곡천 철새도래지와 근거리에 있어 닭도축장 및 오리도축장과 종계장 및 종오리농장과 이들과 관련된 계열화된 가금사육농장이 밀집되어 있다. 또한 이들 가금사육농장 주변에 서식하는 월동조류가 많아 백곡천 철새도래지와 마찬가지로 조류인플루엔자의 발생 가능성이 매우 높은 지역이다.

미호천 철새도래지 중 오리사육이 많은 지역으로부터 500m이내 6농가, 3km이내 1농가, 3km~10km이내 81농가를 포함하여 30km이내에는 1,048농가에 13,677,318 수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 291농가에 3,294,321수가 사육되고 있다.

또한 지리적으로는 인근 청주시, 충주시, 천안시, 아산시 및 대전광역시라는 큰 소비처가 있지만 이들 지역에서 도축 생산되는 가금육과 가공육은 전국적으로 유통되고 있으며, 대부분 전업화된 가금사육농가이지만 일부는 소규모로 열악한 환경조건에서 사육되는 경우도 많다.

표 124. 미호천 철새도래지 (오리 단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	1	6	3	41,500	2	200,000	6	124
500 m	1	6						
3 km	1	-	3	41,500				
10 km	81	677,963	28	309,285	2	200,000		
30 km	965	12,999,349	260	2,943,536	7	480,003	6	124
합계	1,048	13,677,318	291	3,294,321	-	-	6	124

○ 방역조치사항

미호천 철새도래지는 주변은 닭도축장과 오리도축장과 가공장이 있고, 그와 연계된 종계장 및 중오리농장과 계열화된 가금사육농가들이 산재해 있기 때문에 미호천 철새도래지로부터의 조류인플루엔자의 발병 위험요소들인 오염원이 직접 가금사육농가로 유입되어져 조류인플루엔자의 발생 시킬 가능성이 매우 높은 지역이다.

미호천 외에도 인근의 보강천, 병천천, 곡교천, 풍서천 등과 소하천 및 저수지 등에서는 철새 수용력이 풍부하여 많은 수의 철새들이 도래하고 있다. 특히, 이 지역은 국내 철새도래지 중에서 조류인플루엔자 발생 가능성이 매우 높은 지역 중에 한곳으로서, 미호천 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 백곡천 철새도래지와 충주호 철새도래지 등과 마찬가지로 강력한 방역 조치가 필요하다.

따라서, 철새도래지 인근의 가금사육농가는 반드시 농장 주위를 울타리를 설치하고 축사주위는 방조망을 설치한다. 또한 철새도래지 주변의 위험요소 제거를 위한 잡목 및 수풀제거와 주변을 소각하고, 철새도래지의 인근 가금사육농가 또는 철새가 자주 접근하는 가금사육농가는 반드시 추수기 이후 논밭에 낙곡이 발생하지 않도록 하고 트랙터 등을 이용하여 논밭의 흙을 뒤집어 준다.

라. 대전·충남지역

(1) 아산만 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

아산만 철새도래지는 당진군, 아산시, 평택시에 둘러 쌓여 있으면서, 아산호, 삽교호 및 남양호의 방조제와 인접되어져 삽교호는 삽교천과 곡교천이 연결되어 저 상류인 예당저수지와 연결되고, 아산호는 안성천과 진위천으로 연결되고, 남양호는 발안천으로 연결되어 있다. 아산만

철새도래지는 주변의 논밭과 습지 및 소하천과 저수지 등으로 인해 많은 수의 철새들이 도래하고 있다.

○ 철새 분포상황

아산만 철새도래지는 인근의 평택항과 당진항의 개발 등으로 인해 아산만 철새도래지의 철새들의 수용력이 많이 부족해졌지만, 인근의 소하천인 곡교천, 풍서천, 안성천, 삼교천 등이 풍부한 철새의 수용력을 갖추고 있기 때문에 과거와 달리 아산만 철새도래지에서의 서식보다는 계속적으로 인근의 소하천과 저수지쪽으로 철새들이 유입되고 있고, 이들 소하천과 인접해 있는 가금사육농가들에게 조류인플루엔자의 발생 위험요소는 계속적으로 증가되고 있다. 특히, 인근의 소하천인 곡교천, 풍서천 등에서는 매년 조류인플루엔자 바이러스 항원이 지속적으로 검출되고 있다.

아산만 철새도래지는 주로 큰기러기, 쇠기러기, 큰고니, 흑부리오리, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리, 넓적부리, 줌도요, 민물도요, 꿩이갈매기, 황오리 등이 서식하고 있다. 아산만 철새도래지와 천수만 철새도래지로부터 유입되거나 월동조류들이 국내 유입 시 곧 바로 이들 철새도래지의 인근 소하천과 저수지 등으로 유입되고 있다. 주변의 소하천들도 해당지역의 도시화에 따른 아파트 건설과 고수부지 정비 등으로 철새 서식처의 조건들을 많이 상실해 가고 있지만 도시의 하수구 주변 등의 풍부한 먹이로 인해 도심속의 소하천까지 철새들이 유입되는 경향이 많다.

또한 최근 환경보호 등으로 수질상태가 양호해지고 사냥꾼이나 야생동물 등 천적들이 많이 사라지고 있어 철새들을 수용할 환경조건은 열악하지만 또 다른 환경조건이 철새들의 서식조건을 충족시키고 있어 도심속의 깊숙한 소하천에도 서식하는 경우가 많아지고 있다. 대부분의 도심 주변에 서식하는 철새로 인해 가금사육농가들에서의 조류인플루엔자의 발병 위험요인 많이 사라지지만 오히려 철새들이 사람들과의 접촉이 잦아지면서 사람에서의 조류인플루엔자의 발생 가능성은 점차적으로 높아지고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

아산만 철새도래지와 천수만 철새도래지를 중심으로 한 인근 소하천들은 야생조류의 분변에서 매년 조류인플루엔자 바이러스항원과 항체가 많이 검출된 지역으로서 월동조류들이 많이 서식하고 있다. 또한 인근의 소하천인 곡교천, 병천천, 풍서천에서는 야생조류들이 배설해 놓은 분변과 포획한 철새의 분변과 혈액 등에서 다양한 조류인플루엔자 바이러스 항원과 항체들이 많이 검출되고 있다. 또한, 아산만 철새도래지 주변의 소하천과 논밭의 주위에는 가금사육농가들이 많이 조류인플루엔자의 발생 위험도가 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

아산만 철새도래지으로부터 500m이내에는 가금사육농가가 없지만, 3km이내 7농가, 3km~10km이내 49농가를 포함하여 30km이내에는 762농가에 18,343,393수가 사육되고 있고, 우리는 30km이내에 69농가에 298,109수가 사육되고 있었다. 지리적으로는 인근 평택시, 안성시,

천안시, 아산시, 당진군이라는 큰 소비처가 있지만 이들 지역에서 도축 생산되는 가금육보다 종계장, 종오리농장과 부화장 등이 많아 종계, 종오리, 중추, 유추 등이 전국적으로 유통되고 있고, 이와 관련된 종계인들이 평택과 아산지역에 많이 있어, 이들 지역에서의 조류인플루엔자 발생 시는 빠른시간 내에 전국적으로 조류인플루엔자가 전파 확산되는 경향이 있어 특별 방역 관리가 필요한 지역이다.

표 125. 아산만 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	농장	개체수	농장	개체수	농장	개체수	농장
500 m								
3 km	7	151,604						
10 km	49	1,177,790	6	6,862				
30 km	706	17,013,999	63	291,247	2	165,000	4	4,012
합계	762	18,343,393	69	298,109	2	165,000	4	4,012

○ 방역조치사항

아산만 철새도래지는 주변은 평택항과 당진항 주변으로 포승공단, 당진제철소, 현대자동차 등 많은 공단이 밀집해 있어, 바다와 이들 공단이 아산만 철새도래지 주변을 절반 이상을 차지하기 때문에 아산만 철새도래지와 인접한 아산호 철새도래지, 삼교호 철새도래지보다는 주변의 소하천과 저수지에 주로 많이 서식하고 있다. 특히, 삼교호 상류인 예당저수지는 많은 겨울철새들이 서식하고 있다. 또한 아산만 철새도래지로부터의 3km이내에는 가금사육농가가 드물기 때문에 직접적인 유입 위험요인보다 아산만 철새도래지로부터 30km이내에 있는 많은 가금농가들과 인접해 있는 소하천과 저수지 등에 서식하는 철새로부터의 조류인플루엔자의 발병 위험도가 점차적으로 높아지고 있다.

따라서, 아산만 철새도래지를 중심으로 철새의 거동거리가 연결되는 30km 전후의 지역에 있는 소하천과 저수지 주변의 가금사육농가에 대하여 가금축사 주변의 논밭에 대한 낙곡방지와 논밭갈이를 지속적으로 한다. 또한 철새들이 주로 서식하는 인접한 소하천의 주변의 잡목 및 수초제거와 소각을 하며, 범위는 최소 야생동물의 이동반경인 최소한 2~3km까지 해주거나 아니면 최소한 500m~1km까지는 해주는 것이 좋다.

또한 이들 지역에 출입한 사람, 차량, 농기구 등으로 반드시 철저한 세척 소독이 필요하며, 이들 지역을 출입한 축주는 출입 착용한 장화 등 신발과 의복류를 교체한 다음 가금축사내로 출입을 한다.

(2) 곡교천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

곡교천 철새도래지는 하류인 아산만 철새도래지로부터 상류지역 천안시까지 아산시를 가로 지르는 소하천으로서 아산만, 삼교호, 아산호, 예당저수지 등에서 서식하던 철새들이 기온변화에 따라 곡교천으로 유입되거나 월동조류들의 국내도래 시에 곡교천으로 곧 바로 유입되어 서식하는 형태를 취하고 있다.

곡교천은 주변이 아산시와 천안시가 있고, 주변의 신도시 개발로 주변 서식처가 많이 사라지고 있지만 주변의 모래톱, 습지 및 수풀 등이 풍부하여 여전히 많은 수의 철새들이 서식하고 있다.

또한 이들 지역에서 야생조류의 분변과 포획철새로부터 매년 조류인플루엔자 바이러스항원이 검출되고 있고, 포획 철새에 대한 발목에 링 밴드 부착하여 이동경로를 조사한 결과에서도 멀리 시베리아에서도 유입되고 있었다.

그리고, 부착한 개체에서 다음해 부착지점으로부터 500m 지점에서 동일한 개체를 확인한 바가 있었다. 이처럼 국내에 도래하는 철새들은 멀리 시베리아, 몽골, 북중국 등으로부터 유입되고, 국내에서 서식했었던 그 지역으로 또 다시 동일 철새가 유입되고 있어 계속적으로 조류인플루엔자의 위험이 반복되고 있다.

○ 철새 분포상황

곡교천 철새도래지는 과거보다 철새들이 서식할 수 있는 환경조건 들이 점차 나빠지고 있고, 수용력 부족에 따른 서식 철새들이 감소하고 있다. 또한 주변의 가금사육농가들도 과거보다는 감소하고 있지만 타 지역에 비해서는 여전히 가금사육농가가 밀집해 있다. 그리고, 곡교천과 인근 소하천에서의 먹이 섭취가 용이하지 않아 인근 가금축사 주변의 논밭에서 부족한 먹이를 섭취하기 위해 이동하는 과정에서 배설된 오염된 분변 등과 접촉된 야생조수류와 사람, 차량, 기구 등에 의해 가금축사내로 오염원이 유입될 가능성은 더욱 높아지고 있다.

곡교천 철새도래지는 주로 큰기러기, 쇠기러기, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리, 넓적부리, 줌도요, 민물도요 등이 많이 서식하고 있다. 곡교천 철새도래지는 열악한 철새의 수용력 속에서도 많은 철새들이 여전히 서식하고 있는 이유로 추정되는 것은 곡교천의 특징상 천안시 하수종말처리장, 랜더링가공장, 하수구 등의 풍부한 플랑크톤 등을 먹이로 삼기 때문에 논밭의 낙곡이 부족하더라도 견딜 수 있다.

또한 최근 국내의 환경보호 강화로 인해 도심 주변의 사람들이 사냥꾼처럼 철새들에 대하여 크게 해를 끼치지 않고 천척이 드물다는 점과 기온 급강하 시에도 도시의 열섬효과 등으로 타 지역보다 안전하게 겨울을 날수 있는 장점이 있어 곡교천을 떠나나지 않고 월동기간내에 이곳에서 서식하는 경우가 많았다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

곡교천 철새도래지는 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리 등 야생조류의 분변에서 조류인플루엔자 바이러스항원이 많이 검출된 지역으로서 월동조류들이 많이 서식하고 있다. 매년 이들 지역에서는 야생조류의 분변과 포획 철새에서 조류인플루엔자 바이러스 항원과 항체들이 많이 검출되고 있다. 또한 곡교천 철새도래지 주변의 소하천과 논밭의 주위에는 가금사육농가들이 많이 조류인플루엔자의 발생 위험도가 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

곡교천 철새도래지로부터 500m이내 2농가, 3km이내 21농가, 3km~10km이내 93농가를 포함하여 30km이내에는 1,161농가에 25,529,883수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 124농가에 660,539수가 사육되고 있으며, 메추리는 8농가 785,000수가 사육되고 있다. 곡교천 철새도래지는 곡교천의 상류로부터 하류까지 모래톱과 수초만 있는 곳이라면 많은 수의 철새들이 서식하고 있고, 곡교천 강변따라 직접 오염원이 전파될 수 있는 거리인 인근 500m 이내와 3km이내에 가금사육농가들이 있고, 철새 거동거리 30km이내에는 닭, 오리, 메추리를 포함한 가금류가 3,000만수 이상이 사육되고 있는 곳으로서 종계장, 종오리농장 등과 계열농장들이 많이 산재해 있다.

표 126. 곡교천 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	농가	개체수	농가	개체수	농가	개체수	농가	개체수
500 m	2	30,000						
3 km	21	1,325,012	3	160,003				
10 km	93	2,337,833	8	67,778			2	252
30 km	1,045	21,837,038	113	432,758	8	785,000	8	4,067
합계	1,161	25,529,883	124	660,539	8	785,000	10	4,319

○ 방역조치사항

곡교천 철새도래지는 주변은 곡교천 하류를 제외하고 상류의 대부분은 도심권을 관통하는 형태로 하천이 이어지면서 상류쪽은 아파트 등 주택지와 주변 공단들로 인해 논밭이 사라지고 있고, 하류쪽은 여전히 하천과 논밭으로부터 충분한 먹이를 섭취할 수가 있다.

또한 상류쪽의 경우에도 군데군데 소규모의 논밭에서 먹이를 섭취하고 있고, 주변의 가금사육농가 주변의 논밭에도 접근을 자주하고 있다. 곡교천 주변의 500m이내의 종오리농장에서 2006년/2007년도 고병원성조류인플루엔자가 발생한 바가 있기 때문에 이들 지역에 대해서는 특별방역관리가 필요한 지역이다.

따라서, 곡교천 주변 지역의 강가와 논밭 등에 출입한 사람, 차량, 농기구 등으로 반드시 세

적과 소독을 철저히 한다. 특히 이들 지역을 출입한 축주는 출입 시 착용한 장화 등 신발과 의복류를 교체한 다음 가금축사내로 출입을 하도록 한다.

(3) 풍세천 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

풍세천 철새도래지는 천안시 풍세면을 위치한 풍세천으로서 곡교천 상류천인 봉강천과 전곡천이 합류되는 소하천으로서 모래톱과 수초 등이 발달되어 있고, 주변 고수부지의 보리밭과 가금축사 주변의 논밭의 낙곡들로 인해 해마다 풍세천 주변에는 많은 철새들이 서식하고 있다.

특히 풍세천에는 철새가 배설해 놓은 분변과 포획한 철새의 분변과 혈액 등으로부터 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원과 항체가 검출되고 있고, 인근 양계단지에서 수 차례 고병원성조류인플루엔자가 발생했었던 고위험지역이라 할 수 있다.

○ 철새 분포상황

풍세천 철새도래지는 풍세천의 길이에 비해 많은 수의 철새들이 월동하고 있다. 또한 천연기념물인 원앙이 국내에서 가장 많이 서식하고 있는 지역 중에 한곳이며, 원앙을 제외한 대부분의 조류종은 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리 등이 많이 서식하고 있다. 또한 주변의 곡교천과 병천천은 풍세천과 더불어 매년 조류인플루엔자 바이러스항원과 항체들이 철새분변과 포획철새 등으로부터 지속적으로 검출되는 고위험지역으로서 특별방역관리가 필요한 지역이다.

풍세천 철새도래지는 과거와 달리 주변이 계속 개발로 인해 풍세천과 인근의 논밭에서 먹이 섭취와 휴식 등이 용이하지는 않지만, 인근 가금축사 주변의 논밭으로 야생조류들이 이동하는 과정에서 배설한 오염된 분변 등과 접촉된 야생조수류와 사람, 차량, 기구 등에 의해 가금축사내로 조류인플루엔자의 오염원이 유입될 가능성은 더욱 높아지고 있다. 풍세천 철새도래지는 인근의 곡교천 철새도래지와 마찬가지로 하수구와 고수부지의 보리밭 등에서 먹이를 섭취하고 서식조건이 대부분이 곡교천과 유사하다.

풍세천 철새도래지는 원앙, 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리, 고방오리, 도요류 등이 많이 서식하고 있으며, 야생조류의 분변에서 조류인플루엔자 바이러스항원이 많이 검출된 지역이다. 그리고, 매년 이들 지역에서는 야생조류의 분변과 포획 철새에서 조류인플루엔자 바이러스 항원과 항체들이 많이 검출되고 있어, 조류인플루엔자의 발생 위험도가 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

풍세천 철새도래지으로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 500m이내 1농가, 3km이내 32농가, 3km~10km이내 135농가를 포함하여 30km이내에는 1,342농가에 22,045,719수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 210농가에 1,463,750수가 사육되고 있으며, 메추리는 11농가

980,000수가 사육되고 있다.

또한 풍세천 철새도래지는 곡교천, 봉강천, 전곡천, 병천천 등이 인근에 있고, 풍부한 모래톱과 수초 들로 인해 많은 수의 철새들이 서식하고 있다. 풍세천 강변따라 직접 오염원이 전과될 수 있는 거리인 인근 500m 이내와 3km이내에 가금사육농가들이 많이 있고, 철새 거동거리 30km이내에는 닭, 오리, 메추리를 포함한 가금류가 2,000만~2,500만수 이상이 사육되고 있는 곳으로서 종계장, 종오리농장 등과 계열농장들이 많이 산재해 있다.

표 127. 풍세천 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적
500 m	1	30,000						
3 km	32	952,831	5	78,332				
10 km	135	2,588,904	12	53,744	5	420,000	1	-
30 km	1,174	18,473,984	193	1,331,674	6	560,000	9	4,375
합계	1,342	22,045,719	210	1,463,750	11	980,000	10	4,375

○ 방역조치사항

풍세천 철새도래지는 주변은 곡교천, 봉강천, 전곡천, 병천천 등과 논밭 등으로 인해 이들 지역의 철새들 모두 수용하고 있고, 또한 이들 철새도래지에서 철새가 배설해 놓은 분변과 포획한 철새의 분변과 혈액 등으로부터 조류인플루엔자 바이러스항원과 항체가 지속적으로 검출되고 있으며, 주변은 많은 가금사육농가가 있어 직·간접적으로 조류인플루엔자의 오염원들이 가금사육농가로 유입될 가능성이 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

특히 풍세천과 인접해 있는 양계단지는 2차례의 고병원성조류인플루엔자 발생이후 단지 주변을 울타리를 치고 출입구에서 잠검 장치를 설치하여 출입하는 사람과 차량 및 기구 등에 대한 철저한 세척 소독과 풍세천의 강변에 있는 잡목과 수초 등을 제거하나 소각하고 주변 논밭의 흙을 뒤집어 주고, 주변 소독을 강화한 이후로는 많은 위험요소가 인근에 있기 때문에 조류인플루엔자의 발생 위험요소가 유입될 가능성이 있지만 울타리 등을 설치한 이후부터 현재까지 발생되지 않고 있다. 또한 풍세천과 인근 논밭을 출입한 사람, 차량, 기구는 곡교천과 마찬가지로 세척 및 소독 등과 출입금지 등 특별방역관리를 한다.

(4) 천수만 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

천수만 철새도래지는 서산 A지구 간척지(간월호)와 서산 B지구 간척지(부남호)의 방조제를 따라 안면도와 홍성군사이에 위치하고 있다. 천수만 철새도래지는

국내 최대의 철새도래지 중에 하나로서, 넓은 간척지내의 풍부한 먹이와 주변의 서식환경조건이 좋기 때문에 철새 수용력이 충분하여 서해안지역으로 도래하는 월동조류들이 시화호 철새도래지와 함께 가장 먼저 국내로 유입되는 곳 중에 하나이다.

○ 철새 분포상황

천수만 철새도래지는 주변의 천수만, 간월호, 부남호, 홍성호, 보령호 등과 주변의 소하천, 저수지 및 습지와 논밭의 낙곡 등이 철새들에게 천혜의 서식조건을 제공하고 있다. 주로 큰기러기, 쇠기러기, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리, 도요류, 큰고니, 꿩이갈매기 등이 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

천수만 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 21농가, 3km~10km이내 185농가를 포함하여 30km이내에는 976농가에 19,025,262수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 106농가에 333,845수가 사육되고 있었다.

또한 천수만 주변의 넓은 서산간척지 주변 500m이내에는 대부분 가금사육농가가 없지만, 간척지로부터 조금 벗어난 야생동물의 이동거리인 3km이내에는 군데군데 가금사육농가가 위치해 있기 때문에 간척지 주변의 논밭과 소하천 및 저수지를 통한 가금 축사내로 직·간접적으로 조류인플루엔자 발병 위험요소인 오염원의 유입으로 조류인플루엔자 발병할 가능성이 매우 높은 지역 중에 하나이다.

특히 홍성호와 보령호의 주변인 홍성군 천북면, 은하면, 광천읍, 장곡면(오서산)에 소재하는 국가가 직접 종계장 위생관리를 하는 유명한 원종계장들이 밀집된 지역으로서 국내 가금산업을 지키기 위해서는 대단히 중요한 곳으로 특별방역관리가 요구되는 곳이기도 하다. 이들 철새도래지를 중심으로 철새의 거동거리인 30km이내에 2,000만수 이상의 가금류가 사육되고 있다. 또한 국내 가금산업의 피라미드 구조에서 가장 맨 꼭대기에 있는 원종계장(GGP)을 중심으로 계열화된 종계장(GP)과 양계장(CC)들이 밀집되어 있다.

천수만 철새도래지는 간월호 철새도래지와 부남호 철새도래지와 근거리에 있고, 주변은 닭도축장과 종계장 및 종오리농장과 계열농장이 서산, 홍성지역 등에 밀집되어 있다. 또한 이들 가금사육농장 주변에 서식하는 월동조류가 많아 조류인플루엔자 발생 가능성이 매우 높은 지역이다.

그러나, 천수만 철새도래지, 간월호 철새도래지, 부남호 철새도래지는 넓은 서산간척지로 인

해 대부분 바다와 호수로 인해 절반은 발병 위험요소가 없다. 또한 500m주변에는 가금사육농가가 위치하고 있지 않지만, 3km 주변에는 종오리농장을 비롯하여 가금사육농가가 철새가 주로 서식하는 간척지와는 인접해 있고, 이들 종오리농가 중에서 조류인플루엔자가 발생한 농가도 있다.

특히 30km이내에는 많은 가금사육농가의 주변에는 있는 소하천과 저수지에 흰뺨검둥오리를 비롯한 많은 월동조류들이 서식하고 있다. 또한 홍성지역은 국내에서 친환경오리농법을 가장 많이 하는 곳으로서 논가에서 10~20여두씩 오리를 방사할 수 있는 가로 1m, 세로 2m 정도의 간오리사가 홍성지역의 봄과 여름철 논가에 즐비하게 위치하고 있다. 봄과 여름철의 논에서 방사되고 있는 집오리와 직접 접촉하는 월동조류는 드물지만 여름철새와 오리류 월동조류 중 번식처인 몽골, 북중국, 시베리아 등으로 북상하지 않고 국내에서 도착되고 있는 오리류들과의 상호접촉은 언제든지 가능하기 때문에 이들 오리류들의 도착화로 인해 월동조류를 통한 조류인플루엔자가 국내 잠복감염될 가능성도 높아지고 있다. 또한 월동기 또는 봄철 북상하는 월동조류들이 배설해 놓은 분변과의 접촉 가능성은 완전히 배제할 수가 없다.

표 16. 천수만 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적당	개체수	면적당	개체수	면적당	개체수	면적당
500 m								
3 km	21	719,030	1	1				
10 km	185	4,384,198	9	30,135			1	10
30 km	770	13,922,034	96	303,709			9	128
합계	976	19,025,262	106	333,845	-	-	10	138

○ 방역조치사항

천수만 철새도래지, 간월호 철새도래지, 부남호 철새도래지의 주변은 닭 도축장과 가공장이 있고, 종계장 및 종오리농장과 계열농가들이 산재해 있어 천수만 철새도래지, 간월호 철새도래지 등으로부터의 위험요소를 통해 오염원이 직접 가금사육농가로 유입되어져 조류인플루엔자의 발생 가능성이 매우 높은 지역이다. 특히 간월호 인근에는 종오리농가가 위치해 있고, 홍성호 인근에도 국내 유명 원종계장들이 많이 위치해 있어 이들 지역에 조류인플루엔자 발생 시에는 국내 가금산업의 뿌리를 송두리째 뽑아버리는 결과를 가져올 수 있기 때문에 특별방역 관리가 필요한 지역이다.

천수만 철새도래지, 간월호 철새도래지, 부남호 철새도래지 등과 소하천 및 저수지 등에서는 철새 수용력이 풍부하여 국내 철새도래지 중 많은 수의 철새들이 도래하는 주요 철새도래지

라 할 수 있다. 또한 이 지역은 국내 철새도래지 중에서 주변의 가금사육농가가 많아 조류인플루엔자 발생 가능성이 매우 높은 지역이라 할 수 있기 때문에 천수만 철새도래지, 간월호 철새도래지, 부남호 철새도래지 주변의 가금사육농가에 대해서는 철저한 방역관리가 필요하다.

(5) 간월호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

간월호 철새도래지의 서산간척지 A 지구에 해당되는 지역으로서 서산시 고북면 간척지 주변에 전투기 비행장이 인접해 있어 항상 야생조류로 인한 항공기 피해(bird strike)가 크게 우려되는 지역 중에 하나이다.

또한 간월호 철새도래지는 서산시 고북면, 해미읍, 부석면, 홍성군 갈산면에 둘러 쌓여 있고, 홍성군에서 안면도 방면으로 간월호 방조제 초입에 홍성군 철새전망대가 있으며, 매년 철새도래시기에 간월호 철새도래지를 전용버스를 이용하여 철새탐방객을 실은 관광버스가 주변을 운행하고 있다. 그리고, 간월호 방조제가 종료되는 간월도 초입에는 서산시가 운영하는 간이 철새전망대와 철새측제장이 마련되어 있으며, 마찬가지로 철새탐방객들을 전용버스를 이용하여 간월호 철새도래지를 왕래시키고 있다.

○ 철새 분포상황

간월호 철새도래지는 서산 A지구, 궁리, 간월도 지역에 주로 서식하는 조류종은 큰기러기, 쇠기러기, 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 큰고니, 알락오리, 고방오리, 비오리, 중대백로, 붉은부리갈매기, 흰죽지, 도요류, 꿩이갈매기 등 다양한 조류종이 서식하고 있다. 또한 인근의 부남호 철새도래지의 경우에도 마찬가지로 다양한 조류종이 서식하고 있다.

간월호 철새도래지인 서산 A지구 간척지 중 창리 부근에서 2010년 수리부엉이 2수에서 고병원성조류인플루엔자(H5N1)가 발생이 확인된 곳으로서, 창리지역에 서산시가 대규모의 철새전망대를 새롭게 건설하는 과정에서 다양한 철새들이 서식할 수 있도록 건설 중인 서산시 철새전망대 인근의 눈에 인위적으로 물을 채워서 눈에 상시 물이 있도록 하여 황새, 두루미, 기러기, 흰뺨검둥오리, 청둥오리 등 다양한 철새들이 서식하도록 만들었다.

또한 이들 서식처 주변에서 수리부엉이 2수가 고병원성조류인플루엔자에 직접 감염되어져 3일 간격으로 연속적으로 폐사함에 따라 긴급 역학조사를 수행한 결과, 수리부엉이의 특성상 1부 1처제이면서 3km이내의 이동반경을 갖고 있어, 바닷가 절벽이 있는 야산에서 둥지를 틀고 서식하면서 가을철 월동을 위해 국내 유입된 오리류의 겨울철새가 고병원성조류인플루엔자에 감염된 것으로 추정되었다. 그리고, 감염된 개체를 국내 서식조류에서의 먹이사슬에서 맨 꼭대기에 있는 포식자인 수리부엉이가 이들 감염개체를 수컷 혼자서 포식하는 과정에서 단일 감염되었다가 암컷과의 둥지에서 접촉하는 과정에서 전파 또는 감염된 오리류 개체를 암컷과 나누어 먹는 접촉과정에서 고병원성조류인플루엔자가 발생된 것으로 추정되었다.

따라서, 그 동안 국내에서 수차례 고병원성조류인플루엔자가 발생할 당시에도 야생조류의 분변이나 포획 철새에서 고병원성조류인플루엔자 바이러스 항원을 검출한 바는 있었지만, 직접적으로 야생조류에서 고병원성조류인플루엔자의 발생을 첫 확인한 사례였고, 2010년과 2011년 고병원성조류인플루엔자의 발생 당시에는 이제껏 한번도 볼 수 없었던 많은 야생조류에서 고병원성조류인플루엔자에 감염된 것을 직접 확인할 수 있었다.

또한 간월호 철새도래지인 서산 A지구 간척지와 바로 인접해 있는 부남호 철새도래지는 서산 B지구 간척지로서 서산 A지구에서 안면도 방면으로의 부남호 초입에는 서산현대산업과 한우목장이 우측인 창리쪽에 위치해 있고, 부남호 방조제 중간에는 태안군 철새전망대가 위치해 있다.

그리고, 최근 부남호는 태안기업도시가 들어오면서 주변의 논밭이 사라지면서 철새들의 수용력이 크게 부족해지면서 인근의 간월호 또는 타 철새도래지 등으로 이동하면서 서식하는 철새들의 개체수가 급감하고 있다. 또한 태안군 지역은 대부분 펜션 등을 개발되면서 가금사육농가도 사라지면서 부남호 철새도래지를 조류인플루엔자 발병 위험도 점차 낮아지고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

간월호 철새도래지로부터 3km이내 2농가, 3km~10km이내 91농가를 포함하여 30km이내에는 1,242농가에 16,864,263수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 138농가에 306,485수가 사육되고 있었다. 천수만 철새도래지 주변과 마찬가지로 간월호 철새도래지 주변 30km이내에는 1,700만수 이상의 가금사육농가가 밀집해 있고, 주변의 철새도래지와 인근의 소하천과 저수지에는 많은 철새들로 인해 조류인플루엔자 발생 위험도 매우 높은 지역이다.

표 17. 간월호 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수
500 m								
3 km	2	7	3	92,648				
10 km	91	1,625,254	9	39,533			1	20
30 km	1,149	15,239,002	126	174,304	1	100,000	10	80
합계	1,242	16,864,263	138	306,485	1	100,000	11	100

○ 방역조치사항

간월호 철새도래지는 주변은 닭 도축장과 가공장이 있고, 종계장 및 종오리농장과 계열농가들이 산재해 있어 천수만 철새도래지, 부남호 철새도래지처럼 각종 위험요소를 통해 오염원이

직접 가금사육농가로 유입되어서 조류인플루엔자의 발생 가능성이 매우 높은 지역이다. 특히 간월호 철새도래지 인근에는 위치해 있는 종오리농가에서 조류인플루엔자가 발생한 가 있고, 2010년 수리부영이 2수에서 고병원성조류인플루엔자가 발생한 지역으로서 천수만 철새도래지와 동일 수준의 특별방역관리가 요구된다.

마. 전북지역

(1) 금강호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

금강호 철새도래지는 충남 서천군, 부여군, 전북 익산시, 군산시가 둘러 쌓여 있고, 금강하구둑이 생기면서 금강하구에는 흙이 퇴적하면서 갯벌이 잘 발달되어 많은 철새들이 서식하고 있다. 금강호와 금강하구의 철새도래지는 하구쪽은 바다와 군산시와 장항읍이 1/3 정도를 차지하고 있어, 주로 금강호 주변의 논밭에서 철새들이 많이 서식하고 있다.

또한 우리나라와 세계적으로 가창오리의 주 서식처인 금강호에는 서천쪽에는 서천시 철새전망대와 군산쪽에는 군산시 철새전망대가 있으며, 군산시의 해마다 개최하는 철새축제는 국내에서 가장 큰 규모의 철새행사라고도 할 수 있다.

그리고, 가창오리의 군무를 보기위해 철새탐조객들이 많이 방문하고 있고, 주요 철새 서식처에는 CCTV를 부착하여 실시간으로 철새의 이동상황을 인터넷으로 확인할 수 있도록 되어 있다.

○ 철새 분포상황

금강호 철새도래지는 가창오리 외에도 다양하고도 많은 철새들이 서식하고 있으며, 대부분 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리, 큰고니, 고니, 큰기러기, 쇠기러기, 흰죽지, 땃기흰죽지, 꿩이갈매기, 붉은부리갈매기 등이 많다. 또한 금강하구쪽의 갯벌 등에는 이들 종류 외에도 마도요, 민물도요, 재갈매기, 흰뺨오리, 홍머리오리, 청머리오리, 알락오리 등이 많이 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

금강호 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가들의 분포를 보면, 3km이내 35농가, 3km~10km이내 539농가를 포함하여 30km이내에는 2,944농가에 32,450,074수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 211농가에 360,646수가 사육되고 있고, 메추리는 30km이내에 3농가 445,000수가 사육되고 있다.

특히 금강호 상류지역인 전북 익산, 충남 부여 등에는 국내 유명회사의 계열농장이 많아 엄청난 수의 가금이 사육되고 있다. 이들 지역에서 생산되는 닭은 국내 단위면적당 가장 많은 량의 닭을 생산하고 있고, 각종 가금관련 유통산업이 발달해 있다. 금강호 상류의 소하천과 저수

지 등에는 많은 수의 철새들이 서식하면서 인근의 가금사육농가 주변의 논밭으로 먹이를 찾아 무리를 지어 이동하거나 축사로 접근하는 경우가 많다.

표 130. 금강호 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	35	100,524	2	12			1	-
10 km	539	1,086,046	39	22,454	1	45,000	3	55
30 km	2,370	31,263,504	170	338,180	2	400,000	16	2,148
합계	2,944	32,450,074	211	360,646	3	445,000	20	2,203

○ 방역조치사항

금강호 철새도래지는 주변은 국내에서 단위면적 당 가장 많은 가금류가 사육되고 있는 전북 익산·김제, 충남 부여·여천·서천으로서 대규모 닭 도축장과 가공장이 있고, 종계장 및 종오리농장과 계열농가들이 곳곳에 산재해 있다.

또한 이들 지역은 거의 매년 고병원성조류인플루엔자가 발생하거나 철새분변과 포획철새에서 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원과 항체가 검출되고 있는 고위험지역이다. 그리고, 동지역에서 고병원성조류인플루엔자가 발생 시 전국적인 가금류 유통망을 통해 삼시간에 전국적으로 전파 확산된 곳으로서 특별방역관리가 필요하다.

(2) 만경강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

만경강 철새도래지는 전북 익산시, 군산시, 김제시, 전주시, 완주군을 관통하는 강으로서 주변의 김제평야를 비롯한 넓은 곡창지대와 소하천과 저수지 등이 많이 있어 전국적으로 철새들 서식환경조건을 종합검토하면 최적의 환경조건을 갖추고 있어 풍부한 수용력으로 인해 철새들이 많이 유입되고 있는 지역이라 할 수 있다.

그러나, 최근 인근의 새만금방조제가 준공됨에 따라 만경강의 철새도래지가 크게 위협을 받고 있다. 그 동안 만경강 하류지역의 넓은 갯벌에서 서식하던 다양한 철새들이 향후 새만금간척지로서 대규모 건설사업이 진행되고 서식처가 좁아지면서 이곳에서 수용하던 철새들이 수용력 부족에 따라 타 지역과 인근 소하천과 저수지 등 내륙 깊숙이 철새들이 이동할 경우, 가금사육농장이 밀집된 만경강 철새도래지 주변 지역의 고병원성조류인플루엔자 발병 위험은 계속

증가할 수밖에 없다.

○ 철새 분포상황

만경강 철새도래지는 만경강을 따라 모래톱과 수초, 그리고 인근의 곡창지대에서 먹이섭취와 휴식을 취할 수 있었던 공간인 철새도래지를 수용력을 통해 한곳에서 철새를 묶어두는 방법이 가장 현명한 조류인플루엔자 방역이라 할 수 있다. 왜냐하면, 이미 수차례의 고병원성조류인플루엔자가 발생하는 과정에서 역학조사결과에서 1차적으로 추정된 유입 원인과 2010년과 2011년에 야생조류에서 세계적으로 유례를 찾아보기 힘들 정도로 야생조류에서 많이 발생한 만큼 오리류 등의 월동조류들의 국내 유입에 의해 고병원성조류인플루엔자가 발생 가능성에 대해서는 의심할 여지가 없다.

또한 만경강 철새도래지는 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리, 큰고니, 큰기러기, 쇠기러기, 흰죽지, 검은머리흰죽지, 꿩이갈매기, 민물도요 등이 많이 서식하고 있다. 그리고, 2010년 익산 춘포면지역의 만경강 철새도래지에서 철새분변에서 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원이 검출된 바가 있다. 또한 전주천과 만경강 등에서는 매년 철새분변과 포획철새에서 조류인플루엔자 바이러스항원과 항체가 검출되고 있다. 또한 2006년/2007년, 2008년, 2010년/2011년에 전북 익산과 김제의 가금사육농가에서 고병원성조류인플루엔자가 많이 발생된 바가 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

만경강 철새도래지로부터 3km이내 4농가, 3km~10km이내 377농가를 포함하여 30km이내에는 2,603농가에 30,951,377수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 194농가에 666,235수가 사육되고 있고, 메추리는 30km이내에 3농가 765,000수가 사육되고 있다. 특히 만경강 철새도래지는 전북 익산, 김제 등에는 국내 유명회사의 닭도축장과 오리도축장과 그들의 계열농장에서 많은 수의 가금류가 사육되고 있으며, 익산지역은 육계농장과 토종닭농장이 많고, 김제 용지양계단지는 산란계농장 등이 많다. 또한 새만금방조제 준공에 따른 새만금간척지처럼 어쩔 수 없이 철새도래지가 파괴될 경우는 이들 지역에서 서식했던 주요 조류종에 대한 국내 이동경로를 추적하여 해당 이동지역에 대한 신속한 방역관리가 뒤따르도록 조치를 취한다.

표 131. 만경강 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적
500 m								
3 km	4	8						
10 km	377	6,579,878	26	160,504	1	400,000	2	31
30 km	2,222	24,371,491	168	505,731	2	365,000	15	2,594
합계	2,603	30,951,377	194	666,235	3	765,000	17	2,625

○ 방역조치사항

국내 월동조류에 대한 조류인플루엔자의 예방을 위한 실효성 있는 방역조치는 매년 유입되는 겨울철새들이 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원을 보유하고 국내로 유입되고 있더라도 가금사육농가에서 조류인플루엔자의 발생 예방을 위한 가금사육농가의 방역의지에 따라 크게 달라진다. 또한 오리류의 월동조류에서 해마다 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원이 잠복 감염된 상태로 유입되고 있는 상황에서 가금사육농가와 오염원 접촉을 차단하기 위해서라도 가금사육농가와 원거리에 있는 국내 철새도래지간 위험요소관리를 통한 조류인플루엔자를 예방하기 위해서는 철새도래지별의 철새의 수용력을 파괴시켜서는 안된다

예를 들어, 인공적인 항공방제로 인하여 철새들의 서식환경을 파괴함으로써 먹이를 제대로 섭취 못하고 휴식도 취할 수 없는 철새도래지는 철새들의 수용력 부족으로 인해 타 지역으로 철새들이 자연스럽게 이동할 수밖에 없다. 또한 철새들이 이동하는 과정에서 새로운 지역에 조류인플루엔자를 전파 확산을 초래할 수 있다. 일반적으로 농약살포의 경우는 정지된 농작물에 대한 병충해 예방 측면에서 탁월하지만, 철새도래지에 대한 항공방제는 철새도래지의 소독의 효과 여부를 떠나 인위적 소독행위를 통해 철새들이 안전하게 휴식하면서 서식하는 환경을 파괴함으로써, 철새도래지 주변에서 섭취할 먹이에 소독약이 살포될 경우 야생조수류들이 엄청난 스트레스를 받게 되면서 항병력이 약해지고, 또한 잠복 감염된 개체일 경우는 오히려 조류인플루엔자가 발병할 가능성도 완전히 배제할 수가 없다.

또한, 항공방제의 경우에도 실시간으로 배설되는 분변을 1회성 소독으로는 효과적으로 제대로 소독을 할 수도 없다. 그리고, 이들 철새도래지에서 그 동안 안정적으로 휴식을 취하면서 먹이를 섭취하고 배설한 철새분변들이 해당 철새도래지에서 존재하면서 기온의 변화와 햇빛 등에 의해 자연적으로 소독이 이루어졌고, 특히 하절기에 병원체가 완전히 사멸되는 것으로 추정되었다. 그리고, 이들 철새도래지로부터 외부로 유출되는 오염원은 철새도래지 입구에서 사람, 차량, 기구 등에 대하여 세척 소독을 실시하고, 야생조수로부터 오염원이 유입될 수 있는 위험요인은 가금사육농가에서 울타리 또는 방조망을 설치하고 주변 소독을 철저히 하는 실효

성 있는 방법이라 할 수 있다.

따라서, 철새도래지에 대한 항공방제 소독은 매우 신중해야 하며, 철새의 건강성 여부를 떠나 오직 철새도래지에 대한 소독만을 생각할 경우에는 철새들이 타 지역으로 먹이를 섭취하여 모두 이동한 시기에 항공방제가 실시해야 한다. 이와 같이 항공방제를 꼭 시행해야 할 경우라면 현지 철새도래지의 사정과 철새이동시기 등을 생태학적으로 충분히 고려 시점에서 짧은 시간 내 철새들의 체내에 아무런 영향을 미치지 않고 오로지 조류인플루엔자 바이러스만을 사멸시키는 약제를 선정하여 살포해야 하며, 소독약은 철새도래지 출입구에 살포하는 소독약과는 반드시 구분되어야 한다.

또한 만경강 철새도래지는 주변은 전북 익산·김제의 대규모 닭 도축장과 가공장이 있고, 종계장 및 종오리농장과 계열농가들이 많이 있다. 특히 만경강 주변지역은 거의 매년 고병원성조류인플루엔자가 발생하거나 철새분변과 포획철새에서 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원과 항체가 검출되고 있는 고위험지역으로서 금강호 철새도래지처럼 특별방역관리가 필요하다.

(3) 동진강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

동진강 철새도래지는 전북 김제시, 부안군, 정읍시에 위치하고 있고 주변의 김제평야를 비롯한 넓은 곡창지대와 소하천, 저수지, 습지 등이 많이 있고, 갯벌과 수초, 갈대숲 등으로 많은 철새들이 서식하고 있다. 그러나, 만경강과 함께 동진강 철새도래지는 만경강과 동진강 하구에 새만금방조제가 준공됨에 따라 동진강의 철새도래지가 크게 위협을 받고 있다. 동진강 하류지역의 넓은 갯벌과 갈대밭과 수초 등에서 서식하던 다양한 철새들이 수용력 부족에 따라 타 지역과 인근 소하천과 저수지 등으로 이동할 가능성이 높아지고 있다.

○ 철새 분포상황

동진강 철새도래지는 동진강 하구의 갯벌이나 동진강을 따라 발달된 모래톱과 수초와 갈대숲이나 인근의 청호저수지 등 소규모 저수지 등과 소하천 등에서 휴식을 취하면서 주변의 곡창지대에서 먹이를 섭취하는 장면을 이곳의 논밭에서는 자주 목격하게 된다. 특히 큰기러기와 쇠기러기떼가 이들 지역의 창공을 선회하면서 논밭의 낙곡들을 섭취하는 것을 잘 볼 수 있다.

또한 동진강 철새도래지는 큰고니, 큰기러기, 쇠기러기, 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리, 고방오리, 흑부리오리, 비오리, 흰죽지, 재갈매기, 마도요, 민물도요 등이 많이 서식하고 있다. 그리고, 동진강 철새도래지에서 포획한 철새의 분변이나 철새들이 배설해 놓은 분변 등에서 매년 조류인플루엔자 바이러스항원이 지속적으로 검출되고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

만경강 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 13농가, 3km~10km

이내 192농가를 포함하여 30km이내에는 1,147농가에 21,070,157수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 192농가에 2,532,938수가 사육되고 있고, 메추리는 30km이내에 2농가 470,000수가 사육되고 있다. 특히 동진강 철새도래지는 만경강 철새도래지와 마찬가지로 전북 김제, 정읍, 부안 등에는 닭과 오리농장들이 계열화되어 있어 많은 수의 가금류가 사육되고 있다.

표 132. 동진강 철새도래지 (서해안지역, 양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수
500 m								
3 km	13	372,290	1	6,000			1	500
10 km	192	5,083,713	20	223,549				
30 km	942	15,614,154	171	2,303,389	2	470,000	3	307
합계	1,147	21,070,157	192	2,532,938	2	470,000	4	807

○ 방역조치사항

동진강 철새도래지는 주변은 전북 부안·김제·정읍의 닭도축장과 오리 도축장과 가공장 등이 있으며, 이들과 관련된 종계장 및 종오리농장과 계열화된 가금사육농가들이 많이 있다. 특히 동진강 철새도래지 주변은 가금사육농가가 많고 추수기와 파종기 등에 철새분변이 배설되어 있는 논밭의 출입이 잦아 조류인플루엔자 오염원을 가금사육농가로 유입시킬 수가 있다.

또한 해마다 고병원성조류인플루엔자가 발생하거나 철새분변과 포획철새에서 고병원성조류인플루엔자 바이러스항원과 항체가 검출되고 있는 타 지역보다 조류인플루엔자 발생 고위험지역으로서 만경강 철새도래지처럼 특별방역관리가 필요하다.

(4) 동립저수지 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

동립저수지 철새도래지는 전북 정읍시에 위치한 저수지로서 만경강 철새도래지와 마찬가지로 주변의 김제평야를 비롯한 넓은 곡창지대와 소하천과 저수지 등이 많이 있어 철새들의 서식환경조건을 골고루 갖추고 있다.

○ 철새 분포상황

동립저수지 철새도래지는 만경강 철새도래지와 동진강 철새도래지에서 서식하는 가창오리와 기러기 등이 이들 철새도래지 주변의 곡창지대에서 먹이를 섭취하다가 먹이가 떨어지거나 기

온이 하강하면 이곳까지도 와서 먹이를 섭취하고 있다. 그리고, 국내 도래 당시부터 이곳에서 가창오리, 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠기러기, 큰기러기, 쇠오리, 큰고니 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

동림저수지 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 30km이내에는 오리도축장이 있고, 주변은 닭과 오리가 밀집 사육되고 있다. 특히 정읍지역은 닭 사육도 많지만 오리의 경우는 인근 오리도축장 외에도 전남 광주, 나주지역의 오리도축장과 연계된 종오리 농장과 육용오리 농장이 밀집해 있다.

또한 동림저수지 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 14농가, 3km~10km이내 134농가를 포함하여 30km이내에는 828농가에 17,467,092수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 188농가에 2,915,782수가 사육되고 있다. 특히 동림저수지 철새도래지 주변은 전북지역에서 금강호 철새도래지와 만경강 철새도래지와 가금사육농가가 결코 작지 않은 가금사육수수가 2,000만수가 넘고, 닭도 많이 사육하지만 오리의 경우에는 전북지역에서 가장 많이 생산하는 지역 중에 하나이다.

표 133. 동림저수지 철새도래지 (양계단지, 도압장 1개소)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	14	366,421	4	46,000				
10 km	134	4,116,639	72	1,240,591			1	300
30 km	680	12,984,032	112	1,629,191	1	70,000	6	544
합계	828	17,467,092	188	2,915,782	1	70,000	7	844

○ 방역조치사항

동림저수지 철새도래지는 주변에 오리 도축장과 가공장이 있고, 종계장 및 종오리농장과 연계된 가금사육농가들이 많이 있다. 특히 동림저수지 철새도래지 외에도 만경강 철새도래지와 금강호 철새도래지 등으로부터 이동된 철새들이 주변 논밭에 겨울철에 무리를 지어 이동하는 것을 많이 볼 수 있다. 또한 이들이 이동하는 과정에서 가금사육농가 주변에 배설된 분변 등이 직간접적으로 접촉되어 오염원이 유입되면서 조류인플루엔자 발생 위험이 매우 높은 지역으로서 철저한 방역관리가 필요하다.

(5) 섬진강 철새도래지(남원)의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

섬진강 철새도래지는 전북 남원시로부터 하류지역인 전남 곡성·순천, 경남 하동으로 흐르는 섬진강을 따라 주변 소하천 및 저수지에 서식하는 철새도래지로서 상류지역인 전북 남원과 전남 곡성지역의 섬진강 철새도래지로서 다양한 월동조류 등이 서식하고 있다.

남원지역의 경우는 남원소재의 오리도축장을 중심으로 주변에 계열화된 종오리 및 육용오리 농가가 밀집되어 있고, 또한 전북 익산·정읍·김제 등과 전남 나주지역 등 타 지역의 닭도축장과 오리도축장과의 계열화된 종오리농장, 종계장, 육용오리농장, 육계농장 등이 원거리인 이들 지역과 연계되어 가금사육농가가 많이 있다.

○ 철새 분포상황

남원지역의 섬진강 철새도래지 주변은 타 산업들이 많이 존재하지 않아 농가의 소득 측면에서 축산업이 발달되어 있고, 특히 한우를 제외한 오리가 집단으로 사육되고 있다.

또한 인근 섬진강 철새도래지와 소하천 및 저수지 등에서 서식하는 흰뺨검둥오리, 청둥오리, 쇠오리, 고방오리 등이 섬진강 철새도래지 주변에서 먹이가 부족할 경우는 가금축사 주위까지 먹이를 섭취하는 경우가 있어 가금축사 주위로 야생조수류와 사람 등이 접근하지 않도록 철저한 방역조치가 필요하다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

섬진강 상류인 남원지역의 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 500m이내 1농가, 3km이내 20농가, 3km~10km이내 143농가를 포함하여 30km이내에는 876농가에 17,631,293수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 163농가에 3,224,125수가 사육되고 있다. 또한 전북 남원지역과 전남 곡성지역인 섬진강 상류의 철새도래지 주변은 가금사육수수가 2,000만수가 넘고, 닭과 오리가 많이 사육되고 있지만 전북지역에서 정읍과 함께 가장 많이 오리를 사육하는 곳이다.

표 134. 섬진강 (오리단지, 도압장 1개소, 전북 남원)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적
500 m	1	36,000						
3 km	20	399,058	3	54,500				
10 km	143	4,021,025	19	267,440				
30 km	712	13,175,210	141	2,902,185			11	34,145
합계	876	17,631,293	163	3,224,125			11	34,145

○ 방역조치사항

섬진강 상류 철새도래지의 주변에는 오리 도축장과 가공장이 있고, 종계장, 종오리농장, 육계농장, 육용오리농장 등 계열농가들이 많이 있다. 특히 섬진강 상류지역인 남원지역은 오리농장에서 사육된 것이 남원소재의 오리도축장 외에도 인근 정읍과 전남 나주와 경남 하동의 도축장으로 오리들이 이동하기 때문에 남원 지역에서의 조류인플루엔자 발생 시 삼시간에 전북, 전남, 경남지역으로 전파 확산이 가능하기 때문에 철저한 방역관리가 필요하다.

바. 광주·전남지역

(1) 섬진강 철새도래지(순천·하동)의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

섬진강 하류의 철새도래지는 경남 하동지역과 전남 순천·광양지역으로서 섬진강 하구에 위치한 갈사만 및 광양만 외에도 인근의 순천만과 사천만이 있어 철새들이 월동하기에서 천혜의 서식조건을 갖추고 있다. 또한 넓은 갯벌과 갈대숲과 수초 등으로 인해 갈사만, 광양만, 순천만, 사천만의 주변 논밭과 소하천 및 저수지 등이 다양한 철새들이 서식하고 있다.

특히, 광양만은 광양제철소와 광양화력발전소 등으로 인해 천혜의 갯벌들이 사라지고 있지만 주변의 해수면이 증가하여 물고기가 많고, 주변의 갈사만 간척지와 순천만의 경우는 아직도 넓은 갯벌과 갈대숲에서 휴식을 취하다가 주변 논밭의 낙곡들을 섭취하고 있으며, 섬진강 하구인 갈사만과 광양만 초입은 아직도 풍부한 갯벌과 갈대밭과 수초들로 인해 많은 철새들이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

섬진강 하류의 철새도래지는 광양만과 갈사만 철새도래지와 인근 순천만 철새도래지와 사천

만 철새도래지와 인접하여 오리류 등 다양한 철새들이 서식하고 있다. 또한 광양만과 갈사만 철새도래지는 섬진강 하구로서 큰고니, 흑기러기, 흑부리오리, 홍머리오리, 청머리오리, 알락오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 넓적부리, 검둥오리사촌, 땡기흰죽지, 흰뺨오리, 흰비오리, 바다비오리, 물닭, 개펄, 민물도요, 꿩이갈매기, 재갈매기, 붉은부리갈매기, 검은머리갈매기 등이 주로 서식하고 있다.

순천만 철새도래지는 갈대숲과 풍부한 갯벌을 중심으로 오리류 등 다양한 겨울철새 등이 서식하지만 순천만 인근의 논에서 낙곡을 섭취하면서 서식하는 철원 민통선지역을 제외한 국내에서 흑두루미가 가장 많이 서식하는 곳이며, 특히 순천만 지역에서는 노랑부리저어새, 큰고니, 고니, 큰기러기, 쇠기러기, 흑부리오리, 홍머리오리, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리, 흑두루미, 재두루미, 두루미, 개펄, 마도요, 민물도요, 재갈매기, 갈매기, 검은머리갈매기 등이 주로 서식하고 있다.

사천만 철새도래지는 흑부리오리, 홍머리오리, 청머리오리, 알락오리, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리, 흰뺨오리, 바다비오리, 비오리, 땡기물떼새, 깡작도요 등이 서식하고 있다. 또한 진양호 철새도래지는 원앙, 홍머리오리, 청머리오리, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 흰죽지, 호사비오리 등이 주로 서식하고 있다. 그리고, 인근의 고성만 지역의 대가저수지, 마동호, 당항포 철새도래지 등에서는 흑부리오리, 청머리오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 넓적부리, 검은머리흰죽지, 바다비오리, 붉은부리갈매기, 쇠오리 등과 해안가와 저수지 등에서 많이 서식하며, 특히 최근 들어 국내 독수리의 최대 월동지 중에 하나이다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

섬진강 하류지역의 철새도래지로부터 하동지역에 오리도축장이 있고, 순천, 곡성, 하동, 사천 등 지역에서 닭과 오리들이 집단 또는 소규모로 사육되고 있다. 특히 섬진강 하류지역의 가금사육농가들은 계열화된 가금사육농가들이 타 지역에 비해 적고, 소규모로 지역별 분산되어져 사육되고 있다.

섬진강 하류 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 10농가, 3km~10km이내 101농가를 포함하여 30km이내에는 1,040농가에 592,156수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 87농가에 476,556수가 사육되고 있다. 특히 섬진강 하류 철새도래지 주변은 금강호, 만경강, 동림저수지 등의 철새도래지 주변의 가금사육농가와 비교할 때 사육농가수에 비해 사육수수는 적은 편에 속한다. 가금사육농가가 1,10여농가에 사육수수는 100만수 정도로서 대부분 소규모 사육농가형태로 곳곳에 분산되어 있다.

표 135. 섬진강 (오리 단지, 도압장 1개소)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적
500 m								
3 km	10	4,074	3	3				
10 km	101	20,696	5	148				
30 km	929	567,386	79	476,405	1	40,000	11	887
합계	1,040	592,156	87	476,556	1	40,000	11	887

○ 방역조치사항

섬진강 하류 철새도래지는 주변에 오리 도축장과 가공장이 있고, 토종닭 등 소규모 농장들이 많이 있다. 특히 섬진강 하류 철새도래지는 전남과 경남지역의 도간 경계에 있어 방역관리에 매우 어려운 점이 많은 지역이다. 섬진강 하류 철새도래지로부터 가금사육농가 주변 논밭에 먹이를 섭취하기 위해 겨울철새들이 접근할 수 있고, 일부 소규모농가들은 방사를 하고 있어 야생조류로부터 배설된 분변 등 오염원이 직간접적으로 접촉되어 가금사육농가로 유입될 경우에 조류인플루엔자가 발생할 수 있기 때문에 철저한 방역관리가 필요하다.

(2) 영산강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

영산강 철새도래지는 상류인 광주시, 나주시, 함평군으로부터 하류지역인 영암군, 무안군, 목포시 지역으로 이어지는 큰 강으로서 영산강 하구언둑이 형성되기 전에는 목포만으로부터 나주까지 해상 교통로가 발달되었던 지역에 위치해 있다.

영산강 하구언둑으로 영산호가 생기면서 바닷물과 민물이 교류되지 않고 퇴적물들이 계속 쌓이면서 하상이 높아지면서 타 지역보다 모래톱과 수초가 많이 형성되고, 인근의 나주평야 등 곡창지대가 많아 겨울철새들의 수용력이 풍부하여 서식환경조건은 매우 좋은 편이다. 그러나, 최근 들어 4대강 사업의 하나로서 영산강 준설공사 등으로 인해 모래톱과 수초 등이 많이 사라지면서 많은 철새들이 서식환경의 변화와 수용력 부족에 따라 인근의 소하천 및 저수지나 인근의 나주호, 금호호, 영암호, 고천암호 등 지역으로 서식처를 이동하는 것으로 추정되고 있다.

○ 철새 분포상황

영산강 철새도래지는 나주호로부터 목포만으로 계속 이어지는 영산강 철새도래지와 인근 소

하천 및 저수지에는 큰기러기, 쇠기러기, 고니, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 비오리, 흰죽지 등이 주로 서식하고 있다. 또한 영산강 철새도래지는 최근의 준설공사 등으로 인해 과거와 달리 서식하는 철새들의 개체수가 많이 감소하는 것으로 추정되고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

영산강 철새도래지인 나주, 함평, 영암지역은 국내에서 닭과 오리 도축장이 가장 많이 밀집되어 있고, 계열화된 닭과 오리사육농가가 많으며, 특히 단위면적당 국내에서 오리사육이 가장 많은 지역으로서 조류인플루엔자의 발생 위험도가 가장 높은 지역 중에 하나로서, 조류인플루엔자 발생시마다 매번 발생하는 지역으로 특별방역관리가 요구되는 지역이다.

영산호 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 11농가, 3km~10km이내 121농가를 포함하여 30km이내에는 779농가에 3,631,073수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 176농가에 1,501,368수가 사육되고 있으며, 메추리는 30km이내에 10농가에 490,000수가 사육되고 있다. 특히 영산강 상류의 철새도래지 광주시, 나주시와 인접되어 있고. 주변의 산업단지 등으로 영산강 하류지역인 영산호 주변인 영암과 함평지역보다 가금사육농가는 1,000여 농가 정도로 많지만 사육규모면에서는 오히려 500~600만수로서 적게 사육되고 있다.

그러나, 영산강 상류와 하류지역의 철새도래지를 비교할 경우는 상류지역이 적게 보일지는 모르나 실제적으로는 타 지역과 비교시는 가금사육이 많은 곳으로서 닭과 오리의 도축장을 통한 계열농장들과 소규모 농가들이 혼재된 지역이라는 것을 알 수 있다.

표 136. 영산강 (오리 양계단지, 오압장 4개소)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	11	98,932	3	31,800				
10 km	121	599,349	32	171,498	1	15,000	2	10,000
30 km	647	2,932,792	141	1,298,070	9	475,000	9	226
합계	779	3,631,073	176	1,501,368	10	490,000	11	10,226

○ 방역조치사항

영산강 철새도래지는 주변에 닭과 오리 도축장과 가공장등이 있고, 계열화 및 규모화된 가금사육농가들이 많이 있고, 영산강 상류와 하류지역과 주변의 소하천과 저수지 등에는 겨울철새들이 많이 서식하고 있고, 가금사육농가가 밀집되어 있는 나주평야 등 주변의 곡창지역에서 낙곡을 섭취하는 과정에서 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 유입될 가능성이 매

우 높은 곳이기 때문에 전국적으로 조류인플루엔자 발생 위험도가 가장 높은 지역이기 때문에 특별 방역관리가 요구되는 지역이다.

영산강 철새도래지 주변은 닭과 오리도축장과 가공장이 많고 전국적으로 오리가 가장 많이 사육되고 있는 지역 중에 하나로서, 이들 지역은 닭과 오리도축장을 출입하는 출하차량이 많기 때문에 조류인플루엔자에 잠복감염된 가금류가 도축되는 과정에서 출하차량으로부터 비산되는 공기유동물질(먼지, 깃털, 피모 등) 등을 통해 주변 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 유입될 가능성이 매우 높고, 조류인플루엔자 발생 시에도 밀집된 가금사육농가가 사람, 차량, 물건, 야생조수류 등의 인적·물적자원의 이동 외에도 공기유동물질에 의한 전파 확산의 개연성도 높은 지역이라 할 수 있기 때문에 출하차량의 이동시에 대한 방역관리도 필요한 지역이라 할 수 있다.

(3) 영산호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

영산호 철새도래지는 영암군, 무안군, 목포시 지역으로서 영산강 상류는 나주시와 함평군이 위치해 있으며, 영산호 하류인 영산강 하구언둑과 목포만 주변은 전남도청이 있는 남악신도시와 목포시와 대불공단과 주변 도로와 산 등으로 인해 영산강 상류지역보다 철새 수용력이 부족해지면서 갈매류를 제외한 오리류 등 겨울철새들이 모래톱과 수초가 많고 논밭이 많은 영산강 상류지역보다 일반적으로 적지만 날씨가 추워지면 중부권으로부터 월동조류들이 유입되면서 영산호에 일시적으로 많은 겨울철새들이 유입되는 경우도 있다.

○ 철새 분포상황

영산호 철새도래지는 인근의 금호호, 나주호, 장흥호, 영암호, 고천암호 등의 철새도래지와 인접하여 오리류 등 다양한 겨울철새들이 많이 서식하지만 대부분 고니, 큰기러기, 쇠기러기, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 비오리, 흰죽지 등이 주로 서식하고 있다.

또한 영산호 철새도래지 주변은 나주, 함평, 영암 등 지역은 계절화된 닭과 오리사육농가가 많으며, 특히 단위면적당 국내에서 오리사육이 가장 많은 지역으로서 조류인플루엔자의 발생 위험도가 가장 높은 지역 중에 하나로서, 조류인플루엔자 발생시마다 매년 발생하는 지역으로 특별방역관리가 요구되는 지역이다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

영산호 철새도래지로부터 3km~10km이내 44농가를 포함하여 30km이내에는 530농가에 11,428,195수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 263농가에 4,841,613수가 사육되고 있다. 특히 영산강 철새도래지 주변은 금호호, 고천암호 등의 철새도래지 주변과 타 지역의 철새도래지 주변의 가금사육농가와 사육수수를 비교할 때에도 사육농가수와 사육수수가 많은 편에 속한다.

가금사육농가는 800농가에 1,500만수 이상이 사육되고 있으며, 대부분 닭과 오리의 도축장을 통한 계열농장들로서 사육농가 대비 사육수수가 많은 것을 볼 때 규모화된 가금사육농가가 밀집되어 있다는 것을 알 수가 있다.

표 137. 영산호 철새도래지 (서남해안 지역)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	500 m							
3 km								
10 km	44	487,914	15	227,756				
30 km	486	10,940,281	248	4,613,857	1	100,000	5	69
합계	530	11,428,195	263	4,841,613	1	100,000	5	69

○ 방역조치사항

영산호 철새도래지는 주변은 대부분 계열화 및 규모화된 가금사육농가들이 많이 있고, 영산강 상류와 하류지역과 주변의 소하천과 저수지 등에 많은 겨울철새들이 서식하고 있고, 가금사육농가가 밀집되어 있는 나주평야 등 주변의 논밭에서 낙곡을 섭취하는 과정에서 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 유입될 가능성이 매우 높은 곳이기 때문에 전국적으로 조류인플루엔자 발생 위험도가 가장 높은 지역이기 때문에 특별 방역관리가 요구되는 지역이다.

영산호 철새도래지 주변은 전국적으로 오리가 가장 많이 사육되고 있는 지역으로서, 전북 익산, 김제처럼 닭이 많이 사육되는 지역이지만 양계장으로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 유입될 경우는 단 시간 이내에 임상 발현 등으로 인해 조류인플루엔자 발병 사실을 축주나 관리자가 확인하기가 용이해져 신속한 신고와 진단 등으로 주변 지역 전파 확산을 조기에 차단할 수가 있다.

그러나, 오리가 집단적으로 사육되고 있는 영산강 철새도래지 일대에는 겨울철새 등으로 인해 조류인플루엔자 바이러스항원이 오리농장으로 유입되었더라도 임상증상이 발현이 없는 불현성 잠복감염사례가 많아 발생초기에 축주나 관리자가 임상적으로 관찰하기가 곤란하여 신고와 진단이 지연되면서, 이미 주변의 많은 가금사육농가로 조류인플루엔자에 오염된 위험요소들이 여러 곳으로 전파 확산되어져 폭발적인 발생 양상을 나타내는 것이 동 지역의 조류인플루엔자 발생양상의 특징이라고도 할 수 있다.

영산강 철새도래지 주변의 소하천과 저수지 등은 가금사육농가와 직접적으로 인접해 있는 경우가 많고, 이들 소하천과 저수지에는 많은 수의 겨울철새들과 야생동물이 살, 족제비, 야생

고양이 등이 많이 서식하고 있다. 또한 주변 논밭에 먹이를 섭취하기 위해 겨울철새들이 자주 접근하고 있어 야생조류로부터 배설된 분변 등 오염원이 직·간접적으로 접촉되어 가금사육농가로 유입될 경우에 조류인플루엔자가 발생할 수 있기 때문에 철저한 방역대책이 필요하다.

(4) 금호호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

금호호 철새도래지는 전남 해남지역으로서 인접한 영암호 철새도래지와 호수가 연결되어져 있고, 또한 이들 철새도래지는 영암-해남 기업도시로 인해 호수 주변의 갯벌은 주변 영암군 황산면·문내면·산이면 지역의 논밭과 소하천 및 저수지 등에서 다양한 겨울철새들이 많이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

금호호 철새도래지는 영암호, 영산호, 고천암호 철새도래지와 인접하여 고니, 큰기러기, 쇠기러기, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 흰죽지, 꿩이갈매기 등이 주로 서식하면서 이들 철새도래지를 왕래하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

금호호 철새도래지로부터 3km이내 2농가, 3km~10km이내 14농가를 포함하여 30km이내에는 327농가에 4,807,195수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 54농가에 709,103수가 사육되고 있다. 금호호 철새도래지 주변은 영산강과 영산호 철새도래지 주변의 가금사육농가와 비교할 때 사육농가수와 사육수수는 적은 편에 속하지만, 가금사육농가는 400농가에 사육수수는 500만수 정도로서 타 지역에 비해하여 결코 적은 편은 아니다.

표 138. 금호호 철새도래지 (서남해안 지역)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
500 m								
3 km	2	306,000						
10 km	14	709,124	1	18,000			1	-
30 km	311	3,792,071	53	691,103			6	16
합계	327	4,807,195	54	709,103	-	-	7	16

○ 방역조치사항

금호호 철새도래지와 주변의 영산강, 영산호, 영암호, 고천암호 등의 철새도래지는 겨울철 기온이 심하게 하강하면 중부권과 북부권으로부터 많은 겨울철새들이 일시적으로 남하하는 지역의 호수들로서 주변에는 많은 가금사육농가들 위치하고 있고, 폭설기에는 겨울철새들이 가금사육농가로 많이 접근할 수 있는 지역으로서 특별방역관리가 필요하다.

(5) 고천암호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

고천암호 철새도래지는 전남 해남군 해남읍, 황산면, 화산면 등 지역으로서 넓은 갈대숲과 갯벌과 모래톱이 발달되어 있고, 해안선을 따라 염전이 잘 발달되어 있고, 주변의 논밭과 소하천 및 저수지 등이 많은 겨울철새들이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

고천암호 철새도래지는 인근의 영암호 철새도래지와 금호호 철새도래지와 인접하여 큰기러기, 쇠기러기, 청둥오리, 알락오리, 홍머리오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리 등이 주로 서식하고 있다. 특히 고천암호 철새도래지는 풍부한 갈대숲과 갯벌과 상류지역 모래톱과 수초 등에서 오리류 등 다양한 겨울철새 등이 서식하면서 인근의 논밭에서 낙곡을 섭취하면서 추운 겨울철에는 북부권과 중부권으로부터 남하한 월동조류가 서남해안지역에서 가장 많이 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

고천암호 철새도래지로부터 3km~10km이내 31농가를 포함하여 30km이내에는 491농가에 4,158,628수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 59농가에 681,718수가 사육되고 있다. 특히 고천암호 철새도래지 주변은 영산호와 영산강 철새도래지보다는 가금사육농가가 적지만, 금호호, 영암호 철새도래지 주변 정도의 가금사육농가와 사육수수가 분포되어 있다.

표 139. 고천암호 철새도래지 (서남해안 지역)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적
500 m								
3 km								
10 km	31	686,522	4	69,004				
30 km	460	3,472,106	55	612,714	1	100,000	12	79
합계	491	4,158,628	59	681,718	1	100,000	12	79

○ 방역조치사항

고천암호 철새도래지는 주변이 넓은 논과 갈대밭이 형성되어 있어 월동조류 외에도 야생동물들이 많이 서식할 수 있는 조건을 갖추고 있지만 야생동물의 직접적인 이동거리 내에는 가금사육농가가 거의 없어 철새도래지로부터 가금사육농가로의 직접적으로 유입되는 위험요소는 적은 지역이라 할 수 있다.

그러나, 철새의 이동거리상에 해당되는 30km이내 지역에는 500만수 이상의 가금류가 사육되고 있어 조류인플루엔자의 직간접적인 위험요소가 완전히 사라졌다고는 할 수 없다. 또한 겨울철새들이 가금사육농가 주변의 낙곡을 섭취하는 과정에서 야생조류로부터 배설된 분변 등 오염원이 직간접적으로 접촉되어 가금사육농가로 유입될 경우에 조류인플루엔자가 언제든지 발생할 수 있기 때문에 철저한 방역관리가 필요하다.

사. 대구·경북지역

(1) 안동호 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

안동호 철새도래지는 경북 안동, 의성, 청송 등 지역으로서 인근의 임하호 철새도래지와 연결되어 있고, 안동댐과 임하댐으로부터 나온 물은 안동시내에서 합수되면서 낙동강으로 흘러가면서 댐 수문 주위와 낙동강 수변 주위와 안동댐과 임하댐의 상류지역의 수초와 잘 발달된 모래톱 하상위나 주변의 논밭과 소하천 및 저수지 등이 많은 겨울철새들이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

안동호 철새도래지는 인근의 임하호 철새도래지와 인접하여 청둥오리, 알락오리, 홍머리오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 흰비오리, 비오리, 빨논병아리 등이 주로 서식하고 있다. 특히 안동호 및

임하호 철새도래지는 낙동강 수변의 논밭에서 낙곡을 섭취하면서 경북 내륙 지역에서 겨울철 새들이 많이 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

안동호 철새도래지로부터 3km이내 6농가, 3km~10km이내 105농가를 포함하여 30km이내에는 1,009농가에 5,756,300수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 85농가에 86,326수가 사육되고 있다. 특히 안동호 철새도래지 주변은 양계단지가 있어 경북 내륙지역 중에서도 많은 가금류가 사육되고 있다.

표 140. 안동호 (양계 단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수
500 m								
3 km	6	98						
10 km	105	747,267	8	15,115	1	100,000	2	8
30 km	898	5,008,935	77	71,211			5	528
합계	1,009	5,756,300	85	86,326	1	100,000	7	536

○ 방역조치사항

안동호 철새도래지는 상류지역은 수초 및 모래톱과 주변의 논밭 등에서 월동조류들이 낙곡을 섭취하는 과정에서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로 유입될 수가 있다. 또한 가금사육 농가수에 비해 사육수수가 영산호 및 영산강 철새도래지나 금강호 철새도래지보다 적은데, 백두대간을 따라 주변의 높은 산악 등으로 인해 영주, 안동, 봉화 등 지역에서 규모화된 가금사육농가도 많이 있지만 반대로 아주 소규모의 가금사육농가가 많이 산재해 있다.

또한 철새의 이동거리상에 해당되는 30km이내 지역에는 닭의 경우는 500만수 이상의 사육되고 있으나 오리의 경우는 8~10만수 정도로 소규모로 사육되고 있다. 또한 이들 지역은 산란계가 많이 사육되고 있어 전남과 전북지역에서 평사하는 육계나 오리와는 다르게 외부로부터의 오염원이 유입되더라도 발병 위험이 다소 낮은 지역이며, 타 지역으로부터의 가금산업의 물류의 이동과정에서 유입되는 오염원에 의한 발생 가능성이 더욱 높다고 할 수 있다.

(2) 형산강(경주 양계단지) 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

형산강 철새도래지는 경주시로부터 포항의 영일만까지 이어지는 형산강 주변의 수초와 모래톱 등과 주변의 소하천 및 저수지 등에 다양한 겨울철새들이 서식하고 있다. 특히 양동민속마을 및 강동대교 주변의 형산강 등에는 많은 철새들이 서식을 하고 있다.

○ 철새 분포상황

형산강 철새도래지는 인근의 보문호와 안계저수지와 인접하여 쇠기러기, 대백로, 청둥오리, 알락오리, 홍머리오리, 청머리오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 흰비오리, 비오리, 원앙 등이 주로 서식하고 있다. 특히 형산강 철새도래지는 인근의 낙동강과 소하천 및 저수지 등에서 월동을 하는 경우가 많다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

형산강 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 9농가, 3km~10km이내 150농가를 포함하여 30km이내에는 632농가에 5,049,199수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 71농가에 71,323수가 사육되고 있으며, 특히 메추리가 30km이내에 7농가에 2,311,000수가 사육되고 있다. 형산강 철새도래지는 경주시 안강읍과 영천시 등 지역에서 많은 가금류가 사육되고 있고, 특히 영천지역의 계열화 또는 소규모 토종닭 사육농가와 메추리 사육을 하는 농가 등이 많이 있다.

표 141. 형산강 철새도래지 (양계단지, 경북 경주)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	500 m							
3 km	9	134	1	-	-	-		
10 km	150	900,062	11	3,989	4	180,000		
30 km	473	4,149,003	59	67,334	3	2,131,000	9	1,273
합계	632	5,049,199	71	71,323	7	2,311,000	9	1,273

○ 방역조치사항

형산강 철새도래지의 상류지역은 수초 및 모래톱과 주변의 논밭 등에서 월동조류들이 낙곡을 섭취하는 과정에서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로 유입될 수가 있다. 경주지역은 천년고도로서 타 산업들이 별로 없고, 한우 및 닭 사육이 많으며, 특히 인근의 포항 등의 소비처가 있어 경주 안강읍, 영천 등 지역 등에서 많은 닭들이 사육되고 있다.

형산강 철새도래지 주변의 소하천과 저수지 등에도 많은 철새들이 서식하고 있고, 인근의 가

금사육농가로 야생조수류를 통한 직·간접적으로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 유입될 수가 있다.

아. 부산·울산·경남지역

(1) 태화강 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

태화강 철새도래지는 울산시 언양읍으로부터 울산만까지 이어지는 태화강은 하천 복원사업을 통해 죽음의 강에서 생태 복원하천으로 거듭난 곳으로서 태화강 상류지역과 소하천 및 저수지와 인근의 우리나라 구석시시대의 유물인 반구대암각화가 있는 사연호, 대암호, 회야호 등 지역에서 많은 철새들이 서식하고 있다. 태화강 하류지역은 울산시내와 공업단지 등으로 인해 철새들의 서식환경조건이 열악하여 주로 상류쪽에 많이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

태화강 철새도래지는 명천대교에서 삼호교까지의 태화강 주변의 논밭은 국내 최대의 떼까마귀 서식처이며, 그 외 갈가마귀, 민물가마우지, 흰죽지, 물닭, 흑부리오리, 알락오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 넓적부리, 고니, 붉은부리갈매기, 재갈매기 등이 주로 서식하고 있다. 특히 태화강 철새도래지는 주변의 논밭 외에도 전선줄에 무리를 지어 휴식을 취하거나 비행하는 장면을 자주 목격할 수 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

태화강 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 1농가, 3km~10km이내 45농가를 포함하여 30km이내에는 415농가에 2,624,678수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 87농가에 75,600수가 사육되고 있으며, 특히 메추리가 30km이내에 8농가에 505,000수가 사육되고 있다. 태화강 철새도래지 주변의 울산시 언양읍, 경남 양산, 경주방면등 지역에서 많은 가금류가 사육되고 있다. 특히 경남 양산지역의 계열화된 산란계농장과 연결성을 갖고 있으며, 철새도래지로부터의 직접적인 위험보다 울산지역의 경우는 가금산업의 큰 소비처가 있고, 양계산업은 인근의 경남 양산, 부산 기장, 경북 경주시 등으로부터 산란계, 토종닭, 육계 등을 통해 위험이 유입되거나 전라권과 충청권에서의 오리육 유입 등에 의한 조류인플루엔자 발병 위험이 있다.

표 142. 태화강 철새도래지의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	종수	개체수	종수	개체수	종수	개체수	종수
500 m								
3 km	1	20	4	26				
10 km	45	8,860	21	2,461			1	15
30 km	369	2,615,798	62	73,113	8	505,000	7	1,096
합계	415	2,624,678	87	75,600	8	505,000	8	1,111

○ 방역조치사항

태화강 철새도래지의 상류지역은 수초 및 모래톱과 주변의 논밭 등에서 월동조류들이 낙곡을 섭취하는 과정에서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로 유입될 수가 있지만 태화강 철새도래지에 서식하는 주요 종이 떼까마귀와 갈가마귀로서 국내 서식하는 까마귀와 까치와 접촉 가능성이 높고, 이들과 접촉한 까치 및 참새 등이 가금사육농가의 분변장으로 접근이 용이한 조류종으로서 타 지역과는 구별되는 위험요인이라 할 수 있다.

태화강 철새도래지 주변의 소하천과 저수지 등에도 많은 철새들이 서식하고 있고, 인근의 소규모 가금사육농가로 월동조류가 배설해 놓은 오염원과 접촉될 경우 야생조수류와 인적·물적 자원을 통한 직·간접적으로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 유입될 수가 있다.

(2) 을숙도 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

을숙도 철새도래지는 부산시 사하구와 강서구사이에 있는 낙동강 하구에 형성된 삼각지로서 낙동강 수변지역의 풍부한 수초와 모래톱과 인근의 김해평야와 하구의 갯벌 등으로 인해 철새들의 서식환경조건이 잘 갖춘 곳 중에 하나이다. 그러나, 을숙도 철새도래지가 천혜의 철새 서식환경조건을 갖춘 곳이지만 을숙도는 낙동강 하구언둑, 을숙도대교, 녹산국가산업단지, 부산시 사하구로 사면이 둘러쌓여 있고, 인근의 김해평야는 김해공항과 산업화로 인해 김해평야에서의 낙곡섭취가 많이 어려워지고 있어 세계적인 철새도래지의 명성에 비해 철새의 수용력은 저하되고 있다. 또한 낙동강 하구의 수변지역의 고수부지는 비닐하우스 단지와 산책로 등으로 인해 철새들의 휴식공간은 점차 사라지고 있다.

○ 철새 분포상황

을숙도 철새도래지는 낙동강하구둑과 을숙도대교에 사이에 있는 습지로서 풍부한 갯벌이 있

어 아직도 많은 철새들이 서식하고 있다. 주로 서식하는 조류종은 큰기러기, 홍머리오리, 가창오리, 흑부리오리, 알락오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 고방오리, 넓적부리, 큰고니, 흰죽지, 꿩이갈매기, 재갈매기, 민물가마우지 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

울속도 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 3km이내 2농가, 3km~10km이내 33농가를 포함하여 30km이내에는 389농가에 2,471,896수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 58농가에 39,359수가 사육되고 있으며, 특히 메추리가 30km이내에 2농가에 75,200수가 사육되고 있다. 울속도 철새도래지 주변의 경남 김해시·양산시, 부산시 강서구지역은 많은 가금류가 사육되고 있다.

특히 경남 양산지역의 계열화된 산란계농장이 많고, 경남 김해의 경우는 원종계장이 있다. 울속도 철새도래지로부터낙동강 하류지역의 철새도래지 주변의 소하천과 저수지 등에 서식하는 철새로부터의 직접적인 위험보다 철새들의 오염된 분변과 접촉된 야생조수류와 인적·물적 자원을 통한 가금사육농가로의 위험은 다소 있지만 부산시 강서구 지역을 제외한 양산지역 등은 타 지역에 비해 월동조류로부터의 직접적인 위험도는 낮다.

그러나, 오리사육농가가 적은 경남과 부산지역 등은 가금육의 큰 소비처가 있어 외부로부터 오리육을 구입할 수 밖에 없고, 대부분 전남지역으로부터 많은 오리육이 구입되고 있고, 부산 강서구, 기장 등과 경남 김해 및 양산지역에서 소규모 오리농가 등에서 오리육을 구입하는 과정에서 오염원이 가금사육농가로 유입될 수 있다.

표 143. 울속도 철새도래지 (양계단지)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	농가	개체수	농가	개체수	농가	개체수	농가	개체수
500 m								
3 km	2	30						
10 km	33	28,577	8	5,880			2	260
30 km	354	2,443,289	50	33,479	2	75,200	7	8,090
합계	389	2,471,896	58	39,359	2	75,200	9	8,350

○ 방역조치사항

울속도 철새도래지는 갯벌과 낙동강 하구언쪽은 수초 및 모래톱과 주변의 논밭 등에서 월동조류들이 낙곡을 섭취하는 과정에서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로 유입될 수가 있지만 울속도 철새도래지에 서식하는 철새들이 타 지역으로 이동하기 보다는 울속도 철

새도래지에서 지속적으로 서식하는 경향이 많고, 가금사육농가의 주변으로 접근하는 경우는 드물다.

그러나, 을숙도 철새도래지 주변의 부산시 강서구의 소하천과 수로 등과 인접해 있는 가금사육농가의 경우는 직접적으로 야생조수류와 인적·물적자원을 통한 직·간접적으로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로 유입될 수가 있다.

(3) 주남저수지 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

주남저수지 철새도래지는 창원시에 위치해 있으며, 인접한 동판저수지와 함께 많은 철새가 서식하고 있다. 일반적인 국내 철새도래지와 다르게 넓은 저수지의 수초 및 습지와 주변 논밭의 풍부한 먹이로 인해 국내 최대의 철새도래지중에 하나이다. 또한 세계습지학회인 람사르 총회를 창원에서 개최한 이유 중에 하나가 주남저수지, 동판저수지, 우포저수지 등 국내에서 습지가 잘 형성된 저수지가 타 지역보다 많았고, 이들 저수지에서 다양한 철새들과 야생동물들이 서식하고 있었기 때문이었다. 또한 창녕의 우포늪도 마찬가지로 습지가 잘 발달되어 많은 철새들이 도래하고 있고, 특히 우포저수지는 국제멸종위기종이면서 천연기념물인 따오기의 복원센터가 설치되어 있다.

○ 철새 분포상황

주남저수지, 동판저수지, 우포저수지 철새도래지 등은 많은 수초와 플랑크톤, 그리고 물고기와 주변 논밭 등이 있는 주요 습지로서, 주변이 공단 등 산업단지 등이 없고 대부분 논밭으로 이루어져 있어 철새들이 서식할 수 있는 충분한 수용력을 갖추고 있다.

주남저수지 철새도래지와 주변은 풍부한 습지와 소하천 및 저수지와 논밭의 낙곡들로 인해 철새들의 서식환경조건이 좋고, 또한 주변이 산업화가 되어 있지 않아 다양한 철새들이 많이 서식하고 있다.

주남저수지 철새도래지에 주로 서식하는 조류종은 쇠기러기, 큰기러기, 큰고니, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 고방오리, 넓적부리, 흰죽지, 땡기흰죽지, 물닭, 채두루미, 민물가마우지 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

주남저수지 철새도래지로부터 500m이내 2농가, 3km이내 5농가, 3km~10km이내 112농가를 포함하여 30km이내에는 847농가에 5,989,148수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 106농가에 55,359수가 사육되고 있으며, 특히 메추리가 30km이내에 6농가에 605,020수가 사육되고 있다.

주남저수지 철새도래지 주변의 가금사육농가는 1,000여농가가 되며, 사육수수는 600~700만수

의 가금류가 사육되고 있다. 특히 주남저수지 주변의 가금사육농가는 500m이내에 인접해 있는 농가로부터 야생동물의 이동거리인 3km이내에 소규모 가금사육농가들이 있으며, 철새 거동거리인 30km이내에도 가금사육농가가 많이 있어 철새로 인한 직간접적인 위험요인이 가금사육농가로 유입될 가능성이 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

표 144. 주남저수지 철새도래지의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적당	개체수	면적당	개체수	면적당	개체수	면적당
500 m	2	37,500						
3 km	5	50,123			1	60,000		
10 km	112	532,681	18	7,727	1	130,000		
30 km	718	5,368,844	88	47,632	4	415,020	11	16,173
합계	837	5,989,148	106	55,359	6	605,020	11	16,173

○ 방역조치사항

주남저수지 철새도래지는 가금사육농가가 매우 인접해 있고, 습지가 잘 발달된 저수지이기 때문에 닭, 족제비, 야생고양이, 너구리, 수달 등 야생동물이 많이 서식하고 있어 철새서식처로부터 직접적인 위험이 전달될 수 있어 야생동물에 대한 방역대책으로 가금사육농가 주변에 울타리 및 방조망의 설치가 반드시 필요한 지역이라 할 수 있다.

또한 주남저수지 철새도래지는 수초 및 모래톱과 주변의 논밭 등에서 월동조류들이 낙곡을 섭취하는 과정에서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로 직간접적으로 유입될 수가 있고, 또한 주남저수지와 주변의 소하천과 저수지 등에서 낚시꾼과 어부들에 의해 오염원이 가금사육농가로 직접 유입될 수가 있다.

따라서, 주남저수지 철새도래지는 전국적으로 날씨가 추워지더라도 이곳은 타 지역보다 따뜻하기 때문에 주남저수지 주변에서 월동을 하면서 지속적으로 서식하고, 또한 날씨가 추워지면 북부권과 중부권으로부터 유입되는 철새들이 많기 때문에 가을철에 첫 번째로 유입되는 철새 외에도 기온변화에 따라 지속적으로 유입되고 있는 겨울철새를 감안하여 시기별로 단계별 방역대책을 설정하여 위험관리를 해야 한다.

(4) 낙동강 하류(김해, 양산) 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

낙동강 하류의 철새도래지는 부산 강서구, 경남 김해시·양산시·밀양시·창원시·창녕군 등

에 위치해 있으며, 낙동강 하구언과 인접한 낙동강 하류의 철새도래지는 경남 김해·양산과 부산 강서구지역의 낙동강과 서낙동강의 고수부지와 하상 등에 수초와 모래톱 등에 많은 철새들이 서식하고 있다.

○ 철새 분포상황

낙동강 하류의 철새도래지의 주변은 김해공항, 김해시, 부산시, 공단 등으로 철새들의 서식환경이 읍속도 철새도래지에 비해 매우 열악한 상태지만 아직도 많은 철새들이 서식하고 있다. 낙동강 하류의 철새도래지는 김해국제공항이 주변에 있어 항공기 이착륙에 의한 소음과 철새들이 항공기와의 충돌(bird strike) 방지를 위한 철새들을 쫓기 위한 소음총 발사 등이 철새들의 서식환경을 방해하고 있다.

낙동강 하류의 철새도래지에 주로 서식하는 조류종은 큰고니, 큰기러기, 쇠기러기, 가창오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 쇠오리, 고방오리, 넓적부리, 흰죽지, 물닭, 재두루미, 민물가마우지 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

낙동강 하류의 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 500m이내 1농가, 3km이내 12농가, 3km~10km이내 142농가를 포함하여 30km이내에는 799농가에 5,349,275가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 101농가에 54,324수가 사육되고 있으며, 특히 메추리가 30km이내에 12농가에 1,070,020수가 사육되고 있다. 주남저수지 철새도래지 주변의 가금사육농가는 900~1,000여농가가 되며, 사육수수는 600~700만수의 가금류가 사육되고 있다. 특히 양산지역은 산란계 사육농가는 밀집되어 있어 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 경우 양계단지내 대부분 농가가 발생할 가능성이 매우 높은 지역이다.

또한 낙동강 하류의 철새도래지의 수로와 소하천 등과 500m이내에 인접해 있는 농가 또는 야생동물의 이동거리인 3km이내에 소규모 가금사육농가들이 있고, 철새 거동거리인 30km이내에도 가금사육농가가 많이 있어 철새로 인한 직간접적인 위험요인이 가금사육농가로 유입될 가능성이 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

낙동강 하류의 철새도래지 주변은 소규모의 가금사육농가들이 많이 존재하고 있고, 이들 지역에서 생산한 가금류를 경남 김해·양산 등 지역의 상설재래시장으로 판매를 하고 있다. 낙동강 하류의 철새도래지로부터 오염원이 가금사육농가로 유입될 가능성이 높은 지역이지만 대부분이 사육하여 농장에서 직영하는 가든식당에서나 또는 상설 재래시장으로 판매하여 즉시 도축이 이루어지는 경우가 있어 임상발현축을 관찰하기가 용이하지 않다.

표 145. 낙동강 철새도래지 (양계단지, 경남 김해)의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적	개체수	면적
500 m	1	80,000						
3 km	12	308,475	1	3,400				
10 km	142	1,059,233	9	18,451	3	265,000		
30 km	644	3,901,567	91	32,473	9	805,020	12	11,383
합계	799	5,349,275	101	54,324	12	1,070,020	12	11,383

○ 방역조치사항

낙동강 하류의 철새도래지는 가금사육농가가 매우 인접해 있고, 양산지역의 대규모 산란계 농가가 있어 부산 강서구, 경남 김해와 양산지역을 연계한 조류인플루엔자 방역관리가 필요하다. 특히 동 지역은 부산과 경남의 경계지역이면서 낙동강과 서낙동강을 사이에 두고 관할 지역이 달라 효과적인 방역이 곤란한 지역으로서 중앙가축방역기관의 조율과 특별방역대책이 필요한 지역이다.

낙동강 하류의 철새도래지는 조류인플루엔자의 발생위험이 매우 높은 지역이지만, 부산시의 행정업무와 생산성 등을 고려할 때 조류인플루엔자 관련한 방역정책을 수행하는 부서의 관심에서 우선순위가 되지 못하여 방역활동이 다소 미흡한 실정이다. 또한 경남 김해의 양계단지와 양산의 양계단지는 경남권에서 많은 가금사육농가가 밀집해 있는 지역으로서 조류인플루엔자가 발생 시 매년 많은 피해가 발생되지 지역이라고 할 수 있다.

낙동강 하류의 철새도래지는 국내에서 월동하기가 좋고, 혹한기에도 따뜻한 기후로 인해 인근의 을숙도 철새도래지, 주남저수지, 동판저수지 등과 함께 주변의 낙동강의 고수부지와 소하천 및 저수지 등에서 기온변화에 따라 철새들이 유입되는 개체수가 탄력적으로 서식하고 있어 낙동강 하류의 철새도래지의 주변의 가금사육농가로 직·간접적으로 조류인플루엔자의 오염원이 유입될 수가 있다.

(5) 대가저수지 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

대가저수지 철새도래지는 경남 고성군 대가면에 위치하며, 또한 고성군 회화면, 마암면, 거류면, 동해면 등 4개면에 완전히 둘러 쌓여 있는 국내 유일한 지중해로서 당항포와 마동호는 갈대숲과 수초 등과 주변의 논밭의 낙곡으로 인해 천혜의 철새서식조건을 갖추고 있다.

또한 대가면저수지는 수초와 물고기가 많아 인근지역에서 민물낚시터로서 유명한 곳으로서

주변 농경지 등에 천연기념물인 독수리가 최근 들어 많이 서식하고 있다. 강원 철원의 민통선 내의 토고저수지와 경기 파주의 민통선내의 장단곳을 제외한 일반인들의 접근이 용이하고 겨울철 월동을 하기가 좋은 경남 고성지역에서 최근 월동하는 개체수가 증가되면서 국내 최대의 독수리 서식처로 알려져 있다.

○ 철새 분포상황

경남 고성지역은 겨울철에도 따뜻하고 눈이 오는 경우가 드물고, 주변의 공단 등 산업단지가 거의 없어 논밭의 낙곡을 겨울철 내내 섭취가 가능하여 고성군 해안선과 당항포 및 마동호와 인근 소하천 및 저수지 등에 많은 철새들이 서식하고 있다. 특히 북부권과 중부권의 철새도래지가 폭설 등으로 먹이 섭취가 곤란하거나 새만금과 4대강 개발 등과 같은 기존의 철새도래지가 파괴되어 수용력 부족에 따라 다른 지역으로 이동할 경우는 폭설로 먹이 섭취가 용이하지 않는 서남해안지역인 전남지역보다 남해안지역인 경남권의 대가저수지, 마동호, 당항포, 사천만, 진양호, 주남저수지, 동판저수지, 우포저수지 등과 같은 철새도래지와 인근의 소하천 및 저수지 등으로 많은 철새들이 이동할 가능성이 높은 지역이라 할 수 있다.

또한 과거에는 북부권과 중부권에서 철새들이 서식할 수 있는 충분한 수용력을 갖추고 있었지만 국내 기후변화와 각종 건설 등으로 인해 철새도래지의 생태환경변화에 따른 철새들의 이동이 예견되고 있으며, 이들 철새들이 이동경로를 남해안지역을 선택할 가능성이 매우 높아지고 있다.

그리고, 대가저수지철새도래지와 인근 당항포와 마동호 철새도래지에서 주로 서식하는 조류종은 독수리 외에도 흑부리오리, 청머리오리, 쇠오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 넓적부리, 검은머리흰죽지, 비오리, 중대백로 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

대가저수지 철새도래지로부터 인근의 가금사육농가의 분포를 보면, 500m이내 1농가, 3km이내 13농가, 3km~10km이내 135농가를 포함하여 30km이내에는 520농가에 2,560,159수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 40농가에 66,356수가 사육되고 있으며, 특히 메추리가 30km이내에 1농가에 400,000수가 사육되고 있다. 대가저수지 철새도래지 주변의 가금사육농가는 500~600여 농가가 되며, 사육수수는 200~250만수의 가금류가 사육되고 있다.

특히 고성지역은 인근 거제지역은 닭고기 소비처로서 대우조선소와 삼성조선소 등 노동력이 많이 필요로 하는 공장들이 많아 자연히 거제지역과 고성지역에서 사육하는 가금육을 통해 많이 충당하고 있어, 고성지역의 철새도래지 주변의 평사하는 소규모 육계 사육농가가 많이 산재해 있어 조류인플루엔자 바이러스항원이 가금사육농가로 유입될 가능성이 철새이동상황에 따라 점차적으로 높아가는 지역이라고 할 수 있다.

표 146. 대가저수지 철새도래지의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	종수	개체수	종수	개체수	종수	개체수	종수
500 m	1	-						
3 km	13	361	1	40				
10 km	135	603,506	5	8,561				
30 km	371	1,956,292	34	57,755	1	400,000	2	50
합계	520	2,560,159	40	66,356	1	400,000	2	50

○ 방역조치사항

대가저수지 철새도래지와 당항포 및 마동호 철새도래지와 주변의 소하천 및 저수지와 해안선에 서식하는 겨울철새에 대한 방역관리가 필요하고, 특히 철새도래지와 인접해 있는 가금사육농가에 대한 특별방역관리가 필요하다. 또한 타 지역과 다르게 겨울철에도 논밭이 결빙되지 않아 농민들이나 낚시꾼 등 일반인들의 철새도래지 주변으로 출입할 수 있기 때문에 조류인플루엔자 예방 홍보가 필요하다.

또한 대가저수지 철새도래지 등으로부터 조류인플루엔자 바이러스 오염원과 접촉시 직간접적으로 가금사육농가로 유입될 수가 있고, 또한 철새들이 먹이섭취과정에서 가금사육농가로 접근하여 조류인플루엔자에 오염된 분변을 배설할 경우 야생조수류와 인적·물적자원을 통해 가금사육농가로 병원체가 유입될 수가 있다.

(6) 거제도 연안의 아비 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

거제도 연안의 아비 철새도래지는 경남 거제도 해안선을 따라 서식하는 겨울철새로서 아비는 5종류로서 캐나다의 브리티시 콜롬비아, 알래스카, 쿠릴열도, 아무르, 사할린, 스칸디나비아 등 모두 북극 주변에서 번식하며, 우리나라에서는 거제도와 남해안지역에서만 주로 볼 수 있다.

○ 철새 분포상황

우리나라에서는 주로 아비, 회색머리아비, 큰회색머리아비 등 모두 3종을 볼 수가 있다. 거제도 연안의 아비 도래지는 국내 유일의 아비류 대집단이 월동하는 곳이다. 회색머리아비와 큰회색머리아비는 희귀종으로 취급하고 있고, 최근 거제도 지역에서 1,000~2,000수 이상이 규칙적으로 겨울철마다 찾아오고 있어 천연기념물로 지정하여 보호하고 있으며, 주로 서식하는 조류종

은 아비, 회색머리아비, 큰회색머리아비, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 넓적부리, 검은머리흰죽지, 비오리 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

거제도 연안의 아비 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 3km~10km이내 25 농가를 포함하여 30km이내에는 94농가에 446,465수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 14 농가에 2,897수가 사육되고 있다. 거제도 연안의 아비 철새도래지는 아비의 특징상 잠수성 조류로서 해안선에서 주로 서식하고 있기 때문에 거제도는 관광지과 조선업이 발달한 곳으로서 해안선에 대부분 조선소, 팬션, 호텔, 식당 등과 거주지가 있어 해안선에 서식하는 철새도래지로부터 가금사육농가로의 조류인플루엔자 오염원이 유입될 가능성은 거의 없다. 그러나, 거제도는 대우조선소와 삼성조선소 등 조선업이 발달하면서 많은 노동력을 필요로 하고, 그에 따른 닭고기 소비가 증가하면서 거제도 지역내에서 육계만도 100~200만수 이상을 사육하고 있고, 거제도라는 특성 때문에 넓은 농지가 부족하여 대규모 양계장보다 소규모 양계장이 많이 존재한다.

표 147. 거제도 연안의 아비 철새도래지의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수	개체수	농가수
500 m								
3 km								
10 km	25	88,070	6	2,203				
30 km	69	358,395	8	694			1	10
합계	94	446,465	14	2,897	-	-	1	10

○ 방역조치사항

거제도 연안의 아비 철새도래지와 주변의 소하천 및 저수지와 해안선에 서식하는 아비 등 겨울철새에 대한 방역관리가 필요하고, 특히 철새도래지와는 거리가 있지만 소규모 가금사육농가가 많아 닭의 구입과 판매과정에서 유입되는 위험에 대한 방역관리가 필요하다.

자. 제주지역

(1) 하도리 철새도래지의 위험요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

하도리 철새도래지는 제주도 서귀포시 구좌읍 하도리에 위치하며 해안선을 독을 막아 형성

된 저수지로서 다양한 철새들이 서식하고 있다. 하도리 철새도래지는 인근에 우도면과 성산일출봉이 있다.

○ 철새 분포상황

제주지역의 가금사육농가는 주로 서귀포지역에 많이 자리하고 있고, 특히 대규모 닭사육농가와 오리사육농가가 하도리 철새도래지와 오조리 철새도래지 인근에 위치하고 있다. 주로 서식하는 조류종은 저어새, 노랑부리저어새, 가마우지, 큰기러기, 흑부리오리, 홍머리오리, 알락오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 넓적부리, 땡기흰죽지, 물닭, 비오리 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

하도리 철새도래지로부터 인근 가금사육농가의 분포를 보면, 3km~10km이내 8농가를 포함하여 30km이내에는 55농가에 1,931,089수가 사육되고 있고, 오리는 30km이내에 6농가에 53,022수가 사육되고 있다. 하도리 철새도래지는 우도와 성산일출봉 등과 같은 주요 관광지가 있어 해안선과 반대편 지역 가금사육농가가 많이 있다.

표 148. 하도리 철새도래지의 축종별 방역대 별 개체수 조사 결과

축종 방역대	닭		오리		메추리		야생조류	
	500 m	0	0	0	0	0	0	0
3 km	0	0	0	0	0	0	0	0
10 km	8	977,502	2	50,000	1	130,000	0	0
30 km	47	953,587	4	3,022	0	0	2	1,503
합계	55	1,931,089	6	53,022	1	130,000	2	1,503

○ 방역조치사항

하도리 철새도래지는 겨울철새의 국내 마지막 도래지점이면서 여름철새의 첫 도래지점으로 서 국내 철새의 이동상황조사를 위한 중요한 곳 중에 하나로서 철새도래지 주변의 가금사육농가에 대한 방역관리가 매우 중요하다.

(2) 오조리 철새도래지의 위협요소 및 맞춤형 방역

○ 철새도래지 위치

오조리 철새도래지는 제주도 서귀포시 성산읍 오조리에 위치하며 성산일출봉 주위의 해안선

이 들어가면서 형성된 습지형 저수지로서 다양한 철새들이 서식하고 있다. 오조리 철새도래지는 인근에 성산일출봉과 습지코지가 있고, 성산일출해양군립공원내 위치해 있다.

○ 철새 분포상황

제주지역의 가금사육농가 대부분은 오조리 철새도래지와 하도리 철새도래지 주변에 위치하고 있다. 주로 서식하는 조류종은 저어새, 노랑부리저어새, 큰기러기, 흑부리오리, 홍머리오리, 알락오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 넓적부리, 고방오리, 땃기흰죽지, 물닭, 비오리, 재갈매기 등이 주로 서식하고 있다.

○ 철새도래지 주변 가금사육농가 분포상황

오조리 철새도래지는 30km이내에 가금사육농가가 대부분 하도리 가금사육농가와 겹치며, 오조리 철새도래지와 하도리 철새도래지 사이의 해안선 반대편에 대부분의 가금사육농가가 위치하고 있다.

○ 방역조치사항

오조리 철새도래지는 겨울철새의 국내 마지막 도래지점이면서 여름철새의 첫 도래지점으로써 국내 철새의 이동상황조사를 위한 중요한 곳 중에 하나로서 마찬가지로 하도리 철새도래지 처럼 주변의 가금사육농가에 대한 방역관리가 매우 중요하다.

‘03/’04년도, ‘06/’07년도, ‘08년도 국내 고병원성조류인플루엔자(HPAI) 발생지역을 중심으로 한 철새서식처 주변의 가금사육농가의 분포 및 국내로 유입되는 월동조류의 이동상황 및 조류상을 조사결과와 그 동안 국내 고병원성조류인플루엔자 발생 시의 역학조사결과 및 방역조치사항 등을 종합하여 조류인플루엔자 예방과 실효성 있는 방역조치를 위한 지역별 맞춤형 현장 방역모델을 제시하고자 한다.

2. 지역별 맞춤형 HPAI 현장 방역모델

가. 서울, 인천, 경기지역

(1) 서울지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

서울지역은 북쪽으로부터 남하하는 월동조류들이 가장 먼저 국내에 귀착하는 곳 중에 하나인 한강과 주변 소하천과 호수 등에 다양한 종류의 많은 철새들이 서식을 하고 있다. 그리고, 서울시내와 시울시 외곽지역에서도 가금사육농가가 거의 없어 철새도래지로부터 가금사육농가에게 조류인플루엔자의 발병 위험요소가 유입되어져 조류인플루엔자의 발생 가능성은 거의 없다. 다만, 동물원 등에서 호수나 저수지가 있는 곳에서 야외사육을 하는 애완조류 등과의 철새 등 야생조류들과 접촉할 경우는 조류인플루엔자의 발병 가능성을 완전히 배제할 수는 없다.

또한 일반 시민이 한강 고수부지 및 인근 소하천의 산책로 등에 서식하는 철새로부터 배설된 조류인플루엔자 바이러스에 노출된 오염된 분변 및 깃털 등과 신발 등이 접촉될 경우, 가금사육농가 및 동물원의 조류사 등으로 유입될 가능성은 충분히 있으나 조류인플루엔자의 발병 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

서울지역은 가금사육농가가 거의 없기 때문에 타 지역으로부터 식용으로 사육할 가금류의 생축이 직접 반입되는 경우가 드물지만, 일부 서울시 외곽지역의 소규모의 가금사육농가에게 조류인플루엔자의 발생지역으로부터의 잠복감염된 가금류의 입식 또는 조류인플루엔자 바이러스항원과 접촉된 사람, 차량, 물건 등 인적·물적자원들이 조류인플루엔자의 위험요소인 오염원과의 접촉된 가금류가 입식되는 과정에서 조류인플루엔자가 발생 할 수 있다.

서울지역은 국내 최대의 가금육의 소비처로서 시민들에게 식용 목적으로 가금육의 반입은 많은 지역으로서, 만약 고병원성조류인플루엔자에 감염되거나 오염된 가금육 또는 계란 등이 시중에서 유통될 경우 가금육 또는 계란 등을 반입하는 과정에서 시민들의 식탁의 안전을 위협할 가능성이 있다.

2008년도 서울시 외곽의 송파구지역에서 소규모로 오리를 사육하는 농가 2~3곳에서 고병원성조류인플루엔자 발생한 바가 있으며, 이들 오리사육농가들은 고병원성조류인플루엔자가 발생하기 전에 인접해 있는 경기 성남의 모 재래시장으로부터 구입한 오리 등으로부터 고병원성조류인플루엔자가 발생되었다. 그리고, 고병원성조류인플루엔자의 발병 당시에 이곳 재래시장으로 전북 김제지역에서 판매된 육용오리가 고병원성조류인플루엔자에 잠복 감염된 채로 유입되면서 재래시장을 오염시켰고, 또한 이들 잠복감염오리 또는 오염원과 접촉된 오리를 송파구의 오리사육농가에서 구입함으로써 고병원성조류인플루엔자가 발생된 사례가 있다.

그리고, 각 가정에 앵무새, 카나리아 등 관상용 애완조류들의 사육이 증가되면서 국외로부터 생축 또는 부화란이 밀반입되거나 또는 국내에서 조류인플루엔자의 발생시에 발생농장이나 위험지역으로부터 관상용 애완조류의 생축 또는 부화란 등을 구입할 경우는 조류인플루엔자가 발생할 수 있다. 또한 동물원의 조류사에 입식되는 관상용 애완조류가 조류인플루엔자에 감염되었거나 조류인플루엔자 바이러스항원과 접촉된 오염된 사람, 차량, 물건, 관상용 애완조류 등과 같은 인적·물적자원들과의 접촉과정에서 관상용 애완조류사로 병원체가 유입될 경우에 조류인플루엔자가 발생할 수 있다.

2008년도 어린이 날 전후로 서울지역의 모 동물원의 조류사에 입식된 관상용 애완조류인 꿩을 경기도의 모 상설재래시장으로부터 구입하는 과정에서 고병원성조류인플루엔자가 발생한 바가 있었다. 이 경우는 고병원성조류인플루엔자가 발생한 전북 김제의 모 오리농장으로부터 출하된 육용오리가 불현성 감염으로 인해 잠복 감염된 육용오리인줄 알지 못한 채, 경기지역의 모 상설재래시장인 이곳으로 판매되는 과정에서 고병원성조류인플루엔자가 전파되었다. 그러나, 잠복 감염된 육용오리는 상설재래시장에서 실시간 도축됨으로서 고병원성조류인플루엔자 발생 사실을 판매상인들도 인지하지 못했다.

또한 동거 사육하면서 함께 판매하고 있었던 타 가금류도 마찬가지로 실시간 도축됨으로서 고병원성조류인플루엔자에 감염된 사실을 인지하지 못한 상태에서 경기 안성지역의 관상용 애완조류를 위주로 가금류를 사육하는 농가로부터 새롭게 건강한 꿩 등과 타 가금류가 이곳 상설재래시장으로 판매되었다. 그러나, 이곳에서 고병원성조류인플루엔자에 감염 또는 발병되기 이전에 외관상 건강한 개체를 동물원측 관계자들이 구입하게 되었다. 또한 이때 조류인플루엔자의 발병 사실을 인지를 하지 못한 상태로서, 고병원성조류인플루엔자의 바이러스항원이 갖 체내에 침입하였거나 깃털 등이 오염된 상태로 꿩이 동물원 조류사로 곧 바로 입식되는 과정에서 구입된 개체와 동거 사육중인 타 가금류들과의 기계적인 간접전파에 의한 고병원성조류인플루엔자가 발생한 대표적인 사례라 할 수 있다.

○ 서울지역의 방제모델

서울지역은 야생조류에 의한 조류인플루엔자의 발생위험은 거의 없고, 국외로부터 밀반입되는 생축 관상용 애완조류 또는 부화란이나 국내 조류인플루엔자 발생 시에 발생지역으로부터 서울시내 외곽의 소규모 가금사육농가 또는 동물원의 조류사 등으로 입식되는 생축 가금류 또는 관상용 조류 및 부화란을 통한 조류인플루엔자의 발생 가능성은 항상 상존하고 있다.

따라서, 서울시내에 있는 관상용 애완조류가 사육되고 있는 동물원 조류사와 관상용 애완조류 판매소와 상설재래시장에 대한 세척소독 등 방역관리를 철저히 실시하고, 또한 외부로부터 구입하는 가금류와 관상용 애완조류 및 부화란 등은 상설재래시장으로부터 구입하는 것은 지양하고, 가금질병이 없는 청정농장 또는 청정부화장 등으로부터 직접 구입할 수 있도록 홍보교육을 강화한다.

그리고, 가금류 또는 관상용 애완조류의 생축과 부화란이 입식 및 출하되는 과정에서 조류인

플루엔자의 오염원이 농장내로 유입될 수 있기 때문에 소규모 가금사육농가와 관광용 애완조류 사육하는 일반 가정집에 대해서도 조류인플루엔자 예방을 위한 방역홍보교육을 강화한다. 특히 서울시내의 상설재래시장에 실시간 도축판매 또는 가금육을 판매하는 장소에 대해서는 수시로 세척 소독을 실시할 수 있도록 특별방역관리를 한다.

또한 한강의 고수부지와 철새도래지 주변을 산책한 경우에는 등산로 출입구에 설치된 신발에 흙과 모래를 제거하는 고압공기청소기처럼 산책로 출입구에 신발을 세척 소독할 수 있는 소독조 또는 간이고압소독기 등을 설치한다.

(2) 인천지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

인천지역은 국외로부터 조류인플루엔자가 유입될 수 있는 3가지 위험요소를 갖추고 있는 지역으로서, 북으로는 북한과의 접적지역이면서 서해안을 통한 중국과의 인접해 있고, 또한 인천항과 인천국제공항으로 각종 위험요소를 통해 조류인플루엔자가 국내로 유입될 수 있다. 몽골, 북중국, 시베리아 등 지역으로부터 유입되는 월동조류의 국내 첫 귀착지로서 백령도, 연평도, 영종도, 영흥도, 강화도 등의 서해지역의 해안선과 저수지 및 소하천 등과 논밭이 북으로부터 가장 먼저 철새들이 도래하는 곳이다. 특히, 영종도와 강화도의 초지대교 주변의 넓은 갯벌과 논밭에는 쇠기러기, 큰기러기, 도요류들이 집단으로 서식하고 있다.

백령도, 연평도 등과 같은 도서는 가금사육농가가 많지 않고, 발병 시 전파 차단이 용이한 곳이지만 강화도와 인천 서구지역 등은 가금사육농가가 많이 있고, 또한 철새도래지 주변의 논밭에 낙곡을 섭취하는 철새들이 많기 때문에 가금사육농장 주변으로 접근할 가능성이 있다. 특히 강화도 지역은 넓은 갯벌과 갈대숲 및 함초 등 수초 등이 많고 강화지역의 넓은평야로부터 낙곡 등 먹이 섭취가 용이하여 철새들이 해안선과 주변 소하천과 저수지 등에 많이 서식하고 있다. 강화지역은 휴전선 접적지역으로서 축산업이 발달된 곳으로서 가금사육농가가 곳곳에 산재해 있어 철새로 인해 조류인플루엔자의 오염원이 직·간접적으로 유입될 수 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

인천지역은 영종도, 영흥도, 인천 서구 등 도서지역과 외곽지역에서 소규모 가금사육농가가 있고, 관광지 주변은 가든식당을 운영하면서 소규모 토종닭 사육농가가 있고, 이들 토종닭들이 경기, 충청, 전북 등 지역으로부터 구입이 이루어지고 있다. 또한 강화도 지역은 산란계와 육계 등도 인근의 경기지역을 비롯한 충청, 전북지역 등 타 지역에서 구입한 개체가 강화도지역으로 반입되고 있다. 또한 가금류가 입식과정 외에도 도축출하과정 또는 계란판매과정에서 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스항원이 타 지역으로부터 유입될 수가 있다.

그리고, 인천지역은 국제공항과 국제항만이 있어 인천항은 중국의 농작물 및 공산물 등이 보따리장수를 통해 가장 많이 반입되는 지역이며, 여객선, 외양어선, 무역선 등으로부터의 남은음

식물 잔반과 고병원성조류인플루엔자 발생국으로부터 선원들이 위험요소를 반입시킬 개연성이 높기 때문에 국내 타 지역보다 조류인플루엔자가 해외로부터의 유입 위험요소가 가장 높은 지역이라 할 수 있다. 또한 앵무새 등 고가의 관상용 애완조류 등이 태국, 필리핀 등 동남아국가와 중국 등 지역으로부터 마취상태로 반입된 생축 또는 부화란 등이 밀반입되는 창구가 될 수 있는 곳이기 때문에 다양한 경로를 통한 조류인플루엔자의 유입 가능성이 있는 지역이다.

○ 인천지역의 방제모델

인천지역은 야생조류에 의한 조류인플루엔자의 발생위험은 강화도 지역을 제외하고는 발생 가능성이 낮고, 철새도래지 주변의 가든식당내 소규모 사육장에서 토종닭을 방사하는 경우에 위험요인이 전달될 가능성은 있으나, 외부로부터 입식하는 과정에서 유입되는 위험요소보다는 조류인플루엔자의 발병 위험성은 낮다고 할 수 있다.

국외로부터 밀반입되는 생축 관상용 애완조류나 부화란 등을 인천공항과 인천항에서 동물검역과정에서 대부분 적발을 하고 있지만, 일부의 경우는 검색이 곤란하여 놓치는 경우도 있기 때문에 인천지역내의 관상용조류를 판매하는 업소에 대한 사전에 현황을 파악하여 판매업소들 간 국외로부터 수입 또는 밀반입되는 관상용 애완조류에 대한 신고체계를 구축하며, 관상용 애완조류를 판매하는 업체 간에 “밀반입된 관상용 애완조류를 구입하지 않는다”는 결의와 함께 밀반입되는 관상용 애완조류는 동물검역당국에 신속히 신고하도록 홍보교육을 강화한다.

따라서, 인천시내의 상설재래시장에 대한 방역관리와 해안선을 따라 형성된 철새도래지인 영종도, 영흥도, 강화도 등 관광지역의 가든식당 내 소규모 토종닭 사육장에 대한 방역관리에 철저를 기한다. 그리고, 철새도래지 주변의 가금사육농가들은 야생조수류들이 침입할 수 없도록 농장 전체와 축사별로 울타리 또는 방조망을 반드시 설치하도록 하고, 농장 주변은 추수 이후 땅을 뒤집어 주거나 낙곡이 없도록 하거나 주변을 소각하며, 주기적인 세척 소독을 실시하도록 한다.

외부로부터 구입되는 가금류는 반드시 민을 만한 청정농장으로부터 구입하고, 가금류를 출하 과정에서 오염원이 농장에 유입되지 않도록 출입하는 어리장차량에 대한 세척소독 여부 확인과 농장 출입 전에 다시 세척 소독을 실시한다.

(3) 경기지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

경기지역은 인천지역과 마찬가지로 국외로부터 조류인플루엔자가 유입될 수 있는 3가지 위험요소를 갖추고 있는 지역으로서, 파주, 연천 등 지역은 휴전선 접적지역이면서 평택항과 인접한 인천항 등 서해안을 통한 중국과의 교역의 창구가 되고 있고, 또한 인접한 인천국제공항으로 각종 위험요소를 통해 조류인플루엔자가 국내로 유입될 수 있는 곳이다. 그리고, 몽골, 북중국, 시베리아 등 지역으로부터 유입되는 월동조류의 국내 첫 귀착지 중에 하나인 시화호, 화

성호, 남양호, 장단못, 장항습지, 김포평야, 임진강, 한강하구 등이 북쪽지역으로부터 서해안과 내륙으로 가장 먼저 철새들이 도래하는 곳이다.

경기 북부지역인 휴전선과 인접된 과주시, 연천군, 고양시, 동두천시 등은 군사도시로서 과거부터 가금사육농가가 밀집된 지역으로서 월동조류로부터의 조류인플루엔자 위험요소가 농장으로 유입될 가능성이 매우 높은 지역이다. 대부분의 월동조류들은 몽골, 북중국, 알래스카, 시베리아 등 지역에서 번식을 한 후 가을철에 월동을 위해 남하하는 과정에서 국내로 유입되며, 이 시기에는 조류인플루엔자 바이러스 항원을 가장 많이 보유한 시점에서 첫 기착지인 경기 북부권의 민통선지역은 철새들의 서식하기 좋은 천혜의 환경조건을 갖추고 있기 때문에 민통선과 휴전선과 접적 시군들 사이를 왕래하면서 가금사육농가 주변의 논밭에서 낙곡 등을 섭취하는 과정에서 조류인플루엔자 발병 위험요소가 그대로 농가로 유입되기 때문에 조류인플루엔자 발생 가능성이 매우 높은 지역이라 할 수 있다.

경기 동북부권의 경우는 포천시, 남양주시, 양주시, 가평군 등은 청평호, 남한강, 북한강 등 철새도래지와 주변의 소하천과 저수지 등에서 많은 철새들이 서식을 하고 있고, 이들 철새도래지로부터의 직접적인 조류인플루엔자 발병 위험요소는 타 지역에 비해 다소 낮고 간접적인 전파 위험요소는 상존하고 있다.

경기 서남부권의 경우는 시화호, 남양호, 화성호 등 철새도래지 주변과 소하천 및 저수지 등에는 많은 철새들이 서식하고 있지만 이들 철새도래지가 주변이 개발되고는 있지만 아직까지는 철새 수용력이 충분하기 때문에 가금사육농가 주변의 낙곡섭취를 위해 접근하는 경우가 드물고, 동 지역은 포도 등 과수원 등이 많아 철새들이 가금사육농가 주변의 낙곡을 섭취할 조건이 타 지역에 비해 열악하여 월동조류의 직접적인 접근보다 철새도래지로부터의 간접적인 위험요소가 농가로 유입될 가능성은 배제할 수 없는 지역이다.

경기 동남부권인 안성시, 이천시, 여주시 등은 남한강, 안성천, 고삼저수지, 용설저수지 등 소하천 및 저수지와 주변에 논밭이 많아 철새들의 휴식과 먹이를 섭취할 공간이 충분하여 많은 월동조류들이 겨울을 나고 있다. 특히 이들 지역의 가금사육농가는 철새도래지와 소하천 및 저수지 등과 인접해 있어, 월동조류들이 가금사육농가 주변으로의 접근이 매우 용이한 곳이다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

경기지역은 서울시와 경기도 신도시를 둘러싸고 있어 가금사육농가의 최대소비처가 인접해 있어 타 지역보다 많은 가금류를 사육하고 있다. 경기 북부권의 경우는 산란계 및 육계농장들이 인근의 대도시에서 가금육이나 계란등을 판매하는 목적 외에도 군사도시로서의 인근 군인들에게 닭고기와 계란 제공하기 위한 군납하는 가금사육농가가 많이 있다. 또한 자연환경이 좋아 북부권은 대부분 관광지이기 때문에 가든식당 등에서 소규모 토종닭과 오리를 방사하면서 직접 현장 도축판매를 하는 경우가 많다. 가든식당의 소규모 사육농가들은 주업이 식당이기 때문에 조류인플루엔자와 같은 방역의식이 매우 결여되어 있기 때문에 특별히 방역홍보가 필요하다.

경기 서남부권인 평택과 안성지역 등은 가금사육이 많은 곳이면서 경기지역의 가금산업의 유통업이 잘 발달된 지역으로서, 특히 산란계 중추농장, 종계장, 종오리농장, 부화장 등이 많아 중개인들이 경기, 충북, 충남, 전북, 전남 등 전국으로 가금류를 유통시키고 있어, 경기 남부권에서의 조류인플루엔자 발생 시 전국적인 전파는 이들 중개인의 유통망을 통해 조류인플루엔자가 전파 확산되고 있고, 반대로 충남, 충북, 전남, 전북 등 지역에서 조류인플루엔자가 발생 시에도 수 시간 이내에 경기지역으로 유입되는 전파경로가 마찬가지로 이들 중개인들의 가금류 생축 운반과정에서 오염원이 유입 및 전파되면서 조류인플루엔자가 전파 확산되고 있다.

○ 경기지역의 방제모델

경기지역은 월동조류에 의한 조류인플루엔자의 발생위험은 경기 북부 및 남부지역의 가금사육농가 모두 철새도래지의 주변은 조류인플루엔자의 발병위험 가능성이 상존하고 있다. 또한 가든식당내 소규모 사육장에서 토종닭 및 오리등을 방사하는 경우에도 위험요인이 유입될 가능성은 있다. 그러나, 외부로부터 입식되는 가금류 생축에 의한 위험요소가 더욱 크기 때문에 가금류의 생축을 판매하거나 입식하는 과정에서 어리장 차량에 대한 철저한 세척소독과 청정농장으로부터의 생축 가금류를 구입하는 것이 좋다.

또한 경기지역은 중부권의 최대의 소비처인 서울시와 위성도시인 신도시 등에 가금육과 계란을 공급하기 가금사육농가가 밀집해 있지만 타 지역으로부터 유입되는 가금류 생축이나 가금육을 수도권으로 공급하는 중개 역할을 많이 담당하는 곳이 경기지역이기 때문에 경기지역은 전방위적인 방역관리가 필요한 곳이다. 그 동안 조류인플루엔자 발생지역에 대한 각종 위험요소를 분석하여 해당 문제점에 대한 방역대책을 수립해야 한다. 특히 경기도로 유입되는 위험과 경기도로부터 유출되는 위험을 동시에 관리가 필요한 지역이다. 그리고, 상설재래시장으로 직접 생축 가금류를 판매하는 과정에서 가금사육농가로 오염원이 유입될 수 있기 때문에 일반적인 가금사육농가로 출하시보다 더욱 방역관리에 신경을 써도록 한다. 외부로부터 구입되는 가금류는 반드시 믿을 만한 질병이 없는 청정농장으로부터 구입하고, 가금류를 입식 및 출하과정에서 오염원이 가금농장으로 유입되지 않도록 출입하는 어리장차량에 대하여 농장 출입전에 다시 세척 소독을 실시한다.

국외로부터 수입 또는 밀반입되는 생축 관상용 애완조류나 부화란 등이 수도권의 신도시의 관상용 애완조류 판매장에 대한 신고 및 방역관리체계가 구축되어야 하며, 일반인에게 관상용 애완조류를 판매과정에서도 구입 즉시 폐사할 경우 질병 검사를 의뢰에 대한 홍보교육과 조류인플루엔자 의심축으로 판단될 때 관할 방역당국에 신고를 당부하도록 한다.

따라서, 경기지역은 수도권의 위성도시로서 신도시의 경우는 현대화로 인해 시장 내에서 직접 가금류의 생축을 현장에서 도축하는 경우는 드물지만, 아직도 성남모란시장과 같은 상설재래시장과 5일장 등에서는 타 지역과 마찬가지로 가금류 생축(토종닭, 오리 등)이 현장 도축과 유통이 이루어지고 있기 때문에 이들에 대한 방역관리가 필요하다. 특히 안산시 등의 경우는 동남아시아로부터 온 외국인근로자들이 많은 지역으로서 외국으로부터 각종 위험요소가 합법

또는 불법적으로 유입될 수 있는 곳이기 때문에 특별히 방역관련한 홍보교육이 필요한 지역이다.

또한 철새도래지 주변의 가금사육농가들은 야생동물과 야생조류들이 침입할 수 없도록 가금사육농장과 축사별로 울타리 또는 방조망을 설치하고, 외부인이 농장으로 무단으로 출입할 수 없도록 잠금장치를 설치한다. 또한 가금사육농장 주변의 논밭은 땅을 뒤집어 주고, 낙곡이 없도록 제거해 주거나 주변을 소각하며, 축사주변을 출입시는 반드시 신발을 세척 소독하거나 신발을 교체하도록 한다.

나. 강원 지역

(1) 강원 서북부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

강원지역은 북쪽으로부터 남하하는 월동조류들이 가장 먼저 국내에 귀착하는 곳 중에 하나인 한탄강 및 북한강과 주변 소하천과 호수 등에서 다양한 철새들이 많이 서식을 하고 있다. 한탄강 유역인 철원의 토교저수지, 동송저수지, 학저수지, 아이스크림 고지 주변 논 등과 직탕폭포 주변에 많은 철새들이 서식하고 있다.

그러나, 대부분 철새도래지가 민통선내에 있어 철새도래지와 가금사육농가와 다소 거리가 있어 조류인플루엔자의 직접적인 위험요소가 유입되기보다는 간접적인 기계적 전파가 우려되는 지역이다. 또한 북한강 유역인 화천과 양구지역의 파로호, 평화의 댐, 춘천호, 소양호, 의암호 등 지역에도 많은 월동조류들이 유입되지만 주변이 산악으로 둘러 쌓여 있고, 철새도래지로부터 가금사육농가까지는 대부분 원거리에 있어 한탄강지역보다 더 직접적인 위험요인이 유입될 가능성이 낮은 지역이지만 철새도래지를 출입한 사람, 차량 등에 의한 간접적 전파 요인은 완전히 배제할 수가 없다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

강원 서북부권인 철원지역은 인근 경기도 포천·연천·과주 등 지역으로부터 가금류가 입식되는 과정에서 조류인플루엔자 발생 가능성이 높고, 또한 군사지역으로 인해 외부로부터 유입되는 가금육으로 인해 조류인플루엔자 발생 가능성이 더 높은 지역이라 할 수 있다. 또한 5일장 등 재래시장을 통한 토종닭 등의 유통과정에서 오염원이 동 지역으로 유입될 수 있다.

춘천지역의 경우도 춘천 닭갈비가 유명하여 많은 가금육이 외부로부터 유입되는 과정에서 오염원이 가금사육농가로 유입될 수 있고, 또한 5일장 등 재래시장을 통한 토종닭의 유통과정에서 경기도, 충청도, 전라도 등 지역으로부터 조류인플루엔자의 위험요소가 유입될 수가 있다.

그리고, 2008년도 봄철에 전국적으로 토종닭 유통망을 통한 조류인플루엔자 확산 당시에 강원도 춘천지역의 경우에도 경기도와 강원도 지역의 5일장을 순회하면서 토종닭을 판매하는 상

인을 통해 춘천지역인 전파된 사례도 있다.

또한, 강원 서북부권은 내륙의 관광지가 많아 경기 북부권과 마찬가지로 가든식당 등에서 토종닭 등을 사육하면서 자가도축을 하는 경우가 많다. 대부분 조류인플루엔자 방역과는 무관하게 철새도래지 주변의 소하천 주변에서 가든식당이 많아 이들 철새들로부터의 직접적인 오염원 유입도 가능하지만 야생조수류를 통한 간접적 전파 위험요인 많기 때문에 이들에 대한 방역홍보가 필요하다.

○ 강원 서북부 지역의 방제모델

강원 서북부 지역인 철원지역은 많은 철새들이 대부분 민통선내에 있고, 민통선 밖의 철새도래지로부터의 가금사육농가는 원거리에 있어 철새도래지로부터의 위험보다는 가금사육농가 주변의 낙곡을 섭취하는 철새들의 분변이 사람이나 야생조수류를 통해 간접적으로 전파될 가능성이 높기 때문에 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 울타리 또는 방조망을 설치하고 주기적인 소독을 실시하도록 한다.

춘천지역 등은 북한강과 주변의 소하천 등에 많은 철새가 서식하고 있고, 또한 가금사육농가가 많이 있지만 주변이 산악이 많고 가금사육농가 주변이 낙곡을 섭취할 수 있는 논밭이 적고, 철새도래지내의 풍부한 수용력으로 인해 타 지역으로 이동보다 현 철새도래지에서 기온변화가 없는 경우는 장기간 서식을 하고 있어 가금사육농가로 조류인플루엔자의 위험요소가 직접 전파될 경우는 극히 드물고, 간접적인 전파 가능성은 배제할 수 없다.

또한 강원 서북부지역의 5일장 등 재래시장을 순회하면서 토종닭 등을 판매하는 상인에 대한 특별방역관리가 필요한 지역이다. 강원 서북부권은 경기도, 충청도, 전라도 등 지역으로부터 유입되는 가금류에 대하여 입식농가에 대한 방역관리를 강화하고 철새도래지 주변에 있는 가금사육농가는 울타리 또는 방조망을 설치하여 철저히 방역관리를 실시한다.

그리고, 화천지역과 춘천지역 등은 자전거 전용도로와 산책로 등이 강변 고수부지를 따라 설치되어 있지만 이 지역이 철새들이 서식하는 곳인 만큼 자전거 전용도로와 산책로의 출입구에는 소독조 또는 간이고압소독시설을 설치하여 신발이나 자전거 타이어 등에 대하여 세척 소독을 하는 것도 조류인플루엔자를 예방하는 차선책일 수도 있다.

(2) 강원 동북부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

강원 동북부 지역인 고성, 속초, 강릉지역으로 이어지는 해안선과 화진포호, 송지호, 영랑호, 청초호, 경포호 등에 많은 철새들이 서식하고 있다. 특히 이 지역은 캐나다, 알래스카, 홋카이도, 블라디보스톡 등 태평양 연안으로 이어지는 철새 이동경로 상에 놓여 있고, 빙하지대로부터 유입되는 철새들이 많아 다양한 조류인플루엔자 바이러스항원을 보유한 철새들이 많을 것으로 추정되는 지역이다.

그러나, 통일전망대가 있는 휴전선으로부터 강릉 해안까지 좌우로 서쪽은 백두대간, 동쪽은 동해바다로서 실제적으로 규모화된 가금사육농가는 드물고 소규모 가금사육농가들이 산재해 있다.

강원 동북부지역은 인천, 경기 북부권, 강원 서북부권으로 유입되는 월동조류들은 몽골, 시베리아, 북중국으로 유입되는 개체가 많은 반면에 동해안 지역으로 유입되는 철새들은 빙하지역으로 유입되는 개체가 더 많기 때문에 다양한 조류인플루엔자 바이러스항원에 잠복감염개체가 더 많은 것으로 추정된다.

그러나, 철새도래지와 가금사육농가가 원거리에 있고, 이들 지역으로 유입되는 월동조류 중에서 낙곡을 섭취하는 개체보다 연안에 서식하는 물고기나 플랑크톤을 섭취하는 잠수성오리류와 도요류 등이 많고, 철새도래지 주변의 환경이 서해안지역보다 변화가 적어 철새가 서식할 충분한 수용력을 갖추고 있어 동해안지역에 서식하는 철새들이 가금사육농가로 접근하는 경우는 매우 드물다고 할 수 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

강원 동북부권인 고성, 속초, 양양, 강릉지역은 태백산맥에 가로막혀 과거에는 가금류의 생축과 가금육의 이동이 적었지만, 영동고속도로의 확장으로 강릉과의 거리가 많이 단축되었고, 또한 서울-춘천간 고속도로를 이용하여 속초방면으로 가는 도로 등이 많이 확장되면서 동해안으로 찾는 관광객들이 증가하고 있다. 최근 들어 동 지역의 스키장, 리조트, 관광지 등 지역에서 동해안의 힐감을 찾는 관광객도 있지만 서구화되고 있는 어린이와 젊은층을 중심으로 축산물을 선호하고 있어 돼지고기 삼겹살과 소주라면, 통닭과 생맥주로 이어지는 문화로 인해 동해안 지역의 관광지에서의 가금육을 선호하는 관광객이 증가하면서 외부로부터 가금류의 생축과 가금육의 반입이 증가되고 있다.

또한 가든식당 등에서 소규모 토종닭 사육하면서 자가도축을 하거나 남은음식물을 이용한 토종닭 사육을 하는 경우도 있다. 동해안 지역이 대규모 가금사육농가는 드물지만 소규모 가금사육농가수는 많기 때문에 이들에 대한 방역관리가 요구된다. 특히 5일장 또는 7일장 등으로 통해 외부로부터 유입되는 가금류에 대한 유통과정에 대한 방역관리는 판매 중개인에 홍보교육이 필요하다.

○ 강원 동북부 지역의 방제모델

강원 동북부 지역은 타 지역보다 방역관리가 매우 용이한 지역으로서 북으로는 휴전선이 있고, 서쪽으로는 태백산맥인 백두대간에 가로막혀 있고, 동쪽으로는 동해바다가 있어 통일전망대가 있는 휴전선으로부터 강릉시까지는 고성읍, 속초시, 양양읍 등이 중간에 위치하고 있으면서 리조트, 모텔, 식당 등으로 사실상 규모화된 가금사육농가가 위치할 곳이 드물기 때문에 철새도래지로부터의 가금사육농가로 유입될 직접적인 위험은 거의 없다. 하지만 철새도래지로부터의 사람, 차량 등과 야생조수류의 이동과정에서 조류인플루엔자에 접촉된 오염원이 가금사육

농가로 유입될 경우는 조류인플루엔자가 발생할 수도 있다.

강원 동북부지역은 철새로부터의 조류인플루엔자의 발생 위험요인보다 소규모 가금사육농가들의 울타리와 방조망이 설치 없이 가금류의 방사와 질병으로부터 청정화된 농장이 아닌 5일장 등 재래시장을 통한 외부로부터 유입되는 가금류를 통한 조류인플루엔자 위험요소가 가금사육농가로 유입될 가능성이 상존하기 때문에 이들에 대한 방역관리만 철저히 이루어진다면 다른 지역보다 조류인플루엔자의 발병 위험도는 낮다고 할 수 있다.

다. 충북 지역

(1) 충북 중북부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

충북 북부권 지역은 충주호와 남한강으로 이어지면서 소하천과 저수지가 등에 많은 월동조류들이 서식하고 있고, 중부권 지역인 대청호와 미호천, 백곡지, 백곡천 등으로 연결되는 소하천과 저수지 등에 많은 철새들이 서식하고 있다. 해마다 미호천 등에서는 조류인플루엔자 바이러스항원이 포획철새의 분변이나 배설된 분변 등에서 지속적으로 검출되고 있다.

충북 중북부권 지역의 철새도래지 주변은 가금사육농가가 밀집해 있어 철새도래지로부터 직접적인 위험요소가 유입될 수도 있고, 또는 가금사육농가 주변의 낙곡을 섭취하는 과정에서 배설해 놓은 분변을 야생조수류 또는 사람, 차량 등이 접촉할 때 간접적으로 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스항원을 유입될 수가 있기 때문에 이들 지역은 철새로 인해 조류인플루엔자 발생 위험이 높은 지역이라 할 수 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

충북 중북부권인 충주, 음성, 진천, 증평, 청주 등 지역은 국내 닭과 오리도축장과 가공장이 전남 나주, 영암지역처럼 가장 많이 밀집해 있다. 대부분 가금사육농가들은 이들 지역과 연계한 계열농가들로서 조류인플루엔자가 발생할 경우 고구마 텅굴처럼 또는 도미노현상처럼 연달아 조류인플루엔자가 발생할 가능성이 높은 지역이다.

가금사육농가에 가금을 입식하는 차량과 출하하는 차량이 많이 왕래를 하는 곳이며, 수도권 지역으로 가금육을 1시간 이내로 신속하게 운반할 수 있는 중부고속도로가 인접해 있고, 중부권이라는 지리적 잇점으로 수도권의 접근성이 좋아 많은 중계장과 종오리농장들이 밀집해 있어 전국적으로 많은 가금류와 가금육이 유통되는 지역이라 할 수 있다. 특히 가금류 운반차량이 이동시에 비산되는 공기유동물질(먼지, 깃털 등) 등에 의해서도 주변에 질병이 전파될 수 있기 때문에 도축장과 가금류 운반차량에 대하여 공기유동물질이 비산되지 않도록 비닐등을 씌우거나 방지대책을 마련하도록 하고, 도로변의 가금사육농가는 도로방면은 반드시 비닐로 공기유동물질이 축사안으로 유입되지 않도록 방제대책을 세운다.

충북 중북부권으로부터 발생된 조류인플루엔자를 종계장과 종오리농장의 초생추 분양과정에서 전국적으로 확산시킬 수 있는 곳이기 때문에 가금류 사육농가에 대한 질병예찰강화와 가금류 도축장에서의 도축검사를 강화하여 사전에 조류인플루엔자를 검색해야 한다.

○ 충북 중북부 지역의 방제모델

충북 중북부 지역인 충주호, 남한강, 대청호, 미호천, 백곡천 등에 많은 철새들이 서식하고 있고, 철새도래지 주변에 가금사육농가가 많기 때문에 언제든지 철새도래지로부터 조류인플루엔자의 위험요소가 가금사육농가로 유입될 가능성이 매우 높기 때문에 철새도래지 주변의 가금사육농가들은 반드시 울타리 또는 방조망을 이중으로 설치하여 조류인플루엔자를 예방해야 한다.

충북 중북부지역의 철새도래지 주변을 출입하는 낚시꾼이나 농민들에 대한 예방홍보교육을 실시하고 철새도래지 출입구에는 소독조를 설치하거나 철새서식시기에는 출입을 금하도록 한다. 또한 철새도래지와 인접한 가금사육농가 주변에 낙곡이 발생하지 않도록 하고 추수이후에 땅을 뒤집어 주거나 소각을 실시한다.

그리고, 닭과 오리도축장과 가공장을 출입하는 차량에 대한 방역관리를 더욱 강화해야 한다. 특히 어리장 차량에 의한 공기유동물질인 먼지, 깃털 등이 운행하는 과정에서 또는 도축장에서 계류중에 비산되지 않도록 방역에 신경을 써야한다. 또한 5일장 등 재래시장에서 가금류를 유통시키는 중개상인에 대한 현황을 파악하여 주기적인 질병 모니터링과 소독 등 방역교육을 실시하도록 한다.

(2) 충북 남부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

충북 남부권 지역은 대청호와 인접한 옥천군 및 보은군과 덕유산과 인접한 영동군이 위치하고 있고, 금강은 상류인 대청호로부터 전북 군산과 충남 서천까지 이어지는 금강하구까지 주변의 소하천과 저수지등에 모래톱과 수초에서 많은 철새들이 서식하고 있다.

충북 남부권 지역은 북부권보다 철새도래지가 적고 서식하는 철새 개체수도 다소 적다. 충북 북부권의 닭과 오리도축장의 계열농가들이 많이 밀집해 있어 가금사육농가는 많지만 충북 북부권의 철새도래지와 가금사육농가간 원거리에 있어 철새도래지로부터 철새에 의한 직접적인 위험요소가 유입될 가능성이 북부권보다 덜 하지만 가금사육농가 주변의 낙곡을 섭취하는 과정에서 배설해 놓은 분변과 접촉할 때 간접적으로 가금사육농가로 조류인플루엔자가 유입될 수가 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

충북 남부권인 옥천군, 보은군, 영동군 등 지역은 닭과 오리도축장의 계열화된 가금사육농가

가 많아 가금류의 입식과 출하가 많고, 경기, 충남, 충북, 전북 등 지역에서 외부로부터 가금류의 구입과 출하가 이루어지는 과정에서 조류인플루엔자 위험요소가 유입될 수가 있다

○ 충북 중부 지역의 방제모델

충북 중부지역인 대청호와 금강에 많은 철새들이 서식하고 있고, 철새도래지 주변에 가금사육농가가 많기 때문에 언제든지 철새도래지로부터 조류인플루엔자의 위험요소가 가금사육농가로 유입될 가능성이 매우 높기 때문에 충북 북부권의 철새도래지 주변의 가금사육농가들은 반드시 울타리 또는 방조망을 설치하여 조류인플루엔자를 예방해야 한다.

라. 대전, 충남지역

(1) 대전 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

대전지역은 금강과 시내를 흐르는 갑천과 소하천 및 저수지가 등에 많은 월동조류들이 서식하고 있다. 대전시내의 갑천에서 포획한 철새의 분변이나 배설된 분변 등에서 지속적으로 조류인플루엔자 바이러스 항원이 검출되고 있다.

대전지역의 철새도래지 주변은 가금사육농가가 거의없고 외곽지역에 소규모 사육농가들은 다소 있지만 철새도래지로부터 직접적인 위험요소가 유입될 가능성은 적다. 그러나, 사람들이 갑천 등의 산책로 주변의 철새 분변과 접촉될 가능성이 있고, 접촉된 분변을 통해 간접적으로 조류인플루엔자 바이러스항원이 가금사육농가로 유입될 수가 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란)에 이동에 의한 발병 위험요인

대전지역은 충남과 충북지역 또는 전북지역으로부터 가금류 생축과 가금육이 많이 유입되는 곳이며, 교통망이 사방으로 발달되어 있어 가금류 유통망이 잘 발달되어 있어 천안과 더불어 가금류 판매중개인들이 많이 있다.

또한 대전지역은 상설재래시장이나 5일장 등을 통해 가금류 생축이 유통되고 있고, 가든식당 등에 공급할 토종닭과 오리 등이 소규모 농장에서 사육되고 있어 가금류의 입식과 출하과정에서 조류인플루엔자의 위험요소가 가금사육농가로 유입될 수가 있다.

또한 관상용 애완조류가 많이 유통될 수 있는 지역이기 때문에 관상용 애완조류를 판매하는 곳에 대한 방역홍보가 필요하고 밀반입되는 관상용 애완조류 등이 유통될 가능성이 높다.

○ 대전지역의 방제모델

대전지역인 갑천 등 철새도래지 주변에는 가금사육농가가 없기 때문에 가금사육농가에서 조류인플루엔자가 발생할 가능성은 매우 낮다. 다만 외부로부터 가금류의 입식과 출하과정에서

조류인플루엔자 바이러스항원이 가금사육농가로 유입될 수 있다. 특히 재래시장과 가든식당 등에서 유통되는 가금류에 대한 집중적인 방역관리가 필요하다.

대전시내의 갑천 등의 고수부지를 산책하는 과정에서 철새분변과 접촉할 경우 오염원이 간접적으로 전파될 가능성이 있기 때문에 산책로 출입구에 대한 소독조를 설치하거나 출입자는 신발을 세척 소독할 수 있도록 예방홍보를 강화한다.

(2) 충남 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

충남지역은 천수만, 아산만, 곡교천, 풍세천, 병천천 등에서 많은 철새들이 서식하고 있고, 이들 철새도래지에서 매년 포획철새의 분변과 배설된 분변에서 조류인플루엔자 바이러스항원이 검출되고 있다.

충남지역의 철새도래지와 소하천 및 저수지와 주변의 논밭에는 낙곡을 섭취하는 철새들이 가금사육농가로 많이 접근하고 있다. 철새들의 귀소본능에 의해 철새들이 과거 서식장소로 귀소 하는 것을 링밴드를 통해 곡교천 등에서 확인한 바가 있기 때문에 조류인플루엔자 바이러스 항원이 많이 검출되는 지역은 조류인플루엔자가 반복적으로 발생하는 것으로 추정되었다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

충남지역은 종계장과 종오리농장이 많아 초생추와 중추의 분양이 많은 지역으로서 가금류의 유통업체가 많고, 충남 천안, 아산지역 등에서 조류인플루엔자 발생 시 짧은 시간 내에 타 지역 전파가 빠른 곳이다.

홍성지역은 친환경오리농법이후 일부는 농가에서 사육하면서 자가도축을 하거나 또는 가든식당이나 소규모 사육농가로 판매를 하거나 가공육으로 처리하기 위해 도축 출하하는 과정에서 조류인플루엔자 위험요소가 유입될 수 있다.

서산지역은 노계도축장으로 인해 산란계 도태시기에 많은 노계들이 충남지역으로 유입되고 있고, 출하된 산란계농장은 중추 입식을 경기도와 충남지역에서 구입하는 과정에서 조류인플루엔자 바이러스 항원이 가금사육농가로 유입될 가능성이 매우 높다.

가든식당에서 직영하면서 자가도축하는 소규모 토종닭 사육농가들은 대부분 방조망 없이 방사하고 있고, 잦은 입식과 출하과정에서 조류인플루엔자가 유입될 위험요소가 증가하고 있다.

○ 충남지역의 방제모델

충남지역은 천수만, 간월호, 부남호, 홍성호, 곡교천, 풍세천, 병천천, 예당저수지 등의 철새도래지와 인근의 소하천과 저수지 등에서 많은 철새들이 서식하고 있고, 철새도래지 주변에 가금사육농가들이 많이 있어 철새도래지로부터 조류인플루엔자의 위험요소가 직접 유입될 수 있는 곳이기 때문에 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 울타리 또는 방조망을 설치하여 야

생조수류와 사람 및 차량의 통제를 차단한다.

철새도래지를 출입을 자제하도록 홍보물을 부착하고 낚시꾼이나 농민들이 철새도래지를 접근한 다음 신발을 세척 소독하도록 하고, 가금사육농가 주변에 철새가 접근하지 않도록 낙곡제거 및 추수기 이후 땅을 뒤집거나 소각한다.

충남지역의 가금사육농가와 주 거래하는 가금류 유통 중개인의 현황을 파악하여 방역관리에 협조를 구하고 농가들은 가금류 입식과 출하 시에 반드시 차량을 세척 소독한다. 특히 충남지역은 전북지역과 수도권의 중간지점에 있어 가금류의 유통산업이 매우 발달되어 있기 때문에 종계장, 종오리농장, 도축장, 부화장 등으로부터 초생추, 중추, 종란 등 가금관련 수송차량의 왕래가 빈번한 곳으로서 가금 산업별로 가금사육농가, 도축장, 중개인 등의 지역별 현황을 파악하여 맞춤형 특별방역관리가 필요하다.

또한 서산지역의 노계도축장 등으로 충남지역 외에도 전남과 전북지역 등의 산란계농가로부터 많은 노계가 도축되는 과정에서 외부로부터 오염원들이 유입되고 있으며, 토종닭과 오리 등이 많이 유통되고 있는 상설재래시장 및 5일장과 소형 1톤 어리장 트럭 등 각종 위험요소에 대한 방역관리를 철저히 한다.

마. 전북 지역

(1) 전북 서부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

전북 서부권 지역은 금강하구, 만경강, 동진강, 전주천, 동림저수지 등 철새도래지와 주변 소하천과 저수지등에 많은 철새들이 서식하고 있고, 만경강과 동진강 등에서 매년 포획철새의 분변과 철새 분변배설물에서 조류인플루엔자 바이러스항원이 검출되고 있다.

전북 서부권지역의 철새도래지 주변은 가금사육농가가 밀집해 있어 언제든지 철새도래지로부터 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 수 있다. 전북 서해안 지역은 닭과 오리사육 등 가금사육이 국내 최대로 밀집된 지역이기 때문에 조류인플루엔자 발생위험이 가장 높은 지역이라 할 수 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

전북 서부권지역인 익산, 김제, 정읍지역은 닭과 오리도축장을 중심으로 종계장 및 종오리농장과 그들의 계열농가들이 많고, 특히 익산지역은 육계와 토종닭이 많이 사육되고 있고, 김제지역은 산란계농가가 많고, 정읍지역은 오리가 많이 사육되고 있다. 가금류가 전체적으로 많이 사육되고 있지만 축종별 또는 품종별 가금류의 유통 관련한 많은 가금산업 물류들의 이동이 많기 때문에 조류인플루엔자 발병 위험이 매우 높다.

전북 서부권지역인 익산, 김제, 정읍은 가금류 입식 및 출하과정에서 차량으로부터 공기유통

물질인 먼지, 깃털이 비산되는 과정에서 주변 가금사육농가로 오염물질이 유입되는 과정에서도 조류인플루엔자가 발생할 수 있다.

가금류와 가금육이 전국적으로 유통되는 익산, 김제, 정읍 등 지역에서 조류인플루엔자가 발생 할 경우, 삽시간에 전국적으로 조류인플루엔자를 전파 확산시킬 수 있다. 특히 토종닭과 오리 등을 상설재래시장과 5일장 등을 통해 판매하는 과정에서 조류인플루엔자를 확산시킨 경우가 있다.

○ 전북 서부권 지역의 방제모델

전북 서부권지역의 철새도래지인 금강호, 만경강, 동진강, 전주천, 동림저수지 등과 인근 소하천과 저수지를 출입구에 신발 소독조와 출입자제에 대한 홍보물을 부착한다.

철새도래지 주변의 가금사육농가는 철새들이 접근하지 못하도록 낙곡제거와 땅을 뒤집어 주거나 소각을 하여 원천적으로 철새들이 가금사육농가로 접근하지 못하도록 한다. 그리고 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 울타리와 방조망을 설치한다.

가금산업의 물류이동이 많은 지역에 대해서는 출하차량이 이동시 공기유통물질이 비산되지 않도록 출하차량에 그물망을 씌우거나 소독을 실시하고, 가금류를 입식할 때는 청정농장으로부터 가금류를 구입하고 출하 시는 출하과정에서 유입될 수 있는 위험요소를 차단한다.

(2) 전북 동부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

전북 동부권 지역은 소하천과 저수지는 많지만 주요 철새도래지는 드물고, 주변 소하천과 저수지등에도 전북 서부권지역보다 철새들이 서식이 적어 서부권 지역보다 철새도래지에 의한 가금사육농가로의 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 가능성이 많이 낮은 지역이다.

전북 서부권지역의 철새도래지 주변은 가금사육농가가 밀집해 있지만 동부권은 철새도래지로부터 가금사육농가가 드물지만 간접적으로 오염원이 유입될 위험요소는 서부권과 비교할 때 크게 차이는 없다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

전북 동부권지역인 남원, 순창, 임실지역은 서부권보다는 가금사육농가가 적지만 닭과 오리 도축장을 중심으로 종계장 및 종오리농장과 계열농가들이 많고, 특히 남원지역은 오리도축장을 중심으로 오리가 많이 사육되고 있고, 또한 남원지역은 지리산과 인접해 있어 가든식당에서 소규모로 토종닭 사육이 많고 재래시장 등을 통해 판매가 많이 이루지고 있어, 소형트럭을 이용한 오리와 토종닭을 운반하는 중개인에 의한 조류인플루엔자가 가금사육농가로 유입될 수가 있다.

○ 전북 동부권지역의 방제모델

전북 동부권지역의 철새도래지는 서부권에 비해 적고, 철새도래지와 가금사육농가간은 거리가 있어 철새도래지의 위험요소가 직접 전파될 가능성은 서부권에 비해 매우 낮지만 간접적인 전파 가능성은 서부권과 비슷하기 때문에 방역관리는 철저를 기해야 한다. 또한 철새도래지 주변의 가금사육농가는 철새들이 접근하지 못하도록 낙곡제거와 땅을 뒤집어 주거나 소각을 하여 원천적으로 철새들이 가금사육농가로 접근하지 못하도록 한다. 그리고 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 울타리와 방조망을 설치한다.

바. 광주, 전남지역

(1) 광주 및 전남 서남부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

광주 및 전남 서남부권 지역은 영산강, 영암호, 금호호, 고천암호 등 철새도래지와 주변 소하천과 저수지등에 많은 철새들이 서식하고 있고, 영산강 등에서 매년 포획철새의 분변과 철새 분변배설물에서 조류인플루엔자 바이러스항원이 검출되고 있다.

광주 및 전남 서남부권지역의 철새도래지 주변은 가금사육농가가 밀집해 있어 언제든지 철새도래지로부터 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 수 있다. 전남 서부권인 나주, 영암은 오리사육농가가 국내 최대로 밀집된 지역이기 때문에 조류인플루엔자 발생위험이 가장 높은 지역이라 할 수 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란)에 이동에 의한 발병 위험요인

광주 및 전남 서남부권지역인 나주, 영암, 장성지역은 닭과 오리도축장을 중심으로 종계장 및 종오리농장과 그들의 계열농가들이 많고, 특히 나주와 영암지역은 육계와 오리가 많이 사육되고 있다. 충북 북부권인 음성, 진천 등과 같이 국내에서 닭과 오리도축장이 가장 밀집된 곳으로 가금류 운반차량이 이들 지역에 끊임없이 운행되고 있다. 가금류 출하차량을 통한 공기유동물질의 비산에 의한 도로변의 가금사육농가에 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 수가 있다.

광주 및 전남 서남부권지역은 국내 최대의 상설재래시장이 광주, 나주 등 지역에 있고, 소형트럭을 이용한 토종닭과 오리 등을 운반해주는 중개상인이 전국적으로 가장 많은 지역으로서 상설재래시장으로부터 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스항원이 수시로 유입될 수가 있다. 또한 오리육 등 가금육이 부산, 울산, 경남지역으로 많이 유입되는 과정에서 조류인플루엔자 위험요소를 전달시키는 경우도 있다.

○ 광주 및 전남 서남부권 지역의 방제모델

광주 및 전남 서부권지역의 철새도래지인 영산강, 영산호, 금호호, 고천암호 등과 인근 소하천과 저수지를 출입구에 신발 소독조 설치와 철새도래지 주변에 출입금지 또는 출입자제에 대한 홍보물을 부착한다.

철새도래지 주변의 가금사육농가는 철새들이 접근하지 못하도록 낙곡제거와 땅을 뒤집어 주거나 소각을 하여 철새들이 가금사육농가로 접근하지 못하도록 한다. 그리고 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 울타리와 방조망을 설치한다.

상설재래시장과 5일장 등에 대한 가금질병에 대한 모니터링을 지속적으로 실시하면서 가금류 판매업소에 대한 세척과 소독 등 방역관리교육을 주기적으로 실시한다. 또한 어리장을 실은 소형트럭을 이용한 가금류 중개인에 대한 가금류 운송 시 방역관리에 대한 교육을 강화한다. 특히 토종닭과 오리를 혼합하여 운반하지 말고, 토종닭과 오리 운반차량을 구분하여 운행하도록 지도한다. 그리고, 조류인플루엔자 발생 시는 비 발생지역으로 가금류 생축이나 가금육과 계란 등의 이동을 철저히 차단해야 한다.

(2) 전남 동남부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

전남 동남부권 지역은 섬진강, 광양만, 순천만 등과 주변의 소하천과 저수지등에 철새들이 많이 서식하고 있다. 전남 서남부권지역은 철새들이 서식하는 곳이 대부분 강과 호수 등에 많이 서식하지만 동남부권지역은 해안선이 갯벌과 갈대숲이 많은 곳에서 주로 많이 서식하고 인근 소하천과 저수지와 논밭 등에서 서식하고 있다.

전남 동남부권지역은 대부분 연안습지와 갯벌쪽에 주로 서식하고 있어, 서남부권 지역보다 철새도래지에 의한 가금사육농가로의 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 가능성이 많이 낮은 지역이다.

전남 서남부권지역의 철새도래지 주변은 가금사육농가가 밀집해 있지만 동남부권은 철새도래지로부터 가금사육농가가 드물지만 간접적으로 오염원이 농가로 유입될 가능성은 상존한다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

전남 동남부권지역인 순천, 곡성, 보성지역은 서남부권보다는 가금사육농가가 적고, 소규모 닭과 오리농장들이 많이 있다. 재래시장을 통한 토종닭과 오리들이 유통되고 있고, 특히 가든 식당에서 소규모로 토종닭 사육이 많고 재래시장 등을 통해 판매가 많이 이루어지고 있어, 소형트럭을 이용한 오리와 토종닭을 운반하는 중개인에 의한 조류인플루엔자가 가금사육농가로 유입될 수가 있다.

○ 전남 동남부권지역의 방제모델

전남 동남부권지역의 철새도래지는 전남 서남부권에 비해 적고, 철새도래지와 가금사육농가

간은 거리가 있어 철새도래지의 위험요소가 직접 전파될 가능성은 서남부권에 비해 훨씬 낮지만 간접적인 전파 가능성은 서부권과 비슷하기 때문에 방역관리를 철저히 해야 한다. 특히 토종닭과 오리를 상설재래시장과 5일장 등으로 판매하는 중개인에 대한 현황 파악과 가금류 운송 차량에 대한 소독 등 방역관리에 철저를 기한다. 또한 철새도래지 주변의 가금사육농가는 울타리와 방조망을 설치하여 야생조수류의 차단을 방지한다.

사. 대구, 경북지역

(1) 대구 및 경북 북부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

대구 및 경북 북부권 지역은 안동호, 임하호, 낙동강 등 철새도래지와 주변 소하천과 저수지 등에 많은 철새들이 서식하고 있기만 서해안지역의 철새도래지보다는 서식하는 철새가 적다.

대구 및 경북 북부권지역의 철새도래지 주변은 가금사육농가가 적고, 철새도래지로부터의 직접적인 위험이 전파될 가능성은 적지만 철새 거동거리안에 있는 영주, 봉화 등 지역에는 많은 가금사육농가가 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

대구 및 경북 북부권 지역인 안동, 영주, 의성, 청송, 봉화 등 지역은 오리사육은 드물지만 닭 사육농가는 많다. 특히 영주, 봉화지역은 산란계 집단양계단지가 있고, 경기지역과 충청지역 으로부터 산란계 중추를 구입하는 과정에 조류인플루엔자가 이곳으로 유입될 수가 있다.

의성, 영주, 봉화, 청송 등의 상설재래시장과 5일장 등에서 토종닭 등 가금류 생축을 유통하는 과정에서 가금사육농가로 조류인플루엔자의 위험요소가 유입될 수가 있다. 특히 가금질병의 전파 역할을 하는 가금류 중개인들이 소유하고 있는 소규모 가금류 하치장은 상설재래시장과 5일장에 팔고 남은 잔여 가금류를 소규모 가금하치장에 임시사육하면서 시장으로 판매하는 과정에서 조류인플루엔자가 유입되거나 전파될 수가 있다.

○ 대구 및 경북 북부권 지역의 방제모델

대구 및 경북 북부권지역의 철새도래지인 안동호, 임하호, 금호호, 낙동강 등과 인근 소하천과 저수지를 출입구에 대한 방역관리를 철저히 한다.

철새도래지 주변의 가금사육농가는 철새들이 접근하지 못하도록 낙곡제거와 땅을 뒤집어 주거나 소각을 하여 철새들이 가금사육농가로 접근하지 못하도록 한다. 그리고 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 울타리와 방조망을 설치한다.

전라권, 충청권, 경기권 등으로부터 경북 북부권으로 유입되는 가금류 운송차량을 가금사육

농가를 통해 사전에 현황파악을 하고, 입식하는 가금류는 반드시 조류인플루엔자 비발생권이나 청정농자용로부터 구입하도록 방역지도를 한다.

또한 의성, 영주, 안동, 봉화, 청송 등 상설재래시장의 가금류 판매업소에 대한 세척과 소독 등에 대한 방역관리교육을 주기적으로 실시한다. 또한 소형트럭을 이용한 가금류 중개인에 대한 가금류 운송 시 방역관리에 대한 교육을 강화한다.

(2) 경북 동남부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

경북 동남부권 지역은 형산강, 영일만 등과 주변의 소하천과 저수지등에 철새들이 많이 서식하고 있다. 경북 동남부권지역은 철새들이 서식하는 곳이 대부분 강의 모래톱 및 수초와 연안 갯벌 등에 많이 서식하고 있다.

경북 동남부권지역은 대부분 해안선과 형산강의 모래톱과 수초 등에 주로 서식하고 있고, 서해안지역의 철새도래지보다 가금사육농가로의 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 가능성이 매우 낮은 지역이다. 그러나, 철새도래지 인근지역은 경주, 안강, 영천, 경산 등은 가금사육농가가 밀집해 있어 철새도래지로부터 가금사육농가로 간접적으로 오염원이 유입될 가능성은 상존한다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

경북 동남부권지역인 경주, 영천, 포항, 경산 등 지역은 서해안지역보다는 가금사육농가가 적지만 경북지역에서는 닭 사육이 많은 곳 중에 하나이다. 또한 재래시장을 통한 토종닭이 많이 유통되고 있다. 특히 가든식당에서 소규모로 토종닭 사육이 많고 재래시장 등을 통해 판매가 많이 이루어지고 있다.

또한 상설재래시장과 5일장 등에서 토종닭 등 가금류를 운반 판매하는 중개인들이 팔고 남은 토종닭 등 가금류들을 중개인이 소유하는 소규모 가금류 하치장에 임시로 사육하면서 시장에 판매하는 과정에서 조류인플루엔자가 가금사육농가로 유입 또는 전파될 위험성이 상존하고 있다.

○ 경북 동남부권지역의 방제모델

경북 동남부권지역의 철새도래지는 서해안과 남해안에 비해 분포도가 적고, 철새도래지와 가금사육농가간은 거리가 다소 있어, 철새도래지의 위험요소가 직접 전파될 가능성은 서해안에 비해 매우 낮지만 간접적인 전파 가능성은 항상 존재하기 때문에 방역관리에 철저를 기해야 한다. 특히 철새도래지 주변의 가금사육농가는 울타리와 방조망을 설치하여 야생조수류의 차단 을 방지한다. 또한 재래시장 또는 5일장이나 타 지역으로부터 가금류 생축을 구입할 경우는 비발생지역으로 출하된 가금류나 청정농장으로 부터 가금류를 구입해야 하고, 가금류를 입식하는

농장은 입식과 출하하는 과정에서 오는 위험요소를 사전에 차단해야 한다.

대구, 경산, 영천, 경주 등 재래시장을 토종닭 중개인들이 5일장을 순회하고 있어 동 지역에 조류인플루엔자 발생 시 동시 다발적으로 조류인플루엔자가 발생할 수 있는 유통망을 갖추고 있다. 특히 상설재래시장과 5일장 등에서 가금류를 판매하다가 남은 가금류를 또 다시 중개인이 소유하고 있는 소규모 가금류 하치장으로 재입식하여 수시로 시장에 판매하는 과정에서 조류인플루엔자의 위험요소가 유입되거나 전파되기 때문에 이들 하치장에 대한 방역관리와 질병 모니터링을 강화해야 한다.

아. 부산, 울산, 경남지역

(1) 부산·울산·경남 동남부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

부산지역은 낙동강 하구의 을숙도 철새도래지와 주변 수로와 고수부지 등과 갯벌에 많은 철새들이 서식한다. 또한 인접해 있는 김해와 양산의 경우에도 낙동강과 주변 소하천 및 저수지 등에 많은 철새들이 서식하고 있다.

김해지역은 김해평야와 주변의 논밭에서 낙곡을 섭취하는 경우도 있고, 고수부지의 수초와 모래톱 등에서 많이 서식한다. 또한 부산 강서구, 경남 김해·양산 등 지역의 가든식당 등에 토종닭과 오리 등을 사육하는 농가가 철새도래지와 인접해 있는 경우가 있기 때문에 철새로부터의 위험요소가 가금사육농가로 유입될 가능성이 높다. 또한 양산지역은 소하천과 저수지 등에 철새들이 서식하고 있고, 철새들과 접촉된 야생조수류들이 인근 가금사육농가로 접근하는 경우도 있다

울산지역은 철새도래지 인근에 가금사육농가가 드물기 때문에 직접 유입되는 위험요소에 의해 조류인플루엔자가 발생할 가능성은 낮고, 간접적으로 유입되는 위험요소에 의해 발생할 가능성이 높다. 거제지역은 철새도래지들이 대부분 연안지역으로서 철새에 의한 가금사육농가로 위험요소가 유입될 가능성은 희박하다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

부산·울산·경남 동남부권 지역인 부산, 울산, 김해, 양산 등 지역은 오리사육은 드물지만 닭 사육농가는 동남부권에서 가장 많다. 특히 양산지역은 산란계 단지가 있고, 2차례의 고병원성조류인플루엔자가 발생한 지역이다.

전남지역으로 유입된 고병원성조류인플루엔자에 잠복감염된 오염된 오리육에 의한 부산지역으로 유입으로 되어져 경남, 울산, 경북지역으로 확산 및 전파된 사례가 있다.

○ 부산·울산·경남 동남부권 지역의 방제모델

부산·울산·경남 동남부권 지역의 철새도래지인 을숙도, 낙동강 등과 인근 소하천과 저수지를 출입구에 대한 방역관리를 철저히 한다.

철새도래지 주변의 가금사육농가는 철새들이 접근하지 못하도록 낙곡제거와 땅을 뒤집어 주거나 소각을 하여 철새들이 가금사육농가로 접근하지 못하도록 한다. 그리고 철새도래지 주변의 가금사육농가는 반드시 울타리와 방조망을 설치한다.

상설재래시장의 가금류 판매업소에 대한 세척 소독 등 방역관리교육을 주기적으로 실시한다. 또한 소형트럭을 이용한 중개인에 대한 가금류 운송 시 방역관리에 대한 교육을 강화한다.

또한 가든식당에서 소규모 오리사육을 하면서 자가도축하여 오리육 또는 오리요리를 하여 판매하는 농가는 외부로부터 살아있는 오리를 입식하거나 또는 오리육을 구입할 경우에 조류인플루엔자가 발생한 사례가 있기 때문에 가든식당을 하면서 닭과 오리를 사육하는 농가에 대한 특별방역관리를 해야 한다.

(2) 경남 중서부권 지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

경남 중서부권 지역은 섬진강, 남강, 사천만, 대가저수지, 마동호, 당항포, 주남저수지, 우포저수지 등과 주변의 소하천과 저수지등에 철새들이 많이 서식하고 있다. 경남 중서부권지역은 철새들이 서식하는 곳이 대부분 연안 갯벌과 강과 저수지의 모래톱 및 수초와 습지 등에 많이 서식하고 있다.

경남 중서부권지역의 철새도래지 중 연안지역에 서식하는 경우는 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스항원이 직접 유입될 가능성은 적고, 내륙에 있는 저수지와 소하천 등의 습지 주변은 가금사육농가가 많기 때문에 야생조수류나 사람, 차량 등에 의해 직접 또는 간접적으로 조류인플루엔자 발병 위험요소가 유입될 가능성이 매우 높다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

경남 중서부권지역인 진주, 사천, 고성, 거창, 창원, 창녕 등 지역은 일부 지역을 제외하고는 닭과 오리사육이 많지 않지만 철새도래지 주변에는 가금사육농가가 매우 적다. 그러나, 최근 웰빙식육으로 오리육이 알려지면서 사육이 계속 증가하고 있으며, 거창지역과 사천 및 하동 등 지역에서 사육이 증가하고 있다. 특히 거창지역의 오리사육농가는 하동의 오리도축장과 전북 남원지역의 사육농가들과 직접적으로 연결되어 있기 때문에 타 지역에서 조류인플루엔자 발생 시에 88고속도로를 통한 유입경로를 신속히 차단할 필요가 있다.

또한 지리산과 남해안의 관광지를 중심으로 재래시장을 통한 토종닭이 많이 유통되고 있고, 특히 가든식당에서 소규모로 토종닭 사육이 많고 재래시장 등을 통해 판매가 많이 이루어지고 있다. 재래시장에서 토종닭을 운반 판매하는 중개인에 의한 조류인플루엔자가 가금사육농가로 유입될 위험성이 있다.

○ 경남 중서부권지역의 방제모델

경남 중서부권지역의 철새도래지는 남해안지역과 주남저수지, 우포저수지 등은 타 지역 못지 않게 철새들이 많이 서식하고 있고, 연안지역의 철새도래지를 제외한 주남저수지, 우포저수지, 대가저수지등과 소하천 등에 서식하는 철새들로 부터 가금사육농가로 조류인플루엔자가 유입 될 수 있기 때문에 철새도래지 주변의 가금사육농가는 울타리와 방조망을 설치하여 야생조수류의 차단을 방지한다.

또한 상설재래시장 또는 5일장 등이나 타 지역으로부터 가금류 생축을 구입할 경우는 청정 농장으로부터 가금류를 구입해야 하고, 가금류 입식하는 농장은 입식과 출하하는 과정에서 오는 각종 위험요소를 사전에 차단해야 한다.

자. 제주지역

(1) 서귀포시지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

하도리와 오조리 철새도래지는 성산일출해양군립공원과 습지코지 주변의 습지 및 수초와 해안가 등에 다양한 겨울철새들이 서식하고 있다.

또한 하도리와 오조리 철새도래지 인근에 가금사육농가가 인근에 있지만 주변서식환경이 양호하고 가금사육농가 주변에서 낙곡을 섭취할 조건이 되지 못하여 접근할 철새가 없을 것으로 추정되기 때문에 조류인플루엔자 바이러스가 직접 유입되는 위험요소는 적지만 간접적으로 조류인플루엔자의 발병 위험요소가 유입될 가능성은 상존하고 있다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

제주지역은 닭이나 오리생산물량이 적어 육지로부터 많이 반입되고 외부로부터 유입되는 위험요소에 의해 조류인플루엔자 발생 가능성이 높다. 특히 제주지역으로 유입되는 가금류가 대부분 전라도지역으로부터 구입되기 때문에 제주지역의 조류인플루엔자 발생 가능성이 매우 높다. 국내 조류인플루엔자 발생 위험도가 가장 높은 지역이 전라도지역이며, 전남 녹동항 등을 통해 제주도로 구입됨으로서 전남과 전북지역에서 조류인플루엔자 발생 시 단시간내에 제주도로 조류인플루엔자에 오염된 위험요소가 전달되면서 제주지역에서 조류인플루엔자가 발생할 수 있다.

국내 가금류의 유통망을 통해 가금류가 이동되는 경로와 질병전과경로가 일치되고, 제주도로 가금류의 반입 경로가 위험지역으로부터 구입되고 있어다는 것을 알 수 있다..

○ 제주지역의 방제모델

제주지역의 철새도래지인 하도리와 오조리의 철새도래지와 인근 저수지 등에 대한 방역관리를 철저히 한다. 철새도래지 주변의 가금사육농가는 철새들이 접근하지 못하도록 반드시 울타

리와 방조망을 설치한다.

제주도로 반입되는 가금류의 유통망을 개선시켜 전라도지역에서 구입 시는 제주도에서 초동 방역 대책수립시기를 확보할 수 있는 시간적 여유가 없기 때문에 경상도나 강원도지역으로부터 가금류를 구입하는 것이 바람직하다.

그 동안 국내 고병원성조류인플루엔자 발생사례를 분석해 보면, 전라도지역에서 발생한 이후 가금육 또는 가금류 생축 등의 이동에 의해 직·간접적인 전파에 의한 고병원성조류인플루엔자의 발생 시기는 전라도지역에서 발생한 이후 최소 15일~1개월 이후에 발생하고 있다.

따라서, 경상도 또는 강원도 등으로부터 가금류를 구입한다면 전라도지역 조류인플루엔자가 발생할 때 경상도 또는 강원도로부터 구입되던 가금류의 제주도 반입을 차단하면 조류인플루엔자 예방 및 방역에 매우 효과적일 수 있다. 또한 육지로부터 제주도로 반입되는 가금류 생축과 가금육 등의 구입을 자연히 차단할 수 있게 제주도에 자체적으로 독립적인 가금류 생산 체계를 갖추면 제주지역의 조류인플루엔자의 위험요소는 크게 감소되거나 문제되지 않을 수 있다.

(2) 제주시지역

○ 철새 등 야생조류에 의한 발병 위험요인

제주시지역은 해안선을 따라 해수욕장의 모래톱 등에 일부 철새들이 서식하고 있고, 또한 인근 저수지 등에도 일부 철새들이 서식하고 있다.

제주시 지역의 해안에 서식하는 철새들에 의한 가금사육농가의 철새들의 접근은 거의 없고, 다만 간접적으로 해안선 주변에서 철새 배설물과 접촉도니 사람과 차량 등에 의해 가금사육농가로 조류인플루엔자 바이러스항원이 유입될 가능성은 있지만 그 가능성은 매우 낮다.

○ 가금류 및 생산물(가금육, 계란 등)의 이동에 의한 발병 위험요인

제주시 지역은 육지로부터 닭이나 오리의 생축과 가금육이 반입되는 과정에서 조류인플루엔자 발생 가능성이 매우 높다. 특히 제주지역으로 유입되는 가금류는 초생추는 경북 영천 등에서 항공기로 수송되어져 유입되거나 살아있는 산란계 중추나 오리 초생추 등과 성축은 대부분 선박편으로 제주도로 유입되고 있다.

제주 지역은 육지로부터 반입되는 가금류의 생축과 가금육 및 계란 등 가금산업의 물류이동 과정에서 노출되는 위험요소를 철저히 차단한다면 어느 지역보다 효과적으로 질병예방 및 방역관리를 할 수 있다.

○ 제주시 지역의 방제모델

제주시 지역의 해안선의 철새도래지와 저수지등에 대한 방역관리는 서귀포시 철새도래지와 준하는 방역관리를 실시하면 된다.

제주도로 반입되는 가금류의 물량을 사전에 조사하여 청정농장으로부터 구입하고, 반입된 가금류는 구입한 농장에서 격리계사 등에서 검역수준의 방역관리가 필요하다. 육지로부터 반입되는 가금산업에 관계되는 모든 차량 등에 대한 소독 등 방역관리를 실시하고, 이들 차량이 입도 과정에서 육지에서 방문농장 및 도축장 등 차량운행경로와 세척과 소독 등 방역에 관한 기록 관리를 철저히 하게 한다. 특히 조류인플루엔자 발생시 신속한 역학조사를 통해 제주지역의 확산을 차단할 수 있도록 한다.

5 절. 조류독감 확산 경로 예측을 위한 네트워크 시스템 개발

1. 서론

네트워크는 임의의 정점(node)과 그 정점들을 연결하는 선(edge)의 조합을 의미한다. 수학의 ‘그래프’(Graph)라고도 불리는 네트워크 구조의 시스템은 현재 다양한 곳에서 확인할 수 있다. 인터넷, World Wide Web, 지인들의 사회적 네트워크, 사회 구성원들의 또 다른 연결, 공동체내의 조직 네트워크, 기업들의 산업 연계 네트워크, 신경계 네트워크, 먹이 사슬, 인체 혈관 분포, 우편 지역 체계, 논문들의 인용체계 등 다양한 사례가 네트워크 구조를 가지고 있으며 연구 대상이 되고 있다.

수학적 그래프 이론에서 시작된 네트워크 연구는 현대 수학에서도 큰 역할을 담당하고 있다. 1735년 발표된 오일러의 괴니히스베르크 다리 문제 해답 유도 과정에서 네트워크 이론이 처음 적용된 이후로 수많은 연구가 진행되어 그래프 이론, 네트워크 이론의 기반을 다지고 있다.

네트워크 이론은 사회 과학 분야에서도 방대하게 연구되고 있는 주제이다. 인간을 대상으로 실시하는 설문 조사와 다른 피험자들과의 상호 관계에 관한 조사는 전형적인 사회 과학 네트워크 연구의 방식이다. 피험자의 설문에 대한 대답을 통해서 각 개인을 정점(node)으로 개인들의 관계는 정점들을 연결하는 선(edge)으로 추상화시켜 네트워크를 구성할 수 있다. 일반적인 사회적 네트워크 연구는 네트워크 구조내의 수많은 정점 중 다른 정점들에게 가장 많은 영향을 줄 수 있는 정점을 찾는 문제인 중심성(Centrality) 연구와 각 정점들의 다른 정점과의 연결 정도를 측정하는 연결도(connectivity)에 관한 연구가 대다수를 차지한다.

최근 네트워크 연구는 소규모 단일 네트워크의 정점과 선의 해석에 관심을 두는 것에서 벗어나 통계적 분석을 통한 대규모 통합 네트워크의 구조를 파악하는 방식으로 방향이 바뀌고 있다. 그 새로운 접근의 변화는 컴퓨터와 통신 네트워크의 발달로 예전보다 양적으로 방대한 자료를 수집하고 분석할 수 있는 기회의 향상에 기인한다. 예전 연구의 대상이 소규모 정점들과 단일 속성을 가진 선으로 구성된 네트워크 구조였다면 현재는 대규모 정점들과 다양한 속성을 가진 선들로 이어진 네트워크 구조가 분석대상이 되고 있다. 이런 규모의 변화는 분석 방식의 변화를 유도했다. 이전의 소규모 단일 네트워크에서 제기되었던 많은 문제는 보다 큰 네트워크에서는 더 이상 유용하지 않을 수 있다. 기존의 단일 네트워크에서 연결성을 확인하기 위해 가장 결정적인 한 정점을 찾았다면 대규모 네트워크 구조도에서는 한 정점이 전체 네트워크에 가지는 영향도가 그리 크지 않기 때문에 한 정점은 중요한 요소가 될 수 없다. 이제는 네트워크의 연결성을 확인하기 위해서 한 개의 정점이 아닌 네트워크 구조 내 몇 % 이상의 정점들을 모두 주시해야 할 필요가 있다. 그리고 소규모 단일 네트워크에서는 네트워크 구조가 던지는 문제를 실제 정점과 선을 눈으로 직접 구분하여 해결하는 것이 가능했지만 최근 다양한 단일 네트워크가 통합된 대규모 복합 네트워크와 같은 구조에서는 컴퓨터의 도움이 없이 구조를 작성할 수 없을 뿐만 아니라 직접 눈으로 네트워크 구조를 확인하고 이해하는 것은 불가능하다. 통합 네트워크 시스템

의 해석은 컴퓨터 툴을 이용해서 진행되어야 한다.

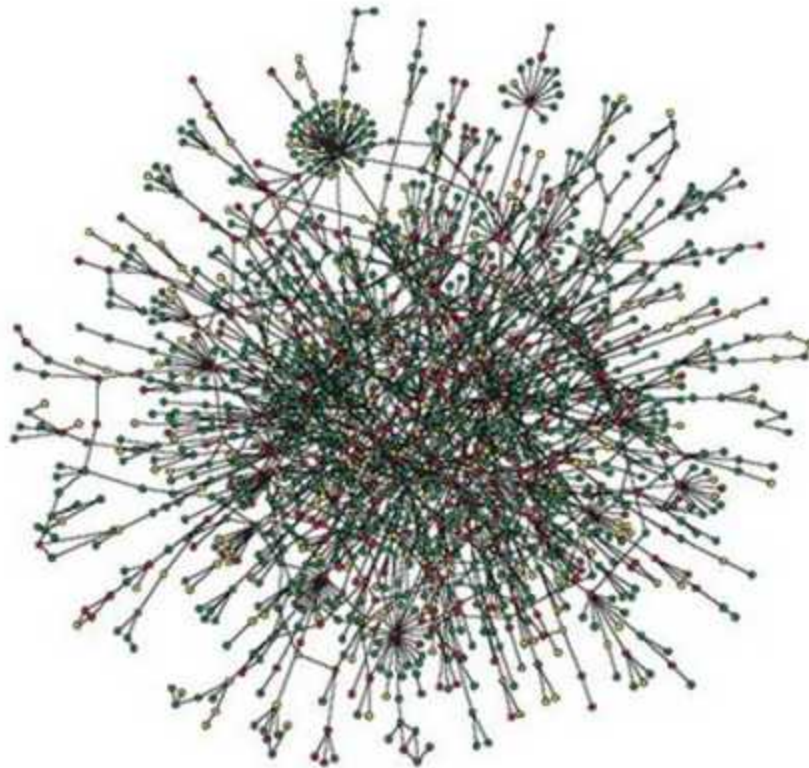


그림 222 웹 네트워크

최근 활발하게 이루어지는 네트워크의 주된 연구 방향은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 네트워크 구조의 특성을 찾는 것으로 정점간 거리, 선들의 분포 등과 같이 네트워크 구조를 확인하고 이해할 수 있는 지표를 측정하거나 그 측정 방식을 연구하는 주제이다. 두 번째는 다양한 사례를 대상으로 네트워크 모델을 구성하고 적용하는 것이다. 세 번째는 네트워크 모델의 구조적 특징과 반복되는 규칙을 확인하여 추후 정점들과 선의 변화를 이해하고 당면한 과제를 해결하는 것이다. 인터넷의 트래픽 집중과 웹 검색 엔진의 수행 문제에 네트워크 이론을 적용시켜 중요 허브 부분의 집중적인 투자와 관리를 통해서 개선시키는 예제 등이 세 번째 분야에 포함된다. 네트워크의 해석 지표와 모델링과 같은 처음 두 연구 분야는 많은 발전을 거듭해 오고 있으나 네트워크 이론을 이용한 시스템의 예측 분야는 고려해야 할 요인들이 많기 때문에 모델의 정확성을 향상시키기 위해서 연구의 양적 질적 발전이 끊임없이 진행되어야 하는 분야이다.

본 연구는 HPAI 질병의 확산 기작을 이해하고 HPAI 질병 확산 네트워크를 구성하여 발생 전 주요 관리 대상 농장을 선정하고 최초 발생 이후는 질병바이러스의 전과과정을 예측하여 효율적인 방역 대책 구축을 최종 목표로 하는 세 번째 연구 분야에 포함된다. 연구 결과의 정확성을 높이기 위한 이전의 다양한 연구 사례의 방법론 분석이 중요하다.

가. 질병 확산 네트워크 연구

최근 네트워크 분야에 대한 관심이 급증하면서 관련 연구가 끊임없이 진행되고 있다. 네트워크의 특성상 다양한 학문 분야에서 각기 다른 주제와 접근 방식으로 연구되고 있으며 양적 질적 발전을 거듭하고 있다. 하지만 그 중에서도 실제 사회(real world)에서 실현되고 있는 네트워크 구조의 특징을 관찰하고 그것을 추상화시켜 모델링하려는 연구가 주를 이루고 있다. 그래서 네트워크에 적용될 자료를 검토하는 작업은 일반적인 네트워크 연구의 시작이 될 수 있다. 또한 다른 분야에 적용된 네트워크 모델과 동시에 자료를 비교 검토하는 작업을 통해서 자신의 연구 분야에 부족한 부분을 보완할 수 있다. 본 연구에서는 네트워크 관련 사례를 사회적 네트워크, 정보계 네트워크, 과학적 네트워크, 생물학적 네트워크로 구분하여 검토할 것이다.

(1) 네트워크 관련 사례 연구

(가) 사회적 네트워크

사회적 네트워크는 사람과 그룹 그리고 그들간의 상호작용, 관계의 조합이다. 상호작용과 관계는 인간적 친밀함이 될 수도 있으며, 기업들의 동업일 수도 있고 상호간의 교환관계가 될 수도 있다. 사회과학에서 실세계 네트워크 연구는 오랜 연구 속에서 상당히 많은 연구가 진행되어왔다.

Moreno는 1920년과 1930년대 작은 그룹에서 교우 관계를 통한 네트워크 구조도를 구성했으며 1936년 남부 소도시의 여성들의 모임을 대상으로 한 Davies의 연구도 유사한 방식으로 진행되었다. 1930년대 후반 시카고의 공장노동자들을 대상으로 친분 관계를 조사하여 네트워크를 구성한 연구도 그 당시 이루어졌다. Rapport는 네트워크의 각 정점이 가지는 선의 수 분포에 대한 연구를 캠퍼스 학생들의 교우관계를 대상으로 처음으로 시도하였다.[6] 최근에는 기업의 통합과 이성간 성관계 구조도에 관한 연구도 진행되고 있다.

초기 사회 과학 분야의 중요한 네트워크 연구 중 하나는 Milgram의 'small-world' 실험이다. 밀그램은 미국내 임의의 두 사람 간의 '거리'(distance)를 알아내고자 했다. 즉, 무작위로 선택된 두 개인 사이를 연결하기 위해서 그들 사이에 얼마나 많은 지인이 필요한가 하는 것이 그의 실험을 유발시킨 질문이었다. 무작위로 선정된 사람들에게 다시 편지를 보내서 미국 사회의 사회적 연결에 관한 연구에 참여해달라고 시작하는 이 실험은 160개의 편지 중 42개의 편지가 목표인물에게 성공적으로 도달했고 2단계가 거친 편지가 있는 반면에 11단계를 거친 편지도 있었다. 미국 전역의 거주민을 대상으로 한 실험에서 5.5명의 평균 단계는 예상 밖으로 작은 수였으며 두 정점을 연결하는 경로가 존재한다는 사실은 네트워크 구조의 중요한 부분을 시사해주었고 그 이후 관련 연구가 활발히 진행될 수 있었다.

일반적으로 사회적 네트워크 연구는 자료의 크기가 작고 부정확하다는 약점을 가지고 있다.

기발했던 밀그램의 실험과는 달리 대부분의 실험은 피험자를 대상으로 설문지를 통한 조사로 자료 수집이 이루어진다. 그런 방법의 경우 연구자의 많은 노동력이 필요하며 수집할 수 있는 자료를 통해 구성할 네트워크의 크기는 한계가 있을 수밖에 없다. 그리고 설문을 통한 조사에서 피험자의 주관성이 개입될 수 있기 때문에 자료의 정확도 역시 연구 진행에 문제가 될 수 있다. 예를 들어서 구성원 간의 친밀도에 대한 조사의 경우에도 구성원 상호간 상이한 대답이 나올 수 있기 때문에 본 접근 방법의 경우 제어할 수 없는 오차가 존재할 수밖에 없다.

이런 문제들 때문에 많은 조사자들은 사회적 네트워크 자료의 정확성을 보완하기 위해 다른 방법을 이용하기도 했다. 직접적인 설문조사를 배제하고 피험자의 주관성이 개입되지 않도록 같은 그룹에 있으면 기본적인 관계가 형성된다는 가정 하에 네트워크를 구성할 수 있다. 웹상의 영화 정보를 통해서 같은 영화에서 작업을 할 경우 두 배우간의 연계가 있다는 가정으로 네트워크를 구성하여 통계적인 특성을 확인하는 연구 사례와 같은 작품을 진행한 작가와 감독, 웹페이지, 신문 기사에서 같이 언급된 사람들 간의 네트워크 구성을 한 연구 사례는 사회 과학 네트워크에서 정확도를 보정하기 위한 시도였다.

유사한 방법으로 통신 기록이 남아있는 두 사람간의 관계를 이용한 연구도 있다. 우편을 이용한 편지와 소포의 전달 기록, 전화로 연결된 사람 간의 자료를 통해 네트워크를 구성하기도 했다. 이외에 이메일을 이용한 네트워크, 메신저 시스템을 이용한 네트워크 등 두 사람간의 연결성이 기록된 자료를 이용해 정확도가 높은 네트워크를 구성하고자 했다.

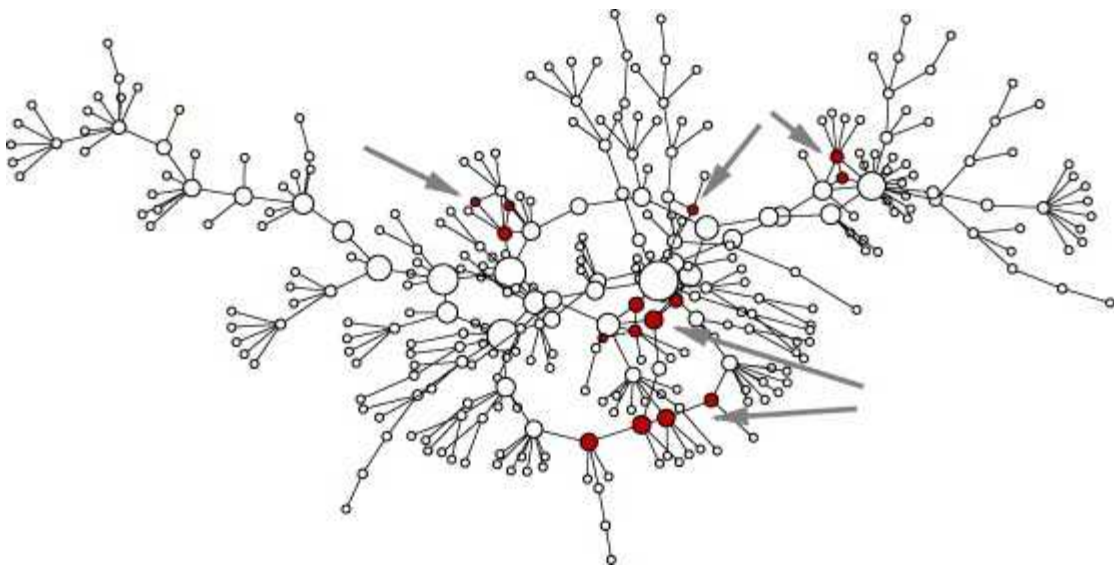


그림 223 성관계 접촉 네트워크

(나) 정보계 네트워크

정보계 네트워크(information network)의 대표적인 예제는 학술 논문들 사이에 인용 네트워크 구조다. 일반적인 학술 논문은 연관된 주제에 관해서 예전에 연구했던 논문들을 언급한다.

인용 네트워크에서는 각각의 학술 논문이 정점이 되고 A 학술 논문이 B 학술 논문을 언급했을 경우 A와 B를 이어주는 연결선을 이용해 네트워크를 구성한다. 이를 통해서 각 논문, 정보 저장소가 가지고 있는 다른 정보들과의 구조도를 확인할 수 있다. 인용 네트워크는 시간적으로 앞선 논문이 언급되기 때문에 비순환적 구조를 가질 수밖에 없으며 시간의 제약조건에 따라서 방향성을 가진다. 인용 네트워크는 방대한 양의 과학 연구를 정확한 데이터에 기초해서 유용하게 활용할 수 있는 점에서 큰 장점을 가지고 있다.

다른 중요한 정보계 네트워크의 예제는 수많은 정보를 담고 있는 웹페이지의 네트워크인 World Wide Web 이다. 각 웹페이지는 하나 이상의 다른 페이지의 연결을 가지고 있으며 인터넷을 통해서 정돈되어 있다. 인용 네트워크와 달리 웹 네트워크는 순환적이다. 일방적인 연결없이 방향성이 없는, 양방향의 선으로 연결되어 있다. 1990년대 처음 웹 네트워크가 연구의 대상이 되면서 웹페이지의 연결선 분포, 웹 네트워크내 최대 거리 등 다양한 연구가 끊임없이 이어졌다.

이밖에 학술 인용 네트워크와 유사한 미국 특허권 인용 네트워크와 온라인 영어 사전 사이트의 구조 분석과 같은 예제가 있다. 특정 단어를 검색할 경우 연관된 다른 단어 검색이 수반되는 경우가 많고 그 단어들의 관계를 이용해서 언어 구조 네트워크를 구성할 수 있다.

선호도 네트워크는 책, 영화 등에 대한 대중들의 평가를 기준으로 네트워크 구조를 구성하는 것이다. EashMovie 자료는 영화에 대한 대중들의 호불호로 네트워크를 작성했고 관객들과 제작자 등 영화 관계자들에게 합리적인 정보를 주고 있다.

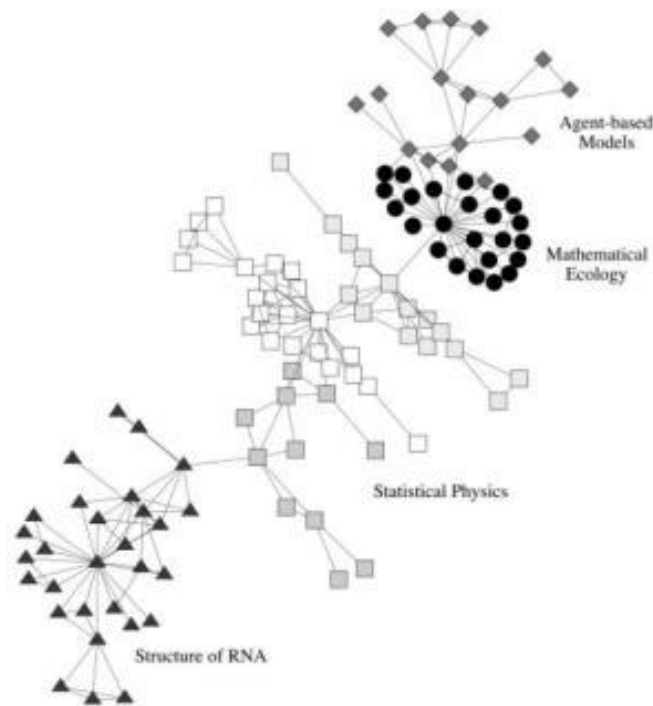


그림 224 과학 연구 작업 네트워크

(다) 과학적 네트워크

과학적 네트워크는 상품과 자원의 효율적인 분배를 위해 연구되는 분야다. 전기의 경우 시간과 지역에 따른 자원의 소비 편차가 크기 때문에 안정적인 공급을 위한 적절한 배분이 필요하다. 도시내 효율적인 이동을 위한 항공 노선과 도로망 철로 노선의 분배에 대한 연구도 이 분야에 해당되는 것으로 각 지역의 접근성 분석을 시작으로 연구가 수행되고 실제 정책에 적용되고 있다.

과학적 네트워크가 연구되는 다른 분야는 컴퓨터들의 물리적인 연결인 인터넷이다. 컴퓨터가 처리할 수 있는 정보의 양이 증가하며 인터넷에 접근하는 컴퓨터의 수가 기하급수적으로 증가하는 상황에서 데이터의 흐름을 안정적으로 통제하기 위한 서버의 구조 결정을 위한 작업에도 네트워크 이론이 이용되고 있다.

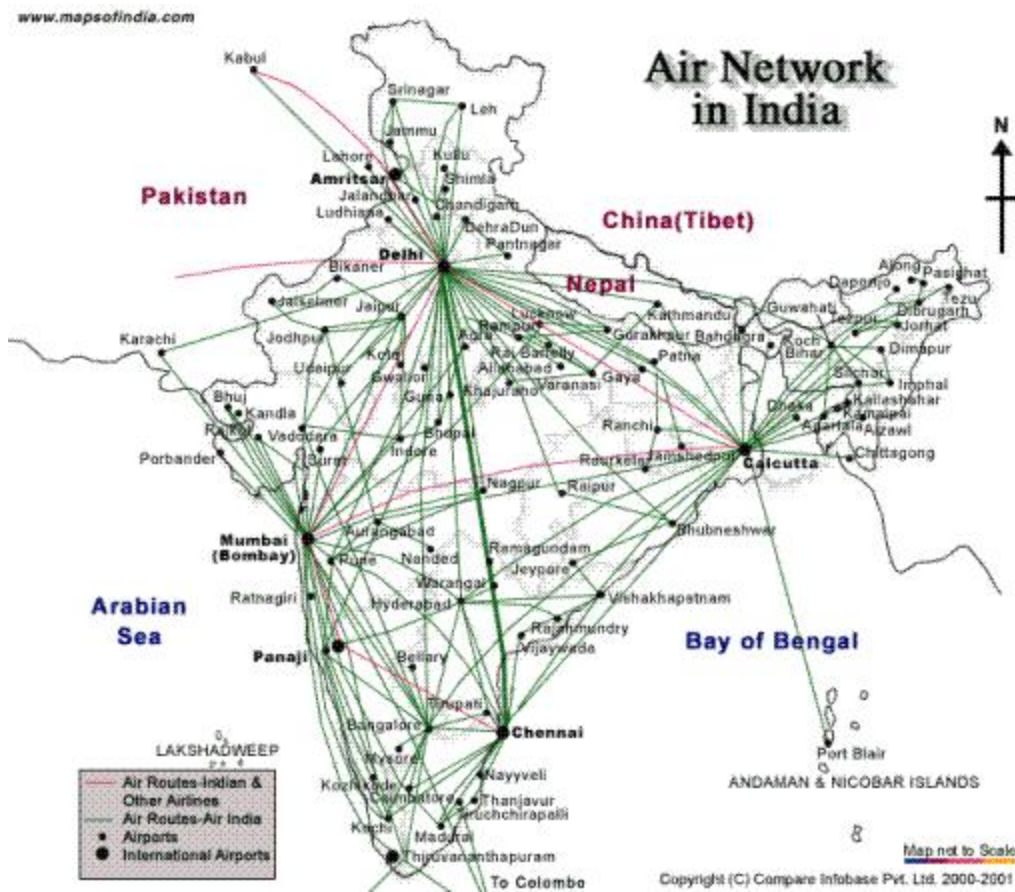


그림 225 항공 노선도

(라) 생물학적 네트워크

많은 생물 체계는 네트워크 구조로 구성되어있다. 가장 기본적인 생물학적 네트워크는 혈관 네트워크다. 혈관을 통해서 다양한 장기들이 연결되어 있고 다양한 정보, 물질 등을 주고받으

며 자극에 따라서 순차적으로 반응을 일으킨다. 혈관 네트워크를 통한 단백질의 화학적 이동에 관해서 네트워크 이론을 이용해 다룬 연구도 진행되었다.

생물학적 네트워크의 또 다른 예제는 먹이 사슬이다. 먹이 사슬 네트워크의 한 정점은 생태계의 종을 의미하고 다른 종과의 연결선은 먹이 구조로 이어진다. 완벽한 먹이 사슬 네트워크의 구성은 많은 시간이 필요한 작업이다. 하지만 최근에 많은 데이터가 축적되면서 정확도가 높은 먹이 사슬 네트워크가 구축되고 있다.

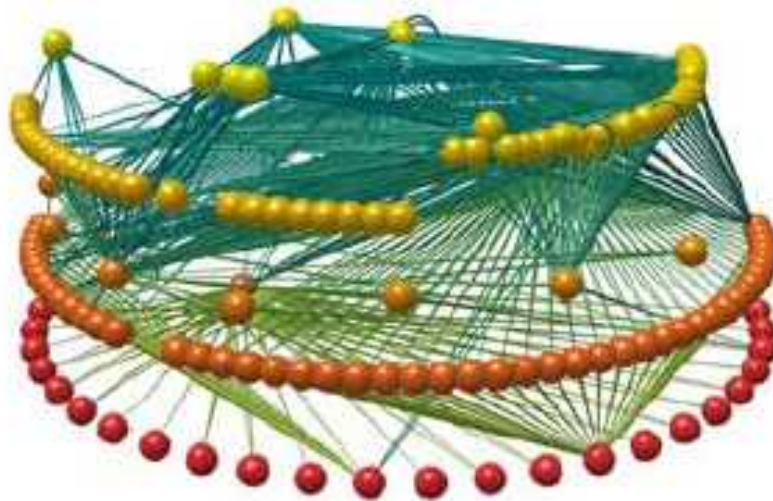


그림 226 먹이 사슬 네트워크

(2) 질병 확산 연구

네트워크 연구의 주된 목적중 하나는 질병, 루머, 컴퓨터 바이러스 등의 확산 메커니즘을 이해하기 위한 것이다. 확산 메커니즘의 분석은 대상의 경로를 추적할 수 있으며 연결선의 제어와 정점들의 그룹화를 통해서 대상의 확산을 통제할 수 있다. 예를 들어 성관계 네트워크 연구는 성전염병 확산을 제어할 수 있는 대책을 강구할 수 있었으며 이메일 네트워크 연구는 컴퓨터 바이러스 확산의 기작을 이해할 수 있다.

(가) SIR 모델

네트워크 연구에서 가장 간단한 질병 확산 모델은 SIR 모델이다. 1920년대 Lowel과 Wade에 의해서 개발된 모델로 전염병을 경험하지 않은 상태인 감염가능(Susceptible) 상태, 전염병에 접촉되어 다른 개체에도 전염시킬 수 있는 병균을 가진 감염(Infected) 상태, 전염병에서 회복되어 면역이 생겨서 다시는 감염에 걸리지 않는 회복(Recovered) 상태로 대상을 3단계로 구분한다. 정해진 시스템 내에서 시간을 변수로 대상들의 상태 변화를 관찰하는 방식으로 연구가 진행

된다. 수식 (16)의 β 는 감염율, γ 는 회복율을 나타내고 이 변수를 기본으로 다양한 사례에 적용시켜볼 수 있으며 다양한 정점들과 연결선의 속성을 이용해서 네트워크 구조를 이해하려는 연구가 진행되었다.

$$\frac{ds}{dt} = -\beta is, \quad \frac{di}{dt} = \beta is - \gamma i, \quad \frac{dr}{dt} = \gamma i \quad \text{-----(16)}$$

질병 확산 모델은 실험 대상들의 접촉 상황을 확인할 수 있는 자료의 양과 질이 충분하지 않으며 기본적인 모델 구성과 그에 따른 질병 추적에 어려움을 가질 수밖에 없으나 정확도를 보완하기 위한 여러 연구가 진행되고 있는 상황이다. 자료 수급의 어려움 때문에 합리적인 대책 마련에 앞서 기본적인 질병 확산을 통제하기 위하여 발생 지역 일정 거리를 통제하는 방법인 'Ring Vaccination'을 이용하기도 한다.

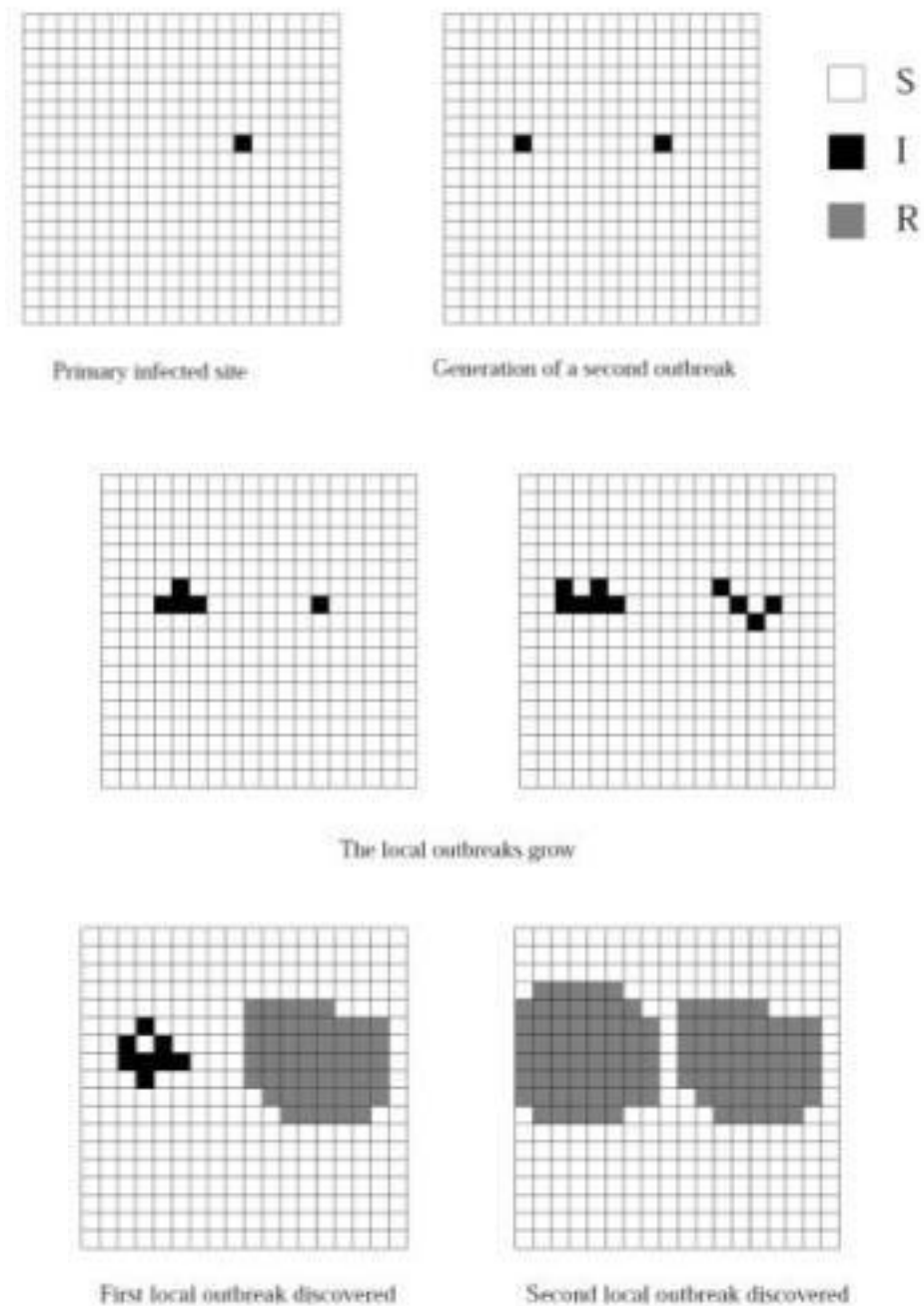


그림 227 Ring Vaccination

(나) SIS 모델

모든 질병이 감염대상에 대해서 회복 단계를 거쳐 면역 체계를 가지는 것은 아니다. 유행성 질병의 경우 다양한 변이 때문에 이전 질병 발생과 관계없이 다시 감염되기도 하는 경우가 많다. 컴퓨터 바이러스 감염 역시 유사한 형태로 변형되어 다시 감염된다. SIR 모델과는 달리 SIS 모델은 면역 체계가 생기지 않는 대상들의 질병 추적을 위한 모델이다. 감염율과 감염시

간, 회복율을 변수로 두는 것은 비슷하지만 수식 (17)와 같이 회복 후 면역 단계를 제외한 2단계로 구분된다. 일반적으로 SIR 모델과는 달리 시스템의 정체 상태, 더 이상의 질병 감염자가 나오지 않는 상태에 이르는 시기가 늦어진다.

$$\frac{ds}{dt} = -\beta is + \gamma i, \quad \frac{di}{dt} = \beta is - \gamma i \quad \text{-----(17)}$$

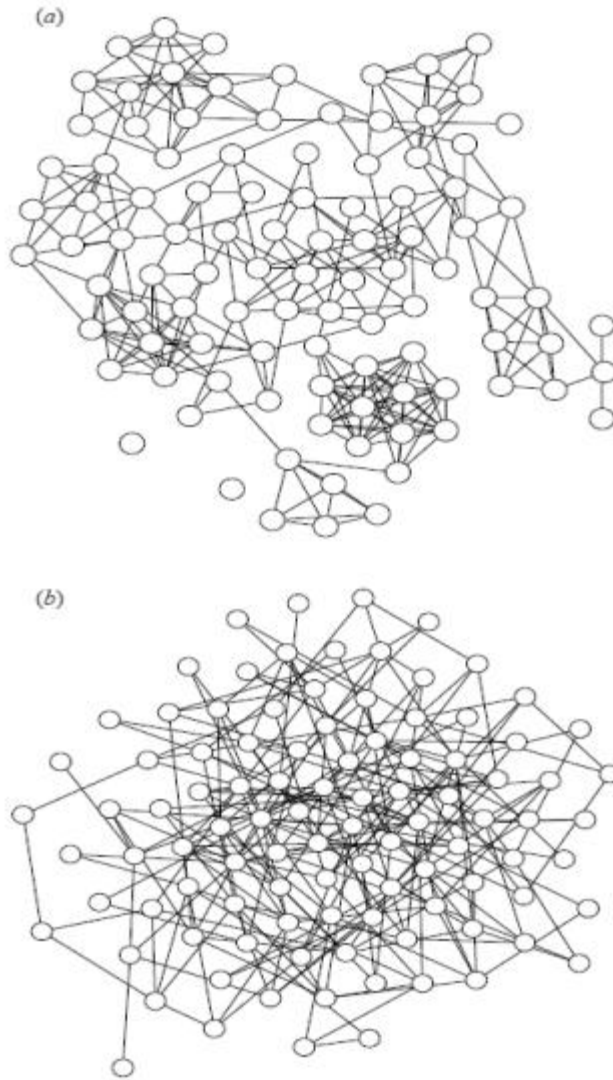


그림 228 SIS모델을 적용한 100개의정점의 변화[48]

나. 복잡계 확산 연구

(1) 행위자 기반 모형

복잡계 연구의 주된 목적은 자연계 및 사회경제계 전반에 걸쳐 공통적으로 나타나는 창발현상(emergent phenomena)을 규명하는데 있다. 그러나 현실 속의 복잡계를 설명함에 있어 전통적인 귀납적(inductive) 또는 연역적(deductive) 접근은 모두 한계가 있다. 귀납적 접근을 따라 거시적 현상의 통계적 분석을 통해 특성을 관별하더라도 복잡계의 특징적인 창발성 때문에 이는 곧바로 미시적 메커니즘 규명으로 연결되기 어렵다. 연역적 접근의 경우에도 그 출발점이 되는 공리나 전체 자체가 심각한 오류를 내포할 수 있으며, 복잡성 때문에 보통의 해석적인 방법으로는 풀어내기가 어렵다.

복잡계 연구에서는 이를 보완하기 위해 흔히 계산모형에 의한 시뮬레이션(simulation)이 폭넓게 활용되고 있다. 우선 대상 시스템의 구성 주체들을 면밀히 관찰하여 주요한 속성과 행동규칙을 추출해내고, 이를 기반으로 다수의 간략화된 주체, 즉 행위자(agent)를 설정한다. 그리고 주어진 환경과 공간에서 이들이 직접 상호작용을 하도록 시뮬레이션을 하여 나타나는 현상들을 관찰한다. 여기서 관찰된 현상이 실제 시스템의 현상과 부합하지 않는다면 행위자의 속성과 행동규칙을 수정해가면서 시뮬레이션을 반복하여 최종적으로 유효성이 확인된 모형을 얻게 된다. 이와 같이 미시적 행위자의 특성에서 출발하여 시뮬레이션을 통해 상향식(bottom-up)으로 거시적 현상의 동역학을 끌어내는 모형을 행위자 기반 모형(agent-based model, ABM)이라고 한다.

오늘날 복잡계 이론에서 통용되고 있는 행위자의 개념은 사회과학과 전산학에서 발전된 개념들이 융합된 것이다. 일례로 경제학에서는 행위자를 주어진 제약조건 하에서 최대의 효용(utility)을 추구하는 개인의 의미로 사용했으며, 시스템을 구성하는 주체적 개별요소의 성격이 강조되었다. 전산학에서는 사용자나 다른 프로그램이 설정한 규칙에 따라 상황에 맞게 대응하는 소프트웨어 단위의 의미로 사용되기 시작했다. 이 행위자 개념은 객체지향 프로그래밍(object-oriented programming)에서 이야기하는 객체(object)와 유사한데, 여기에 자기통제 및 자율적인 상호작용 능력이 부가된 것으로 이해할 수 있다. 이를 특정하여 소프트웨어 행위자라고 하며, 특히 인공지능 이론에서는 학습능력과 적응능력까지 갖춘 지적 행위자(intelligent agent)로 개념이 확장되었다.

이러한 맥락에서 복잡계를 구성하며, 다양한 상호작용을 하는 개별 단위 구성주체를 모두 행위자로 지칭하기도 한다. 자연계에서 흔히 연구되는 물리적 입자부터 사회경제계의 개인이나 조직까지 이 넓은 의미의 행위자에 포함된다. 이 분야에서 적용하려는 질병 확산 양상을 적용할 수 있는 행위자들에게 몇 가지 중요한 특징이 있다.

첫 번째는 행위자의 불균질성(heterogeneity)이다. 이것은 시스템을 구성하는 행위자들이 다양한 고유의 속성과 행동규칙을 가지고 있음을 의미한다. 확산의 주체가 되는 개체는 주변의

다양한 환경과 영향기작으로 인해서 주변의 개체와 다양한 방향으로 작용한다.

두 번째는 행위자의 자율성(autonomy)이다. 이것은 개별 행위자의 행동이 일괄적으로 중앙 통제되지 않음을 의미한다. 환경적 구속조건이나 시스템 내부에서 축적된 제도적 관습, 관행에 의해 행동에 실질적인 제약을 받을 수는 있으나, 행위자의 모든 요인을 제어하는 전지전능한 시스템 통제자는 정해져있지 않다.

세 번째는 행위자가 시스템 공간상에서 주변 행위자와 국소 상호작용(local interactions)을 한다는 점이다. 여기서의 공간은 물리적 공간이나 네트워크 공간 등 다양한 형태를 포함한다. 대상 공간에서 개체들이 물리적으로 근접하거나 연계된 개체들과 교류하며 연계 요인들을 통해 질병을 전파, 확산하는 것과 같다.

네 번째는 행위자의 제한합리성(bounded rationality)이다. 여기서의 합리성은 행위자가 가능한 선택 가운데 자신에게 가장 유리한 것을 선택함을 의미한다. 주류 경제학 등에서는 연역적 접근을 위한 이상화된 조건으로서 행위자들이 시스템에 대한 모든 정보를 감안하여 최적의 선택을 내릴 수 있음을 가정하는 경우가 종종 있다. 이것을 완전합리성(perfect rationality)이라고 한다. 그러나 위에서 설명한 바와 같이 현실의 행위자는 국소 상호작용에 의해 전달된 한정된 정보를 가지며, 정보 처리능력에도 한계가 있기 때문에 이는 지나치게 비현실적인 가정이다. 이를 보완하여 유한한 정보량 및 정보 처리능력의 한계 내에서 가장 유리한 선택을 모색하는 성향을 제한합리성이라고 한다.

행위자의 이러한 특성 모두는 현실적인 복잡계 연구에 있어 컴퓨터를 활용한 행위자 기반 모형의 필요성을 부각시켜주고 있다. 물론 행위자 기반 모형의 중요한 기틀로 평가받고 있는 쉘링(T. C. Schelling, 2005년 노벨 경제학상 수상자)의 인종격리 모형(segregation model)과 같이, 손으로 간단하게 시뮬할 수 있으면서도 시사적인 모형도 존재한다. 그럼에도 다수의 행위자와 복잡한 이들의 상호작용을 빠르게 계산하기 위해서는 컴퓨터 시뮬내기가 거의 필수적이다. 또한 컴퓨터 시뮬내기는 수식으로 표현하기 어려운 규칙까지 구현할 수 있다는 중요한 이점도 갖고 있다. 예를 들어 「개체가 매시간 감염률이 1%씩 증가하며 20%이상일 때 감염상태가 되며 50%이상이면 살처분한다.」는 행동규칙을 수식으로 풀어내기란 매우 까다롭지만, 컴퓨터 프로그램으로는 조건문을 활용하여 쉽게 표현할 수 있다. 그럼에도 불구하고 행위자 기반 모형의 수용이 순탄했던 것만은 아니다. 물리학은 이미 20세기 중반부터 계산모형과 컴퓨터 모의를 중요한 방법론으로 받아들여 왔기 때문에 행위자 기반 모형의 개념도 쉽게 받아들여진 편이다. 이는 사회물리학과 경제물리학 연구에서 기존 통계물리학의 방법론과 함께 활발히 활용되고 있는 사실에서도 잘 알 수 있다. 반면 사회과학에서는 기존 방법론과의 이질성 때문에 저항이 만만치 않았다. 근래 들어서야 행위자 기반 계산경제학(agent-based computational economics), 행위자 기반 계산사회학(agent-based computational sociology), 개체 기반 생태학(individual-based ecology) 등 기존 학문분야에서 행위자 기반 모형을 주요한 연구 방법론으로 삼는 하위 분야가 뚜렷이 정착되고 있는 추세이다.

그 결과 최근에는 이를 귀납적 및 연역적 접근과 차별화된 제3의 접근법으로 받아들여 생성

적(generative) 접근 또는 구성적(constructive) 접근이라고 지칭하고 있다. 행위자 기반 모형을 분류하는 기준은 여러 가지가 있으나, 행위자의 복잡도를 하나의 중요한 기준으로 삼을 수 있다. 개별 행위자들이 독자적인 행동규칙에 따라 반응하기는 하지만 지능이 없다고 가정하는 최소 행위자(minimalistic agent)부터 적극적인 선행성(proactivity)과 적응성을 보이는 복잡 행위자(complex agent)까지 스펙트럼을 그려볼 수 있다. 이 가운데서도 통계물리학 등 자연과학의 영역에서는 최소 행위자들의 복잡한 상호작용으로 인해 집합적인 성질이 창발되는 모형이 많이 연구되어 왔다. 이하에서는 사회물리학의 맥락에서 연구된 행위자 기반 모형의 예시와 쟁점에 대해 살펴보기로 한다.

최소 행위자를 모델화하기 위해 가장 쉽게 연관 지을 수 있는 개념은 +1 또는 -1 중 하나의 값을 갖는 이징 스핀(Ising spin)이다. 인간처럼 복잡하고 고차원적인 사고를 하는 행위자를 고작 +1 또는 -1 중 하나의 상태로 기술한다는 데에 거부감을 느낄 수도 있다. 하지만 양당제가 오랫동안 유지되어온 미국에서 많은 유권자들이 민주당 또는 공화당에 투표하는 상황을 떠올려보면 그리 허무맹랑한 가정은 아니다. 또한 이렇게 단순한 스핀이라도 수많은 스핀들이 복잡하게 상호작용하는 시스템에서 매우 풍부하고 다양한 현상들이 관찰되며 이를 완전하게 이해하는 일은 여전히 쉽지 않은 일이다. 이 점에서 브라질의 총선 결과의 분석과 이와 관계된 의견 동역학 연구는 최소 행위자 모형의 적용가능성에 의미 있는 시사점을 주고 있다. 1998년 10월 4일, 브라질에서는 대통령, 상원의원, 하원의원, 주(州)지사, 주의원을 뽑는 선거가 있었는데 전체 유권자는 106,101,067명에 달했다. 상파울루 주에서만 주의원 후보가 1,260명이었고 23,321,034명의 유권자가 있었다. 득표율에 따른 후보자 수의 분포는 거듭제곱 꼴이라는 것이 밝혀졌다. 득표율에서도 이른바 빈익빈 부익부 법칙이 나타난다는 것을 알 수 있다. 선거와 투표 행위는 수많은 행위자들이 상호작용하는 복잡게임에 틀림없다. 투표자가 자신이 지지하는 후보를 어떻게 선택하는가에 관한 미시적인 이해는 부족하지만, 이웃한 투표자의 의견을 따라 자신의 지지 후보를 결정한다는 아주 단순한 규칙을 설정해볼 수 있다. 이것이 바로 투표자 모형(voter model)인데 이에 관한 일반적인 결과들이 잘 알려져 있다. 여기서 조금 더 발전된 슈나이트 모형(Sznajd model)에서는 이웃한 두 투표자가 같은 의견을 갖는 경우 그들이 그들의 모든 이웃들을 설득하여 자신들의 의견을 받아들이게 한다는 규칙이 설정된다. 즉, 의견그룹이 형성되어 개인으로 행동할 때보다 더 큰 영향력을 발휘하는 것을 모형화했다고 볼 수 있다. 투표자 모형을 비롯한 기존의 모형들이 개인과 개인의 상호작용에만 초점을 맞춘 데 반해 슈나이트 모형은 의견그룹과 개인의 상호작용에 초점을 맞추었다.

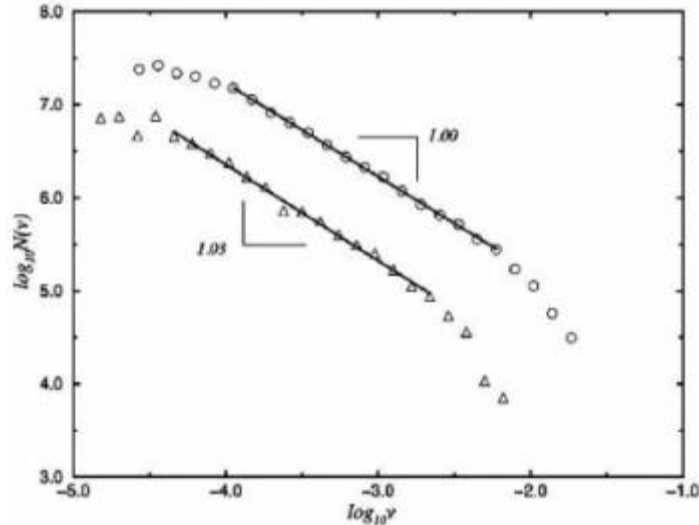


그림 229 슈나잇 모형의 행위자 행동 분포

투표자들이 서로 영향을 끼치는 공간 구조도 중요한 요인으로 작용한다. 공간 구조는 네트워크(그래프)로 모형화할 수 있는데 주로 규칙적인 격자, 에르되시-레니(Erdős-Rényi; ER) 무작위 네트워크, 좁은 세상 네트워크, 척도 없는 네트워크, 아폴론 네트워크(Apollonian Network) 등이 이용되어 왔다. 그중에서도 바라바시-알베르(Barabási-Albert; BA) 척도 없는 네트워크 위의 투표자들에 대해 슈나잇 모형을 적용한 결과, 득표율 분포가 브라질 선거 결과처럼 지수가 -1인 거듭제곱 꼴을 따른다는 것이 밝혀졌다.

더 최근에는 투표자 모형과 유사하나, 투표자가 한 번 지지 후보를 결정했으면 다시는 의견을 바꾸지 않는 규칙을 도입한 연구가 발표되었다. 이 연구에서도 다양한 네트워크 위에서 득표율 분포를 관찰했으며 위계구조가 있는 아폴론 네트워크 위에서만 지수가 -1인 거듭제곱 법칙이 나타났다. 그 외 ER 네트워크나 BA 네트워크 위에서는 지수가 -1인 거듭제곱 법칙이 나타나지 않았다. 저자들은 이 결과에 근거하여 투표자들이 상호작용하며 의견을 교환하는 구조는 위계구조가 있는 네트워크일 것이라는 제안을 하기도 한다.

또 다른 예로서, 사회심리학의 실증적인 연구 결과들을 바탕으로 행위자의 도움행동이 행위자 사이의 연결구조와 어떻게 상호작용하는지를 모형화한 구조 모형(rescue model)이 연구되었다. 이 모형은 위급한 상황을 목격한 사람의 수가 많을수록 그 사람들이 개입할 확률이 줄어든다고 하는 구경꾼 효과(bystander effect)를 네트워크 관점을 접목시켜 이해하고자 한 것이다. 심리학 실험을 통해 목격자의 역할을 맡은 피험자가 피해자를 본 적이 있는 경우 더 잘 도와주고 (더 빠르게 반응하고), 또한 피험자들이 친구인 경우 그렇지 않은 집단에 비해 더 잘 도와준다는 사실들이 밝혀져 있다.

구조 모형에서 각 목격자는 상황의 심각성과 피해자와의 관계, 다른 목격자들과의 관계에 따라 자신의 '위급 상황에 기꺼이 개입하려는 정도'를 무의식적으로 계산하고 그 결과에 따라 행동한다는 규칙을 따른다. 컴퓨터 모의 결과, 목격자들 사이의 관계를 고려한 항에 의해 개입

의 성공률이 목격자의 수에 따라 줄어드는 구경꾼 효과가 성공적으로 재현되었다.

이 연구를 통해 구경꾼 효과의 주요한 메커니즘으로 제시되었던 책임의 분산(diffusion of responsibility)과 구경꾼 사이의 사회적 영향(social influence)이라는 요인들이 구체적인 모형에 의해 분석적으로 다루어질 수 있음이 명백히 드러났다.

그런데 이처럼 매우 단순화된 행위자들의 상호작용에 의한 결과가 실제 복잡한 과정을 거친 사회현상의 일부 통계적 특성을 잘 재현해냈다고 모형의 유효성이 입증되었는가에 대해서는 여전히 논란의 소지가 있다. 이 문제는 행위자와 그들의 상호작용을 단순화시키는 과정의 정당성으로 귀결된다. 물리학에서는 비교적 단순명료한 물리법칙을 따르는 대상을 주로 연구해온 전통 때문에 ‘오컴의 면도날’ 원리로 정당화하며 이를 소홀히 다루는 경향이 있다. 이는 이론의 경제성을 높이는 긍정적인 효과에도 불구하고 복잡한 현실 문제를 포괄하지 못할 위험이 있다.

따라서 실질적인 합의와 응용 가능성을 높이기 위해서는 행위자 기반 모형의 복잡성을 증가시켜야 한다. 이것은 계산과 분석 비용의 증가를 수반하기 때문에, 학계 수준을 넘어선 대규모 연구팀의 조직적인 작업이 필수적이다. 최근에는 행위자 기반 모형을 주요한 방법론으로 활용하는 학제간 연구팀과 컨설팅 회사들이 설립되고, 다채로운 응용 프로젝트의 경험이 축적되면서 이 방면에서도 가시적인 발전이 이뤄지고 있다.

(2) 행위자 기반 모형의 응용

행위자 기반 모형이 산업계 현장 문제 해결의 도구로 진일보한 중요한 계기는, 1980년대 이래 복잡계 연구를 선도해온 산타페 연구소의 연구진들이 1997년 BiosGroup이라는 회사를 설립하면서 마련되었다. 카우프만(S. Kauffman)과 굴지의 회계법인 Ernst & Young이 합작·주도한 이 회사는 복잡계 연구에 쓰이는 다양한 기법들을 활용하여 비즈니스 현장의 문제 해결 컨설팅을 수행하였다.

BiosGroup이 행위자 기반 모형을 활용하여 신선한 충격을 던진 대표적인 사례는 미국 SouthWest Airlines의 항공화물 운송 시스템 개선 프로젝트를 들 수 있다. 미국의 대표적인 저가 항공사 SouthWest Airlines는 1998년 당시 급성장하는 와중에 항공화물 처리에 매우 어려움을 겪고 있었다. 각

공항의 화물처리량이 물류수요 변화에 따라 급변했으며, 특정 공항들에서 화물처리 대기시간이 길어지는 심각한 문제가 발생했다. 이 회사는 처음에 전형적인 업무처리 프로세스 효율화를 통해 문제 해결을 시도했으나, 모두 실패로 돌아가며 BiosGroup에 문제 해결을 의뢰했다. BiosGroup은 현장 관계자들의 인터뷰와 관찰, 사측이 보유한 운항기록 등을 토대로 행위자 기반 모형을 구축하였다. 각 공항에서 화물 처리를 담당하는 현장 관계자를 행위자로 설정하고, 관행적으로 시행되어오던 화물처리 규칙과 항공기 운항일정, 각 공항의 화물처리 용량 등을 모형에 반영하였다. 그리고 완성된 모형을 이용하여 행위자들의 화물처리 규칙을 변화시켜가며

모의를 수행하였다. 그 결과 화물처리 규칙에 심각한 맹점을 밝혀냈다. 예를 들어 앨버커키에서 오클랜드로 보낼 화물이 있고, 이를 실은 항공기가 앨버커키(10:30) →라스베이거스→샌프란시스코(13:15)→산호세→샌프란시스코→오클랜드(18:10)로 운항할 계획이라고 하자. 기존에는 화물을 빨리 보내기 위해 첫 번째 샌프란시스코에 착륙했을 때, 화물을 내려 보다 빨리 도착할 예정인 샌프란시스코(14:15) →오클랜드(15:35) 항공편으로 옮겨 실었다. 이 경우 각 현장 관계자의 입장에서는 빠른 배송을 위한 합리적 선택을 한 셈이지만, 실제로는 화물을 싣고 내리는 작업에 많은 비용과 수고가 들기 때문에 제때 화물을 싣지 못하거나 항공편이 지연되는 부작용이 빈발했다. 이 경우 2시간 35분 늦더라도 화물을 그대로 놔두는 편이 보다 정확히 배송되고 공항의 부담도 줄었다. BiosGroup은 이런 식으로 비교적 간단한 화물처리 규칙을 개정하는 해결책을 제시하여 현장의 화물처리량을 15 ~ 20%나 경감시키는데 성공했다.

이러한 성공사례에서 행위자 기반 모형과 컴퓨터 모의는 현업에서도 강한 효과를 나타냄이 입증되었다. 대부분의 기업 현장에서는 기존의 조직 관행과 문화가 있기 때문에 새로운 개선안이 제시되더라도 이를 거부하는 경우가 빈번하다. 개선안 시행의 결과 예상되는 변화에 대해 명확하고 긍정적인 기대를 줄 수 있어야만 실행으로 옮겨질 수 있다. 가시적으로 잘 설계된 컴퓨터 모의실험은 이를 설득시키는데 유용함이 드러났다. 이 때문에 현재는 행위자 기반 모형을 활용하는 컨설팅 업체들도 다수 분화되었으며, BT, P&G, HP, 유니레버, 펩시콜라 등 유수의 글로벌 대기업의 업무 현장에서 결과들이 활용되고 있다.

또 다른 행위자 기반 모형의 중요한 응용 사례로는 시장 설계 연구들이 있다. 전력시장이 대표적인 예인데, 과거에는 국가마다 소수의 기업이 전력산업의 발전-송전-배전 부문을 일괄적으로 관할하는 것이 보편적이었다. 그러나 1980년대 무렵부터 영국, 미국 등을 중심으로 전력산업의 각 부문을 분할하고 다수의 기업이 나눠 맡아 경쟁시장 원리를 도입하기 시작했다. 그러나 전력은 일반 재화와 달리 저장하기가 매우 어렵다는 특성이 있다. 순간순간 급증하는 전력수요에 맞춰 발전 및 송전부문이 즉시 대응하지 못하면 전체 전력시스템이 연쇄적인 과부하에 의해 망가지게 된다.

초기에는 늘어난 행위자들의 경쟁적 시장원리에 의해 보다 저렴한 가격에 전력낭비도 줄일 수 있을 것으로 기대되었다. 그러나 예상과 달리 소매가 급등과 2000년 캘리포니아 대정전 사태와 같은 부작용이 속출하였다. 각 회사들이 이윤을 극대화하기 위해 미래 수요 확대에 대비하는 설비 증설을 기피

하고, 전력 예비율도 위험한 수준으로 낮게 유지했기 때문이었다. 이것은 행위자들의 제한적 합리성이 시스템 전체적으로는 취약성으로 이어질 수 있음을 보여주는 사례이며, 적절한 시장 제도와 규제의 필요성을 경각시켰다.

이러한 행위자의 행동규칙이 전체 전력수급 시스템에 미치는 잠재적 영향을 분석하는 작업은 행위자 기반 모형이 적격이다. 특히 참여하는 행위자의 수가 대단히 많은 금융시장과 달리 전력시장은 행위자의 수가 비교적 적다는 이점도 있다. 이 때문에 세계적으로 여러 연구팀들이 전력시장의 행위자 기반 모형을 연구하고 있으며, 효과적인 전력시장 설계를 위한 의미 있는

성과들을 내놓고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 행위자 기반 모형은 자연과학 및 사회과학, 공학 분야에 걸쳐 복잡계 연구 및 응용의 주요한 방법론으로 성공리에 정착되고 있다. 아직 국내에서는 학계의 일부 연구자들을 중심으로 제한적으로 보급된 수준이기 때문에 미래가 불투명해보일 수 있으나, 세계적인 추세를 볼 때 앞으로의 발전 가능성은 매우 밝다고 할 수 있다. 특히 갈수록 글로벌화되며 복잡해지는 현안에 직면하여 기존의 연구 방법론들로는 명확한 해결책 제시가 힘들어지는 상황에서, 행위자 기반 모형은 유력한 대안의 하나임이 분명하다.

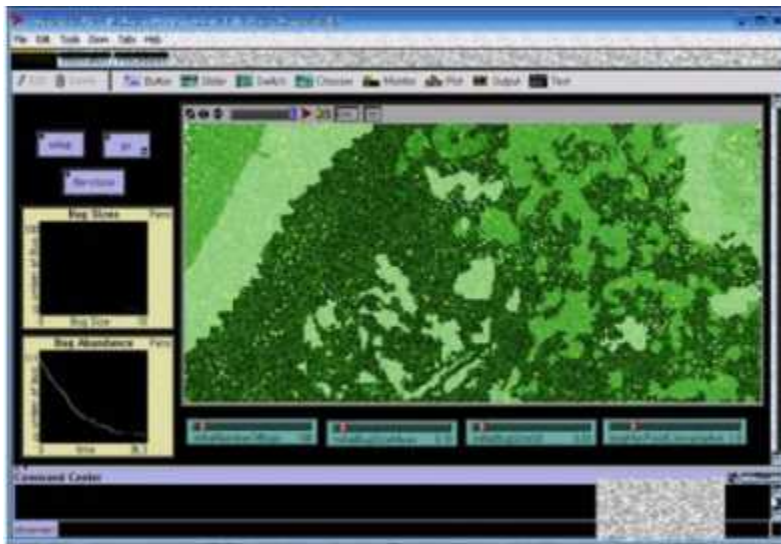


그림 230 넷로고를 이용한 ABM 수행

다. 연구 방향

수많은 구성요소와 구성요소간의 복합적이고 다양한 연계로 이루어진 네트워크에서는 연역적 해석을 통한 추론이 어려운 문제가 빈번하게 발생한다. 따라서 시간이 지날수록 복잡성이 커지는 네트워크 세계에서 시스템적 이해를 통한 문제 해결에 대한 관심은 점차 커져가고 있다. 복잡계 네트워크 연구는 이해하기 힘든 복잡성 문제에 대한 구체적인 이론적 틀을 마련하기 위하여, 복잡한 현상을 상호 연결된 절점들의 집합으로 추상화시켜 공통된 질서를 탐구하는 이론적 체계이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 최근 다양한 분야의 이해하기 힘든 문제에 대한 이론적 공백을 해결하기 위해서 네트워크 및 복잡계 연구가 유용하게 활용되며 진행되고 있다.

특히 확산 예측은 네트워크의 동적 프로세스를 설명하는 주된 주제로 끊임없이 연구되고 있다. 복잡계 네트워크 연구에서는 확산의 대상을 절점, 확산 경로가 될 수 있는 대상간의 연계 요인을 연결선으로 추상화시켜 네트워크 분석을 통해 확산 경로를 추적하거나 차단한다. 절점과 절점간의 연결선으로 복잡하게 얽힌 시스템의 일부에서 확산이 시작되면 단계에 따라 영향을 받는 절점이 기하급수적으로 증가하고 확산 속도도 커지는 양상을 보인다. 확산의 주체가 전염병일 경우 예측할 수 없는 확산의 방향과 빠른 속도는 막대한 물적, 인적 피해를 야기한다.

다.

고병원성 조류인플루엔자(HPAI: Highly Pathogenic Avian Influenza)의 국내 발병 사례는 2008년 김제 지역 농가에서 최초 발생한 이후 7일 만에 지리적으로 근접한 18곳의 농가에서 양성 반응을 보였으며 43일간 전국적으로 확대되어 총 42개의 농가에서 동일한 발생 양상이 확인되어 총 6000억이 넘는 경제적 피해가 발생했다. HPAI는 다양한 변이 때문에 근본적인 예방 백신을 이용한 확산 경로 차단이 불가능하며 잠복기를 가지고 있어 확산 경로를 가지적으로 확인하고 조치를 취하는데 시간이 소요된다. 그리고 가금류 농가가 집단화, 대형화되고 있는 상황에서 현재 방역 대책과 같이 발병 후 확산 요인의 분석 없이 해당 농가의 일정 반경 내 근린 농가를 완전 폐쇄하는 대책은 막대한 피해를 수반할 수밖에 없다. 따라서 HPAI의 확산 경로가 될 수 있는 요소를 분석하고 확산 속도를 늦춰 피해를 최소화할 수 있는 지점에 관리를 집중시키는 효율적인 방역 대책이 필요하다.

네트워크를 이용한 전염병 확산 모델은 격자망을 배경으로 확산 대상 개체의 이동 방향을 절점간 연결된 선으로 이동 방향이 제한되는 선 확산 모델과 8방향으로 가정하는 공간 확산 모델로 구분한다. 선 확산 모델은 정적 네트워크 연구에서 시스템 내 절점간의 연결성을 바탕으로 확산을 예측, 분석한다. 반면에 공간 확산 모델은 개체의 이동성이 활발하고 자유도가 높은 특성을 가지는 시스템에 적용되며 전염병이 발병한 개체의 이동이 가능한 영역을 전면 차단하는 방식으로 확산을 방지한다. 시스템 내에서 개체간의 직접적인 관계를 통해서만 전염이 되는 AIDS의 확산이나 웹 네트워크에서 링크를 통해서 전달되는 컴퓨터 바이러스의 확산을 모사하는 연구에서 이용되었다.

본 연구에서 분석하고자 하는 2008년도 HPAI 유행은 대상 농가들의 가금 산업을 통해 연결된 농가들의 교류를 이용한 선 확산 모델과 농가 주변의 야생조수류의 영향을 통해 타 농가에게 감염을 일으킬 수 있는 요인까지 고려한 공간 확산 모델을 이용해서 모의할 것이다.

선 확산 모델에서 이전 네트워크 확산 연구가 개체간의 직접적 이동을 연결선으로 구성하였다면 본 연구에서는 절점은 단위 농가로서 기존 발병 후 역학조사의 대상 단위이며 기초 자료가 축적된 농가로 지정하되 농가의 직접적인 이동이 아닌 가금관련업체의 방문을 근거로 HPAI 확산 네트워크를 구성하였다. 그리고 네트워크의 중심성 지표를 분석하여 확산 피해를 줄일 수 있는 확산 위험도가 높은 주요 절점을 선정하고 선정된 절점에 대한 집중 방역 관리를 통해 예측되는 방제 효과를 모의하였다.

2. 본론

가. 선 확산 네트워크 모델

적절한 통제가 없다면 방대한 네트워크 모델의 한 절점에서 시작된 미소한 영향력은 몇 차례의 연계를 통해 다른 절점들로 확산되면서 증폭 과정을 거쳐 전체 네트워크 시스템을 좌우할 정도의 파괴력을 가지게 된다. 단계별로 영향을 받는 절점들의 규모가 커지면서 전체 시스템에 미치는 확산 속도도 증가한다. 그림 231은 소문의 확산 규모에 따른 확산 속도를 나타낸 것으로 최초 소문 발생 이후 확산이 진행될수록 확산 속도가 증가하는 양상을 확인할 수 있다. 그리고 서로 아무 관련이 없어보이던 절점들이 단계를 지나면서 연계를 가지게 되는 것과 같이 복잡하고 다양한 확산 요인의 완벽한 분석이 없다면 사실상 정확한 확산 경로의 예측은 불가능할 수밖에 없다. 따라서 확산 차단을 위해서는 확산이 시작된 절점을 기준으로 빠른 조치를 취하거나 네트워크 내 수많은 절점 중 상대적으로 연결성이 좋은 절점을 우선적으로 통제하여 확산 속도를 늦춰야 한다. 잠복기가 존재하며 확산 경로를 가지적으로 확인할 수 없어 빠른 조치가 불가능한 질병의 확산을 모사하는 경우 확산 요인을 완벽하게 파악할 수 없는 상황에서는 네트워크 내 주요 절점을 선정, 집중 통제하여 확산 속도를 제어하는 방법이 가장 현실적이며 효과적인 대안이 될 수 있다.

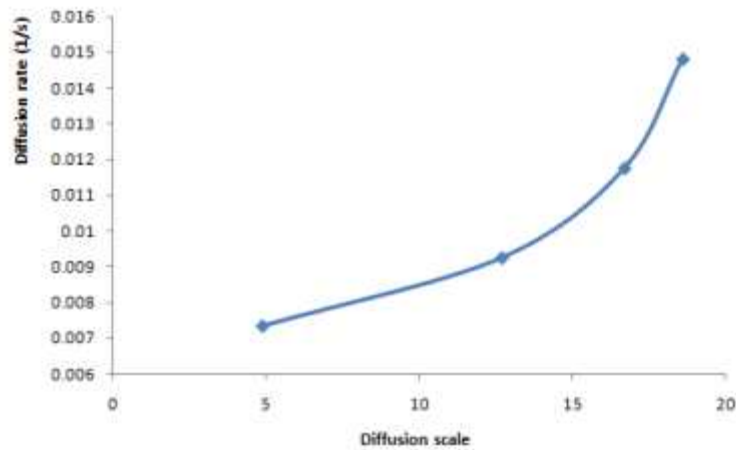


그림 231 네트워크 확산 양상

나. HPAI 질병 확산 위험요인 자료 분석

HPAI 질병의 확산은 직접적 접촉에 의한 경우와 차량이나 조류와 같이 특정 경로를 따라 발생하는 경우, 오픈수나 바람과 같이 공간적으로 확산되는 경우가 복합적으로 작용한다. 현재 시행되는 해결책 또한 지역 사육밀도나 도시화정도 계절적 상황이나 기상에 따라 다르게 제시

될 수 있으며 발병 원인으로 의심되는 모든 경로를 차단하는 방식으로 접근되고 있어 제한된 인적 물적 자원을 이용해 효과적으로 대응하는데 한계를 가지고 있다. 다양한 요인이 복합적으로 작용하는 HPAI 질병 확산 네트워크 구성에 앞서 추상화시킬 대상과 대상간 연결성을 대변하는 요인을 결정하는 작업이 선행되어야 한다.

본 장에서는 효과적인 HPAI 질병 확산 네트워크 구성을 위해 추상화 할 최적의 대상을 선정하고 기본 자료 분석을 통해서 질병 확산의 매개체가 될 수 있는 다양한 요인을 비교·분석하여 선정된 주요 요인을 이용해서 비가중 네트워크(Non-weighted Network)와 가중 네트워크(Weighted Network)를 구성하기 위한 기본 자료를 구축하고자 한다.

(1) 연구 대상 지역 선정

HPAI 질병 확산 네트워크 구성을 위한 자료 검토에 앞서 대상 지역의 검토가 필요하다. 추후 HPAI 질병 확산 양상과의 비교를 통한 검증이 수반되어야 하기 때문에 이전에 HPAI 질병이 발생했던 지역을 연구할 필요가 있다.

1878년부터 질병 기록이 남아있는 HPAI 질병은 국내에서도 이미 세 번의 HPAI 질병 유행이 있었다. '03/'04년, '06/'07년, '08년이 그것으로 막대한 경제적 손실이 입었다. '03/'04년은 102일간 19건의 감염보고가 있었고 '06/'07년은 104일간 7건의 감염보고 '08년은 감염건수는 33건으로 증가하였으나 발생기간은 42일간으로 감소하였다.

'08년 HPAI 유행의 경우 다른 두 발생 시기와 비교해서 감염건수가 많고 관련 농장에 대한 역학조사 내용도 양적으로 다양하기 때문에 통계적 조사를 수행하는데 있어서 결과의 신뢰성을 높일 수 있는 사례가 될 수 있는 장점을 가진다. 그리고 전북 김제지역에서 첫 발생된 이후 5월 12일까지 전국 11개 시·도 19개 시·군·구로 단기간에 전국적으로 확산하는 등 '03/'04년, '06/'07년과는 다른 양상을 보였다. 단기간에 집중된 '08년 HPAI 유행은 질병 확산 가능 요인을 선정할 경우 집중된 조사를 통해 중요 요인 선별 작업의 정확도를 높일 수 있으며 다른 권역을 통한 전국적 확산의 특성을 보였으므로 권역간의 연결고리를 통해서 추적할 수 있는 등 다른 두 발생 시기와 비교해서 모델의 정확도를 높일 수 있는 유리한 면이 있다. 따라서 본 연구에서는 '08년 HPAI 질병 유행을 기본 자료를 기본으로 HPAI 질병 확산 네트워크의 대상과 대상간의 연결성을 대변할 요인을 선정할 것이다.

표 149 연도별 발생 역학상황

연도	발생기간	감염건수
'08.	'08.4.1~5.12 (42일간)	33
'06/'07.	'06.11.12~'07.3.6 (104일간)	7
'03/'04.	'06.11.12~'07.3.6 (102일간)	19

(2) 연구 대상 지역 역학상황

‘08년 HPAI 유행은 지리적, 시간적으로 크게 분류할 수 있다. 지리적으로는 08년 4월 1일 최초 신고되어 08년 4월 3일 HPAI 발생이 처음 확인된 김제의 산란계 농장을 중심으로 한 전남·북 및 충남지역 발생, 부산·대구·울산 및 경남·북지역의 발생, 그리고 서울·경기 및 강원지역의 수도권을 포함한 크게 세 지역의 발생으로 분류할 수 있다. 최초 발생 지역은 4월 1일부터 4월 22일까지 의심축이 신고 되는 등 총 20건의 감염건수가 확인되었고 다른 두 지역은 4월 28일부터 5월 12일까지 각각 7건, 6건의 감염건수가 있었다. 세 지역으로 구분되지만 각 지역내에서 지리적으로 밀접한 관련이 있기 때문에 클러스터에 포함시켜 분석할 수 있다.

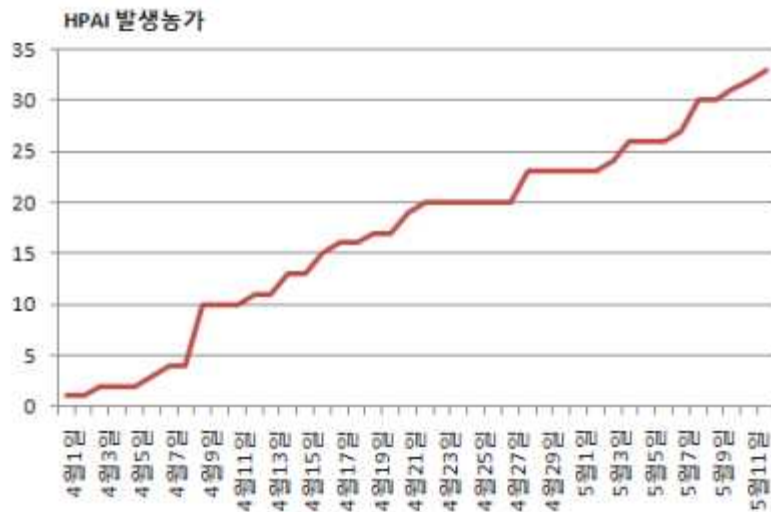


그림 232 일자별 누적 HPAI 발생농장

시간적으로 분류해보면 최초 발생 지역의 4월 1일부터 4월 22일 사이의 기간과 다른 두 지역의 4월 28일부터 5월 12일 사이의 기간으로 구분할 수 있다. 두 기간 사이에 일주일간의 잠복기가 있는 것으로 최초 발생 지역에서 경상도 및 수도권 지역으로 HPAI 질병이 전파, 확산된 것이며 권역간 연결고리가 중요 요인이라는 것을 추론해볼 수 있다.

전라도 지역의 최초 발생 지역은 산란계 생산과 도축 및 가공 업체 등 관련 산업이 밀집된 지역이며 농장들이 대부분 지리적으로 밀착된 구조를 가지는 것을 확인하면 산란계 관련 산업의 유통경로(노계 출하, 중추, 입식, 상차반, 계란판매, 인공수정, 백신접종, 사료 및 동물약품 구입, 계분처리 등)에 따른 동일 생활권 등을 통해 확산된 것으로 판단된다. 다른 권역과의 연계는 국내 최대 토종닭 생산처가 밀집되어 있는 지역내의 중간 거래시장을 통한 가금류 유통상인들의 이동과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 그리고 최초 발생 지역과 비교해 다른 두 지역은 HPAI 발생 농장들의 분포가 지리적으로 가까운 거리에 밀집되어있지 않은 점을 볼 때 최초 발생 지역과는 달리 타지역에서 유통상 감염을 통해서 확산된 것으로 보인다.

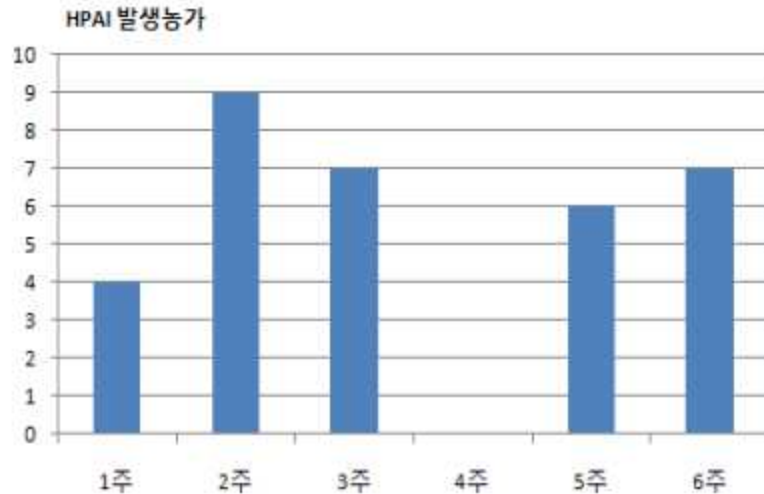


그림 233 일주일단위 HPAI 발생농장

(3) HPAI 질병 확산 네트워크내의 대상과 대상간의 연계 설정

‘08년 HPAI 역학 조사는 최초 발생 이후부터 총 63일간 전국 98개 발생농장과 양성농장 등 역학적 관련 농장들을 대상으로 농장 일반상황, 사육두수, 종사자, 고용상황, 과거질병 발생상황, 백신접종, 소독상황 등과 차량 이동 같은 유통상황(조류 입식 및 출하 현황, 종란판매현황, 분뇨처리자, 약품, 사료, 왕겨)등에 이르는 모든 역학상황을 총 6단계에 걸쳐서 판단 기록했다. 또한 전세계 야생조류와 발생 농장과 철새도래지의 연관성 등 국내 유입경로를 파악하기 위해 광역적으로 HPAI 질병을 추적, 확인 조사되었다. 그리고 수차례 확인 점검을 통해서 역학조사 내용을 보완하고 자료의 신뢰성을 제고하였다.

본 연구에서는 HPAI 네트워크 대상과 대상간 연계의 선정에 있어서 ‘08 역학 조사 보고서의 출현단어빈도수를 측정하여 그 중요도를 확인했다. 네트워크 연구를 위한 자료가 충분하지 않은 상황에서 전문가를 대동한 철저한 역학조사 내용은 현재 접근할 수 있는 가장 적합한 자료가 될 수 있다. 대상 자료에서 출현 단어 빈도수를 이용한 중요 단어의 효과적 추출 방법은 정보개량학에서도 연구되고 있다. (참고자료 검토)

HPAI 질병 확산 네트워크 구성시 출현빈도, 중요도가 높은 ‘농장’ ‘토종닭’ 등은 객체로 설정할 수 있는 단어가 될 수 있고 감염/비감염과 같은 종속변수를 설정할 수 있다. 그 중에서 역학조사의 기본 단위로 농장간 연결성이 다양하게 조사된 장점을 가진 역학조사 대상 농장을 HPAI 질병 확산 네트워크의 기본 대상으로 설정하기로 결정했다.

표 150 '08 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 역학조사보고서 출현 단어 빈도 분석

출현 단어	빈도
유입	878
추정	766
농장	683
과정	404
토종닭	345
HPAI	303
.	.

출현단어빈도수가 최소 5회 이상인 단어들 중 기본 대상인 HPAI 질병 확산과 관련 있으며 농장간의 연계를 파악할 수 있는 속성은 표 150을 통해서 확인할 수 있다. 농장간의 연결성을 확인할 수 있는 다음 후보 군들 가운데 역학 조사를 통해 모든 대상 농장의 자료가 존재하고 적용 가능한 연계 요인은 교통망, 동물약품 관련 차량 출입, 가축사료 관련 차량 출입, 농장 관계자 출입 등의 요인이다. 이들 요인들을 이용해서 대상과 대상간의 연계가 확인되는 네트워크를 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) HPAI 질병 확산 네트워크 구성

농장과 농장간의 연결 요인별로 단일 네트워크를 구성할 수 있다. 공통적인 가축사료를 이용하는 농장들은 가축사료 관련 차량의 출입이 존재하기 때문에 연결성을 확인할 수 있고 가축사료에 대한 단일 네트워크를 구성할 수 있다. 가축사료 관련 출입 차량이 HPAI 질병 확산의 주된 매개체라면 각 농장간 연결성을 이용해 최초 발생 지점에서 HPAI 질병을 추적할 수 있으며 확산 중요 농장, 각 농장간 연결도가 높은 지점을 확인하여 발병 이전에 우선적으로 관리해야하는 지점을 선정하여 관리할 수 있다. 4가지 주요 요인들중 농장 관계자 출입은 농장들간 연계성이 크지 않기 때문에 4장의 HPAI 질병 확산 통합 네트워크에 포함시키고 단일 네트워크는 3가지 주요 요인만을 이용해서 구성했다.

표 151 출현 빈도수가 5번 이상인 단어의 속성

객체 종류	Object 관련 단어	속성 관련 단어
조류 관련	토종닭, 오리, 가금류, 닭, 노계, 산란계, 육계, 오골계, 육용오리, 종계, 청둥오리, 감염원	번식, 잠복감염, 백신접종과정, 품종
시설 관련	발생농장, 재래시장, 오염지역, 발생지역, 인근, 농장, 식당, 시장, 사육시설, 양계장, 도계장, 오리도축장, 판매장, 하치장, 모란시장, 도축장, 출입과정, 부화장, 공장, 위탁농장, 창고, 감염농장, 계류장, 사료공장, 하역업체, 유통회사	오염원, 철새, 처리과정, 소독, 겨울철새, 월동조류, 방역조치, 여름철새
차량 관련(이동)	차량, 출하차량, 방문차, 사료차량, 운반차량	사료, 출하, 유통, 구입과정, 동물약품, 판매과정, 반입, 출하과정, 사료원료, 수거, 운반, 유통과정, 유통망, 계란판매, 계분, 계분처리, 공급과정, 방문과정, 계분처리과정, 운송, 원거리, 이동경로, 유통경로, 유통구조, 도로
사람 관련(이동)	중간상인, 상인, 중개인, 유통업자, 농장주, 축주, 외국인, 수의사, 구매자	접촉, 왕래, 출입, 계란수거, 방문
기타	HPAI, 유입, 전파, 살처분, 감염, 우회경로, 축산물, 특성, 접촉과정, AI, 병원체, 보유	

(가) 선 확산 요소

주요 가금질병 발생시 외국의 역학적 특성 분석결과 항목은 다음과 같은 과정을 수행한다. 미국의 National Animal Health Monitoring System (NAHMS)에서 관련 전국 가금 농가를 대상으로 수행한 위생 및 관리 조사연구 실시 항목은 일반관리 항목과 가축위생, 사람위생, 가금 이동, 폐사체, 분변 등을 구분해서 조사하고 있다.

표 152. 산란계를 대상으로 Salmonella enterica enteritidis의 가금질병 관련 위험요소 확인을 위한 설문지에 포함된 항목별 농장 조사대상

항목	조사내용
일반관리	사육수수, 품종, 계사, 동물접촉 등
가축위생	수의서비스, 약물, 예방접종
사람위생	옷, 신발, 손세척, 방문자
가금이동	입식, 판매, 기타가금농장과의 접촉, 새 운송
폐사체,분변	폐사체, 분변 처리
축주특성	사육목적, 사육경력, 고용관계,계열사

영국 양계산업에서 조사한 위험요소와 북미 가금 전문가를 대상으로 실시한 조사에서 위험요소는 다음과 같다.

표 153 영국 양계산업 구조상의 확인된 위험요소

구조	위험요소
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Primary breeding sector ◦ Pedigree → GGP → GP ◦ Production sector ◦ PS (Rearing farm → Production farm) → Hatchery → abattoir 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 백신팀 ◦ 새의 이동관련 차량, containers, 상차팀 ◦ 종란 수집 관련 차량, 기구, 포장재료, 근무자 ◦ 파란 수집 관련 차량, 기구, 포장재료, 근무자 ◦ 주말 근무자 ◦ 과생산 수탉 처리 ◦ 숫탉 부족 시 추가 구입 ◦ 부화란, 1일령 운반차량 및 container ◦ Biosecurity 절차를 지키지 않는 운전자 ◦ 부화되지 않은란, 오염된 포장재료
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Free rang, organic 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 위와 상동 ◦ 급수
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Feedmill 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 사료차량, 사료원료 보관 불량
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Abattoir 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 출하인력 및 차량

표 154 북미 가금 전문가 72명을 대상으로 실시한 설문조사에서 확인된 위생 관련 고 위험 요소

사람관련	위치 및 교통관련	동물과의 접촉
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 농장직원이 가금사육 ◦ 농장직원 가족이 다른 가금과의 접촉이 있음 ◦ 축주 또는 직원이 기타 가금농장 방문 ◦ 직원이 애완조류 키움 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 사육밀도가 높음 ◦ 400m 내에 backyard flock이 있다 ◦ 여러 농장이 폐사체 공동처리장 사용 ◦ 지역내 rendering 차량이 농장에서 농장으로 이동 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 다양한 일령의 가금이 동일 사육사에 있음 ◦ 다양한 일령의 가금이 동일 농장에 있음 ◦ 낮에 쥐가 있음 ◦ 계사에 야생조류 유입 ◦ 동일농장에 여러 종의 가금사육 ◦ 출하 후 가금 잔류 ◦ 계사에 애완동물 출입

국내 HPAI 역학 조사는 최초 발생 이후부터 발생농장과 양성농장 등 역학적 관련 농장들을 대상으로 농장 일반상황, 사육두수, 종사자, 고용상황, 과거질병 발생상황, 백신접종, 소독상황 등과 차량 이동 같은 유통상황(조류 입식 및 출하 현황, 종란판매현황, 분뇨처리자, 약품, 사료, 왕겨)등에 이르는 모든 역학상황을 총 6단계에 걸쳐서 판단 기록한다. 또한 전세계 야생조류, 발생 농장과 철새도래지의 연관성 등 국내 유입경로를 파악하기 위해 광역적으로 HPAI 질병을 추적, 확인 조사되었다. 그리고 수차례 확인 점검을 통해서 역학조사 내용을 보완하고 자료의 신뢰성을 제고하였으므로 네트워크 연구를 위한 자료가 충분하지 않은 상황에서 전문가를 대동한 철저한 역학조사 내용은 농장간의 연계를 확인할 수 있는 요소를 확인하는데 있어서 현재 접근할 수 있는 가장 신뢰도 높은 자료가 될 수 있다. 다음 표는 역학 조사를 통해서 확인 가능한 모든 농장간 연계 요인을 확산 주체에 따라서 구분한 것이다. 농장간의 연결성을 확인할 수 있는 다음 후보 군들 가운데 추후 농장별 조사를 통해서 확인할 수 있는 자료는 차량 이동, 사람 이동, 야생조수류 활동 반경, 공기 이동의 요인들이다. 이들 요인들을 이용해서 농장과 농장의 연결성이 확인되는 네트워크를 구성할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 선 확산 모델 이후의 공간 확산 모델을 통해서 야생 조수류의 이동을 모의할 수 있을 것으로 판단된다.

표 155 농장간 연결 요인

확산 주체	요인	측정 방법
야생 조수류	철새 이동 쥐, 고양이 이동 야생 오리 이동	야생 조수류의 하루 이동 반경을 기준으로 공간 확산 모델에 적용
차량 이동	출하 차량 가축사료 차량 동물약품 차량 계분처리 차량	동일 업체를 이용하는 농가들의 연계 가능, 선 확산 모델에 적용
사람 이동	수의사 방문 농장주 방문 유통업자 방문 농장근로자 방문 인공수정사 방문	동일 업체를 이용하거나 농장주간의 왕래가 잦은 농가들의 연계 가능 선 확산 모델에 적용
기타	공기 유동	농가들의 영향을 파악한 연계 가능 선, 공간 확산 모델에 적용 가능

(나) 선 확산 모델 구성

번호	접수일자	시도	시군구	읍면	동리	농종	비고
O-1	08/4/1	전북	김제시	웅지면	송암리27-4	산란	발생
O-2	08/4/9	전북	김제시	웅지면	신정리 200-36	산란	발생
O-3	08/4/9	전북	김제시	웅지면	송수리 668-14	산란	발생
O-4	08/4/9	전북	김제시	웅지면	송수리 546	산란	발생
O-5	08/4/9	전북	김제시	웅지면	송수리 283	산란	발생
O-6	08/4/9	전북	김제시	웅지면	신정리 1-179	산란	발생
O-7	08/4/16	전북	김제시	웅지면	봉의리 산40-4	산란	발생
O-8	08/4/16	전북	김제시	백구면	영상리 407	중계	발생
P-1	08/4/9	전북	김제시	웅지면	송수리 563-13	산란	양성
P-2	08/4/9	전북	김제시	웅지면	장신리 346-78	산란	양성
P-3	08/4/9	전북	김제시	웅지면	신정리 52-9	산란	양성
P-4	08/4/9	전북	김제시	웅지면	신정리 140-51	산란	양성
P-5	08/4/5	전북	김제시	웅지면	신정리 432	육용	양성

E-1	08/4/10	전북	김제시	웅지면	송수리 668-5	산란	예방적
E-2	08/4/10	전북	김제시	웅지면	송수리 283-2	산란	예방적
E-3	08/4/11	전북	김제시	웅지면	신정리 200-37	산란	예방적
E-4	08/4/12	전북	김제시	웅지면	송수리 563-91	산란	예방적
E-5	08/4/12	전북	김제시	웅지면	송수리 668-139	산란	예방적
E-6	08/4/16	전북	김제시	웅지면	송수리 668-106	산란	예방적
E-7	08/4/16	전북	김제시	웅지면	송수리 564	산란	예방적
E-8	08/4/16	전북	김제시	웅지면	신정리 1-169	산란	예방적
E-9	08/4/16	전북	김제시	웅지면	송수리 563-141	산란	예방적
E-10	08/4/16	전북	김제시	웅지면	신정리 52-15	산란	예방적
E-11	08/4/16	전북	김제시	웅지면	신정리 147-4	산란	예방적
E-12	08/4/19	전북	김제시	웅지면	장신리 350-95	산란	예방적
E-13	08/4/19	전북	김제시	웅지면	장신리 666-14	산란	예방적
E-14	08/4/19	전북	김제시	웅지면	송산리 312	산란	예방적
E-15	08/4/19	전북	김제시	웅지면	신정리 370-96	산란	예방적
E-16	08/4/19	전북	김제시	웅지면	장신리 346-53	산란	예방적
E-17	08/4/19	전북	김제시	웅지면	송수리 128-6	산란	예방적
E-18	08/4/19	전북	김제시	웅지면	신정리 1-105	산란	예방적
E-19	08/4/19	전북	김제시	웅지면	송수리 666-11	산란	예방적
E-20	08/4/19	전북	김제시	웅지면	신정리 84	산란	예방적
E-21	08/4/19	전북	김제시	웅지면	송수리 668-156	산란	예방적
E-22	08/4/20	전북	김제시	웅지면	신정리 1-135	산란	예방적
E-23	08/4/20	전북	김제시	웅지면	장신리 350-44	산란	예방적
E-24	08/4/20	전북	김제시	웅지면	신정리 1-173	산란	예방적
E-25	08/4/20	전북	김제시	웅지면	장신리 42	산란	예방적
E-26	08/4/20	전북	김제시	웅지면	장신리 504-20	산란	예방적

표 156 39개 대상 농가

국내 총 세 번의 HPAI 유행과 비교해서 '08년 HPAI 유행의 경우 이전 두 발생 시기와 비교해서 감염건수가 많고 관련 농장에 대한 역학조사 내용도 양적으로 다양하기 때문에 통계적

조사를 수행하는데 있어서 결과의 신뢰성을 높일 수 있는 사례가 될 수 있는 장점을 가진다. 그리고 전북 김제지역에서 첫 발생된 이후 5월 12일까지 전국 11개 시·도 19개 시·군·구로 단기간에 전국적으로 확산하는 등 '03/'04년, '06/'07년과는 다른 양상을 보였다. 단기간에 집중된 '08년 HPAI 유행은 질병 확산 가능 요인을 선정할 경우 집중된 조사를 통해 중요 요인 선별 작업의 정확도를 높일 수 있으며 다른 권역을 통한 전국적 확산의 특성을 보였으므로 권역간의 연결고리를 통해서 추적할 수 있는 등 다른 두 발생 시기와 비교해서 모델의 정확도를 높일 수 있는 유리한 면이 있다. 따라서 본 연구에서는 '08년 HPAI 질병 유행을 기본 자료로 하되 최초 발병 지역이자 가금 농가 밀집 지역인 전라북도 김제시의 발생농가 8곳, 양성농가 5곳, 예방농가 26곳 등 총 39개 농가를 대상으로 연구를 수행, 검증할 것이다.

본 장에서는 효과적인 HPAI 질병 확산 네트워크 구성을 위해 추상화 할 최적의 대상을 선정하고 기본 자료 분석을 통해서 질병 확산의 매개체가 될 수 있는 다양한 요인을 비교·분석하여 선정된 주요 요인을 이용해서 단일 네트워크(Homogeneous Network)를 구성하고자 한다. 가금산업의 특성상 지리적으로 고립되어 있으며 농가간 직접적인 통행요인이 거의 없으며 자료를 통한 확인이 힘들다. 단, 전문 관리 업체의 농가 출입이 주기적으로 일어나며 동일 업체를 이용하는 농가들은 공통적인 확산 요인을 가진다고 가정할 수 있다.



그림 234 39개 대상 농가

농가들은 면역력이 약한 가금류를 대상으로 하기 때문에 주기적인 동물 약품 업체의 관리가 필요하며 가축 사료 업체의 전용 차량 출입이 빈번하다. 동물 약품 업체 관계자와 사료 업체 차량은 농장간 HPAI 병원균 전달의 매개체 역할을 할 수 있다. '08년 HPAI 최초 발병지역이며 총 39개의 농가가 역학조사를 수행하였으며 그 중 8농가가 양성반응을 보인 전라북도 김제

시 용지면의 농가를 대상으로 이용하는 업체 분석을 통해서 동물 약품, 가축 사료에 대한 단일 네트워크를 각각 구성할 수 있다. 동일 업체를 이용하는 농가들은 완전 네트워크(Complete Network)를 구성하며 두 군데 이상 업체의 관리를 받는 농가들 때문에 완전 네트워크 간의 연결선을 가질 수 있고 39개의 농가는 닫힌 네트워크로 구성된다.

HPAI 질병 확산에 미치는 각 요인들의 영향도는 독립적이다. 가축사료 관리자를 통해서 옮겨지는 바이러스와 동물약품 관리자를 통해서 옮겨지는 바이러스는 서로 연관성이 없다. 각각의 요인을 통해서 바이러스가 전이되는 과정, 속도 등은 유사할 수도 있지만 요인들간 영향도는 무관하다. 따라서 네트워크 구성할 경우 연결선의 속성은 한 가지 요인일 수밖에 없다. 복합적인 요소들에 대한 총체적인 질병 추적을 수행하기 위해서는 각각의 요소들에 대한 단일 네트워크를 통합해서 해석하는 과정이 필요하다.

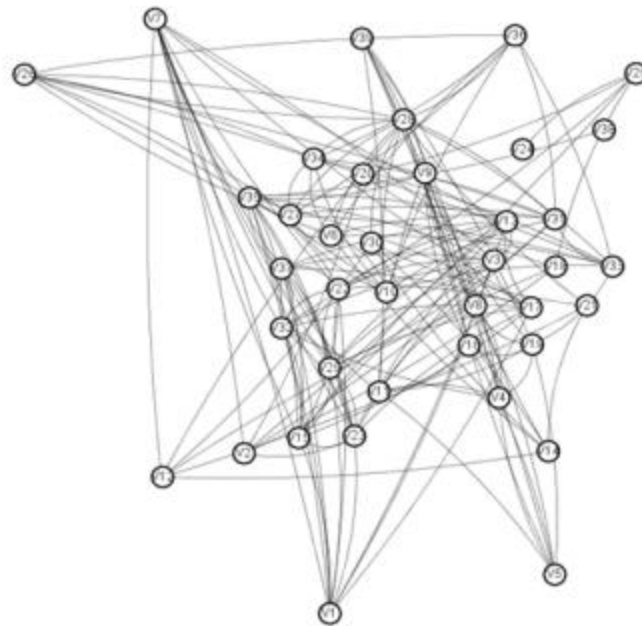


그림 235 동물약품 네트워크

위상이 동일한 단일 네트워크를 통합하면 통합 HPAI 확산 네트워크를 구성할 수 있을 것으로 판단된다. 전파 매개체에 따른 요인들의 전염률과 전염시간 등에 대한 자료 분석을 통해서 단일 네트워크의 연결선에 가중치를 부여할 수 있고 같은 위상을 가진 요인들을 이용한다면 상이한 링크를 가진 통합 네트워크를 구성할 수 있다. 뿐만 아니라 가중치에 따른 중심성 지수 산출을 통해서 해당 지역의 주요 지점을 선정할 수 있고 발생 전 우선 관리 대상 지역, 발생 후 질병 경로 추적을 통해서 체계적인 방역대책을 수립할 수 있다.

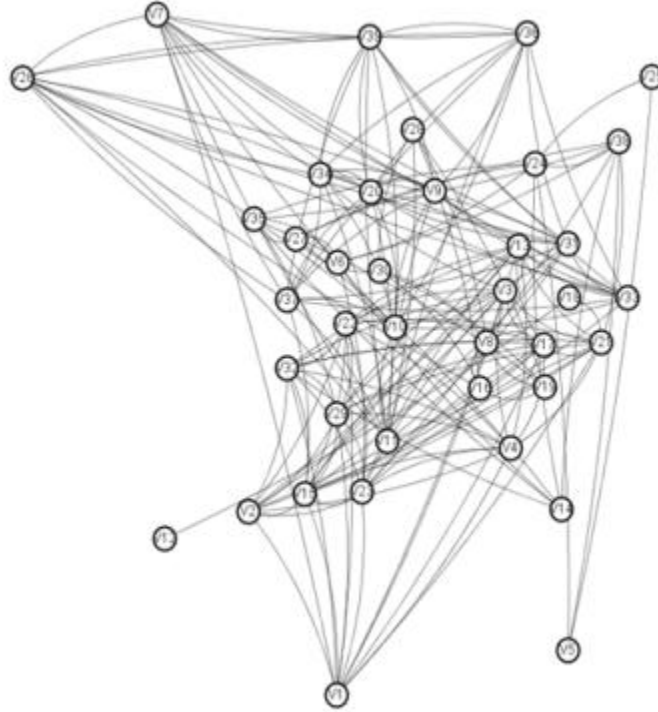


그림 236 가축사료 네트워크

(5) 통계적 상관성 분석을 이용한 계수 결정

(가) 다중 요인 확률 분석

요인분석은 어떤 변수집합에 대하여 하나 이상의 근저에 있는 공통적 차원을 확인함으로써 자료의 축소(data reduction)와 요약(summarization)을 기본적인 목적으로 하는 다변량 통계적 기법들을 총칭하는 말이다. 요인분석에 있어서 기본적인 접근방법은 고도의 상관관계를 갖는 변수들이 하나의 공통적인 개념에 도달한다는 논리를 바탕으로 하며, 요인분석은 상관관계를 갖는 변수들을 새로운 합성변수(요인)들로 결합한다.

개체의 감염 경로를 가시적으로 확인하고자 한다면 농가를 이용하는 차량 및 관계자의 움직임을 확인해야 하며 그 중 사료차량, 가축분뇨차량, 동물약품차량, 농장 관계자, 농가 청결도, 농가 주변의 야생조수류 등 수없이 많은 측면에서 관련 영향도를 평가해야 할 것이다. 더욱이 각 변수는 감염 경로에 중요한 요인이지만 어떤 변수도 그 자체만으로는 다양한 감염 경로를 해석하기 위한 충분한 근거가 되지 못한다. 따라서 본 시스템의 관리자에게 필요한 것은 감염률 정도에 관하여 본래변수들이 갖고 있는 의미를 충분히 반영해 줄 수 있는 보다 적은 수의 합성변수이며, 그러한 합성변수(요인)를 도출하기 위한 통계적 방법이 바로 요인분석이다. 이러한 문제에 대한 해결책은 과 같은 형태의 선형결합식을 상술하는 것이다. 여기서 X_j 는 변수($j = 1, 2, \dots, n$), a_j 는 변수를 가중하기 위해 사용되는 계수이다. F 는 농가의 감염정도를 나타내

는 척도(또는 전염률의 한 측면)를 나타내는 요인이므로 F값은 다양한 농가들 사이에서 감염 정도의 우열을 나타내는 지수로 활용할 수 있다. 본래 변수들에 대한 선형결합식을 상술하기 위한 가장 단순한 방법은 계수의 값을 직관적으로 결정하는 것인데, 계수는 요인의 값을 결정함에 있어서 해당하는 본래변수가 갖는 상대적 중요성을 반영한다. 즉 감염률 정도를 나타내는 선형결합식에 있어서 단순히 각 본래변수의 상대적 중요성을 여러 전문가에게 물어 계수의 값을 결정할 수 있을 것이다. 이에 반하여 요인분석은 근본적으로 많은 수의 본래변수들을 하나 또는 적은 수의 요인으로 나타내기 위한 선형결합식의 계수들을 통계적으로 도출하는 과업이며, 이러한 일을 수행하기 위한 방법은 매우 다양하며 또 새로운 방법들이 끊임없이 개발되고 있는 중이다.

요인분석은 본래변수들을 보다 적은 수의 합성변수로 다시 정의해 주는데, 대체로 본래변수들 사이의 상호관계를 분석하여 이러한 변수들을 그들의 근본적인 의미를 반영하는 공통적 차원(요인)들로 요약하려는 문제를 다룬다. 여기서 본래의 변수들을 요약하는 합성변수를 요인 또는 인자(factor)라고 부르며, 근본적인 의미(essential nature)란 어떤 확산 현상이나 대상을 물리적으로 설명하고 구분하는 데 있어서 각 변수가 갖고 있는 의미이다. 예를 들어, 축산 관련 차량의 특성은 감염균 보유량, 농가 출입 빈도 등의 많은 변수로 묘사할 수 있는데 이러한 변수들은 각 변수가 갖는 근본적인 의미의 공통성을 근거로 하여 농가에 대한 감염성, 전염성 등 보다 적은 수의 합성0변수로 요약할 수 있다.

이러한 개념은 두 변수만을 이용해서 쉽게 설명할 수 있다. 조사자가 본래의 정보를 가능한 한 최대한 보존하면서 감염균 보유량과 농가 출입 빈도라는 두 변수를 하나의 요인으로 요약하는 데 관심을 갖고 있다고 가정하면 이것은 한 변수가 다른 변수들에 관한 지식으로부터 추정되는 회귀분석의 문제가 아니다. 요인분석은 감염균 보유량과 농가 출입 빈도라는 본래의 두 변수를 감염도라는 전반적인 측정치로 대체할 것이다.

즉, 감염균 보유량과 농가 출입 빈도의 산포도를 이용해 여기서 조사자는 각 점들의 산포도를 극소화시킬 직선을 결정해야 한다. 물론 최소자승의 기준이 사용되지만, 여기서는 직선에 대한 수직거리를 측정하며(이때 직선이 나타내는 변수는 회귀분석에서와는 달리 산포도를 극소화시켜야 하는 종속변수가 아니다), 직선에 대한 각 점들의 수직거리는 새로운 합성변수(요인)인 감염도상에서 각 행위자들의 위치를 나타낸다.

만일 감염균 보유량과 농가 출입 빈도가 완전한 상관관계를 갖는다면 나열된 요소들의 값은 하나의 직선으로 수렴될 것이며 각 자료들은 변수들에 관하여 동일한 서열을 점유할 것이다. 그러나 모든 감염도가 이 두 요인을 이용해서 설명할 수 없을 뿐만 아니라 새로운 차원이 결합된 개념상에서 각각의 위치를 점할 수 있다.

요인분석의 다양한 기법 중에서 '주성분분석'(principal-components analysis)을 검토할 것인데, '주성분분석'에 있어서 모든 변수들은 간격척도로 가정되며 분석으로부터 추출된 요인은 다음과 같은 선형식(들)으로 표현된다.

$$F = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots \quad (18)$$

즉 요인을 구성하는 데 있어서 본래변수들이 똑같이 중요하지는 않으며, 요인이 반영하는 근본적인 의미에 따라 본래변수들이 그것에 기여하는 정도가 다르기 때문에 요인은 결국 본래변수들에게 가중치를 부여한 선형결합의 형태를 취한다. 더욱이 본래변수들의 선형결합으로 이루어진 요인은 보통의 변수들과 마찬가지로 모든 분석에 투입자료로 사용될 수 있으며, 이들은 본래변수들에 비하여 수가 적으므로 매우 효과적으로 관리되고 활용될 수 있다.

요인분석의 일반적인 목적은 많은 수의 본래변수(original variables)들이 갖고 있는 근본적인 의미를 가급적 보존하면서 그들을 보다 적은 수의 새로운 합성변수(요인)로 요약하기 위한 선형결합식을 찾아내는 것인데, 구체적으로는 다음과 같은 네 가지 기능을 수행한다.

첫째, 많은 수의 본래변수들이 갖고 있는 근본적인 의미를 최대한 보존하면서 그들을 보다 적은 수의 합성변수(요인)로 요약하기 위한 선형결합식을 상술한다. 이러한 형태의 요인분석을 R-type 요인분석이라고 한다.

둘째, 많은 수의 대상을 유사성을 기준으로 하여 수개의 집단으로 집군화한다. 이러한 형태의 요인분석을 Q-type 요인분석이라고 한다.

셋째, 많은 수의 본래변수들로부터 추후에 수행할 회귀분석이나 상관분석, 판별분석 등에 포함시킬 보다 적절한 변수를 선별해 준다.

넷째, 많은 수의 본래변수를 합성변수(요인)로 요약함으로써 추후에 수행할 회귀분석이나 상관분석, 판별분석 등에 포함시킬 보다 적은 수의 변수를 창출한다. 더욱이 이러한 합성변수들은 다중공선성이 제거되어 상호독립적이므로 독립변수로서 동시에 이용될 수 있다. 또한 선형결합식을 통하여 변수의 수를 감소시키므로 전체 자료를 축소시켜 분석결과 해석과 관리를 용이하게 한다.

따라서 조사자는 요인분석을 조사목적에 따라 요인해석만으로 분석을 종결하든가 또는 요인점수들을 계산하고 다른 통계적 기법들을 사용하기 위한 분석을 계속할 수 있다. 즉 조사자의 목적이 단순히 변수들이나 분석대상들의 논리적인 집합을 확인하는 것이라면(첫번째와 두번째 목적), 단지 요인부하의 추정만으로도 충분할 것이다. 또한 조사자의 목적이 다른 통계적 기법에 투입할 적절한 변수들을 선별해 내는 것이라면(세번째 목적) 특정한 요인상에서 최대의 요인부하를 갖는 변수들을 확인하기 위하여 요인부하들을 검토해야 할 것이다. 만일 조사자의 목적이 본래의 변수집합을 대체하여 이어지는 통계적 분석에 포함시킬 완전히 새로운 소수의 변수들을 창출하여 전체자료를 축소하는 것이라면(네번째 목적) 각 요인들에 대하여 요인점수를 계산하여 회귀분석이나 판별분석, 상관분석에서 새로운 투입자료로 이용하게 된다.

요인분석을 적용하기 위한 가장 기본적인 가정은 변수들의 근저에 공통적 특성(요인)이 존재하며 변수들이 그러한 요인을 충분히 표현한다는 점이다. 이러한 가정은 결국 변수들의 목록이 완전해야 함을 의미하는데, 간혹 변수의 목록 자체가 처음부터 미흡하여 쓸모없는 결과를 산출하기도 한다. 또한 요인분석을 적용하기 위한 본래변수들은 일반적으로 계량적으로 측정된 것

으로 가정되지만 --- 다중회귀분석에서와 마찬가지로 --- 0과 1의 값만을 취하는 가변수들도 사용될 수 있다.

한편 요인분석은 요인수의 결정, 요인의 해석, 축회전의 선택 등이 모두 대단히 주관적이라는 제한점을 갖고 있으며, 요인분석에는 통계적 검증이 없기 때문에 분석결과의 유의성을 검증할 수 없다. 따라서 표본을 분할하여 요인분석을 적용할 때 동일한 요인이 산출될 경우어나 그러한 결과가 우연히 나타나지 않은 것이라는 확신을 가질 수 있다.

요인분석을 수행하기 위한 출발점은 다른 통계적 기법에서와 마찬가지로 조사문제인데, 구체적으로 요인분석을 준비하기 위한 절차를 세 단계로 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

① 분석에 포함시킬 변수의 선정

요인분석을 적용하기 위하여 조사자는 우선 조사목적에 염두에 두고 분석에 포함시킬 변수들을 선정하게 되는데, 적절하게 측정될 수 있는 한 조사문제에 관련되는 어떠한 변수도 포함시킬 수 있다. 요인분석을 적용할 본래변수들은 일반적으로 계량적으로 측정된 것으로 가정되며, 필요하다면 비계량적인 현상을 나타내기 위하여는 0과 1의 값만을 취하는 가변수를 사용할 수 있다.

본 연구에서는 감염 정도를 결정할 수 있는 계분처리, 동물약품, 가축사료, 입출하차량, 축주방문, 청결도, 야생조수류 등의 총 7개 변수들 사이에 존재하는 의미의 공통성이 무엇이며, 그러한 공통적 차원(요인)이 본래변수들과 어떻게 연관되는지를 분석한다고 가정할 수 있을 것이다.

② 일반적인 모델의 상술

요인분석을 수행하기 위한 선형결합식의 일반적인 형태는 이미 설명한 바와 같으며, 만일 조사자가 7개의 변수들에 대하여 공통적 차원(요인)들을 도출하고자 한다면 선형결합식의 일반적인 형태는 다음과 같다. 결국 요인분석이란 이러한 선형결합식들에 대한 각 계수를 구하기 위한 절차를 말하는 것이다.

$$\begin{aligned}
 F_1 &= a_{11}X_{11} + a_{12}X_{12} + a_{13}X_{13} + a_{14}X_{14} + a_{15}X_{15} + a_{16}X_{16} + a_{17}X_{17} \\
 F_2 &= a_{21}X_{21} + a_{22}X_{22} + a_{23}X_{23} + a_{24}X_{24} + a_{25}X_{25} + a_{26}X_{26} + a_{27}X_{27} \\
 F_3 &= a_{31}X_{31} + a_{32}X_{32} + a_{33}X_{33} + a_{34}X_{34} + a_{35}X_{35} + a_{36}X_{36} + a_{37}X_{37} \\
 F_4 &= a_{41}X_{41} + a_{42}X_{42} + a_{43}X_{43} + a_{44}X_{44} + a_{45}X_{45} + a_{46}X_{46} + a_{47}X_{47} \\
 &\dots \\
 &\text{-----} \quad (19)
 \end{aligned}$$

③ 요인분석에 포함시킬 변수들에 관한 관찰자료의 수집

요인분석을 준비하기 위한 세번째 단계는 분석에 포함시킬 변수들에 관한 관찰자료를 수집

하는 일이다. 요인분석을 적용하기 위한 표본의 크기는 일반적으로 50이상이어야 하며, 대체로 분석될 본래변수수의 4 또는 5배의 관찰이 있어야 된다. 물론 이러한 비율은 강제적인 것이 아니며, 조사자는 간혹 분석될 본래변수의 2배의 관찰만을 갖고도 요인분석을 해야할 상황에 처하기도 하는데, 단지 표본의 크기가 적고 비율이 낮을 경우 조사의 발견점을 해석하는데 유의해야 한다. 본 연구에서는 총 98개의 농가를 기준으로 이용할 것이며 추후 발병 자료를 수집하면서 자료들을 추가하여 결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

요인분석의 적용에 있어서 첫 번째 의사결정의 하나는 상관계수행렬(correlation matrix)을 계산하기 위한 접근방법과 관련되는데, 우선 조사자는 조사문제를 근거로 하여 변수들 사이의 상관계수나 분석대상들 사이의 상관계수중 하나를 선택하여 검토한다. 만일 조사자가 변수들 사이의 상관계수들을 계산하여 상관계수행렬을 도출한다면(R-type 요인분석) 본래변수들의 근저에 있는 공통적인 차원(들)을 알 수 있으며, 분석대상들 사이의 상관계수들을 계산하여 상관계수행렬을 도출한다면(Q-type 요인분석) 분석대상들 사이에 공통적인 반응패턴(들)을 알 수 있다. 즉 Q-type 요인분석은 분석에 포함된 변수들 상에서 유사한 값의 패턴을 근거로 하여 분석대상들은 집군화해 주는데 예를 들어, Q-type 요인분석에서 분석대상 1, 4, 6, 9가 동일한 요인상에서 높은 부하를 보이며 분석대상 2, 5, 8, 10이 다른 한 요인상에서 높은 부하를 보인다면 이들은 서로 다른 두 집군으로 분리될 수 있는 것이다. 그러나 Q-type 요인분석은 자주 이용되지 않으며, 개별 응답자들을 집군화하기 위하여는 오히려 집군분석이 널리 이용되고 있다.

조사자가 요인분석의 해를 얻기 위하여 적용할 수 있는 요인모델(factor model)에는 다양한 형태가 있으나 가장 널리 이용되고 있는 두 가지는 주요인분석(principal component analysis)과 공통요인분석(common factor analysis)이다. 이러한 요인모델 사이의 선택은 요인분석을 수행하는 조사자의 조사목적과 변수내의 분산에 관하여 조사자가 갖고 있는 사전지식에 달려 있다. 즉 조사자가 근본적으로 본래변수들내의 분산(정보)을 최대한으로 설명하기 위해 필요한 요인의 수를 최소화하면서 예측에 관심을 갖고 있거나 또는 전체분산중에서 공통분산(한 변수의 분산중 분석에 포함된 다른 모든 변수들과 공유되는 분산)이 크다고 생각한다면 주요인분석이 적합하다. 이에 반하여 조사자가 본래변수들속에 숨겨져 있는 공통적 차원을 확인하려거나 또는 공통분산 이외의 분산을 그것의 양을 알지 못하기 때문에 배제하려고 한다면 공통요인분석이 적합하다.

④ 정량적 기준 설정

주요인분석에 있어서는 전체분산을 고려하며, 상관계수행렬의 주대각선에 1을 삽입한다. 이에 반하여 공통요인분석에 있어서는 주대각선에 커뮤넬리티(communalities)를 삽입하며, 공통분산만을 근거로 하여 요인들을 도출한다.

대단히 많은 변수들에 대하여 요인분석을 적용한다면 최대로 본래변수의 수만큼 요인들을 추출할 수 있는데, 우선 설명력이 가장 높은 최선의 요인이 추출되고 점차로 설명력이 낮은 순

으로 요인들이 추출될 것이다. 따라서 조사자는 몇개의 요인을 추출할 것인지를 결정해야 한다. 추출될 요인의 수를 결정하는 일은 마치 현미경의 초점을 맞추는 일과 유사하여 너무 높거나 너무 낮은 조정은 요인의 해석을 애매하게 할 것이다. 따라서 수차례의 시행착오를 통하여 최선의 수를 결정할 수 있다. 그러나 추출될 요인의 수를 결정하기 위하여 대체로 다음과 같은 계량적인 기준을 이용할 수 있다.

- 고유치 기준

가장 보편적으로 이용되고 있는 기준은 고유치(eigenvalue, latent root)기준으로서, 적용하기는 단순하지만 조사자가 주성분분석 또는 공통요인분석중 어떤 요인모델을 선택하고 있는지에 따라 약간의 차이가 있다. 이미 언급한 바와 같이 주성분분석에 있어서는 상관계수행렬의 주대각선에 1들이 삽입되며 전체분산이 고려되는데, 1보다 큰 고유치를 갖는 요인들만을 유의적인 것으로 간주하고 1보다 작은 고유치를 갖는 요인들은 모두 유의적이 아니라고 간주되어 포기된다.

이러한 기준의 원리는 각 요인이 유의적인 것으로 해석되기 위하여는 적어도 한 변수의 분산(1)은 설명해야 한다는 것이다. 그러나 이러한 접근방법은 본래변수의 수가 20내지 50일 때 가장 신뢰할 수 있으며, 변수의 수가 20미만일 경우에는 다소 적은 수의 요인을 추출하고 50을 넘을 경우에는 지나치게 많은 수의 요인을 추출하는 경향이 있다.

한편 공통요인분석에 있어서는 "고유치가 1보다 커야한다"는 기준(eigenvalue one criterion)이 하향조정되어야 하는데, 구체적으로 변수집합의 공동분산에 대한 추정치나 또는 모든 변수들에 대한 커뮤널리티(communality) 추정치들의 평균에 근접하도록 낮춰져야 한다.

- 임의기준

임의기준(a priori criterion)은 조사자가 요인분석을 수행하기에 앞서서 적절한 요인의 수를 결정하고 그 만큼 수의 요인이 추출함으로써 분석을 중단하는 것이다. 이러한 접근방법은 조사자가 도출될 요인수에 관한 이론이나 가설을 검증할 때 유용하며, 또한 다른 조사자의 연구를 복제하면서 동일한 수의 요인을 추출할 경우에도 정당화될 수 있다.

- 누적분산비율

누적분산비율의 기준(percentage of variance criterion)은 연속되는 요인들에 의하여 설명되는 분산의 누적비율이 일정한 수준에 이르도록 추출된 요인들의 수를 결정하는 것이다. 물론 바람직한 누적분산비율에 관한 절대적인 기준은 없으나 자연과학에 있어서는 추출된 요인들이 설명하는 누적분산비율이 95%이상에 이르거나 또는 마지막 요인이 전체분산의 5%미만을 설명하게 될 때까지 요인추출을 계속해야 한다. 이에 반하여 정보가 대체로 덜 정밀한 사회과학 분야에서는 전체분산의 60%(간혹 그 이하라도)를 설명하는 수준에서 요인의 수를 결정하는 일이 보편적이다.

- 스크리 검증

스크리 검증(scree test)은 각 요인의 고유치를 추출순서에 따라 도식하고 각 고유치의 값들을 연결한 곡선을 검토하여 추출된 요인의 수를 결정하는 것이다. 고유치들에 스크리 검증을 적용하기 위해 작성한 도식인데, 전체 7개 요인의 고유치들을 보여주고 있다. 다른 요인분석의 예에서와 마찬가지로 곡선은 첫번째 요인으로부터 시작하여 급격히 하강하기 시작하다가 점차 수평에 가까워짐을 알 수 있으며, 이때 곡선이 처음으로 수평으로 펴지기 시작하는 점이 도출될 요인의 최대수로 간주된다. 즉 스크리 검증은 추출될 요인의 수를 고유치 기준이 제안한 3보다 많은 4로 제안하고 있는데, 일반적으로 스크리 검증은 고유치 기준에서보다 하나 이상의 많은 요인들을 유의적인 것으로 받아들이는 경향이 있다.

스크리 검증의 논리는 각 요인이 설명하는 분산중 본래변수들의 공통분산(common variance)보다 특정한 변수에 관련된 분산(unique variance)이 차지하는 비율이 크다면 그러한 요인은 유의적이지 않다는 점이다. 즉 주성분분석에 있어서 초기에 추출되는 요인들은 본래변수들의 공통분산을 주로 설명하지만 차후에 추출되는 요인일수록 공통분산보다는 특정한 변수에 관련된 분산을 설명하는 비율이 커진다. 따라서 각 요인이 설명하는 분산중 공통분산의 비율이 후자의 비율보다 큰 요인들만 유의적인 것으로 간주하여 추출하게 되는데, 일정 요인부터는 특정한 변수에 관련된 분산의 비율이 지나치게 크므로 이러한 요인들은 받아들일 수 없다.

실무에 있어서 조사자는 이상의 여러 가지 기준을 동시에 고려하여 추출할 요인의 수를 결정하게 되며, 결국 요인들에게 어떤 의미를 부여하거나 변수들의 본질을 해석할 수 있는지의 여부가 실제적인 기준이 될 수 있다.

요인모델을 선택하는 데 덧붙여 조사자는 요인들이 추출될 방법을 결정해야 하는데, 이 문제에 관하여는 직교요인해(orthogonal factor solution)와 사교요인해(oblique factor solution) 사이의 선택이 가능하다.

직교요인해에 있어서는 요인축들이 직각(90도)을 유지하도록 추출됨으로써 각 요인이 나머지 요인들과 독립적임을 의미한다. 따라서 요인들 사이의 상관계수가 0이라고 임의로 결정하는 것이며, 수학적으로 다루기가 용이하다. 이에 반하여 사교요인해에 있어서는 추출될 요인들이 상관관계를 갖도록 허용하면서 요인해가 계산되는데, 이론적으로 중요한 근저의 차원들이 서로 상관관계를 갖지 않는다고 가정하지 않기 때문에 보다 현실적이다.

직교요인해와 사교요인해 사이의 선택은 조사목적에 달려 있는데, 만일 조사목적이 요인해들이 얼마나 의미를 갖는지에 관계없이 단순히 본래변수의 수를 줄이는 것이거나 또는 다른 분석에 사용하기 위하여 많은 수의 변수를 적은 수의 독립적인 변수로 감소시키려는 것이라면 직교요인해의 방법이 적절할 것이다. 그러나 조사목표가 이론적으로 의미를 갖는 수개의 요인을 얻는 것이라면 사교요인해의 방법이 적절할 것인데, 이는 직교요인해에서와 같이 서로 상관되지 않는 변수들이 현실적으로 거의 없기 때문이다.

아무튼 이들은 모두 요인들의 축회전에 관련되는데, 요인들의 참조축(reference axis)들은 어

면 다른 위치에 도달할 때까지 원점을 중심으로 회전할 수 있다. 가장 단순한 경우는 축들이 90도를 유지하는 직교회전(orthogonal rotation)이며, 물론 참조축들 사이에 90도를 유지하지 않으면서도 회전시킬 수도 있다 사교회전(oblique rotation).

상관계수행렬, 요인모델, 요인회전에 관하여 결정하고 나면 조사자는 초기미회전 요인(initial unrotated factor)들을 추출할 준비가 된 것이다. 자료에 대하여 R-type 요인분석을 주요인분석(요인모델)으로 초기미회전 직교요인행렬(성분행렬)을 구한 결과이다.

이러한 요인들의 행렬을 검토함으로써 조사자는 본래변수집합에 대하여 자료축소의 가능성을 발견할 수 있게 된다(물론 요인수에 관한 최종결정은 요인행렬이 회전되고 요인들이 해석된 후에 조정될 수 있다). 초기 미회전 요인행렬(initial unrotated factor matrix)에 있어서 첫번째 요인은 본래자료내의 분산을 단독으로 가장 많이 설명하는 것으로 간주되며, 두번째 요인은 첫번째 요인에 직교한다는 제약하에서 두번째로 최선의 선형결합이라고 간주된다. 첫번째 요인에 직교하기 위하여는 첫번째 요인이 추출된 후 남겨진 분산으로부터 두번째 요인을 추출해야 하므로 두번째 요인은 본래자료로부터 첫번째 요인의 효과가 제거된 후 나머지 분산을 가장 많이 설명하는 변수들의 선형결합이라고 정의할 수 있다. 그 다음으로 이어지는 요인들은 자료내의 분산이 모두 없어질 때까지 유사한 방식으로 정의된다.

본래변수 각각은변이를 반영하는 분산을 갖고 있는데, 추출된 요인들에 의하여 설명되는 분산의 양을 그 변수의 공통성(커뮤넬리티)라고 하며, 각 변수의 요인부하들을 제공하여 합산한 값이 된다.

이러한 커뮤넬리티는 다른 변수들과 상관관계에 기여하거나 다른 변수들과 공통적인 해당변수의 분산비율이다. 공통성에서는 교육수준을 제외한 모든 변수의 커뮤넬리티가 높으므로 그들의 변이가 세 요인에 의해 거의 완전하게 반영되고 있는 반면에 교육수준은 낮은 커뮤넬리티를 갖고 있다(약 86%의 분산이 세 요인에 의해 설명된다).

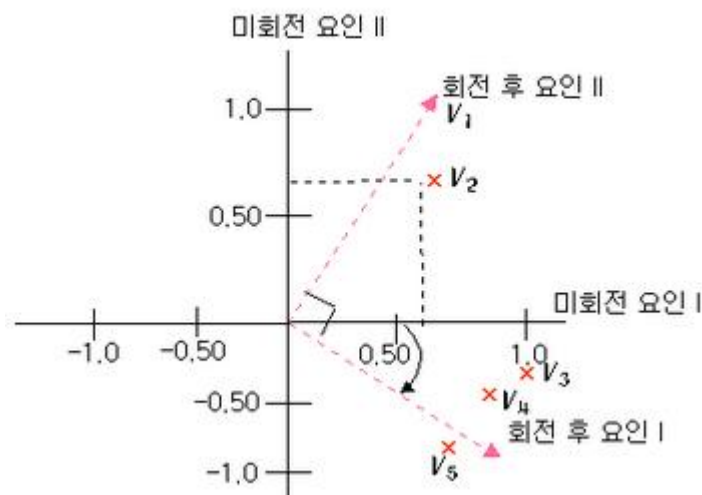


그림 237 직교회전

또한 설명된 분산의 비율(percentage-of-variance explained)란 본래변수 전체의 분산을 각 요인이 얼마나 많이 설명하고 있는지를 보여주는데, 각 요인에 대한 본래변수들의 요인부하를 제곱하여 합산한 후, 본래변수의 수로 나눈 값이 된다. 이러한 분산의 비율을 해당하는 요인을 평가하는 데 유용하다.

이와 같은 미회전요인해(unrotated factor solution)들만으로써 자료축소의 목표는 달성할 수 있지만, 조사자는 미회전요인해가 본래변수들에 관하여 충분한 정보를 제공하는지의 여부를 검토해야 한다. 어느 변수도 첫 번째 요인상에서 0에 가까운 부하를 갖고 있거나 다른 변수에 비하여 뚜렷이 높은 부하를 갖고 있지 않는데 다른 요인에 대하여도 요인부하의 크기들이 혼합되어 있으므로 각 요인의 의미가 대단히 애매하다. 이러한 일은 초기미회전 요인해에 있어서 보편적인 현상인데, 조사자는 축회전을 통하여 요인들의 애매성을 감소시키고 보다 단순하고 이론적으로 의미있는 요인해를 구함으로써 해석을 개선해야 한다.

이미 언급한 바와 같이 미회전 요인해는 중요성의 순서에 따라 요인들을 추출한다. 따라서 첫번째 요인은 거의 모든 변수들이 유의적으로 부하되는 일반적인 요인의 성격을 띠며, 분산의 최대량을 설명한다. 두번째 이후의 요인들은 분산의 나머지 양을 근거로 하며, 각각은 점차 적은 양의 분산을 설명하게 된다. 따라서 초기 미회전 요인행렬을 회전시키는 일은 궁극적으로 보다 단순하고 이론적으로 의미있는 요인해를 얻기 위하여 이전의 요인들로부터 차후의 요인들로 분산을 재분배시키는 경향을 갖는다.

요인회전의 개념을 설명하기 위하여 2-차원요인도식에 다양한 변수가 묘사되어 있는 수직 축은 요인 II, 수평축은 요인 I을 나타내며 축들은 요인부하들을 나타내기 위하여 원점을 0으로 하고 +- 1.0까지 눈금이 표시되어 있다. 변수들은 V1부터 V5까지로 표시되고 있는데 예를 들어, V2는 미회전 요인 I과 미회전요인 II에 대하여 +0.6과 +0.7의 요인부하를 가진다. 미회전요인해와 회전요인해에 대한 요인부하를 비교하면, 미회전요인I상에서는 모든 변수들이 대단히 높게 부하된 반면에 미회전요인 II상에서는 V1, V2는 정의 방향으로 매우 높게, V5는 부의 방향으로 중간정도, V3, V4는 부의 방향으로 매우 낮게 부하되어 있음을 볼 수 있다. 시각적으로 검토해 보아도 본래변수들이 V1, V2로 구성되는 집단과 V3, V4, V5로 구성되는 집단으로 나뉘어 짐을 알 수 있다. 즉, 미회전 요인부하를 검토해서는 그러한 패턴이 아주 명확하지 않지만 본래의 축들을 시계방향으로 회전시킴으로써 완전히 상이한 요인부하패턴을 얻을 수 있다. 여기서 축들이 90도를 유지하도록 요인들을 회전시킨다는 사실에 유의해야 하는데, 이는 요인들이 수학적으로 독립적이라는 사실을 의미하며 직교회전의 예시가 된다. 요인축들을 회전시킨 후 V3, V4, V5가 요인I에 매우 높게 V1, V2가 요인II에 매우 높게 부하되었음을 알 수 있으며 비록 변수들의 상대적인 위치는 그대로 있으나 변수들이 특성에 따라 보다 명백하게 묶여짐을 볼 수 있다.

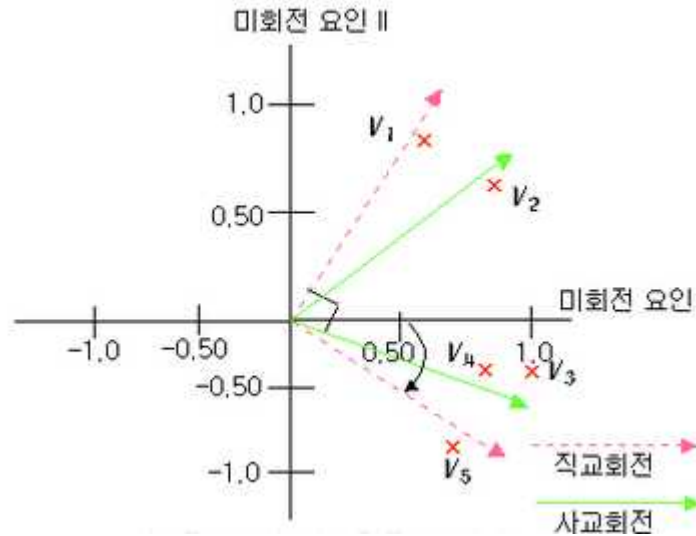


그림 238 사교회전

물론 사교회전에서도 직교회전의 일반적인 원리가 동일하게 적용된다. 요인축들이 직교할 필요가 없으므로 사교회전의 방법은 보다 융통성이 있으며 이론적으로 주요한 근저의 차원들이 서로 상관되지 않는다고 가정하지 않기 때문에 보다 현실적이다. 사교회전이 변수들의 집군화를 보다 정확하게 나타낼 수 있다. 이러한 사실은 회전된 각 요인축들이 변수들의 각 집단에 보다 근접하기 때문이며, 또한 사교요인해는 요인들 사이의 상관관계를 반영해 준다.

따라서 축회전의 필요성은 논의의 대상이 되지 않으며 단지 조사자에게 주어지는 선택은 축회전의 방법에 관한 것이다. 직교회전의 방법은 분석절차가 잘 개발되어 있기 때문에 사교회전의 방법보다 널리 이용되고 있으며, 특히 요인분석의 결과를 다른 분석에 사용하려는 경우라면 요인들간의 다중공선성을 제거하기 위하여 항상 직교회전의 방법을 선택해야 한다(물론 조사자가 단순히 이론적으로 의미있는 차원들을 확인하는 데 관심을 가진다면 이론적으로나 실증적으로 현실에 부합된다는 점에서 사교요인회전이 보다 바람직하다).

실무에 있어서 모든 축회전의 목적은 결국 요인행렬을 단순화하여 해석이 용이하도록 만드는 것인데, 행들의 단순화는 가능한 한 각 행에 있는 많은 값들을 0에 가깝게 만드는 일이며, 열들의 단순화는 가능한 한 각 열에 있는 많은 값들을 0에 가깝게 만드는 일이다. 직교회전의 방법에는 QUARTIMAX, VARIMAX, EQUIMAX의 세 가지가 있다. 이 중 QUARTIMAX 회전의 궁극적인 목적은 요인행렬의 행들을 단순화하는 것으로서 한 변수가 하나의 요인에서는 높게, 나머지 요인들에서는 가능한 한 낮게(0에 가깝도록) 부하되도록 초기요인을 회전시키며 VARIMAX 회전은 요인행렬의 열들을 단순화하는 것으로서 각 열에 1과 0들만 있다면 극대의 단순화가 달성된다. 따라서 QUARTIMAX 회전에 있어서는 행들이 단순화되므로 동일한 요인 상에서 많은 변수들이 높게 부하될 수 있다. 한편 EQUIMAX 회전은 양자의 중간형태로 행들의 단순화와 열들의 단순화를 조금씩 동시에 달성하려는 것이다.

⑤ 요인 부하 설정

특정한 직교회전 방법을 선정하기 위한 구체적인 기준은 없으나 VARIMAX 회전은 대부분의 컴퓨터 프로그램에 포함되어 있고 보편적으로 이용되고 있다. 물론 가능하다면 조사문제의 성격에 따라 다른 회전기법을 사용할 수 있다.

추출한 요인들이 반영하고 있는 의미를 해석하기 위하여는 각 요인과 상대적으로 강한 연관을 갖는 본래변수들을 확인해야 하는데, 각 요인상에서 유의적인 요인부하를 갖는 변수들은 다음과 같은 기준에 의하여 선정될 수 있다.

- 요인부하의 절대값

요인부하의 유의성을 결정하기 위한 가장 보편적인 기준은 요인부하의 절대값이 .30보다 클 때 유의적, .40보다 클 때 더욱 유의적, .50보다 클 때 매우 유의적이라고 간주하는 것이다. 즉 요인부하의 절대값이 클수록 그러한 그러한 본래변수는 요인을 해석하는 데 있어서 중요한데, 이러한 기준은 표본의 크기가 50이상일 때 유용하다.

- 표본의 크기

요인부하는 하나의 본래변수와 각 요인들 사이의 상관계수를 나타내므로 그들의 유의성은 상관계수들의 경우와 유사하게 검토될 수 있다. 추출한 요인들이 반영하고 있는 의미를 해석하기 위하여는 각 요인과 상대적으로 강한 연관을 갖는 본래변수들을 확인해야 하는데, 각 요인상에서 유의적인 요인부하를 갖는 변수들은 다음과 같은 기준에 의하여 선정될 수 있다.

- 요인부하의 절대값

요인부하의 유의성을 결정하기 위한 가장 보편적인 기준은 요인부하의 절대값이 .30보다 클 때 유의적, .40보다 클 때 더욱 유의적, .50보다 클 때 매우 유의적이라고 간주하는 것이다. 즉 요인부하의 절대값이 클수록 그러한 그러한 본래변수는 요인을 해석하는 데 있어서 중요한데, 이러한 기준은 표본의 크기가 50이상일 때 유용하다.

- 표본의 크기

요인부하는 하나의 본래변수와 각 요인들 사이의 상관계수를 나타내므로 그들의 유의성은 상관계수들의 경우와 유사하게 검토될 수 있다. 즉 요인부하들이 유의적인 것으로 간주되기 위한 기준은 표본의 크기가 클수록, 분석되고 있는 본래변수의 수가 많을수록 낮아지며 차후에 추출된 요인일수록 높아진다.

요인행렬을 다음과 같은 절차를 따라 해석할 수 있다.

첫째, 요인행렬을 검토한다. 본래변수의 수만큼으로 구성된 각 열(요인)의 수치들은 각 요인에 대한 해당하는 변수의 요인부하를 나타낸다. 분석결과에서는 왼편으로부터 오른편으로 요인 I, II, III 등으로 요인들이 표시되며 변수들은 위에서 아래쪽으로 변수명으로 확인할 수 있다.

둘째, 조사자는 첫번째 요인상의 첫번째 변수로부터 시작하여 그 변수가 어느 요인상에서 유의적인 요인부하를 갖는지를 알기 위하여 왼편에서 오른 편으로 수평적으로 옮겨가며, 유의적인 요인부하에는 밑줄을 친다. 그 다음 두번째 변수로가서 그 변수가 어느 요인상에서 유의적인 요인부하를 갖는지 검토하기 위하여 수평적으로 옮겨가며, 유의적인 요인부하에 밑줄을 긋는 등 나머지 모든 변수들에 대하여도 동일한 절차를 계속한다. 조사자는 이때 표본의 크기가 100미만일 때 요인부하가 유의적인 것으로 간주되기 위한 기준이 $\pm .30$ 이상임을 기억해야 한다.

만일 각 변수가 한 요인상에서 유의적인 것으로 간주될 수 있는 단하나의 부하만을 가진다면 요인들의 의미는 쉽게 해석될 수 있을 것이다. 그러나 실제에 있어서는 여러 요인에 걸쳐 다수의 유의적인 부하를 갖는 변수들이 나타나는데, 그러한 변수들은 그것이 유의적인 부하를 갖는 여러 요인들을 해석(명칭부여)할 때마다 고려해야 하므로 요인의 해석을 애매하게 할 수 있다. 따라서 조사자는 각 행에서 유의적인 부하의 수를 극소화하려고 노력하며, 그러한 노력의 일환으로 요인축을 회전시키는 것이다.

셋째, 일단 모든 변수들이 유의적인 부하를 갖는 요인들을 확인하여 밑줄을 긋고나면 어느 요인상에도 유의적으로 부하되지 않은(밑줄이 그어지지 않은) 변수들을 알 수 있다. 이러한 변수가 발견될 때 조사자는 사실 그대로 요인을 해석하고 유의적인 부하를 갖지 않는 변수들을 단순히 무시하거나 또는 조사에 대한 그 변수의 전반적인 기여와 커뮤니컬리티가 적다면 그러한 변수들을 제거하고 요인분석을 처음부터 다시 적용할 수도 있다.

넷째, 각 요인상에서 높은 부하를 갖는 변수는 결국 그러한 요인이 반영하는 공통적 차원에 많이 기여하는 것으로 간주되므로 그 요인을 나타내기 위한 명칭을 결정하는데 다른 변수보다 많은 영향을 미친다. 따라서 조사자는 특정한 요인에 대하여 밑줄쳐진 모든 변수들을 검토하여 보다 높은 부하를 갖는 변수에 초점을 두면서 요인명칭을 결정한다. 이러한 명칭은 컴퓨터 프로그램에 의해 부여되는 것이 아니라 특정한 요인의 근저에 깔려있는 차원들을 나타내기 위하여 조사자가 주관적으로 적절하게 결정해야 한다. 만일 명칭을 부여하기가 곤란하다면 '정의되지 않음'(undefined)라는 명칭을 사용할 수 있으며, 이러한 경우 조사자는 의미가 명확한 요인들만을 해석하고 정의되지 않거나 의미가 별로 없는 요인들을 무시할 수 있다. 물론 조사자는 이러한 요인들이 도출되었으나 정의할 수 없었고 의미있는 관계를 나타내는 요인들만 해석되었다는 사실을 명확히 밝혀야 한다.

(나) 연구 대상 지역 요인 분석

제 2세부팀으로부터 받은 연구 대상 지역의 역학자료의 농가 출입 상황을 분석해보면 감염 매개체를 크게 계분처리, 동물약품, 가축사료, 입출하차량, 축주방문, 청결도, 야생조수류 등의 총 7개 요인으로 구분할 수 있다. 여기서 청결도와 야생조수류의 영향은 실제 농가내 감염도에 미치는 확률이 미미하므로 제외하고 총 5가지의 큰 요인으로 구분하면 감염도는 각 요인의 영

향도에 따라서 다음과 같이 선형식으로 나타낼 수 있다.

$$R = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 \text{ ----- (20)}$$

앞선 방법들을 이용해서 역학조사가 수행된 98개 농가를 대상으로 농가간의 감염위험도, 영향도를 조사하면 표 17과 같다. 감염농가와 같은 업체를 이용하고 있으면 연관도 1, 그렇지 않으면 연관도 0의 조건을 5가지 요인에 대하여 값을 주고 선형회귀분석을 수행하였다.

표 157 농가간 감염위험도

영향요인	영향도
계분처리	0.048
입출하	0.444
동물약품	0.052
가축사료	0.121
축주방문	0.359

R^2 는 0.625가 나왔으며 사례별 표준화 잔차의 경우 절대값이 2를 넘는 것이 없으므로 적합한 결과를 얻을 수 있었다. 추정된 위험계수를 바탕으로 39 by 39 행렬을 구성할 수 있으며 이는 다음과 같다. 축산 관련 차량의 경우 방문 빈도에 따라 영향도의 차이가 있음을 확인할 수 있다. 입출하 차량의 경우 농가 방문 빈도가 가장 높으므로 감염 영향도도 가장 큰 값을 보였으며 계분처리와 동물약품은 빈도가 적은만큼 상대적으로 낮은 값을 가졌다. 축주방문은 감염 이후 최초 발병 농가에 대한 항의 방문의 성격이 크기 때문에 발병시 영향도가 상대적으로 높은 값을 가진다. 가중네트워크를 이용한 중심성을 산정할 때 이 값들을 기초 자료로 이용할 수 있다.

절점간 연결선에 대한 방정식을 회귀분석에서는 선형방정식을 이용하였지만 용존물질에 대한 이류와 확산을 서술하는 기본 식인 Fick의 법칙에 기초할 수 있다. 고체, 액체 상태를 구성하는 원자의 경우 화학포텐셜(chemical potential) 차이에 의해 화학포텐셜이 높은 곳에서 낮은 곳으로 구성입자가 이동하는 현상을 확인할 수 있다. 실제 감염 영향균의 경우 이동 매개체는 가끔 관계 출입 차량 및 관계자며 이를 이동 동력으로 볼 수 있다. 즉, 감염 영향균의 경우 감염농도의 구배, 감염 영향도에 의해서 확산되는 정도는 변이를 가질 수 있으며 절점간 거리, 농가간 거리에 따라서 그 정도가 커지거나 작아질 수 있다.

$$J_B = -D_B \frac{dC_B}{dx} \text{ ----- (5)}$$

여기서 감염영향도에 대하여 수식 내용은 다음과 같다.

표 158 확산 방정식 내용

J_B	절점간 감염 영향력
D_B	감염농도 구배에 의해 단위 거리당 확산되는 정도(감염 영향도)
C_B	감염농도 차이
x	농가간 도로거리

D_B 는 앞서 산출한 영향도 자료를 이용할 수 있으며 감염농도 차이는 감염된 농가와 감염되지 않은 농가와 차이, 1로 정할 수 있다. 이를 이용해서 감염영향도 행렬을 다시 만들 수 있다.

그리고 제 1세부 팀으로부터 제공받은 공기간 영향도를 이용한 행렬 역시 구성할 수 있는데 이는 표 21과 같다. 공기간 영향도는 선형 회귀 분석을 수행할 경우 다른 요인들과 동기화하는 과정에서 시간단위에 따른 오차가 발생할 수 있으므로 각기 다른 기초자료로 구성하였다.

따라서 선형 회귀 분석을 이용한 영향도 행렬, 확산방정식을 이용한 영향도 행렬, 공기간 영향도 행렬 등 총 3개의 영향도 행렬을 이용해서 가중 네트워크를 구성하고 중심성 분석을 수행할 수 있다.

(다) 선 확산 네트워크 중심성 분석

① 중심성 지수

네트워크 내의 수많은 절점 가운데 다른 절점과의 연결성이 큰 요소를 찾는 방법에 대한 연구는 도시 공간구조변화, 인터넷 웹의 중심 허브 연구 등에서 적용되었다(Annalisa, 1999; Mika, 2004). 확산 네트워크에서 상대적으로 연결성이 좋은, 중심성 지수가 높은 절점에 확산 예방 대책을 집중한다면 확산 속도를 늦추거나 확산 영향을 받는 절점의 수를 줄일 수 있다. 중심성 지수를 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 가장 널리 이용되는 정도 중심성(Degree), 근접 중심성(Closeness), 매개 중심성(Betweenness) 등을 적용하였다. 정도 중심성은 가장 간단한 방법으로 연결선 수의 합을 이용한 산정 방법이며, 근접 중심성은 네트워크 내에서 지리적으로 가장 중심에 있는 절점을 구하는 방법이다.

$$(Degree\ Centrality)_i = \frac{d(n_i)}{g-1} \text{-----} \quad (21)$$

$$(Closeness\ Centrality)_i = (g-1) \left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]^{-1} \text{-----} \quad (22)$$

식 (21)에서 g 는 네트워크 내 절점간의 연결선 수이며 $d(n_i)$ 는 i 번째 절점의 연결선 수, 식 (22)의 $d(n_i, n_j)$ 는 i 번째 절점과 j 번째 절점간의 지리적인 거리를 뜻한다. 매개 중심성은 네트워크 내의 다른 두 노드의 연결 경로에 노출되는 정도를 이용해서 연결성이 좋은 절점을 선택한다

$$(Betweenness\ Centrality)_i = \sum_{j < k} g_{jk}(n_i) / [(g-1)(g-2)/2] \text{-----} \quad (23)$$

$$g_{jk}(n_i) = \begin{cases} 0 & \text{if nodes } n_i \text{ is not between } n_j \text{ and } n_k \\ 1 & \text{if nodes } n_i \text{ is between } n_j \text{ and } n_k \end{cases}$$

$m = \text{number of nodes}$

식 (23)의 g 는 네트워크 내 절점간의 연결선 수를 나타내고 $g_{jk}(n_i)$ 은 네트워크 내 j 번째 절점과 k 번째 절점을 최단 거리로 연결했을 때 i 번째 절점의 통과 여부를 표현한다. 매개 중심성은 절점간 최단 경로를 파악해야하기 때문에 경로 추적에서 중추적인 역할을 하는 절점을 찾아내는데 유효하다. 세 가지 지수는 서로 보완적인 역할을 통해서 주요 절점을 선정하는데 효율적이고 신뢰성 높은 결과를 보여줄 수 있을 것으로 판단된다.

표 160 중심성 지수 종류

명칭	측정 방법	수식
Degree Centrality	가장 간단한 방법 연결된 링크의 합	$C(n_i) = \frac{d(n_i)}{g-1}$ Donninger, 1986
Closeness Centrality	가장 빨리 도달할 수 있는 노드 단한 네트워크에서 적용	$C(n_i) = (g-1) \left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]^{-1}$ Beauchamp, 1965
Betweenness Centrality	다른 두 노드 연결 경로에 존재 유무	$C(n_i) = \sum_{j < k} g_{jk}(n_i) / [(g-1)(g-2)/2]$ Freeman, 1980

② 비가중네트워크(Non-weighted Network)

○ 교통망 네트워크

전라북도 김제시 용지면의 39개 역학조사 대상 농장과 15개의 교차로를 대상 정점으로 결정하고 각 정점을 연결하고 있는 교통망을 연결선으로 추상화시켜 연구를 진행하였다. 다음 스카이뷰를 이용하여 각 농장의 실제 위치와 교통망을 표시하고 중심성 지수를 이용하여 주요 확산 요충 지점을 선정했다. 그림 241의 녹색 노드는 교통망이 교차하는 지점이며 흰색 노드는 역학조사 대상 농장이다.



그림 241 다음 지도를 이용한 네트워크 구성
(<http://local.daum.net/map/index.jsp>)

Degree, Closeness, Betweenness 등 중심성 지수는 표 5와 같으며 중심성 지수가 높은 확산 주요 지점은 교통망 네트워크내에서 그림 6의 지점과 일치한다. 지역의 전 농장이 연결된 도로

망이 만나는 지점인 교차로가 상대적으로 농장들보다 높은 중심성을 가졌다.

표 161 교통망 네트워크 중심성 지수

Node	Degree	Node	Betweenness	Node	Closeness
I5	0.094	I10	0.495	I11	0.239
17	0.075	I12	0.437	I10	0.237
I6	0.075	I11	0.423	I12	0.237
I...	...	I...	...	I...	...
18	0.057	23	0.119	3	0.199
2	0.038	15	0.108	13	0.195
3	0.038	12	0.106	10	0.193

Degree 지수는 연결된 링크의 수가 많은 노드를 우선적으로 선택하기 때문에 농장들이 밀집되어있는 지점과 주요 교차로 부분이 크게 나왔으며 Closeness 지수와 Betweenness 지수는 전체 네트워크 구조도에서 지리적으로 가장 접근성이 좋으며 모든 농장으로 통하는 길의 경로가 될 수 있는 지역의 중앙에 위치에 있는 지점이 높은 지수를 가지고 있었다.

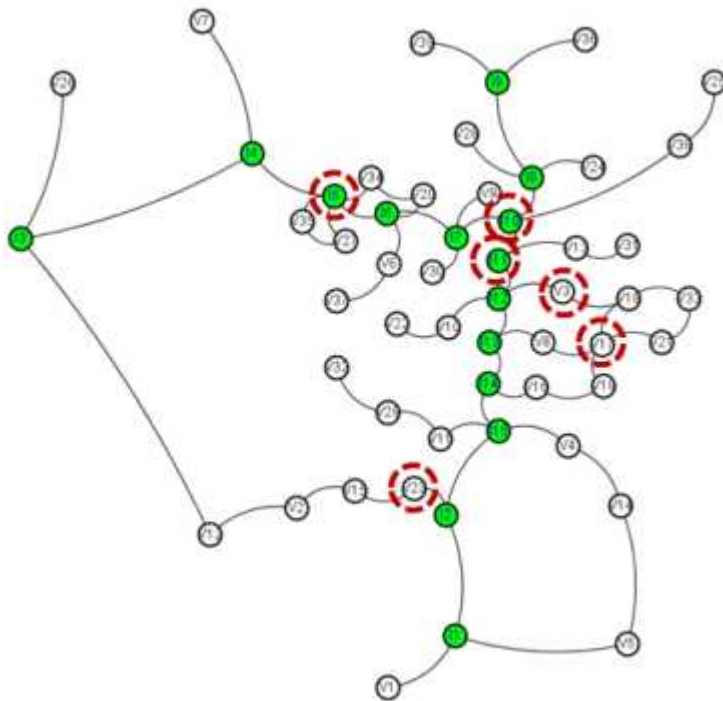


그림 242 교통망 네트워크와 중심성 지수

○ 동물약품 네트워크

동물약품 네트워크는 동일한 약품 회사를 이용하는 차량의 출입 흔적이 동시에 존재할 확률이 크기 때문에 농장들간 연결성이 있다고 판단하고 대상 농장을 정점, 연계를 정점간 선으로 추상화시켜 네트워크 구조도를 작성했다. 동일한 약품 회사를 이용하면 농장을 출입하는 매개체가 같을 확률이 크기 때문에 농장간 연결성을 줄 수 있다. 중심성 지수에 따른 주요 노드 지점은 그림 243의 붉은색 원안의 농장과 같다.

표 162 동물약품 네트워크 중심성지수

Node	Degree	Node	Betweenness	Node	Closeness
35	0.342	31	0.192	29	0.507
7	0.342	29	0.130	31	0.507
37	0.316	33	0.128	7	0.500
32	0.316	7	0.121	35	0.494
29	0.316	19	0.118	37	0.487
28	0.316	35	0.110	32	0.487
23	0.316	12	0.107	22	0.475

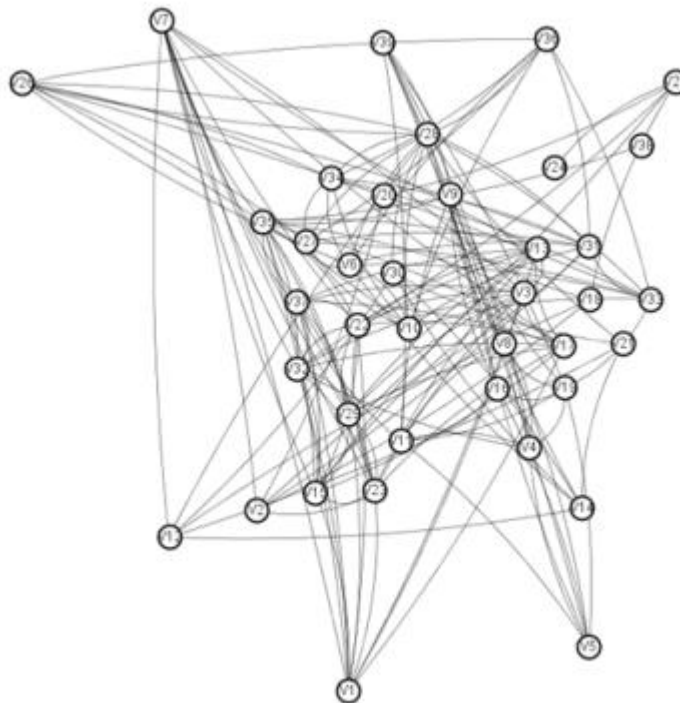


그림 243 동물약품 네트워크

동물약품 네트워크의 주요 지점은 지리적인 위치와 관계없이 같은 동물약품 회사를 이용하

는 농장간의 연계로 결정이 되므로 2개 이상의 동물약품을 이용하여 다른 농장들과 연결성이 큰 농장들이 주로 Closeness, Betweenness 지수에서 높은 값을 기록했으며 동물약품을 통해 전달되는 HPAI 질병 바이러스의 전파 가능성이 큰 농장으로 추론할 수 있다. 분석결과는 추후 효율적인 방제대책을 수립하는데 긍정적인 영향을 줄 수 있다.

표 163 가축사료 네트워크 중심성지수

Node	Degree	Node	Betweenness	Node	Closeness
15	0.342	21	0.148	15	0.521
21	0.342	15	0.117	13	0.514
23	0.342	38	0.100	3	0.514
17	0.316	23	0.089	1	0.514
33	0.316	17	0.073	21	0.507
34	0.316	35	0.058	23	0.500
13	0.316	13	0.058	17	0.494

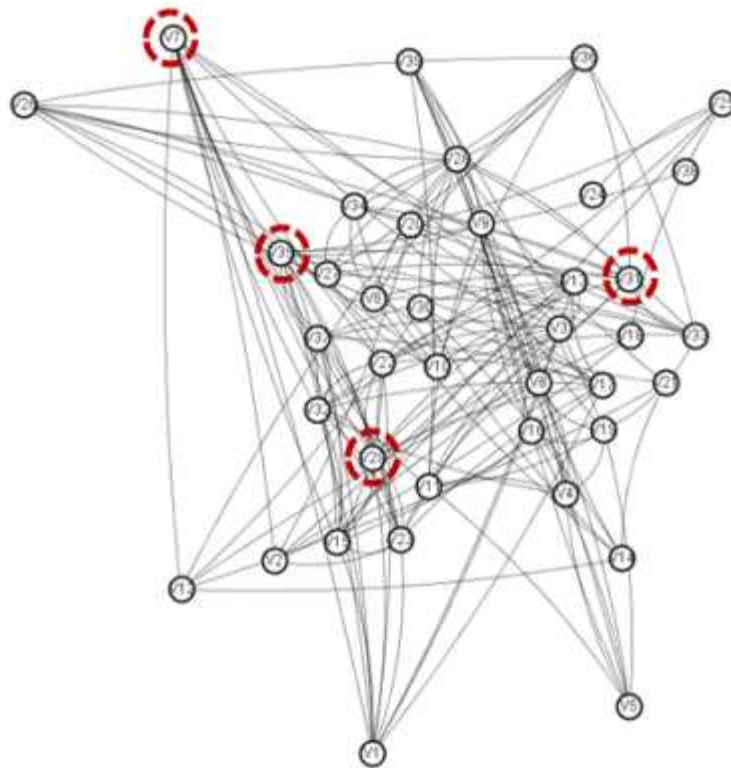


그림 244 동물약품 네트워크와 중심성 지수

○ 가축사료 네트워크

가축사료 네트워크는 동물약품 네트워크와 같이 동일한 가축사료 회사를 이용하는 농장들간 연결성을 주고 네트워크 구조도를 작성하였으며 중심성 지수를 산정했다. 가축사료 네트워크의 주요 지점도 지리적인 위치와 관계없이 동일한 가축사료 회사를 이용하는 농장간의 연계가 주된 요인이기 때문에 다양한 가축사료를 이용하는 농장이 높은 중심성 지수를 기록했고 주요 관리 대상 지점으로 선정되었다. 동물약품과 가축사료 등을 통한 확산을 방지하기 위해서는 밀집된 지역일 경우 제품의 구입을 통제하는 방법으로 질병의 확산 위험을 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 관련 제품의 출입 차량에 대한 소독 등을 통한 철저한 관리는 추후 발생 이후 확산 원인 추적에 있어서도 장점을 가질 수 있다. 주요 요인의 통제가 확실하다면 다른 요인의 추적을 통해서 더 큰 피해를 효과적으로 차단할 수 있다.

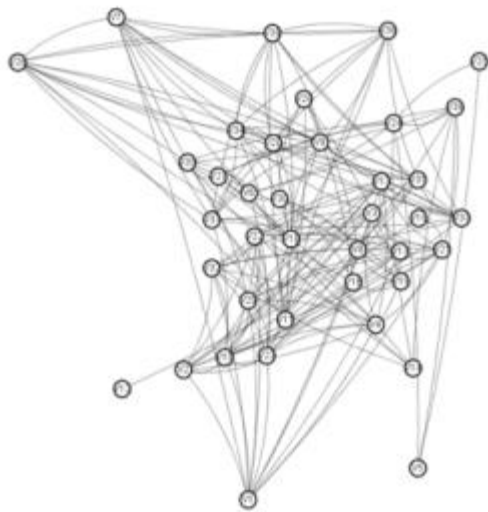


그림 245 가축사료 네트워크

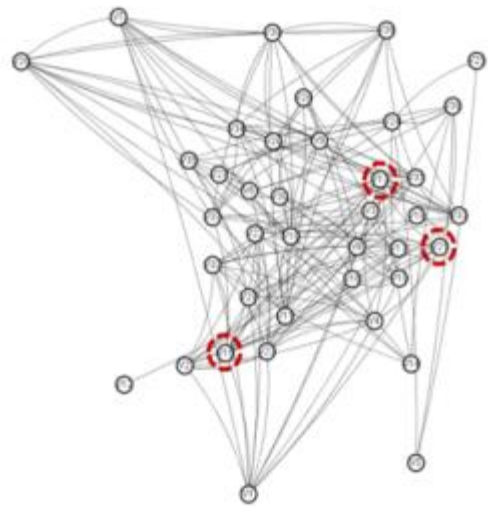


그림 246 가축사료 네트워크와 중심성 산정

○ 통합 네트워크 구성

HPAI 질병은 전염성과 전염된 개체의 치사율이 치명적이기 때문에 국제수역사무국에서 관리대상 질병으로 분류하고 있으며 국내에서도 제 1종 법정 전염병으로 관리되고 있다. 그리고 대상 개체의 평균 감염 여부 확인이 힘들며 구성되는 바이러스의 조합에 따라 다양한 변이를 가지고 있으므로 HPAI 질병 추적과 방역 대책 수립이 어려운 실정이다. 특히 전염성이 강하기 때문에 다양한 요인을 매개로 이용하여 전파된다. 2008년 국내 발병의 경우 약 2개월간 총 19개 시군구의 33개 농장에서 발생하였고 65개 농장에서 양성이 확인되었다. 짧은 기간 HPAI 질병이 지리적 거리가 먼 지역까지 전파될 수 있었던 것은 다양한 요인을 이용한 확산에 기인한다.

일반적으로 HPAI 질병 바이러스의 확산 양상을 시각적으로 확인할 방법이 없으며 추후 역학조사 등을 이용한 추적조사를 실시해도 경로와 확산 요인에 대한 확률 높은 추정만 가능하다.

겠지만 정확한 전파 요인과 비교를 통한 검증조차 불가능한 상황이다. 현재 HPAI 질병이 발생했을 때 수행하는 긴급 방역 조치로 발생지를 중심으로 한 3km~10km 이내의 이동제한 지역을 설정하고 감염원 제거를 위한 살처분 및 소독을 실시하며 이동제한지역의 사육가금에 대한 확인검사를 진행하고 있다. 하지만 이 방법은 발생 농장 조사를 통한 정확한 원인 분석에 근거한 체계적이고 합리적인 방역 대책이 아니라 감염가능성이 희박한 농장들까지 무분별한 살처분을 진행하여 방역 본부의 인적 물적 자원의 비효율적인 낭비가 지속되고 있다.

HPAI 질병 확산 네트워크를 이용한 질병 추적의 정확도를 높이기 위해서는 바이러스의 특성상 전파를 유도할 수 있는 모든 요인들의 데이터를 이용한 네트워크 구축이 필요하다. 농장과 접촉 가능한 모든 요인의 경로 추적 자료가 축적되어야 하며 질병 발생 예방을 위한 출입차량 및 사람들에 대한 소독 절차가 철저해야 한다. 하지만 현재 국내 양계 농장들의 최대 밀집 지역에서조차 HPAI 관리를 위한 입·출입 위험 전파 요인들에 대한 조사 체계가 미비한 상황이다. 발생 경력이 있는 국내 농장들을 대상으로 실시한 국립 수의과학 검역원의 역학 조사 내용이 전부다. 역학 조사 내용 역시 농장들의 출입 차량과 사람의 경로와 같은 세부적인 자료는 부족하고 농장의 여러 조사 사항 중 일부에 대해서만 그것도 관리자의 설문을 통해 출입 차량과 사람에 대한 기본적인 정보만 수집되어 있는 상황이다. 1년차 연구에서는 자료 수급의 불완전성 때문에 완벽한 정확도를 가지는 질병 추적은 아니어도 HPAI 질병 확산의 양상을 검토할 경우 상대적으로 확산 요인일 가능성이 높은 매개체를 중심으로 실시한 역학 조사 내용을 기본으로 통합 네트워크를 구성한다면 신뢰도를 높일 수 있다.

HPAI 질병 확산에 미치는 각 요인들의 영향도는 독립적이다. 가축사료 관리자를 통해서 옮겨지는 바이러스와 동물약품 관리자를 통해서 옮겨지는 바이러스는 서로 연관성이 없다. 각각의 요인을 통해서 바이러스가 전이되는 과정, 속도 등은 유사할 수도 있지만 요인들간 영향도는 무관하다. 따라서 네트워크 구성할 경우 연결선의 속성은 한 가지 요인일 수밖에 없다. 복합적인 요소들에 대한 총체적인 질병 추적을 수행하기 위해서는 각각의 요소들에 대한 단일 네트워크를 통합해서 해석하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 농장들의 감염/ 비감염 상태를 종속변수로 하고 요인 A(가축사료), 요인 B(동물약품), 요인 C(농장 관계자)의 영향도를 비교했을 때 각각 0.4, 0.3, 0.3의 영향도의 결과를 확인할 수 있었다. 대상 지역의 농장들에 대한 HPAI 질병 확산 통합 네트워크 구성할 때 세 요인에 대한 기초 자료가 있다면 가중치의 값을 주고 그림 247과 같은 구조도를 구성할 수 있다. 세 요인들이 주요 HPAI 질병 확산 요인이라는 가정 하에 네트워크 구조의 중심성 지수를 이용한 주요 농장들을 선별하고 관리할 수 있다.

전파 매개체에 따른 요인들의 전염률과 전염시간 등에 대한 자료 분석을 통해서 단일 네트워크의 연결선에 가중치를 부여할 수 있고 같은 위상을 가진 요인들을 이용한다면 상이한 링크를 가진 통합 네트워크를 구성할 수 있다. 뿐만 아니라 가중치에 따른 중심성 지수 산출을 통해서 해당 지역의 주요 지점을 선정할 수 있고 발생 전 우선 관리 대상 지역, 발생 후 질병 경로 추적을 통해서 체계적인 방역대책을 수립할 수 있다.

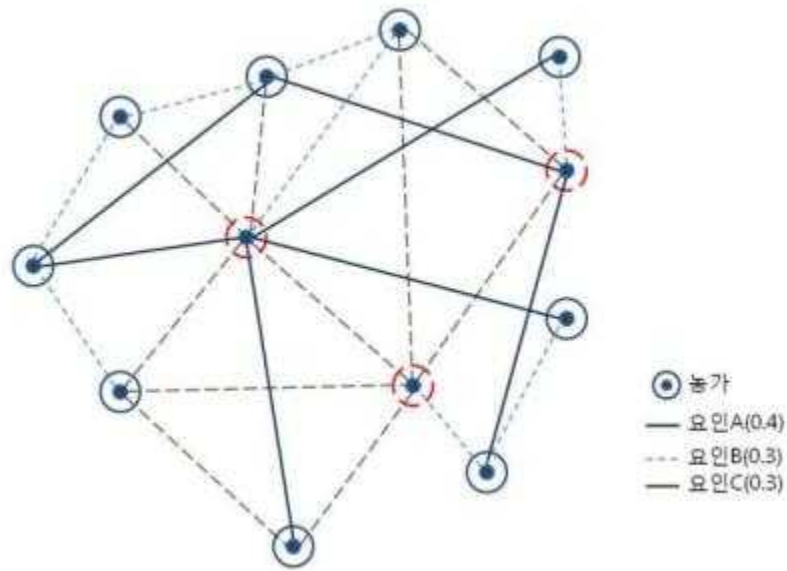


그림 247 HPAI 질병 확산 통합 네트워크 구조도

현재 전라북도 김제 지역의 역학조사 내용을 기초로 수집한 자료들을 대상으로 한 요소들의 위험성에 대한 확률적 분석은 표본 대상의 크기가 작기 때문에 충분한 신뢰도를 얻기가 힘들다. 그리고 수많은 질병 확산 요인 중 동물약품, 가축사료, 농장 관계자의 요인은 이전의 발병 사례를 통한 역학 조사 내용에서도 상대적으로 높은 발병 확률을 가진다. 그리고 세 요인은 비슷한 확률로 발생 농장에게 영향을 미친 것으로 판단되기 때문에 자료가 부족한 상황에서 동일한 발병 확률로 가정하고 네트워크 모델을 구성해도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 3장에서 구성한 단일 네트워크를 통합해서 표현하면 그림 248과 같다.

흰색 정점은 대상 농장이며 녹색 정점은 교차로를 나타낸다. degree, closeness, betweenness 등의 중심성 지수가 높은 지점에 해당하는 지점은 붉은색 원으로 표시한 농장들과 교차로이다. 해당 양계 농장들 밀집 지역 내에서 질병이 발병할 경우 치명적인 영향을 줄 수 있는, 주요 모니터링이 필요한 지점이며 이 지점들에 예방 대책을 집중한다면 보다 효율적인 HPAI 질병 관리가 가능할 것으로 판단된다.

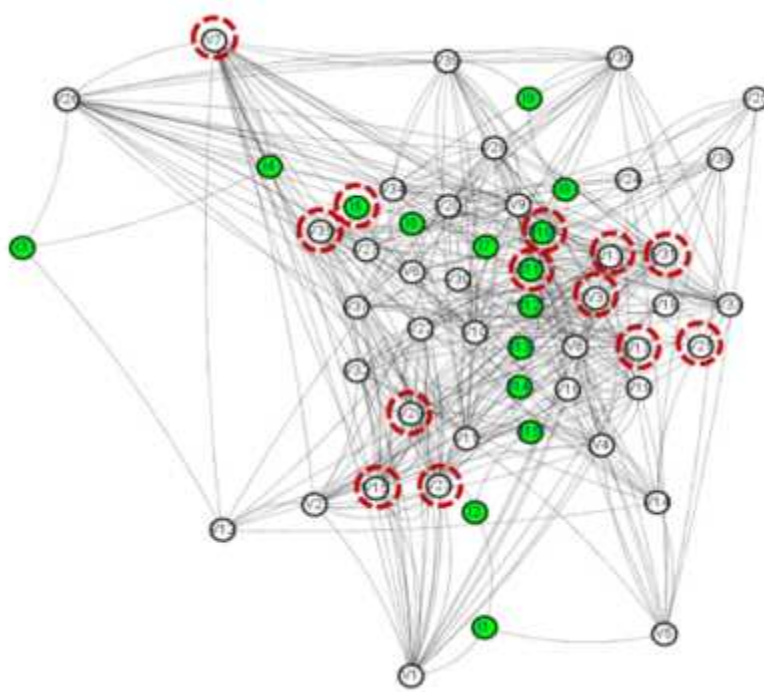


그림 248 전라북도 김제시 용지면 HPAI 질병 확산 통합 네트워크 구조도

③ 가중네트워크(Weighted Network)

본 장에서는 앞서 구한 선형 회귀 분석을 통한 확산 방정식을 수식 모델로 적용한 자료, 공간 시간 영향도를 이용한 자료, 두 기초 행렬을 합산한 자료 등 총 3가지 경우를 이용하여 네트워크 확산과 중심성 분석을 수행하였다. 모든 요인의 영향도를 1 (Homogeneous)로 가정한 비가중 네트워크의 경우 감염요인의 빈도별 영향도를 반영하지 못하는 부분을 확률빈도분석을 통해서 가중치를 합산하였기 때문에 보완할 수 있다. 분석한 확산 양상의 경우 총 4개의 단위로 구분하여 발병 지점부터 확산되는 방향을 확인하였으며 중심성 분석은 이전 비가중 네트워크의 경우와 같이 degree, closeness, betweenness 등의 중심성 지수를 이용했다. 단, betweenness의 경우 기존의 최단거리를 이용한 알고리즘의 경우 단계별 확산 영향도를 반영하지 못하는 부분을 보완하기 위해 단계별 최단 거리를 구한 후 확산 양상을 반영하였다.

표 164 클래스 개요

클래스 이름	클래스 정의
SWTResourceManager	SWT기반의 GUI환경 구성을 위한 라이브러리 매니저 클래스
InformationWindow	GUI 입출력을 위한 박스 프레임 구성 클래스
Mainframe	프로그램 시뮬레이션 재현을 위한 GUI 프레임 관련 클래스
ControlControler	각각의 컨트롤러를 제어하는 최상의 통합 컨트롤러 클래스
Controler	프로그램의 시간적 흐름을 제어하며 시뮬레이션 요소간의 동기화를 담당하는 컨트롤 클래스
Main	프로그램의 시작 클래스
MouseControler	마우스 조작에 의한 이벤트를 관리하는 입출력 기반의 컨트롤러
HPAINetwork	감염요소를 표현하는 인스턴스의 구현을 위한 요소 클래스
InfectionTable	감염의 전반적인 규칙과 흐름을 관리하는 정보테이블 클래스
Matrix	네트워크 분석 및 해석을 위한 매트릭스 라이브러리 클래스

확산 요소의 구현을 위해 농가와 확산하는 요인을 표현하는 인스턴스를 아래와 같은 스키마로 구현하였다. 확산 현상에 의한 감염은 고정적인 농가에 일어날 수도 있으며 공기와 같은 입자에 의해 일어날 수도 있다고 가정하여 두 가지 요소를 모두 표현할 수 있도록 스키마를 설계하였다. 따라서 HPAINetwork가 인스턴스로 구현되고 나면 감염이 일어날 경우 감염 상태와 현재의 위치를 데이터로 가지고 있게 되며 nextNode와 infectNode를 이용하여 농가이거나 감염요인일 때 주변과의 연결상태를 나타내게 된다.

```

1 public class HPAINetwork {
2
3     private int xPos;
4     private int yPos;
5     private int nodeNumber;
6
7     private int infectNodeCount;
8
9     private String nodeName;
10
11    private boolean isZeroFactor;
12    private boolean isInfectedNode;
13
14    private ArrayList<HPAINetwork> nextNode;
15    private ArrayList<HPAINetwork> infectNode;

```

그림 249 요소 스키마

확산은 감염된 농가의 연결상태와 감염된 공기의 확산으로 이루어진다. 각각의 농가는 HPAINetwork에 의해 표현되며 nextNode를 통해 자신과 연결된 인접 노드를 탐색하여 확산 확률에 따라 확산이 진행된다. 공기의 확산의 경우 마찬가지로 HPAINetwork에 의해 표현되지만 infectNode에 의해 주변 인자와 연결되며 지정된 확률에 따라 재귀적으로 확산 현상이 구현된다. 각각의 농가로부터 감염이 이루어지며 감염 후에는 격자로 표현된 주변 공기요소들에 확률적으로 감염이 진행된다. 이 과정에서 각 요소에서의 확산은 인접해 있는 주변 요소와 확률에 따라 재귀적으로 이루어지며 감염이 이루어진 후에는 테이블에 상태 정보가 기록된다.

```

1     int isize = h.getInfectNodeCount();
2
3     if(isize > 0) {
4         for(int i=0;i<h.getInfectNodeSize();i++) {
5             if( ( h.getNextInfectNode(i)).isInfectedNode() ) {
6                 this.infect(h.getNextInfectNode(i));
7             }
8         }
9     }
10    if(this.hpaiTable[xtPos][ytPos] == null) {
11
12        if( (xtPos < this.tableXSize-1) && (ytPos < this.tableYSize-1) ) {
13
14            HPAINetwork hn = new HPAINetwork();
15            hn.setPos(xtPos, ytPos);
16            hn.setInfectedNode();
17
18            this.hpaiTable[xtPos][ytPos] = hn;
19            h.setNextInfectNode(hn);
20            h.infectNodeCountPlus();
21        }
22    }
23 }
24

```

그림 250 공기확산 알고리즘

감염이 이루어진 농가를 중심으로 연결상태와 확률에 따라 순차적으로 링크에 의해 확산이 이루어진다. 알고리즘에서는 링크리스트에 의해 각각의 확률이 산출되며 이 확률에 의해 링크를 따라서 감염이 진행되도록 구현되었다.

```

1      for(int i=0; i<h.getLinkNodeSize();i++) {
2
3          if( this.rd.nextInt(100) < this.infectionRate) {
4
5              if(!(h.getNextLinkNode(i)).isInfectedNode()) {
6
7                  xPos = (h.getNextLinkNode(i)).getXPos();
8                  yPos = (h.getNextLinkNode(i)).getYPos();
9
10                 this.hpaiTable[xPos][yPos] = h.getNextLinkNode(i);
11                 h.setNextInfectNode( h.getNextLinkNode(i) );
12                 h.getNextLinkNode(i).setInfectedNode();
13                 h.infectNodeCountPlus();
14
15             }
16         }
17     }

```

그림 251 농가 확산 알고리즘

다익스트라 알고리즘을 개량하여 본 연구에서 제시한 비가중 네트워크와 가중 네트워크가 혼합된 상태에서의 분석기법을 개발하였다. 다익스트라 알고리즘에서 각 노드에서의 최소신장 트리를 만들어 각각의 노드까지의 최소 가중값을 확보한다. 농가간 연결상태에 따른 확산을 표현하기 위해 비가중 네트워크를 통해 연결상태에 따른 확산을 우선 분석하게 되며 이때 각 노드에서 확보된 최소 가중값보다 크거나 반복이 있는 경우를 제외해 나가는 과정을 통해 비가중 네트워크를 분석한다. 중복되는 비가중 네트워크의 연결정보를 연결리스트를 통해 관리하며 이때의 최소 가중치 값은 다익스트라 알고리즘을 이용하여 계산한다. 이러한 방법을 통해 degree, betweenness, closeness를 계산 할 수 있다.

○ 확산방정식을 이용한 네트워크

선형 회귀 분석을 통해서 각 요인별 가중치를 구한 결과를 바탕으로 확산방정식을 구축한 네트워크이다. 발병 지점을 중심으로 지리적으로 가까운 지점과 위상적인 연계가 있는 절점을 중심으로 확산이 진행되는 것을 확인할 수 있다.

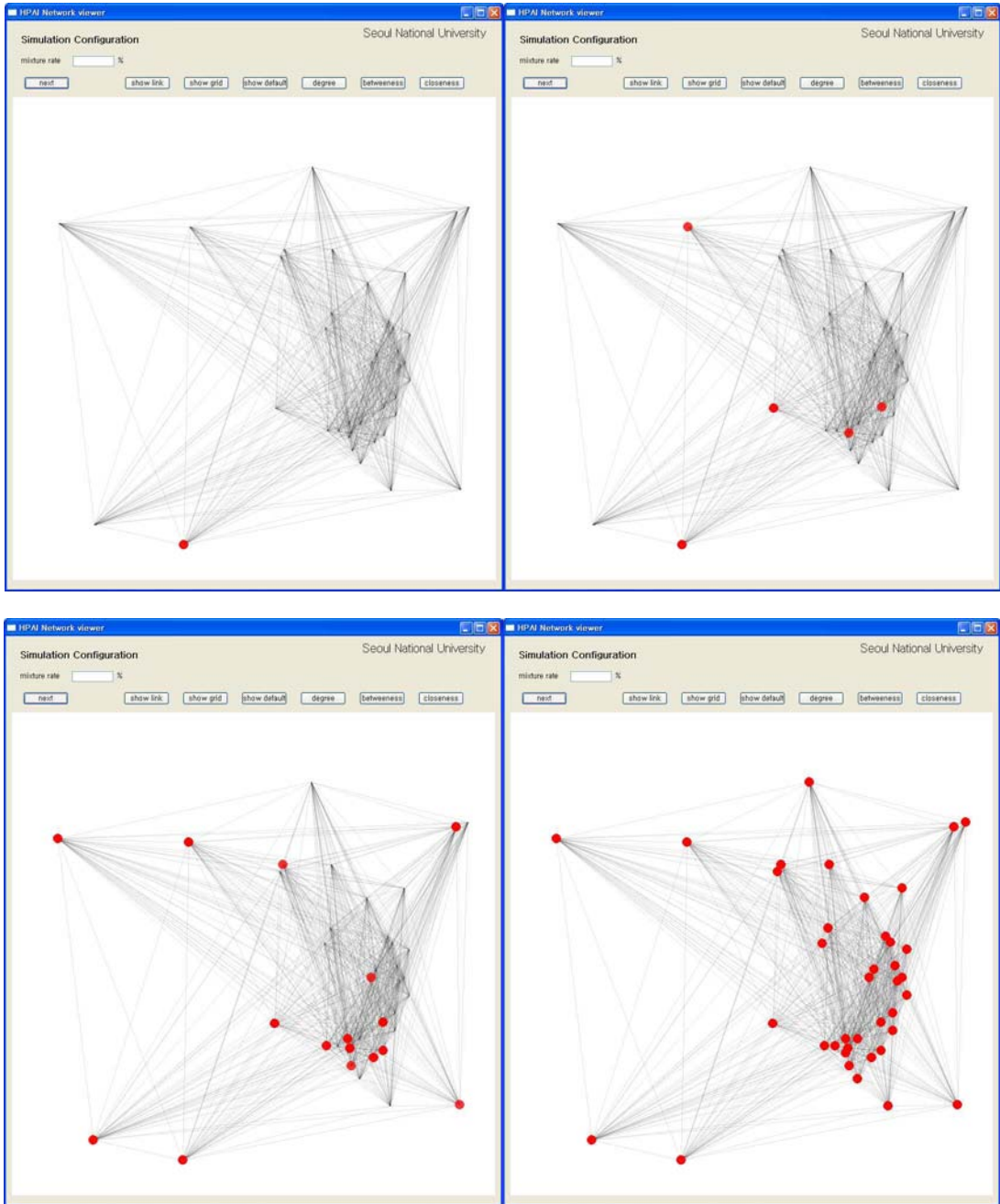
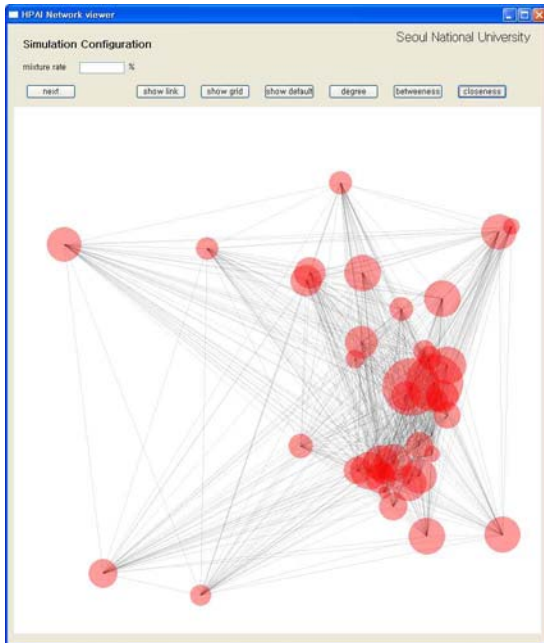
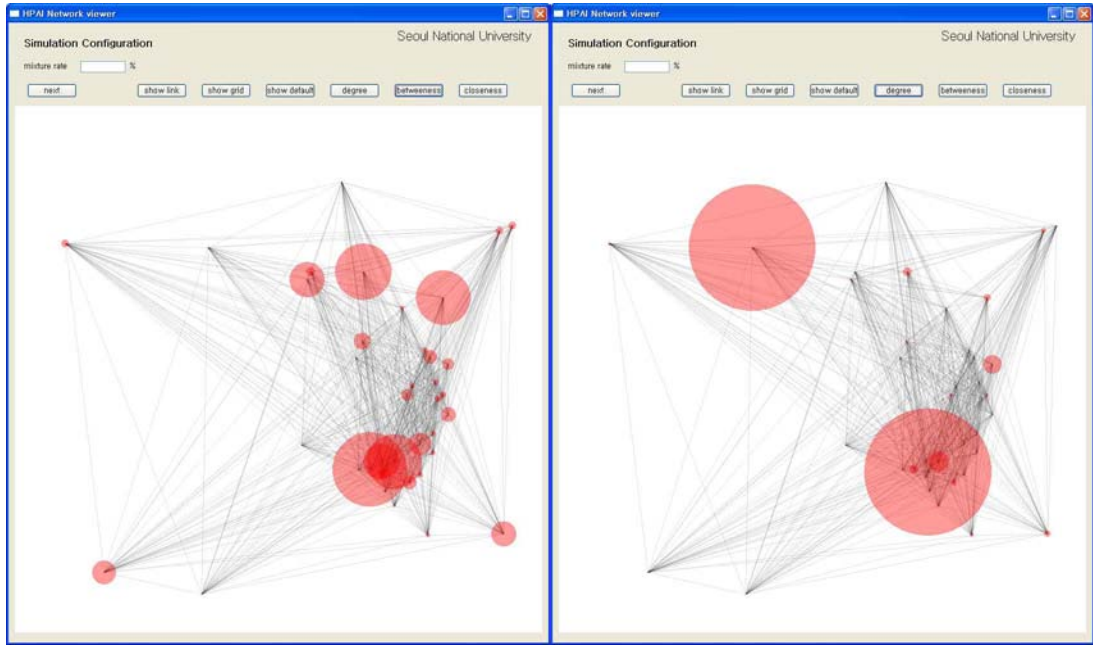


그림 252 확산방정식을 이용한 네트워크의 확산 양상

이 기본 확산 네트워크를 통한 중심성 분석 결과는 다음과 같다. 11시 방향부터 각각 degree, closeness, betweenness이다. 이 절점들을 이용하여 집중 관리를 통한 예방 대책에 적용할 수 있다. 위상적으로 크게 연계된 부분을 중심으로 2개의 농가가 degree 부분에서 높은 수치를 기록했으며 closeness와 betweenness는 지리적인 영향도와 위상적인 연계 등이 고루 반영된 점을 확인할 수 있다.



○ 공기 영향 네트워크

각 농장별 공기 확산 분석을 기초로 구성된 네트워크를 통한 확산 양상은 다음과 같다. 이는 2, 3 단계를 보면 선형 회귀 분석 네트워크와 비교해 볼 때 위상적 연계보다는 지리적인 근접성을 통한 주변 농가에 대한 확산 양상이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

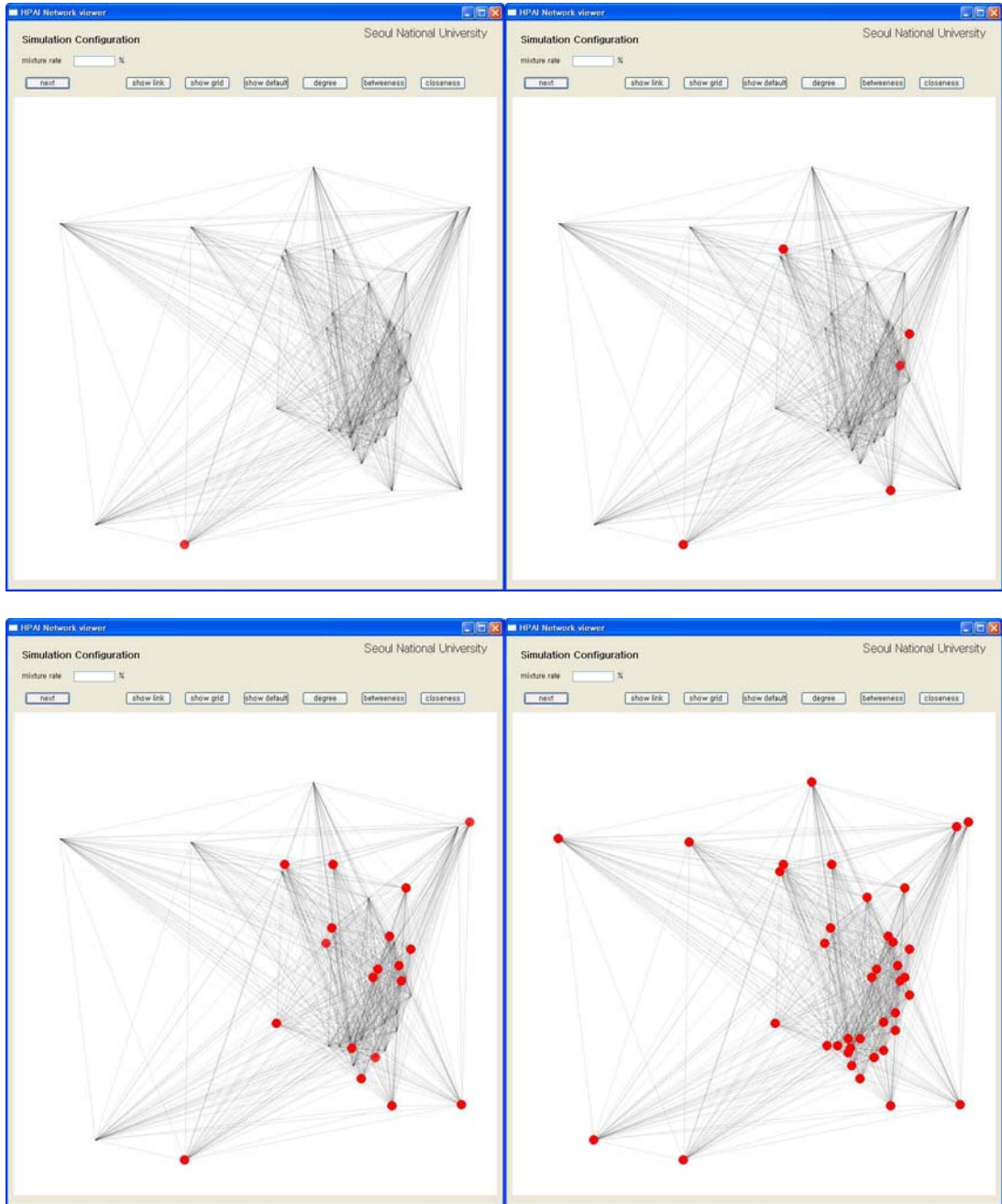


그림 254 공기 영향도 분석 네트워크의 확산 양상

중심성 분석은 다음과 같다. degree 중심성은 확산 방정식을 이용한 경우와 비교해서 지리적으로 근접한 지역에 밀집되어 있는 농가들을 중심으로 비슷하게 나타났으며 그 지점의 연결도가 높으므로 betweenness의 경우도 영향도가 높게 나타나는 부분이 유사했다. closeness의 경우 통합 네트워크의 가장 자리에 있는 부분의 공기 영향도가 크기 때문에 그 부분의 영향을 받아 크게 산정되었다.

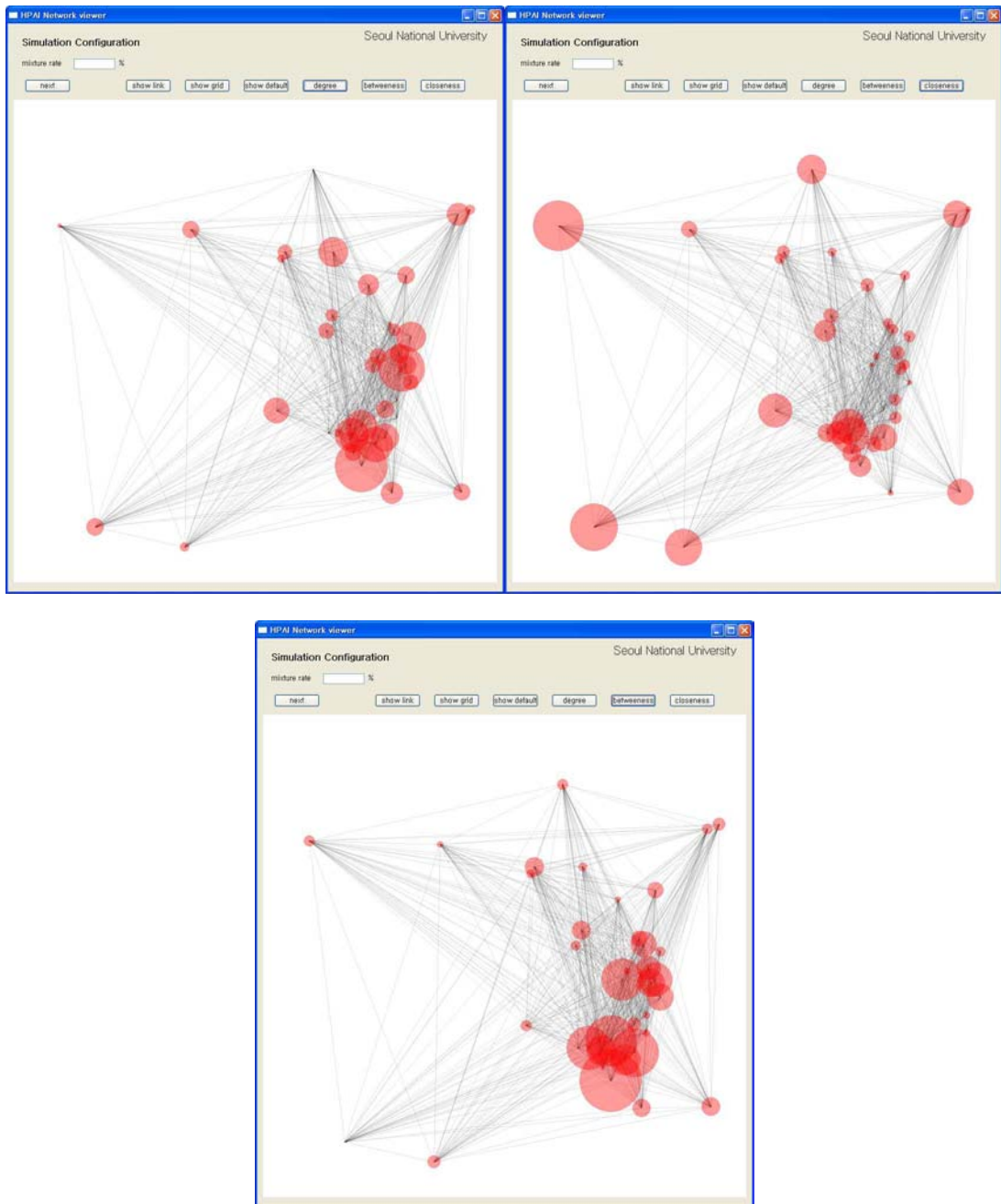


그림 255 공기 영향도 분석 네트워크의 중심성 분석

○ 통합 네트워크

앞의 두 영향을 모두 고려한 네트워크를 구성할 필요가 있다. 단, 농가를 출입하는 요인들의 시간에 대한 빈도와 공기중 영향도에 대한 시간 빈도가 다르기 때문에 둘의 영향도를 동기화하기에는 자료 부족에 따라 한계가 있을 수 있다. 따라서 선형 회귀 분석 자료와 공기중 영향도에 대한 자료를 각각이 독립적인 요인이며 선형 연계가 가능하다는 부분을 가정하여 구성했다. 공기중 영향도에 대한 가중치, α 를 0.05라고 하면 다음과 같다.

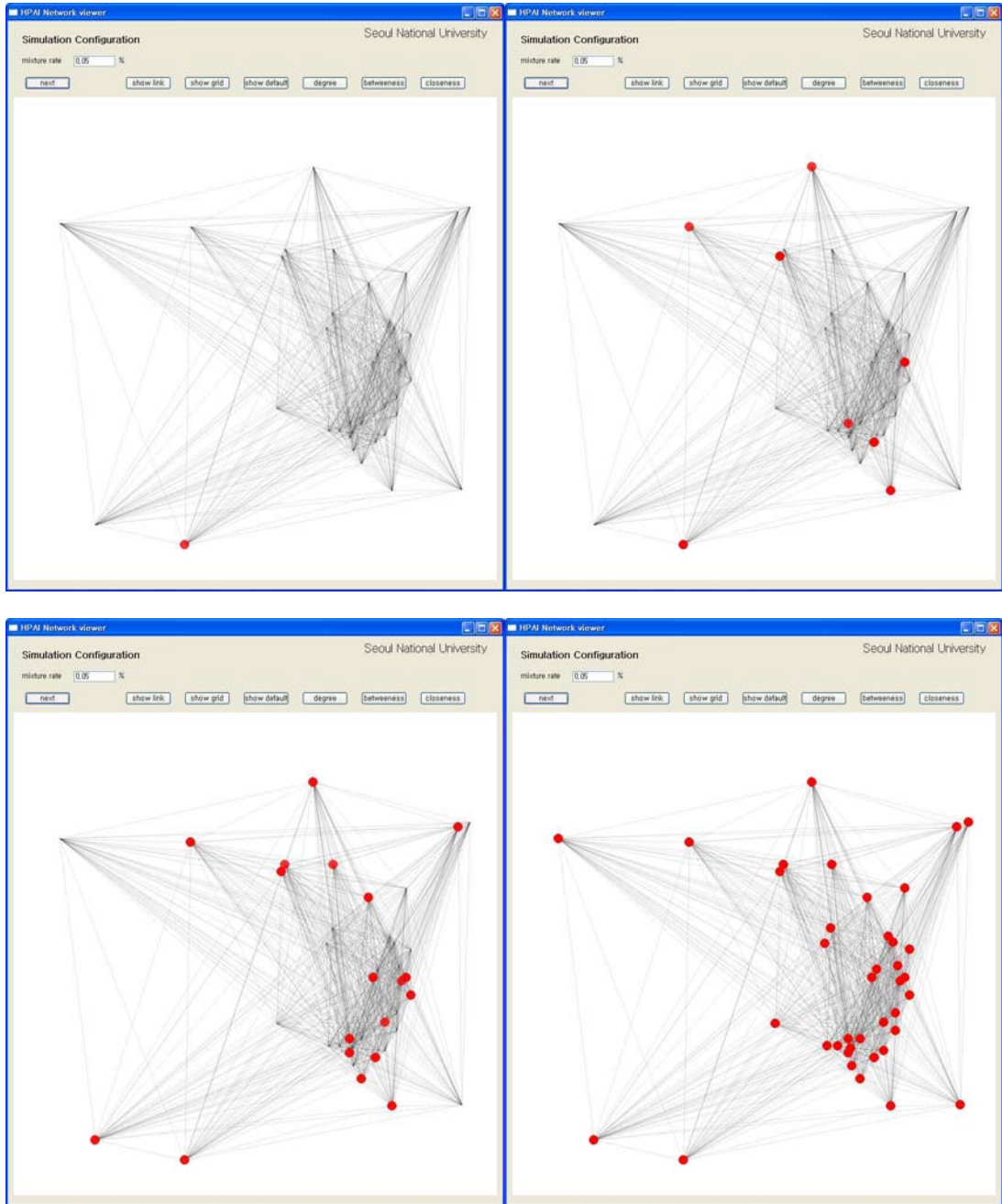


그림 256 통합 네트워크($\alpha = 0.05$)의 확산 양상

통합 네트워크에 대한 중심성 분석결과는 다음과 같다.

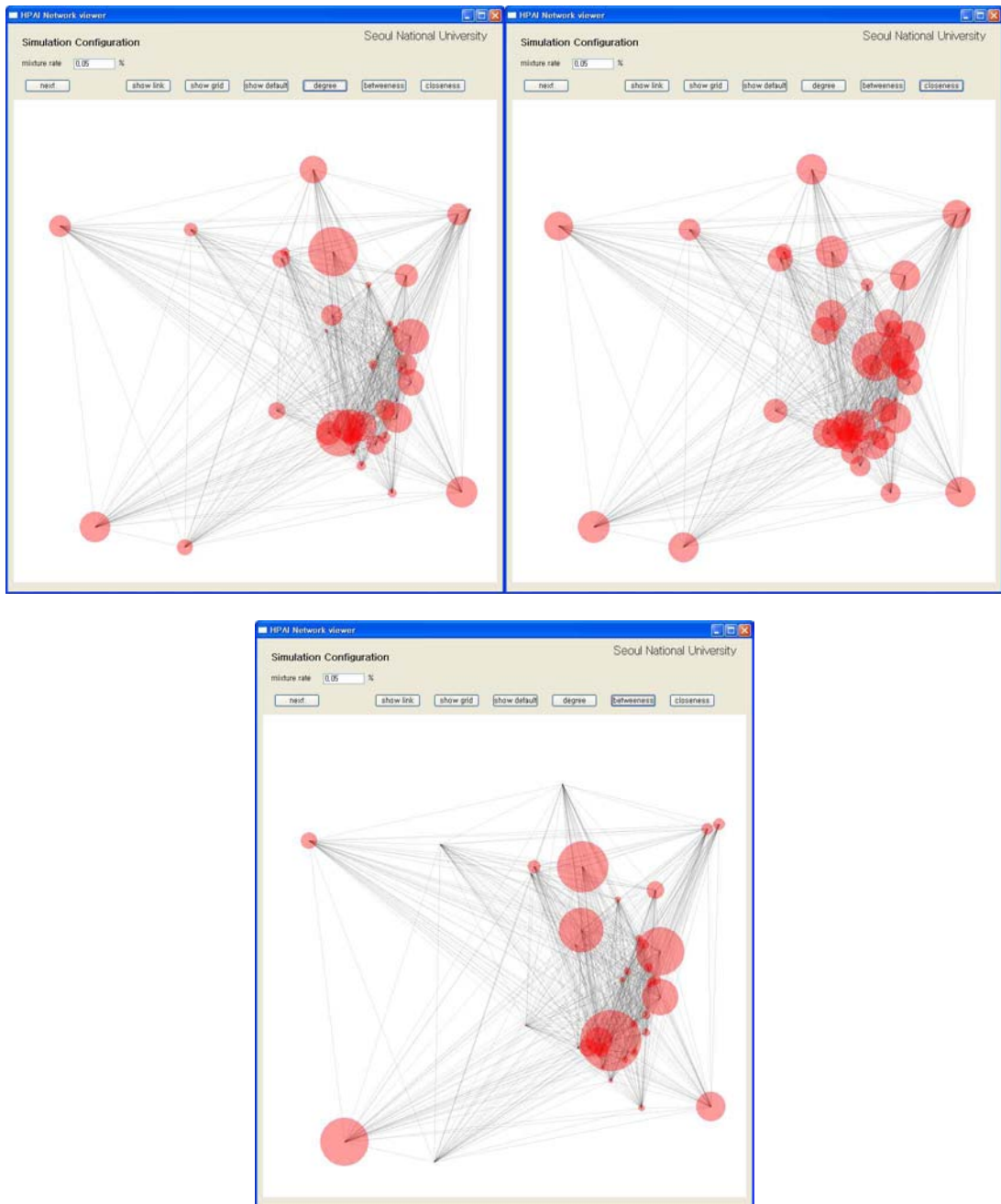


그림 257 통합 네트워크($\alpha = 0.05$)의 중심성 분석

공기중 영향도에 대한 가중치, α 를 0.1이라고 할 경우는 다음과 같이 구성된다. 이 경우 공기중 영향도에 더 큰 가중치를 넣으면 이 전에 반영하지 못하던 감염 농가를 확인할 수 있었다. 단, 지리적 근접성에 대한 영향도가 커지기 때문에 농가의 확산 양상 속도가 빨라져서 세부적인 평가를 위해서는 단계의 수위조절이 필요할 것으로 보인다. 그리고 위상적 연계에 대한 영향도가 줄어들어 반영못하는 농가가 발생할 수도 있다.

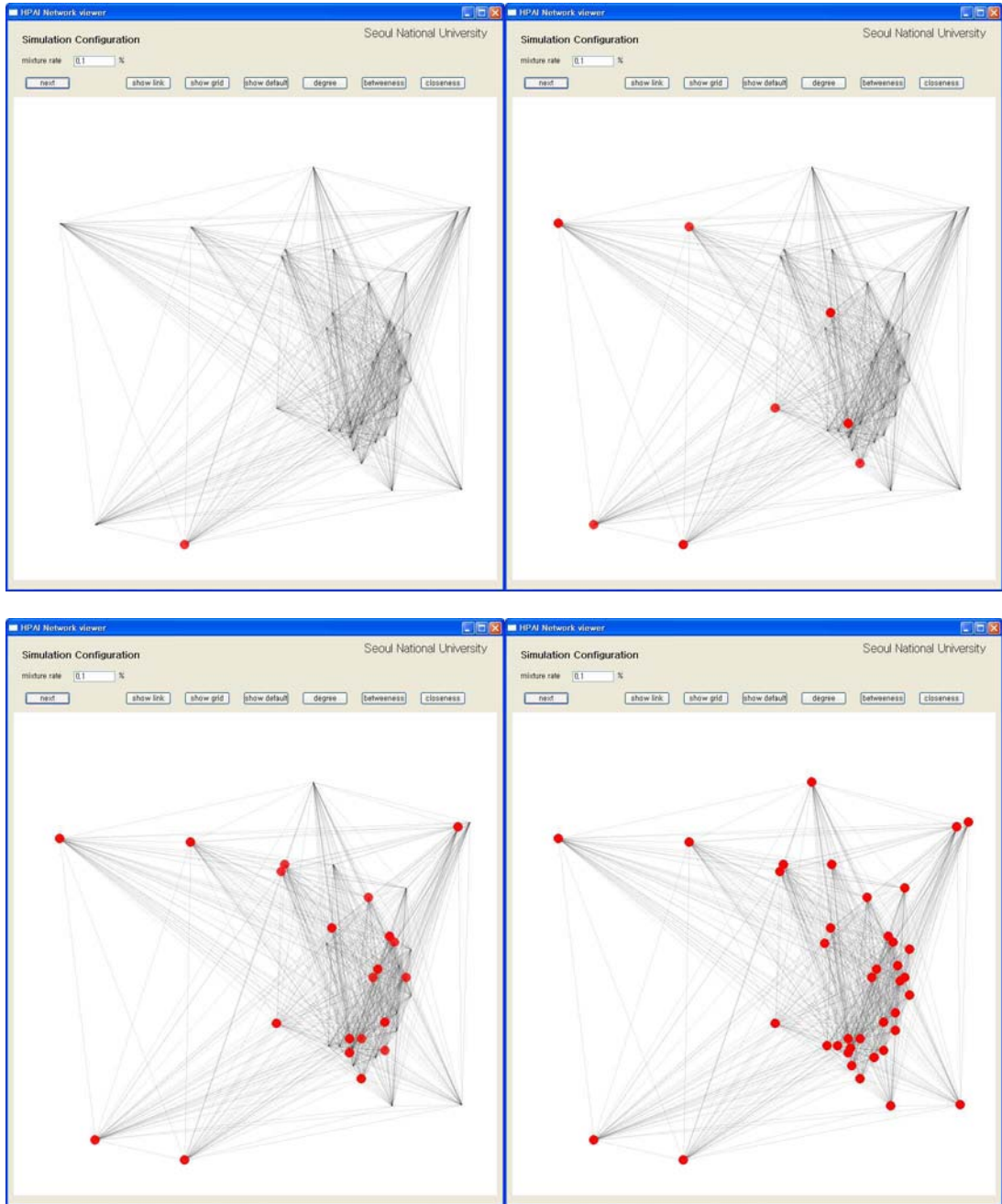


그림 258 통합 네트워크($\alpha = 0.1$)의 확산 양상

중심성 분석의 경우 앞선 경우와 거의 유사하게 나온 것을 확인할 수 있었다. 네트워크내에 존재하는 다양한 절점에 대해서 고른 결과값이 나왔으나 정량적 평가를 통한 비교가 가능하기 때문에 방역대책을 수립하는데 기초자료로 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

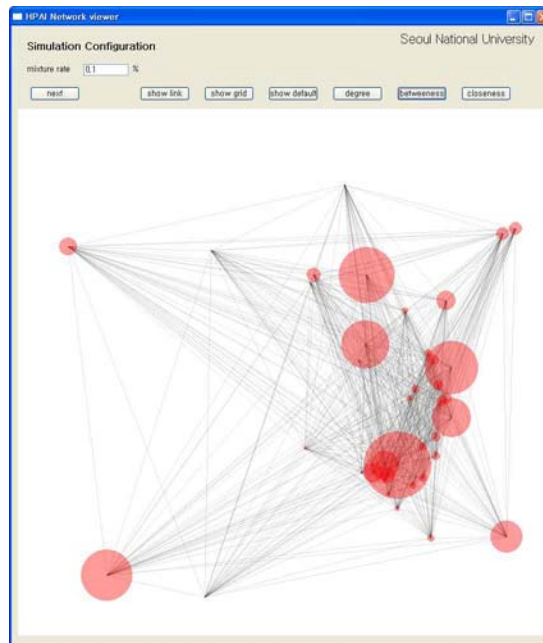
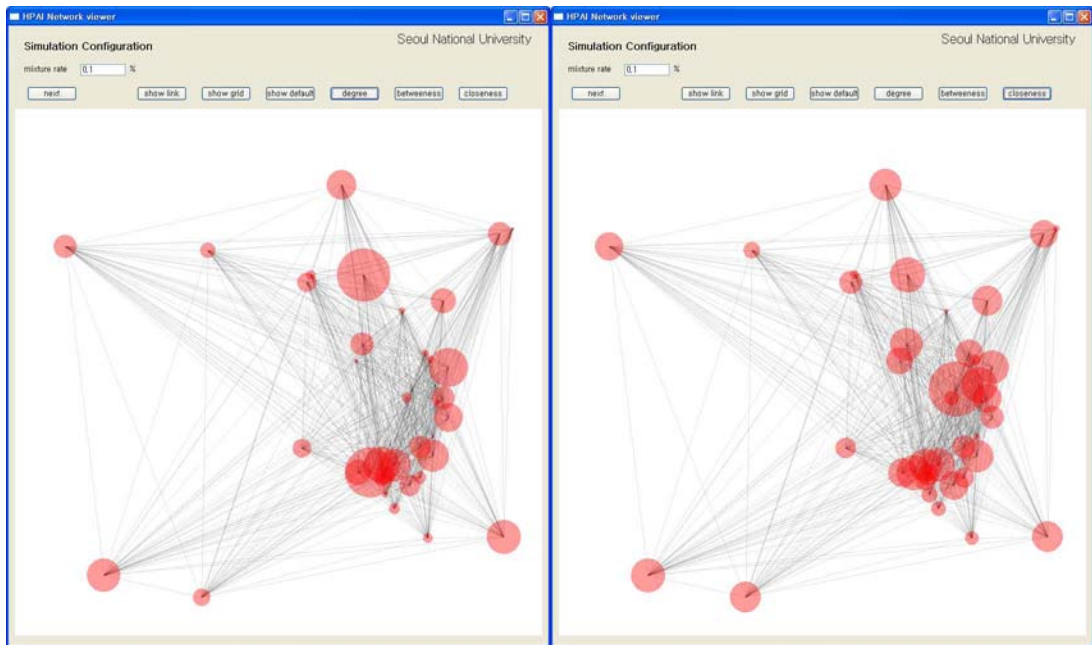


그림 259 통합 네트워크($\alpha = 0.1$)의 중심성 분석

가중치, α 를 0.2로, 초기와 비교해서 4배로 증가시킬 경우에는 확산 양상은 다음과 같다. 위상적 연계를 통한 확산 양상은 확연히 줄어들고 지리적으로 근접한 절점들에 대한 확산이 보다 가속화되는 것으로 확인된다. 실제 확산 양상과 비교하면 적절한 공기중 영향도에 대한 가중치를 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

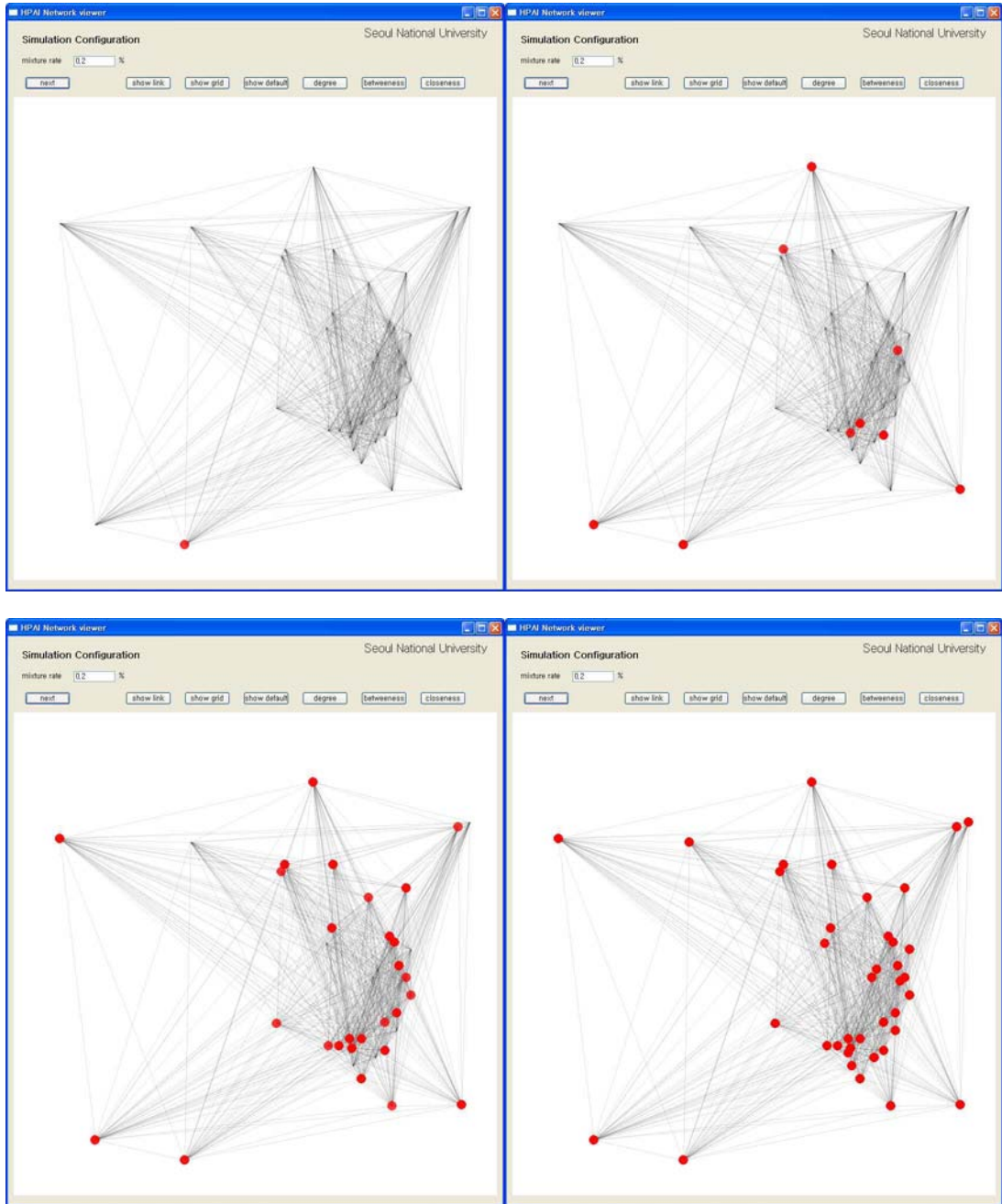


그림 260 통합 네트워크($\alpha = 0.2$)의 확산 양상

기본 자료를 바탕으로 한 중심성 분석 결과는 앞선 두 결과와 유사하면서도 몇몇 지점들이 타지점의 중심성 분석 결과보다 상대적으로 큰 결과값을 보이는 경우가 나타났다. 실제 발병 사례와 비교하며 가중치 값을 적절하게 조절할 경우 각 절점에 대한 중심성의 정도를 확인할 수 있을 것이고 다음 단계로 중심성이 높은 주요 절점에 대한 집중 방역 정도를 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

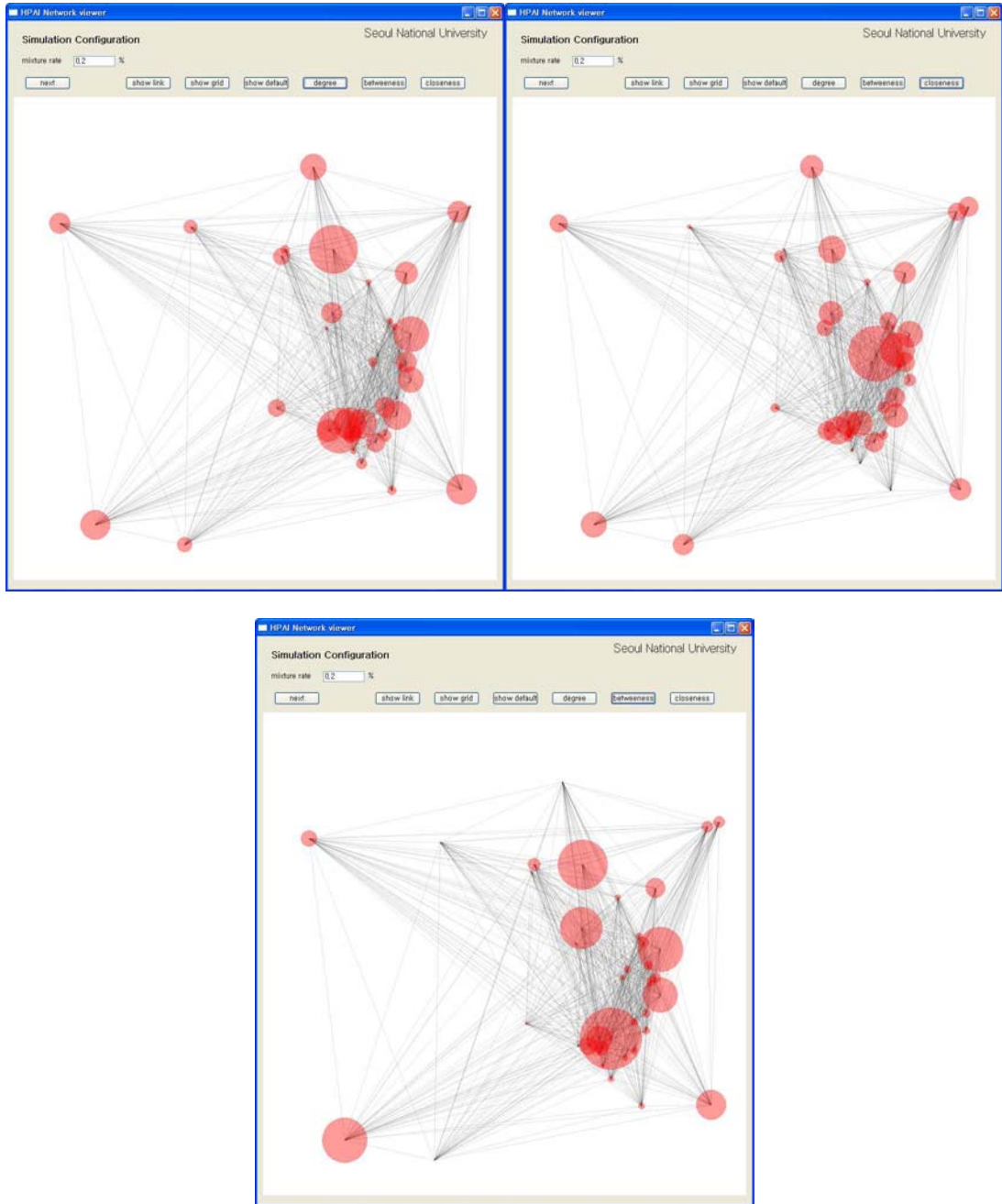


그림 261 통합 네트워크($\alpha = 0.2$)의 중심성 분석

④ 선 확산 네트워크 모델의 검증

○ 대응 분석을 이용한 허브 지점 분석

범주형으로 관측된 두 변수사이의 관계를 분석하는 방법으로 두 변수의 각 범주들을 공간(이차원 공간)상에 점으로 표현하여 범주들 사이의 관계를 분석하는 방법이 있다. 즉, 분할표 자료에 대한 일종의 통계적 차원 축소기법으로서 2차원 분할표의 행과 열을 저 차원 공간상에 점들로 나타내어 행과 열의 대응관계를 비롯한 여러 양상의 감지를 주목적으로 하는 탐색적 데이터 분석 방법이다. 다수의 대상들을 구체적인 특성상의 유사성을 근거로 하여 몇개의 집단으로 분류하기 위한 통계적 기법을 총칭하는 말이다.

군집분석에 있어서 대상들 사이의 유사성의 정도는 그들 사이의 거리로서 측정하며 거리가 짧을수록 유사한 대상으로 간주하여 하나의 군집으로 통합한다. 각 대상은 그들을 묘사하는 변수의 수에 해당하는 n -차원공간상의 독특한 위치를 점유하므로 수학적 공식에 의하여 대상들 사이의 거리를 계산할 수 있다. 물론 거리를 계산하기 위한 방법에는 여러 가지가 있으나 유사성의 정도를 두 대상 사이의 거리로 측정한다는 개념에는 차이가 없다.

또한 각 군집에 속하는 대상들의 각 변수값을 평균함으로써 다시 n -차원공간상에 평균적인 집단위치들을 설정하고, 집단들간에 각 변수상에서 차이의 유의성을 검토(단변량 분산분석)할 수 있다.

판별분석은 대상들의 집단소속을 판별하여 유사한 집단으로 분류한다는 점에서는 군집분석과 유사하지만, 판별분석은 사전에 집단이 정의되어 있는 상태에서 각 집단이 갖고 있는 특성을 독립변수들로 설명하고(함수적 방법) 판별력이 강한 변수를 확인하는 것을 주목적으로 하며 부수적으로 이미 정의되어 있는 집단의 구성원과 유사한 특성을 갖는 대상을 그 집단으로 분류하기 위한 방법이다. 이에 반하여 군집분석은 사전에 집단이 명확하게 정의되어 있지 않은 상태에서 대상들이 갖고 있는 특성들 사이의 유사성을 근거로 하여 군집으로 분류하기 위한 방법이다. 따라서 사전에 집단들이 정의되어 있지 않은 경우라면 군집분석을 사용해야 한다.

도식적 표현을 눈으로 검토하는 일은 대상분류에 대한 개략적인 통찰을 제공해 줄 수는 있으나, 정확하지 않을 뿐 아니라 대상들의 특성이 세개 이상의 변수로 측정될 경우에는 제한을 받게 된다. 따라서 조사자는 대상들간의 유사성을 객관적으로 측정해야 하는데, 군집분석에서 유사성을 측정하기 위하여는 대체로 대상간의 거리를 계산하고 거리가 짧을수록 유사한 대상으로 판단한다. 대응형태척도도 있다.

물론 대상간의 거리를 계산하기 위한 식도 다양하지만, 제곱 유클리디안 거리(squared Euclidian distance)가 널리 이용되고 있다. 대상들을 어떠한 방식으로 군집화할 것 인지에는 군집통합방법, 군집분리방법, 요인분석(Q-type) 등 세 가지의 선택이 있다. 우선 군집통합방법(linkage method)은 계층적 군집화라고도 하는데, 그것은 각 대상을 독립된 군집으로 간주하여 처음에는 가장 유사한 대상만을 한 군집으로 분리하고, 그 다음 일정한 유사성 거리보다 가까운 대상들을 덧붙여 나가되 유사성 거리를 순차적으로 넓혀나감으로써 결국에는 모든 대상들이 한 군집에 이를 수 있는 방식이다.

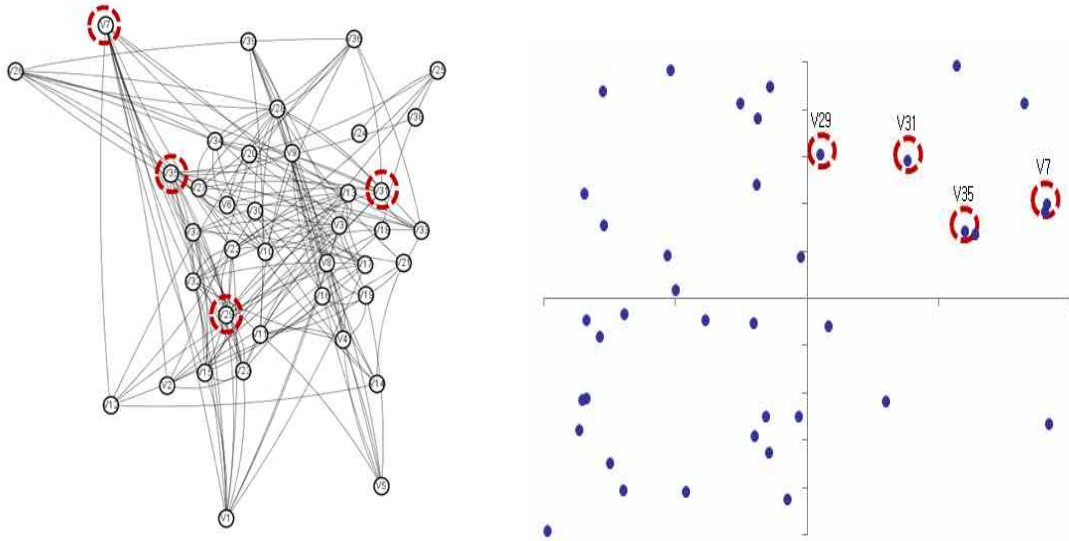


그림 262 동물약품 네트워크와 중심성 지수와 군집분석

동물약품 네트워크의 주요 지점은 지리적인 위치와 관계없이 같은 동물약품 회사를 이용하는 농장간의 연계로 결정이 되므로 2개 이상의 동물약품을 이용하여 다른 농장들과 연결성이 큰 농장들이 주로 Closeness, Betweenness 지수에서 높은 값을 기록했으며 동물약품을 통해 전달되는 HPAI 질병 바이러스의 전파 가능성이 큰 농장으로 추론할 수 있다. 이 농가들은 아래 그림의 1사분면에 군집화되면서 같은 계열의 농가를 허브로 대응시킬 수 있다.

같은 방법으로 축산 관련 업체를 선정하면 다음과 같다.

	v1	v2
m1	0.256309	0.350324
m2	-0.37978	-0.41288
m3	-0.18578	-0.12081
m4	-0.26952	-0.04536
m5	0.180042	-0.04485
m6	0.394866	0.116633
m7	-0.47945	0.172132
m8	-0.26314	-0.00097
m9	-0.3303	-0.12884
m10	0.102496	0.15298
m11	-0.01431	-0.18126
m12	-0.13821	-0.01897
m13	-0.4522	-0.33523
m14	-0.10236	-0.43410
m15	0.027524	0.322389
m16	-0.2531	-0.25923

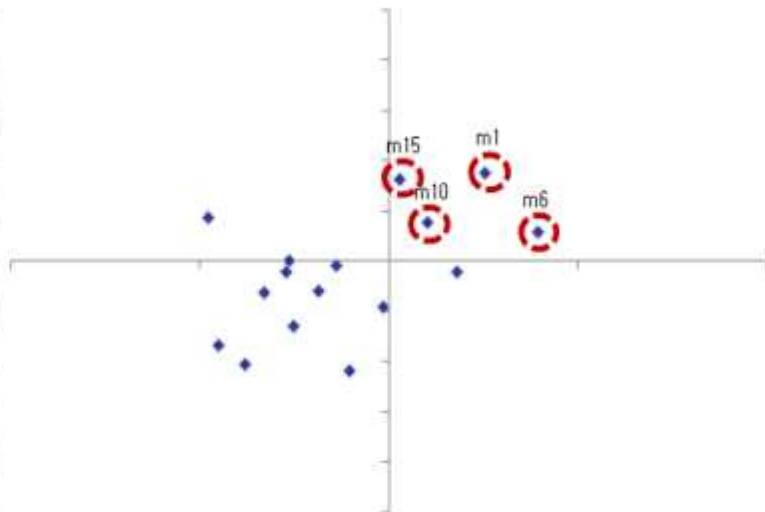


그림 263 군집분석을 통한 업체 허브 지점 분석

○ 실제 발병 사례와 비교

네트워크 구조에서 전체 시스템의 성격을 결정하는 기본적인 요소는 연결선이다. 정점의 경우 연결선이 가지는 가중치에 영향을 줄 수는 있겠지만 시스템의 전체 추이를 결정하는 것은 한계가 있다. 중심성 지수는 각 정점이 가지는 연결선의 수와 분포에 따른 결과값이므로 통합 HPAI 질병 확산 네트워크 모델의 검증은 위해서는 연결선, 위험 요인의 신뢰성을 확보하는 작업이 필요하다. 그림 28의 붉은색 정점은 감염 농장들을 나타낸 것으로 V1 농장부터 V8 농장까지 순차적으로 발생하였다.

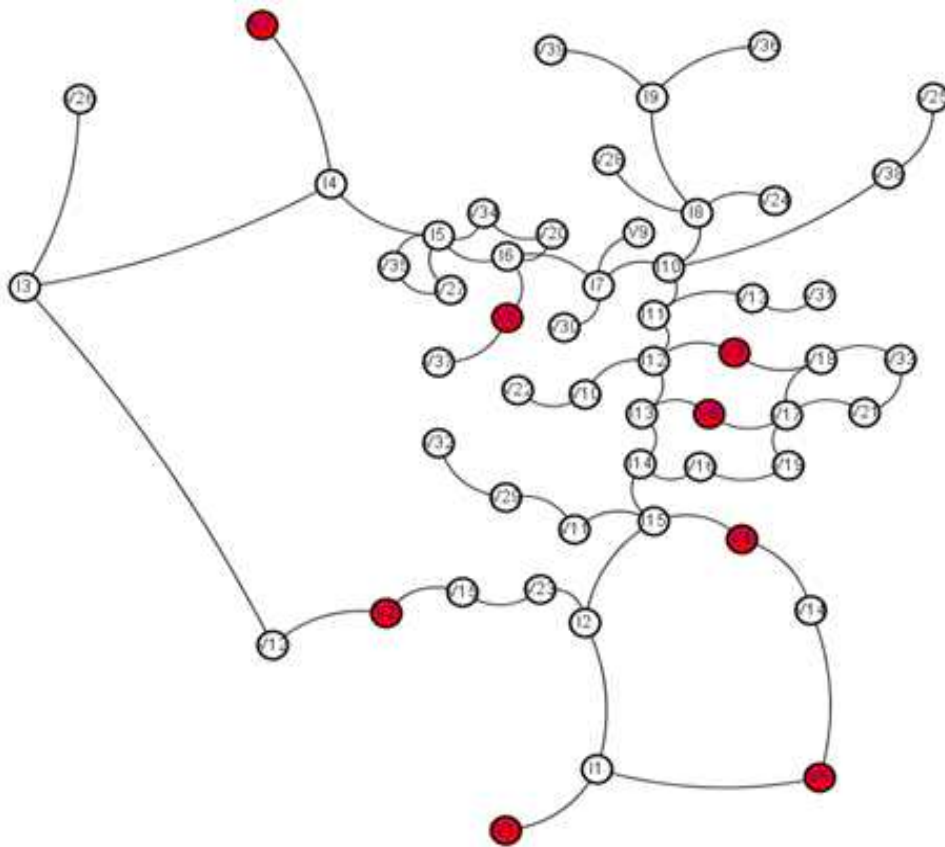


그림 264 전라북도 김제 지역 HPAI 질병 발생 농장

V1 지점에서 최초 발생하고 2주의 기간 동안 V8 지점까지 HPAI 질병이 확산되었다. 그림 20과 같이 현재 교통로를 이용해 구성된 네트워크 구조에서는 최초 발생 농장과 지리적으로 근접한 중심 농장들이 오히려 HPAI 질병 감염에서 안전한 상태를 보이는 등 발생 농장들만 가지는 규칙성을 확인하기는 힘들다. HPAI 질병 확산 통합 비가중 네트워크를 이용해서 발생 농장간의 연결성을 확인하고 최초 발생 지점에서 확산 경로를 추적해보고자 한다.

HPAI 질병 확산 통합 네트워크에서 대상 농장 관계자의 타농장 방문 여부를 추가해서 교통망, 가축사료, 동물약품 등 총 4가지 요인으로 구성한다. 08년 HPAI 발병 사례의 경우 최초 발생 농장에 대한 주변 농장 관계자들의 항의 방문이 있었기 때문에 해당 요인의 추가는 HPAI 질병 추적의 확률적 가능성을 한층 더 높일 수 있다. 최초 발생 농장에서 연결선을 통해 직접

적으로 이어진 계층과 간접적으로 이어진 계층으로 구분한다. 공기를 통한 전염 가능성을 배제하고 직접적인 접촉에 의한 HPAI 질병 확산만 발생한다는 가정 하에 직접적인 1차적 접촉과 타농장을 통한 간접적인 2차적 접촉의 감염 가능성과 시간은 구분될 수 있다. V1 지점의 HPAI 발생을 기준으로 HPAI 질병 확산 통합 네트워크의 연결선을 이용해서 직·간접적 연결을 도식화하면 그림 265와 같다.

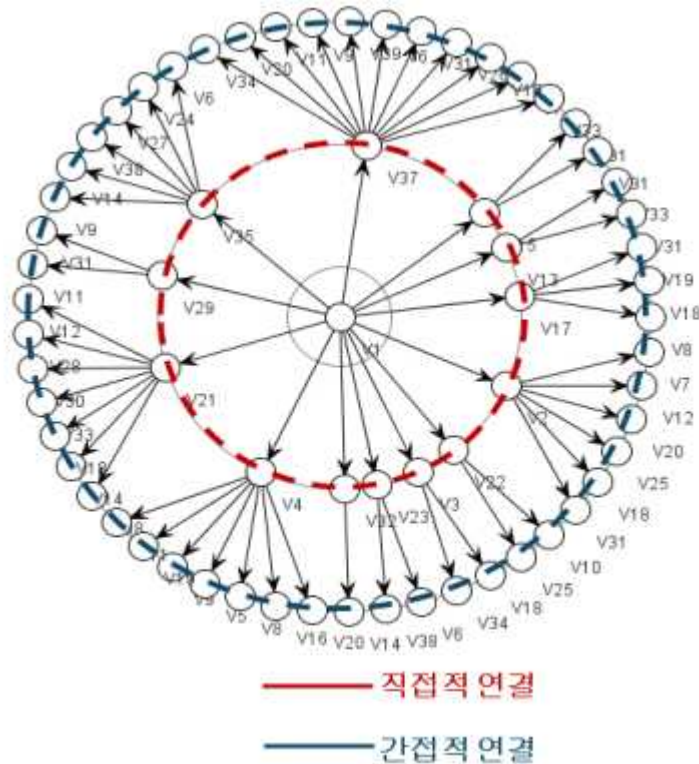
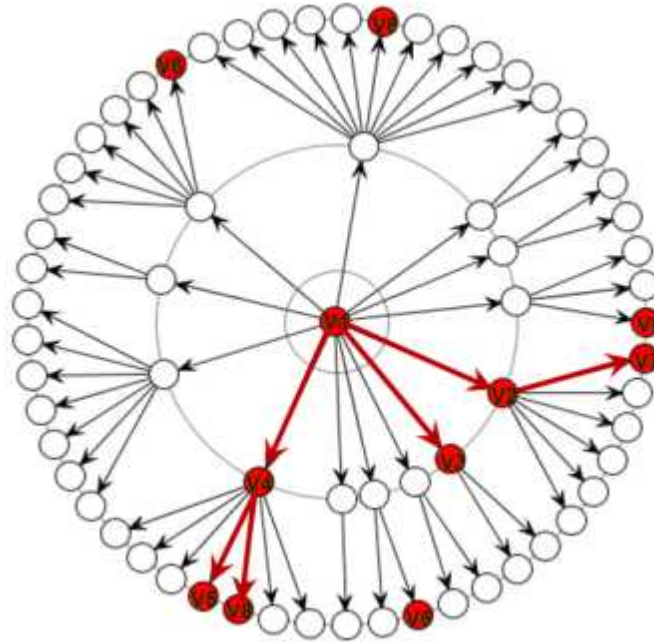


그림 265 최초 발생 지점을 기준으로 연결의 계층 구분

각 계층에 있는 농장들은 중복될 수도 있지만 농장별로 가지는 위상이 다르기 때문에 감염이 될 경우 경로의 차이는 존재한다. 각 농장의 감염 경로를 추적하면 그림 266과 같다. 최초 V1 농장부터 V6 농장을 제외한 V8 농장까지 감염 경로를 확인할 수 있다.

실제 V1 농장에서 시작하여 시간에 따라 V8 농장까지 확산된 것이 HPAI 질병 확산 통합 네트워크 분석을 통해서도 직접적 접촉과 간접적 접촉에 의한 감염 시간차는 존재한다는 것을 확인할 수 있다. V2 농장, V3 농장, V4 농장은 V1 농장과의 직접적 접촉을 하는 농장으로 V5 농장, V7 농장, V8 농장 등 V1 농장의 2차적 접촉에 의해서 HPAI 질병이 발생한 농장들과 비교해서 감염 시기가 빠른 양상을 확인할 수 있었다. V6 농장의 경우 V1과 직·간접적으로 이어지는 연결선이 없었다. 현재 HPAI 질병 확산 통합 네트워크를 통해 구성된 요인 외에 다른 요인에 의한 전파일 가능성이 큰 것으로 판단된다. 기초 자료의 질적 양적 발전이 이루어진다면 보다 신뢰성 높은 HPAI 질병 확산 통합 네트워크 구성을 통해 경로 추적이 가능할 것으로 사료된다.

전라북도 김제시 39개 농장의 8개의 발생 농장 중 7개 발생 농장의 경로 추적을 확인했다. 확산 가능 요인에 대한 추가적인 자료 수집이 가능하면 보다 정확도가 높은 HPAI 질병 확산 통합 네트워크 구성이 가능할 것이며 중심성 지수를 통한 확산 중요 지점, 우선 모니터링 지점 선정 등을 통한 HPAI 질병 발병 전 관리를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.



확산 경로 추적
V1->V2->V7
V1->V3
V1->V4->V5
V1->V4->V8

그림 266 감염 농장의 확산 경로

정적 네트워크에서 확산 차단을 위한 방법으로 주요 절점을 차단하거나 절점을 제거하는 방법으로 네트워크 내 고립도를 향상, 확산을 제어, 차단할 수 있다.

각각의 중심성 지수가 높은 절점을 측정하는 것으로 해당 농가의 방역 관리를 철저히 시행하거나 관련 농가와의 연결성을 없애는 방법, 즉 타 관리 업체를 이용하는 방식으로 중심성을 낮출 수 있으며 전체 네트워크 고립도를 증가시킬 수 있다. 중심성이 높은 농가는 감염이 되면 타농가로 확산하는 영향도가 크기 때문에 주요 농가를 관리 대상으로 지정하여 예방 대책을 집중한다면 임의의 농가에서 발병해서 확산될 경우 감염 농가의 수를 줄일 수 있다.

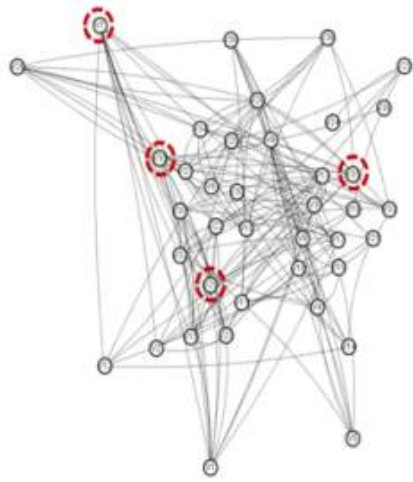


그림 267 A 네트워크와 중심성 지수

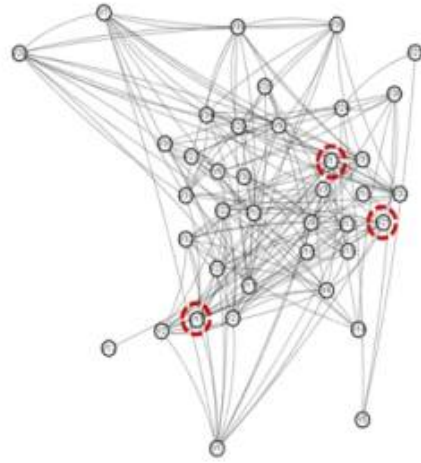


그림 268 B 네트워크와 중심성 산정(수정)

그림 269와 그림 270은 각각 동물약품 네트워크에서 중심성이 높은 주요 농가를 통제하지 않았을 경우와 통제했을 경우를 비교하였다.

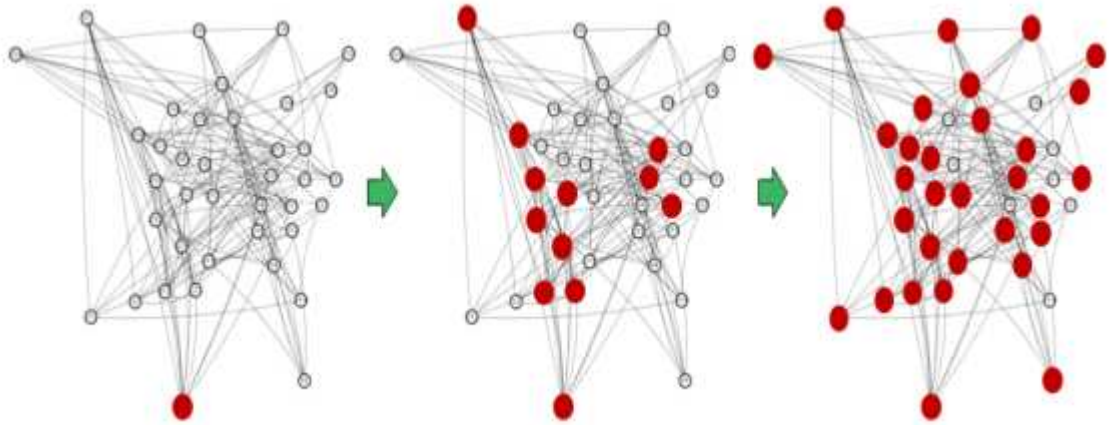


그림 269 절점 비제어시 확산

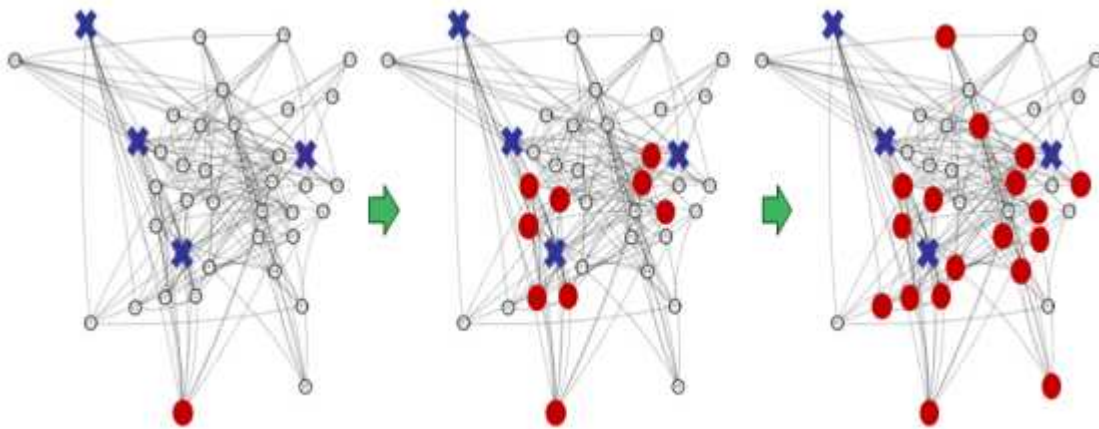


그림 270 절점 제어시 확산

동물약품 관계자 및 차량이 확산 요인이고 감염률을 1로 가정할 때 2차 확산이 시작된 3단계에는 절점 통제시의 감염 농가수가 절점 통제를 하지 않을 때의 감염 농가수에 비하여 확연히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그림 271은 단계가 지날수록 감염 농가의 차이는 커지는 경향을 도식화하였다. 따라서 최초 발생 농가 이외의 지역으로 확산될 경우 네트워크의 규모는 더욱 커질 것이며 확산 속도 제어를 위한 주요 농가 통제의 효과는 훨씬 클 것으로 기대된다. 그리고 병원균의 전이 정도는 경과 시간의 영향을 받으므로 가금관련업체의 방문 경로에 따라 농가별로 감염률이 차이가 날 수 있다. 역학조사를 통해 가금관련업체와 유통 자료가 방대해진다면 HPAI 확산 통제를 위해 업체의 방문 경로와 빈도 등을 관리할 수 있는 방안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

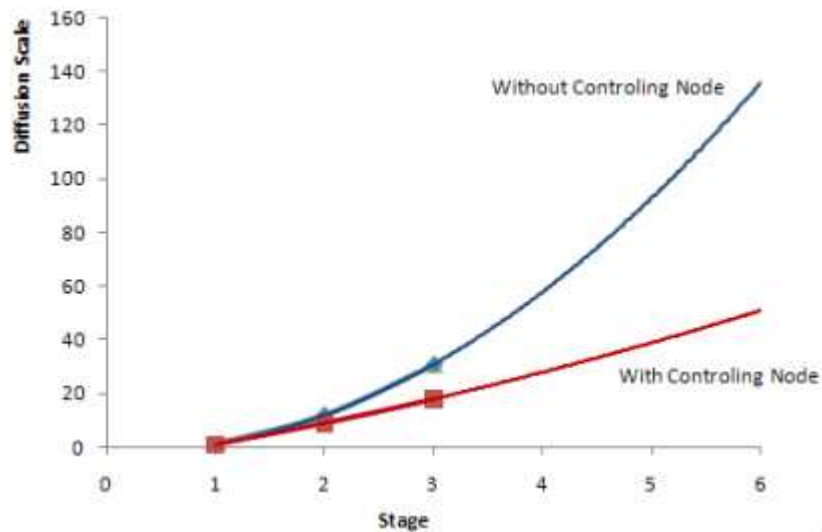


그림 271 Comparison of diffusion rate

다. 공간 확산 네트워크 모델

HPAI와 같이 공기 감염이 가능한 확산의 경우 선 확산 모델을 통한 모의에 한계가 있다. 절점에서 차량, 사람의 이동 경로와 관계없이 공기를 매개체로 이동되기 때문에 주변에 있는 농가에게 연쇄적으로 확산이 될 수 있다. 그리고 농가 주변에 서식하는 야생조수류의 활동 반경도 고려해야하기 때문에 공간 확산 모델이 보다 정확한 확산 모의가 가능하다. 일반적인 공간 확산 모델은 2차원 격자망에 개체를 정의하고 발생 지점부터 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 단계별 모의를 수행한다. 단계가 진행될수록 감염되는 공간이 확산되는 것을 확인할 수 있으며 이를 이용해 주요 연결선이나 절점을 폐쇄하는 방법과 감염 개체 주변의 일정 공간을 폐쇄하는 Ring Vaccination을 이용한 방역 대책을 시행한다.

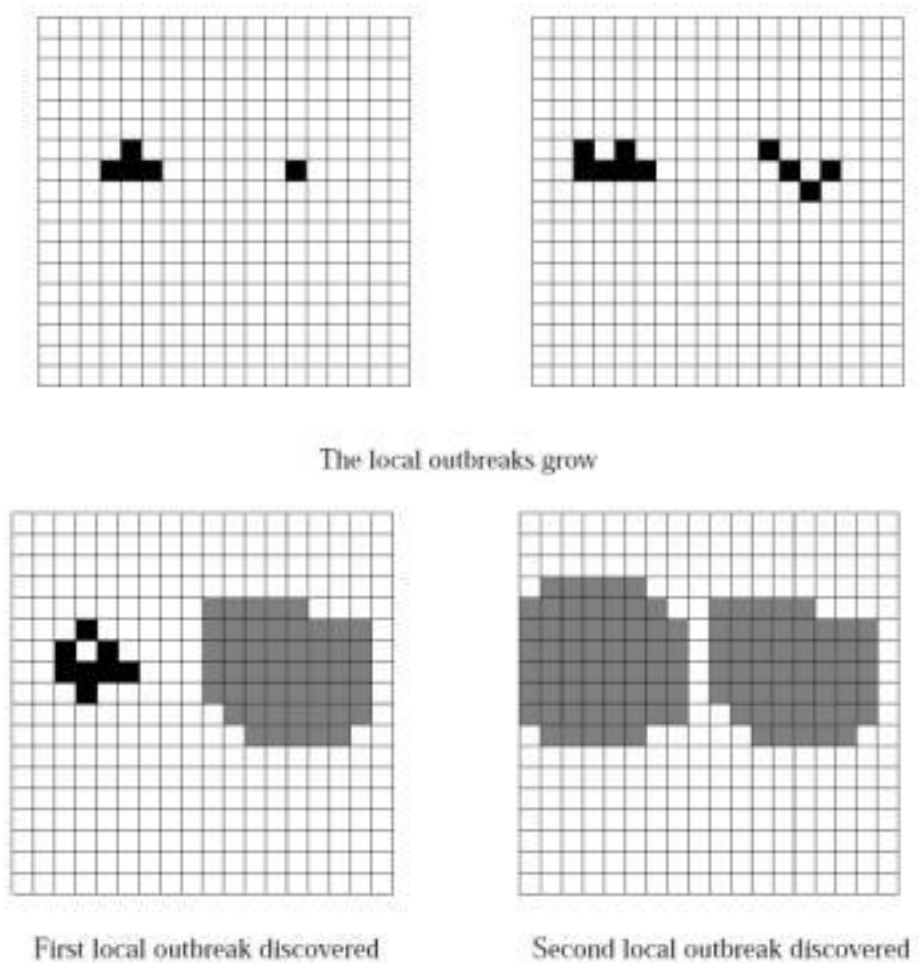


그림 272 Ring Vaccination

현재 진행되는 HPAI의 방역 대책의 특성상 농장에 감염 개체가 확인되면 농장 전체를 폐쇄하기 때문에 SIR 모델이 아닌 SIS 모델을 이용한다. 2차원 격자망에 농장의 위치를 지정하고 발생 농장으로부터 확산되어 가는 양상을 확인할 수 있다.

(1) 몬테카를로 시뮬레이션

몬테카를로 시뮬레이션은 시뮬레이션 테크닉의 하나로 확률적 분포를 반복 가능한 실험의 통계로부터 구하는 방법이다. 불확실성을 제거하기 위한 모형의 확률요소들에 대한 실험은 확률적 결과를 발생시켜 주는 도구를 이용하여 수행된다. 도구는 모형에서 가정한 확률 분포에 따라 무작위표본추출에 의해서 우연결과를 발생시켜 주는데 이용되기 때문에 몬테카를로 시뮬레이션은 모의적 표본 추출법(simulated sampling technique)이라고도 한다. 우연결과 또는 확률적 결과를 발생시켜 주는데 이용되는 도구로는 주사위나 룰렛바퀴(roulette wheel), 복권추첨에 이용되는 숫자공 등이 있으며, 가장 일반적으로 쓰이는 것은 난수(random number)이며 컴퓨터에 의해 발생하는 의사난수(pseudo-random number) 등이 있다.

본 연구에서 HPAI의 확산 경로를 지정하기 위해 우선 난수 발생기를 이용하여 확률변수의 확률분포를 얻고 누적확률분포를 설정한다. 설정된 확률변수의 값이나 값의 범위를 나타내기 위해서 적절한 난수의 집합, 구간을 할당하고 무작위 표본 추출을 이용해서 이동 방향을 설계하고 시행하고 통제한다. 불확실성이 크며 이론적 배경만으로 확인하기 어려운 수치들을 직접 구할 수 있으며 난수 발생 정도를 조절하여 확률적으로 높은 정확도를 가지는 값을 얻을 수 있다. 입력값의 확률분포와 실험의 수학적 모델링이 정확하지 않으면 몬테카를로 방법은 무의미하고 난수의 분포가 분석에 큰 영향을 미치므로 필요한 난수의 범위와 분포에 따른 올바른 난수 생성 함수를 구성하는데 각각의 다른 모듈을 이용하여 검증한 후 시스템에 적용했다.

(2) 공간 확산 모델 구성

몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 방향 확산을 모의했으며 발생 농장 지점에서 확산이 시작되었을 때 8방향으로 확산되어가는 양상을 그림 10에서 확인할 수 있다. 하지만 일반적인 공기 확산의 경우 지리적인 영향을 통해서만 선형적으로 확산이 된다. 농장간의 연계를 모델에 적용할 수 없다는 단점을 가진다. 그림 11에서는 선 확산 모델의 선요소를 추가해서 농가간 연계를 추가시켰다. 확산 방향이 주변 8방향과 함께 직접적인 연결선이 있는 타 농가로도 확산될 수 있도록 구성했다. 발생 지점과 지리적으로는 떨어져있으나 동일 업체를 이용하거나 농장 관계자의 왕래가 잦은 농가간의 연결선을 통해서 확산되는 부분을 추가로 검증할 수 있다. 그림 55의 확산 양상과는 달리 발생농장과 연계가 있는 타농가는 지리적인 위치와 관계없이 점진적으로 확산이 되는 양상을 확인할 수 있다. 농가의 지리적인 위치를 모델링하고 농장간 자료가 축적되면 확산의 방향을 가시적으로 확인할 수 있는 모델을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

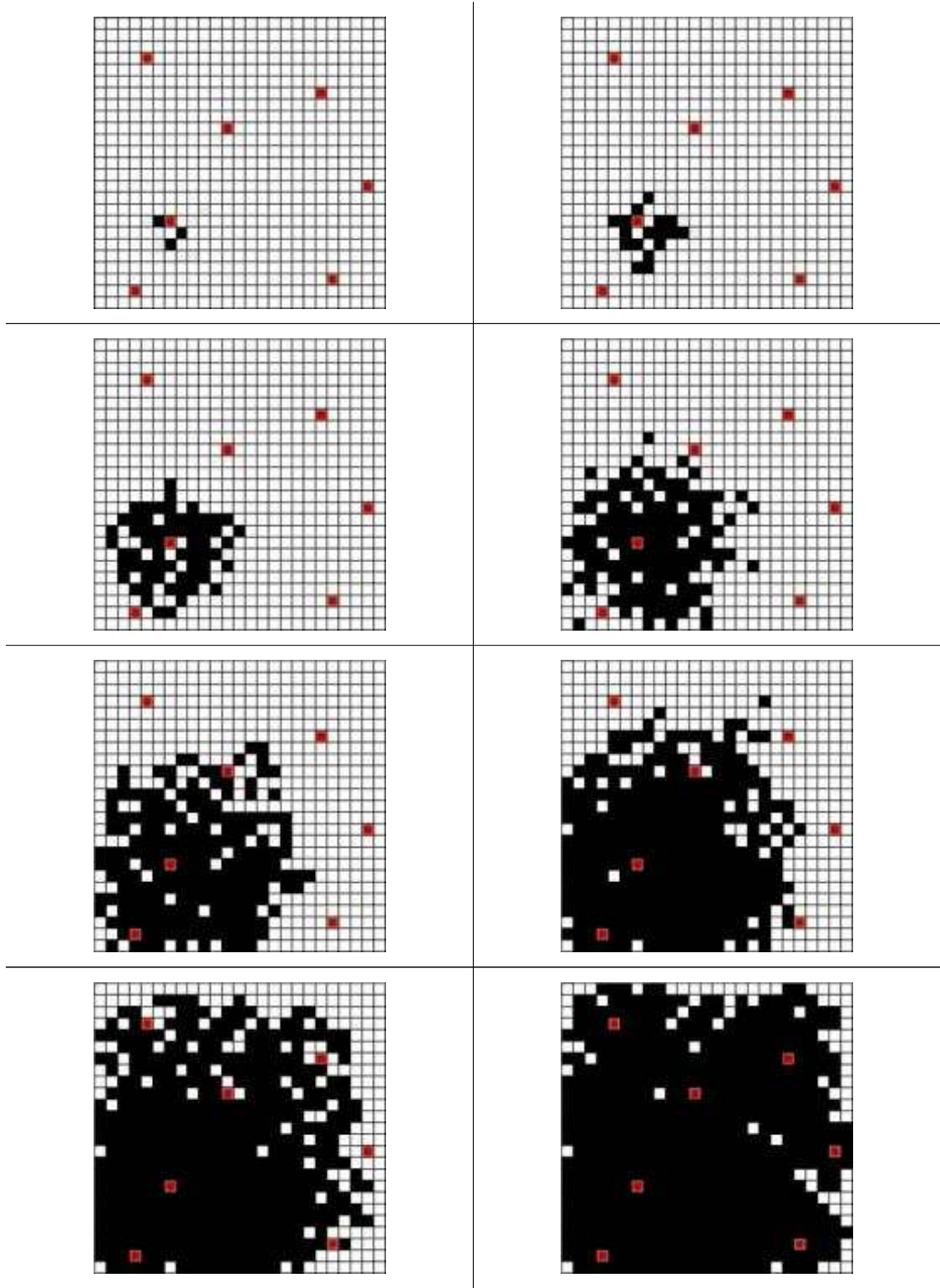


그림 273 공간 확산 모델 1

(3) 시스템 개발

확산 이론을 포함한 복잡계 이론의 여러 가지 형태를 적용하기 위해서는 일반적으로 시뮬레이션 프로그램을 이용한다. 시뮬레이션을 통해서 일종의 이론을 적용하여 다양한 현상을 확인할 수 있다. 이를 통해 표면적으로 볼 때 ‘설명’이 가능하지 않은 현상을 이론적 시각으로 이해하고 수반되는 여러 가지 함의를 찾을 수 있다.

복잡계 이론과 관련하여 여러 가지 형태의 시뮬레이션 프로그램이 있다. 이 중에서 이용자들이 비교적 쉽게 사용할 수 있는 대표적인 프로그램으로 스웜(Swarm), 리페스트(Repast), 넷로고(NetLogo) 등이 있다. 먼저 스웜은 미국 산타페 연구소에서 개발된 소프트웨어이다. 행위자 기반 모형을 적용할 때 사용되는 다양한 형태의 수학과 통계 라이브러리를 모은 것이다. C 언어를 기반으로 하고 있으며 스웜을 이용하여 사용자는 전체 프로그램을 하지만 각장 입출력, 공간 구조, 상호 작용 방식 같이 공통적으로 사용되는 부분을 이용할 수 있다. 즉 사용자는 복잡한 프로그램을 작성할 필요없이 이러한 공통부분을 쉽게 이용할 수 있다.

리페스트는 스웜과 유사한 방식의 프로그램이다. 미국 시카고 대학에서 개발된 공개 소프트웨어로 처음부터 자바로 개발되었고, Net, Python 등 다양한 버전이 존재한다. 특히 사회, 경제계 기반 모형에 강점을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.

넷로고는 다른 어떤 프로그램보다 사용이 쉽다. 다른 소프트웨어와 달리 넷로고는 어린이용 프로그래밍 언어인 로고(Logo)로 기반을 두고 있다. 넷로고는 1999년에 윌렌스키(Uni Wilensky)에 의해 개발되었고, 미국 노스웨스턴대학교의 the Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling에서 계속 개발되고 있다. 넷로고의 가장 큰 장점은 프로그램에 대한 전문적 지식 없이 일반 연구자도 쉽게 사용할 수 있다는 것이다. 온라인 설명서도 비교적 잘 갖추어져 있고 공개된 여러 모형을 잘 이용하면 쉽게 시뮬레이션을 할 수 있다. 다만 소스가 공개되어 있지 않아서 복잡한 개념의 모형을 만들 경우 확장성이 다소 떨어진다는 문제가 있다.

넷로고를 구체적으로 소개하면 다음과 같다. 위에서 언급한 프로그램을 기반으로 시뮬레이션이 실시되는데 수행과정을 그래프를 통해 시각적 표현이 가능하다. 최초에는 공간 내에 개별적으로 독립된 점의 쌍만이 존재한다. 그러나 일정한 수준에 이르러서는 모든 점이 연계되는 일종의 창발현상이 발생하게 된다. 좌우에 위치한 버튼은 각종 조건을 조정하거나 시뮬레이션이 반복적으로 실행할 때 사용된다.

본 연구에서는 자바 소스를 기반으로 구성하되 GUI 모듈을 위해 swt 라이브러리를 이용했으며 확산 동력은 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 구현하였다. 다양한 모듈을 패키지별로 구분하여 다양한 확산 모형에 적용할 수 있으며 여러 변수를 사용자가 직접 통제할 수 있도록 GUI 모듈을 구성했다.

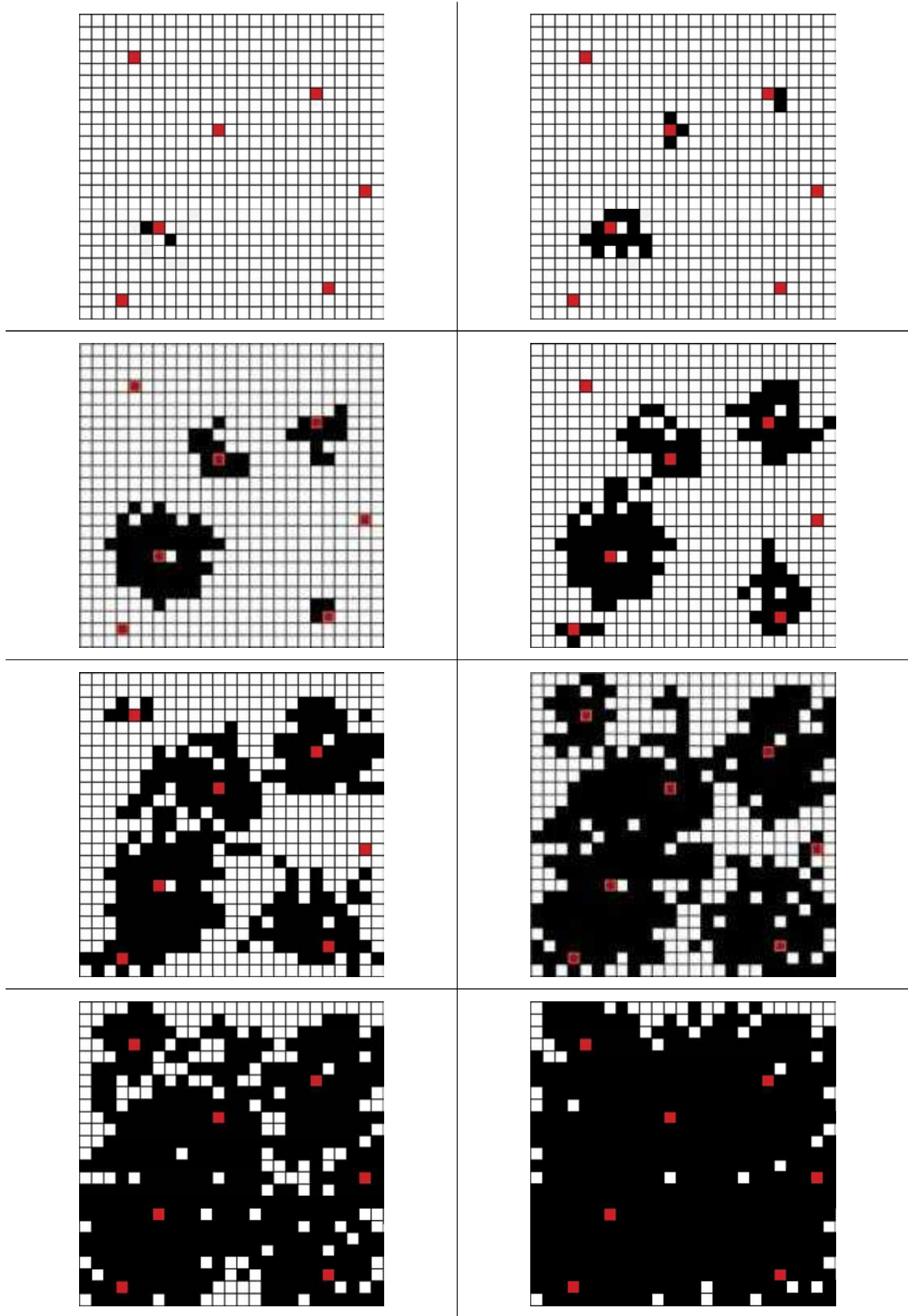


그림 274 공간 확산 모델 2

(가) 네트워크 시스템 사례 분석

네트워크에서 발생하는 모든 현상에 관하여 사례 분석을 하기는 쉽지 않다. 여기에서는 넷고를 이용해 분석한 확산 사례를 통해서 복잡계 시뮬레이션이 구현되는 방식을 확인해 볼 것이다. 우선 정보의 확산과 관련하여 확산 방식과 요인을 포함하는 이론적 틀을 확인해보고자 한다.

일반적으로 인터넷을 기반으로 하는 미디어 네트워크에서 정보의 확산이 신속하게 진행되는 이유는 정보의 채택이 지식-선택-결정-실행의 단계로 구성되는 것이 아니라 단지 인지-지식으로만 과정이 이루어지면 되기 때문이다. 즉, 새로운 정보의 확산에 있어 대인 커뮤니케이션 채널보다는 미디어 네트워크를 중심으로 하는 경로가 상대적으로 확산의 속도와 범위가 넓다고 볼 수 있다. 그리고 이러한 차이가 정보의 확산의 유형에 영향을 끼친다고 간주할 수 있다.

하지만 같은 정보라도 스타의 자살과 같은 뉴스는 확산의 속도와 범위가 매우 빠르고 크다. 반면에 중소기업의 공시정보에 관해서는 미디어 네트워크에서 정보가 확산되기는 하지만 정말 관심이 있는 소수의 사람들에게만 퍼져나갈 뿐 전사회적으로의 파급력은 그리 크지 못하다.

인터넷을 중심으로 하는 미디어 네트워크에서, 사건 및 사고에 대한 뉴스 등의 정보(information) 그 자체 혹은 정보원(information source)을 노드(node)로 정의하고 수많은 노드가 네트워크에서 존재하는 가운데, 이 노드와 링크하고자 하는 또 다른 정보원과 정보의 수용자의 노드가 존재한다고 하면 우선적으로 고려할 수 있는 점은 네트워크에 먼저 들어온 노드들이 나중에 온 노드들에 비해 링크를 획득할 시간이 많다는 것이다. 네트워크 내의 노드의 개수는 고정적이지 않고 시간의 흐름에 따라 성장(growth)한다고 볼 수 있다(Barabasi, 2002).

또한 네트워크에서 어떤 노드(정보 또는 정보원)에 링크하고자 할 때, 일반적으로 노드(정보의 수용자)들은 잘 알려져 있는 노드에 우선적으로 링크를 하고자 할 것이며, 더 많은 링크를 끌어들이수록 네트워크 내에서 그들을 찾기는 더욱 쉬워지며, 또한 더 많이 알려질 것이다. 즉 네트워크에서 어디를 링크할 것인가를 결정함에 있어서 선호적 연결(preferential attachment)이라는 방식을 따른다고 할 수 있다(Barabasi and Albert, 1999; Barabasi, 2002). 네트워크 내에서 돋보이는 노드일수록 다른 노드에 비해서 연결을 통한 확장 능력이 높아진다.

하지만 네트워크에서 수많은 노드(정보 혹은 정보원)들이 자신들과의 링크를 위해 경쟁을 벌이는 상황을 가정한다면, 선호적 연결과 동시에 적합성(fitness)이라는 조건 또한 고려되어야 한다(Barabasi and Albert, 1999; Barabasi, 2002). 즉, 노드의 매력은 단지 노드가 가지고 있는 연결선 수에 의해서만 결정되는 것이 아니라, 노드 자체의 능력에 대한 양적 척도에 의해서도 결정될 수 있다. 이러한 선호적 연결과 적합성에 대한 조건을 하나의 변수로 고려하고, 앞에서 언급하였던 네트워크의 성장이라는 조건을 또 다른 변수로 간주하여 네트워크에서 정보 확산의 양상을 유형화할 수 있다. 다만 미디어 네트워크에서 노드가 갖고 있는 적합성을 유지할 수 있는 기간(duration)의 변동성(fluctuation)이 일반적으로 복잡계 논의에서 네트워크 이론가들에 의해 다루어졌던 기업 간, 과학기술 공동연구 등의 연결망 내에서의 노드의 적합성에 비해 상

대적으로 크다. 이는 일반적으로 노드의 적합성의 조건이 오랫동안 유지되며, 쉽게 뺏었던 연결선을 해체하기 위한 기간이 상대적으로 긴 일반 연결망과는 달리, 미디어 네트워크 내에서는 조건만 부합하면 단지 상대 노드의 인지-지식으로만 과정이 이루어지면 링크가 성립되며, 조건의 공식이 깨지는 순간 기존에 연결 관계를 맺고 있던 노드들이 쉽게 이탈할 수 있는 특수성에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 즉 미디어 네트워크 내에서는 노드의 적합성의 조건에 의해 쉽고 정보가 빠르게 확산될 수도 있으며 반대로 빠르게 감소할 수도 있다.

이러한 개념은 기존에 네트워크 연구에서 중요한 개념으로 다루어져 왔던 밀도(density)와 민감도(sensitivity)와 관련이 높다. 노드의 질적인 측면이 밀도라면, 노드의 양적인 측면은 민감도라고 볼 수 있다. 같은 강도를 지닌 사건이라 할지라도 누가 관련되었는가에 따라 그 결과가 달라진다는 것이다. 아울러 이러한 결과는 네트워크의 특성상 단순한 밀도와 민감도를 합한(additive) 관계에 기반한 것이 아니라 밀도와 민감도의 곱한(multiplicative) 관계에 기반한다는 것이다.

$$y = x_1 \times x_2 \quad \text{-----} \quad (24)$$

여기서 y 는 네트워크에서 발생하는 행동의 빈도를 의미하고, x_1 은 밀도를, x_2 는 민감도를 의미한다. 물론 네트워크에서 발생하는 현상은 한 시점에 발생하는 행위는 아니다. 필연적으로 시간에 따른 변화를 포함하고 있다. 따라서 단계별 변화에 따른 네트워크 현상의 변화를 시물레이션을 통해 확인할 수 있다.

특히 이러한 단계의 흐름과 앞서 언급한 변수의 특징을 고려하여 전체 시스템 내의 노드와 링크의 반복에 초점을 맞춘다. 특정 현상의 시간적 변화가 급하게 일어나는가 아니면 천천히 일어나는가와 특정 현상의 시간적 변화가 생성되고 소멸되며 다시 생성되는 주기성 발생을 통해 시스템 내의 반복 현상을 확인한다. 시각적 그래프를 통해 확인할 수 있는 반복 현상은 시간적 흐름을 확인하는 것이라면 시물레이션을 통한 확산 양상의 변화는 네트워크 유형의 변화를 공간적 시각에서 확인하는 것이다. 일반적으로 확산 유형에 대한 분석은 정보가 어떤 조건에서 빨리 퍼지는가에 초점을 맞춘다.

일반적인 연구에서 여러 가지 형태의 네트워크 특성을 복잡계에서 구현하고자 다음과 같이 두 가지 방법으로 구분된다. 첫 번째 방법은 네트워크에서 발생한 현상에 관한 실제 자료와 이론적 모형에 근거한 시물레이션에서 산출된 자료를 비교하는 것이다. 이러한 비교를 통해서 모델 구성시 확인할 수 없었던 현상의 근거를 관련된 변수를 통해 찾아낼 수 있다. 그리고 변수를 조작할 때 그 결과는 어떠한 방식으로 달라지는지 알 수 있다. 구체적으로는 시물레이션 프로그램의 구성에 앞서 자료에 최대한 근접한 자료를 산출하는 이론적 모형을 구성한다. 그리고 이론적 모형에 포함된 변수를 조작하여 다양한 경우를 구성하고 결과를 비교한다. 이를 통하여 네트워크에서 발생한 현상이 어떠한 조건에 영향을 받고 변하는지를 탐색한다.

두 번째 방법은 실제 자료로 검증할 수 없지만 네트워크에서 발생 가능성이 높은 상황을 산

정하고 이를 모형화하여 시뮬레이션을 실시하는 것이다. 예를 들면, 유언비어나 정보의 확산 같은 현상을 연구할 수 있다. 이러한 전략 역시 확립된 이론적 배경이나 틀은 없지만 네트워크에서 벌어질 수 있는 각종 현상을 이해하는데 함의를 가질 수 있다.

'늑대-양 포식(Wolf Sheep Predation)' 모형에 의하면, 양(sheep)은 끊임없이 개체 수를 증식시키고자 하지만 두 조건 즉 목초(grass)와 늑대(wolf)의 존재에 의해 제약을 받게 된다. 목초가 재생하기까지 걸리는 시간(grass-regrowth-time)이 길수록, 양의 증식 능력은 감소하게 될 것이다. 또한 개체 수가 초기부터 높거나(initial-number-wolves), 증식 능력이 높거나(wolf-reproduce)하는 등의 조건이 주어진 상태에서 늑대가 양과 함께 공존하는 상황에서도 양의 증식 능력은 영향을 받게 될 것이다.

여기에서는 이러한 조건이 네트워크에서 일어날 수 있는 현상과 유사하다. 즉 양의 개체 수의 증가가 우리가 주목하는 요인의 확산임을 가정할 수 있다. 그리고 목초의 존재가 양이 자체적으로 살아가면서 번식률을 유지할 수 있는 내재적 능력의 조건으로 볼 수 있다. 마지막으로 늑대의 존재가 요인을 확산시키고자 하는 경쟁적 상황에서 다른 노드 혹은 제어 세력으로 간주할 수 있다.

```

to setup
clear-all
ask patches [ set pcolor green ]
if grass? [
  ask patches [
    set countdown random grass-regrowth-time
    set pcolor one-of [green brown]
  ]
]
set-default-shape sheep "sheep"
create-sheep initial-number-sheep
[
  set color white
  set size 1.5
  set label-color blue - 2
  set energy random (2 * sheep-gain-from-food)
  setxy random-xcor random-ycor
]
set-default-shape wolves "wolf"
create-wolves initial-number-wolves
[
  set color black
  set size 1.5
  set energy random (2 * wolf-gain-from-food)
  setxy random-xcor random-ycor
]
display-labels
update-plot
end

```

그림 275 반복 시뮬레이션 프로세스

그림 275는 늑대-양 포식 모형의 시뮬레이션 프로그램 중 'set-up' 프로시저의 부분을 제시하고 있다. 우선 'if grass?'이하 부분을 통해 시뮬레이션 상에서 목초의 존재에 대해 유무를

설정할 수 있으며, 목초가 존재하게 되면 양은 목초에 의해 시뮬레이션 공간에서 이동할 수 있는 에너지를 얻게 된다. 'create-'이하 부분은 양과 늑대의 존재가 시뮬레이션 상에서 어떤 색과 형태를 통해 구현될 것이며, 이들이 이동함에 어느 정도의 에너지를 소모할 수 있게 설정할 수 있는가를 정하는 프로시저이다.

이러한 주프로그램 이외에 포함된 프로그램은 실제로 시뮬레이션에 들어갔을 때 양과 늑대의 개체 수 변화 및 목초의 변화 등이 어떤 식으로 진행되는 지를 보여주는 'go'부분의 프로시저이다. 기본적으로 양 또는 늑대의 이동(move), 에너지의 증진(energy), 번식(reproduce-), 죽음(death), 그리고 목초를 시뮬레이션 공간과 도표 상에서 어떻게 구현할 것인가(tick, update-plot, display-labels)에 대한 부분을 미리 하위 프로시저로 설정한 상태에서, 시뮬레이션을 실행함에 따라 발생하는 사전에 논리함수에 따라 처리하도록 하고 있다. 생략한 하위 프로시저에 대해 간략하게 설명을 하면, 기본적으로 양과 늑대 모두 시뮬레이션 공간 내에서 움직임과 에너지의 양은 무작위(random)인 가운데, 각 개체가 한 시점(tick)이 지날 때마다 에너지 1을 소진하게 되고, 0이 되는 순간 죽음을 맞게 되도록 설정하였다. 다만 양의 경우 목초, 늑대의 경우 양을 섭취함에 따라 소진되었던 에너지를 증진할 수 있다. 또한 설정한 번식률에 의해 두 개체 모두 번식을 할 수 있지만, 번식을 함에 따라 번식주체의 에너지는 원래 가지고 있던 개체의 에너지의 절반 수준으로 줄어들게 된다.

이러한 절차에 따라 우선 노드, 즉 정보가 자체적 능력이 없는 상태에서 다른 정보와의 경쟁적 상황을 가정하여 시뮬레이션 해보았다. 그림 276은 그 결과로서 우선 시뮬레이션 절차에 따라, 분석 현상과 경쟁 대상 현상 모두 개체 수의 초기치를 100으로 설정하였다. 분석 현상이 내재적 상황에서 얻을 수 있는 에너지의 양과 경쟁 대상 현상이 경쟁을 통해서 얻을 수 있는 에너지의 양 그리고 두 가지 현상의 확산률(번식률), 두 조건들 모두 동일한 수치를 부여했으며, 이를 시뮬레이션 과정 동안 고정시켰다. 목초는 off로 두어 시뮬레이션 공간에서 내재적 상황은 변하지 않게 설정하였다.

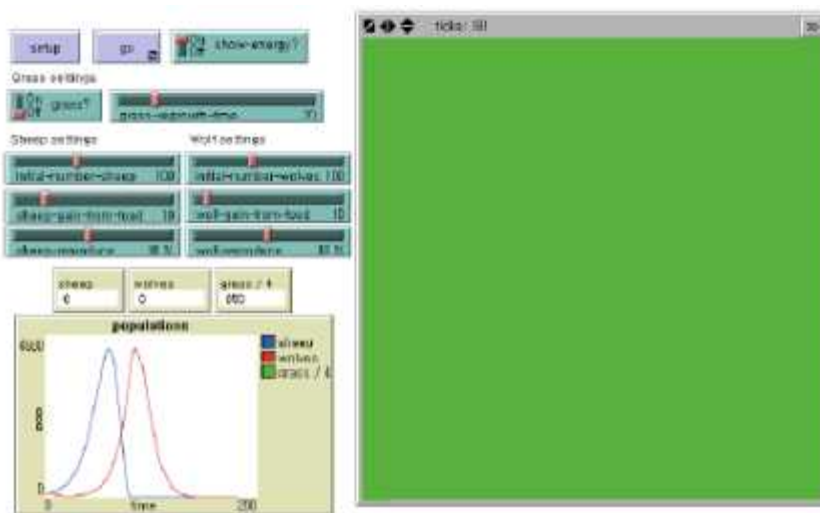


그림 276 반복 시뮬레이션 결과(경쟁 상황)

그림 277은 왼쪽 하단 부의 도표에서 관찰할 수 있듯이, 분석 현상 수는 주어진 일정한 번식률(sheep-reproduce)에 의해 4780의 개체 수까지 증가하지만 내재적 상황이 증가하지 않음에 따라, 분석 현상 스스로 계속적으로 생명을 유지할 수 있는 에너지를 조달할 수 없게 되었다. 또한 경쟁 현상의 확산으로 인해 상대적으로 경쟁 현상이 차지하는 한 개체의 점유 노드가 증가하게 된다. 이는 경쟁 현상의 증가를 불러일으켜, 분석 현상의 점유 노드를 하락시키게 되는 상황을 초래하게 된다.

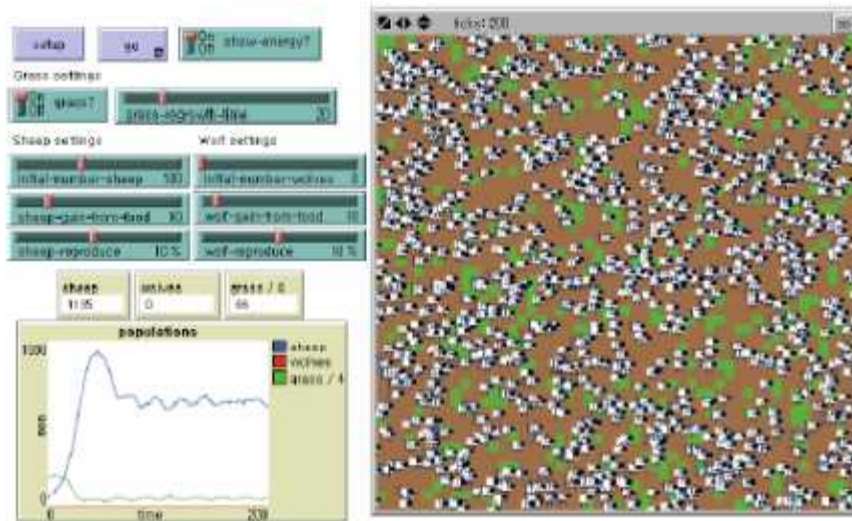


그림 277 침도 시뮬레이션 결과(비경쟁 상황)

반대의 상황도 고려하여 시뮬레이션을 실시하였다. 즉 경쟁 현상이 없는 상황에서 한 현상 또는 한 정보에 추가적인 능력이 계속적으로 공급되어 적합성이 계속적으로 유지될 때를 가정하였다. 구체적으로 이전 시뮬레이션과 동일하게 조건을 부여하였다. 그러나 경쟁 상대의 존재는 0으로 두었고, 대신 목초의 존재를 설정하였다.

그림 277과 같이 초기에 1930까지 양의 개체 수가 급격하게 상승하다가 다소 하락하는 양상을 보이지만, 이후에는 양의 개체 수가 1100에서 1300 수준으로 이동하면서 어느 정도 수렴하는 선에서 유지되는 모습을 파악할 수 있다.

다음 모형 이외에도 네트워크에서 단계의 반복을 나타내는 현상을 시뮬레이션으로 구현할 수 있다. 그림 278은 시민봉기모형에 기반한 ‘반복’의 기본모형으로 일반적인 반복의 형태를 보여준다. 반복을 나타내는 여러 가지 형태의 시뮬레이션 모형이 있으나 민감성과 밀도를 중심으로 네트워크에서 일어나는 현상을 엡스타인의 시민봉기모형을 통하여 넷로그에서 확인하고자 한다. 시민봉기모형의 경우, 그림 279의 여러 가지 기본값(default)들을 변화시킴으로써 다양한 결과를 도출할 수 있었다. 특히 정부의 정당성(government legitimacy)과 시위자에게 부여되는 형기(jail term)를 조절함으로써 시민봉기의 정도와 반복이 다르게 나타남을 발견할 수 있었다. 그러므로 이 모형을 활용하여 반복현상을 발견하기 위하여 앞에서 언급한 두 가지 요인-정부의 정당성, 형기-을 조정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 그림은 특정 조건에 따라 반복이

나타나는지를 살펴본 시뮬레이션 프로그램 중 기본(default) 메인 프로시저(main procedure) 부분을 제시하고 있다.

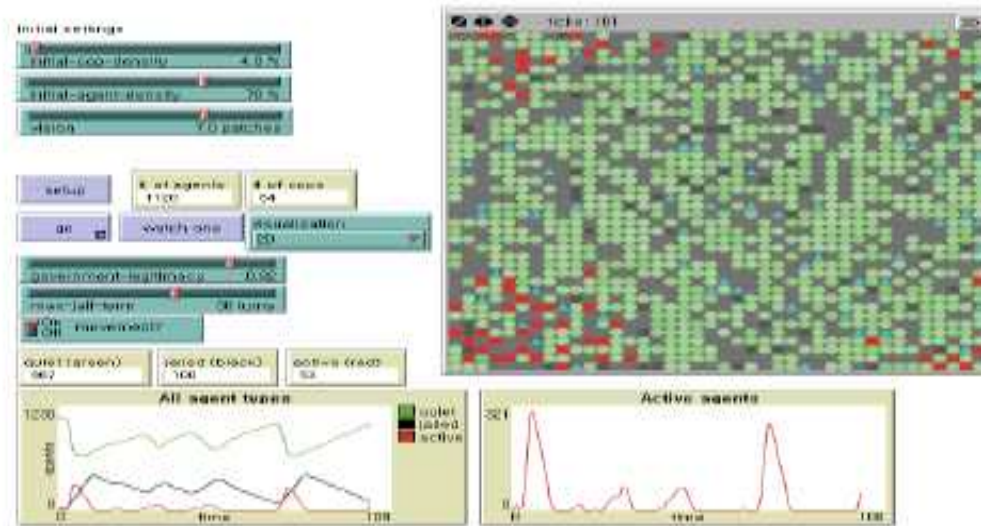


그림 278 시민봉기모형에 기반한 반복모형

```

to setup
  clear-all

  ;; set globals
  set k 2.3
  set threshold 0.1

  ask patches [
    ;; make background a slightly dark gray
    set pcolor gray - 1
    ;; cache patch neighborhoods
    set neighborhood patches in-radius vision
  ]

  ;; create cops
  create-cops round (initial-cop-density + .01 * count patches) [
    move-to one-of patches with [not any? turtles-here]
    display-cop
  ]

  ;; create agents
  create-agents round (initial-agent-density + .01 * count patches) [
    move-to one-of patches with [not any? turtles-here]
    set heading 0
    set risk-aversion random-float 1.0
    set perceived-hardship random-float 1.0
    set active? false
    set jail-term 0
    display-agent
  ]

  ;; plot initial state of system
  update-plots
end

```

그림 279 반복모형 시뮬레이션 프로세스

또한 그림 280에 제시된 여러 가지 형태의 시뮬레이션 결과는 시간의 흐름에 따라 쟁점의 민감성과 쟁점에 반응하는 사람들의 밀도에 따라 반복의 형태가 달라짐을 보여준다. 기본모형은 임계점이 약 300정도에서 시작되어 감소와 증가를 반복한다. 또한 단위시간이 100이 될 때까지 반복은 두 번의 큰 급침을 갖는 사이클을 보여주며 급침하는 사이클 사이에는 작은 두 번의 증가가 발생한다. 최초의 급침 이후 다음의 급침이 일어나기까지는 약 75단위 시간(tick)이 주기적으로 소요된다.

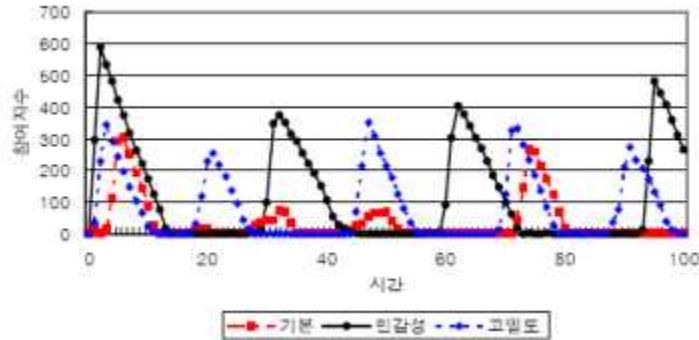


그림 280 반복모형 시뮬레이션 결과(민감도와 밀도)

그러나 쟁점의 민감성이 높은 모형의 경우, 그래프는 급침의 양상을 보이며 기본 모형에 비하여 동일 단위시간(100)에 반복이 4회로 증가하며 임계점은 다른 모형에 비하여 상대적으로 높다. 특히 약 600정도로 기본모형의 2배에 해당하며 이것은 쟁점의 민감성이 증가함에 따라 참여자의 숫자 역시 급속히 증가함을 보여준다.

다음으로 쟁점을 인지하는 사람이 증가하는 고밀도의 경우, 임계점은 민감성이 높은 모형보다 낮고 기본모형과 비슷하다. 그러나 이 모형에서 주목할 점은 다른 모형에 비하여 반복의 정도가 증가하는 것이다. 100단위시간동안 고밀도모형은 5회의 반복을 보여준다. 이것은 인지의 정도가 광범위함으로 인하여 창발의 가능성이 높은 것으로, 반복의 주기가 짧은 것을 의미한다.

이를 요약하면, 쟁점의 민감성이 증가할수록 엡스타인의 모형에서는 봉기에의 참여자가 증가하며 연구자의 모형에서는 특정쟁점에의 급격한 쏠림현상이 발생하는 것을 보여준다 하겠다. 또한 쟁점 인지의 광범위성을 보여주는 밀도가 증가할 경우, 엡스타인의 모형에서는 시민봉기의 빈번한 발생을 가져오며 연구자의 모형에서는 반복의 증가와 창발 주기의 감소를 가져온다.

이를 일반화하여 종합하면 아래와 같은 공통된 특징을 얻을 수 있다. 쟁점이 민감할 경우 급침의 형태를 보이지만 밀도의 증가는 네트워크 모델에서 반복의 증가를 가져온다. 단위시간(tick) 100을 기준으로 하여 급침의 형태를 살펴보면, 민감성 모형은 가장 급격한 증가와 감소를 보여준다. 민감성 모형의 최고점은 급침의 예시를 보여주는데 이는 기본모형의 최고점에 비해 약 2배 가량 높고, 고밀도 모형에 비하여는 약 1.67배 높은 것을 알 수 있다. 또한 급침과 반복의 형태를 살펴볼 경우, 고밀도에 있어서는 약 5회의 반복이 나타나는 반면 민감성 모형에

있어서는 4회의 반복을 발견할 수 있다.

또한 쟁점의 인지수준이 높고 인지정도가 높을수록 증폭된 관심은 오래 지속된다. 이를 통해 알 수 있는 더욱 흥미로운 사실은 쟁점의 반복 행태를 시간 간격에 대한 분석에서 발견할 수 있다. 쟁점의 창발이 한번 일어난 후 그 다음 반복까지의 시간을 측정하여 분포를 조사하면 일정한 규칙성을 가지고 있음을 알 수 있다.

그림 288을 보면 기본 모형은 7내지 8 단위시간 동안 쟁점이 지속되며 고밀도 모형에서는 약 10단위 시간 지속되는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 민감성 모형은 급점의 형태를 보여줄 뿐만 아니라 쟁점의 지속성에 있어서도 약 13단위 시간이 지속되는 등 ‘상대적으로’ 장기간 지속되는 것을 알 수 있다. 그리고 각각의 모형에는 증가와 감소에 있어 분기점이 되는 독특한 임계점이 존재한다. 쟁점의 반복과 인지정도에 있어 초기의 급격한 창발효과 발현 후 어느 순간 갑자기 임계점에 다다른 현상이 반복됨을 알 수 있다. 이러한 반복은 엡스타인의 모형에서 확인할 수 있다. 즉 치안공백 상태에서는 체포될 위험이 줄어들기 때문에 체제에 불만이 높았던 사람들을 중심으로 반체제 운동이 시작되고 주변에 반체제 시민들이 많아지면 체제순응적인 다른 시민들도 이에 영향을 받아 동참함으로써 붕기 발생을 위한 임계점에 다다름으로 순식간에 커다란 붕기로 발전됨과 관련하여 시사점을 보여준다.

많은 사람이 인지하고 있을 뿐 아니라 관심을 기울이는 정도가 높은 현상일수록 정도의 차이가 있으나 일반적으로 창발효과가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 창발은 또한 반복을 보여 주는데, 이러한 반복은 쟁점의 민감성과 쟁점의 밀도인지 정도에 따라 주기성과 파급력에 있어 차이를 보임을 발견할 수 있다.

(나) 확산 네트워크

확산 모형은 다양한 조건에 대해서 네트워크 내의 근원이 어떻게 확산되는지를 이용해서 시각적으로 구현할 수 있다. 네트워크가 어떠한 방식의 시스템 공간 형태를 가지는가에 따라서 확산 양상은 다르다. 예를 들면, 네트워크에서 한 지점이 일종의 세포처럼 구성되어 있는데, 이 세포가 격자처럼 정해진 틀에 위치할 수 있다. 이러한 시스템 공간은 네트워크가 토러스형 공간으로 가정될 수 있다. 이러한 네트워크는 둘레에 경계가 없다. 토러스 공간은 마치 도넛처럼 위쪽 둘레와 아래쪽 둘레가 붙어 있다. 따라서 중심이라는 개념이 존재하지 않는다. 그리고 근원의 확산 방향도 중요한 변수가 된다. 근원은 여러 방향으로 확산될 수 있다. 최고 수준의 개방형 네트워크에서는 모든 방향으로의 평균과 정보의 확산이 가능하다. 반면에 근원이 모든 방향이 아닌 확산 방향에 일정한 제한이 있을 수 있다. 물론 이러한 제한에는 다양한 경우가 있을 수 있다. 예를 들면, 여덟 방향이 아닌 다섯 혹은 네 방향으로 평균이 확산될 수 있다. 최초 근원의 발생 위치가 갖는 의미는 어떠한 종류의 시스템 공간을 상정하느냐에 따라 달라질 수 있다. 즉 격자형 시스템 공간에서는 정중앙이라는 위치가 의미가 있지만, 토러스형 시스템 공간에서는 특별한 의미가 없다. 어디서 시스템 공간을 바라보는가에 따라 달라질 수 있다. 한편

격자형 시스템에서는 두 가지 형태의 최초 근원의 발생 위치가 의미가 있다. 하나는 개방형 네트워크의 정중앙에서 시작되는 것이고, 다른 하나는 무작위적으로 특정한 네트워크 지점에서 시작되는 것이다. 최초 근원의 투입 규모는 네트워크에서 얼마나 많은 지점이 확산 요인에 노출되었는지를 의미한다. 특정한 근원에 노출된 규모는 시스템 공간의 형태와는 특별한 관계가 없다. 격자형 시스템 공간이나 토러스형 시스템 공간이건 최초 병균의 투입 규모는 그 자체로 의미를 가질 수 있다.

확산 시뮬레이션에 적용하기 위하여 넷로고로 구성한 이 프로그램은 기본적으로 100×100 정사각형 네트워크를 가정한다. 처음에는 토러스 시스템 공간 즉 개방형 네트워크를 가정하고 각 노드의 연결선을 다양한 종류로 무작위로 네트워크를 구성한다. 다음 그림은 어떠한 조건에 따라 요인이 확산되는지를 구현한 시뮬레이션 프로그램 중 메인 프로시저 부분이다.

```

to setup [seed-one?]
  ca
  set color-mode 0
  set clique 0
  ask patches
    [ set first-heard -1
      set times-heard 0
      set just-heard? false
      recolor ]
  ifelse seed-one?
    [ seed-one ]
    [ seed-random ]
  update
  do-plots
end

```

그림 281 확산 시뮬레이션

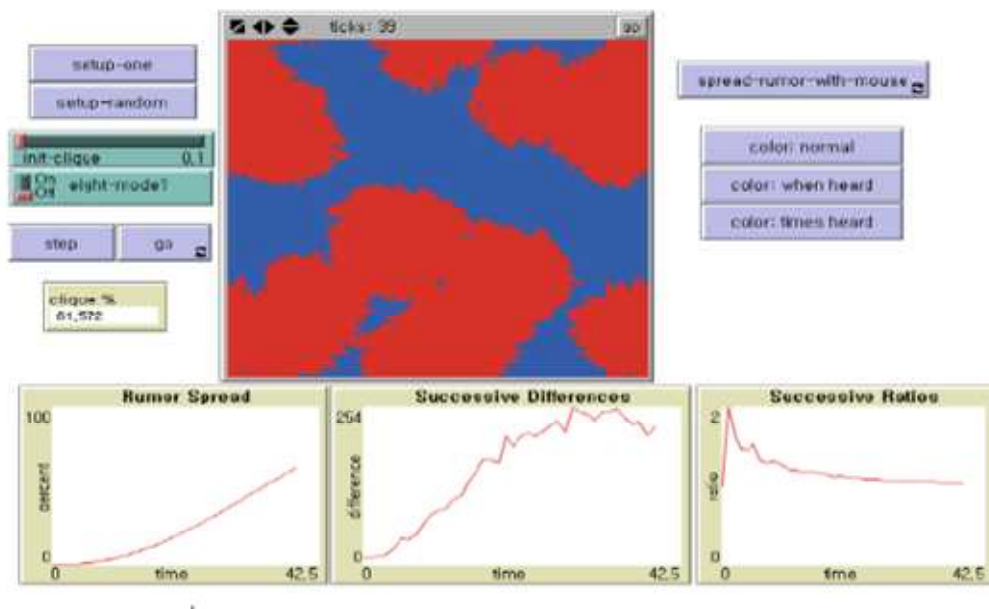


그림 282 확산 시뮬레이션 결과

여러 가지 형태의 시뮬레이션 결과가 있을 수가 있으나 여기에서는 다른 유형의 네트워크 현상과 마찬가지로 시간의 흐름에 따라 어느 정도 요인이 빨리 확산되는가에 초점을 맞출 수 있다. 여기에서 결과는 다섯 차례 시도의 평균값이 제시된 것으로 그림 282는 개방형 네트워크에서 최초 요인을 알고 있는 지점이나 개인이 증가할 때 확산속도가 어떻게 변하는지를 표현한 것이다.

개방형 네트워크에서는 토러스 시스템 공간 자체가 특정한 둘레가 없기 때문에 최초 평균 발생 위치가 평균 확산 속도에 영향을 주고 있지 않다. 먼저 네 방향으로 요인이 확산된다고 가정해보자. 이러한 환경에서 시뮬레이션을 수행한 결과를 살펴보면 최초 요인이 어떤 특정한 지역에서 발생할 때 확산 시간이 171로 나타났다.

그 다음으로 유사한 조건에서 최초 요인 발생 규모에 따른 확산 시간 차이를 살펴보고자 한다. 마찬가지로 개방형 네트워크를 상정하고 무작위로 최초 요인이 발생한다. 그러나 최초 요인을 접한 지점이나 규모가 달라진다. 결과를 살펴보면 전반적으로 최초 요인 발생 규모와 확산 시간은 반비례 관계를 가진다. 그 관계는 선형적이지 않으며 두 개 변수 사이에 일정한 정도가 유지되는 것이 아니라 일종의 임계점이 존재하고 있다. 예를 들면 최초 평균 발생 규모가 3.8%이거나 4.9%이던지 확산 시간에는 차이가 없다. 그러나 그 규모가 6.9%에 이르면 갑자기 확산 시간이 108로 감소한다. 이후에도 유사한 유형의 관계가 발견된다. 최초 발생 규모가 증가하지만 확산 시간은 동일하게 85로 유지된다. 최초 발생 규모가 18.6%에 이르러서야 확산 시간이 67.5로 감소한다. 아마도 이러한 현상이 복잡계 이론에서 자주 언급된 일종의 창발효과로 볼 수 있을 것이다. 즉 특정한 임계점을 지나기 전까지 뚜렷한 변화가 발견되지 않다가 그러한 임계점을 지나자 갑자기 급격한 질적 변화를 보인다는 것이다. 마찬가지로 확산 시간은 최초 발생 지점에 큰 영향을 받지 않지만, 최초 규모에 영향을 받고 그 영향은 일정한 것이 아닌 비선형적인 것으로 나타난다.

확산 방향이 8방향으로 퍼져나가는 경우에는 4방향의 경우와 마찬가지로 요인의 확산에서 창발 효과가 나타나고 있다. 네트워크의 특정한 한 지점에 요인이 발생되고 확산 방향이 8방향일 때 그 속도는 136으로 나타났다. 다만 이렇게 확산 속도가 확산 방향이 증가함에 따라 빨라지지만 그 관계가 선형적이지 않다. 즉 확산 방향이 두 배로 늘어났다고 할지라도 그 속도가 두 배로 늘지는 않는다.

최초 발생 규모와 확산 속도 사이의 관계도 마찬가지이다. 두 개 변수 사이 관계가 선형적이지 않다. 그리고 일정한 정도가 유지되는 것이 아니라 일종의 임계점이 존재하고 있다. 다만 일종의 창발 효과가 상대적으로 크다. 예를 들면, 최초 발생 규모가 3.8%이거나 4.9%일 경우에 확산 시간에는 차이가 없다. 네 방향일 경우와 마찬가지로 확산 시간이 136으로 나타났다.

표 165 개방형 네트워크에서 최초 발병 규모에 따른 확산 시간

최초 병원 발생 규모 (백분율)	확산시간	
	4 방향	8 방향
3.8	136	136
4.9	136	136
6.9	108	85
7.8	108	85
8.8	108	85
9.8	108	85
10.8	108	67.5
12.7	108	67.5
13.7	85	67.5
14.7	85	67.5
15.7	85	67.5
16.7	85	67.5
18.6	67.5	67.5

그러나 그 규모가 6.9%에 이르면 갑자기 확산 시간이 85로 감소한다. 평균이 4방향으로 확산될 경우에는 최초 병원 발생 규모가 13.7%에 이르러서야 확산 시간이 85로 나타난다. 최초 발생 규모가 9.8%에 이르면 67.5로 감소한다. 마지막으로 최초 발생 규모가 18.6%일 경우 확산 속도는 53.8로 나타난다. 즉 개방형 네트워크에서는 확산 방향이 증가할수록 확산 속도가 빨라진다. 물론 그 관계가 선형적이지는 않다. 확산 방향에 비례해서 확산 속도가 빨라지는 것은 아니다. 아울러 확산 방향이 커질 때는 최초 발생 규모와 확산 속도 사이에 창발 효과가 상대적으로 더 커진다.

폐쇄형 네트워크에서도 개방형 네트워크와 유사한 결과가 나타난다. 다만 두 가지 점에서 다소 차이가 난다. 하나 다른 점은 폐쇄형 네트워크는 중심과 변방을 구분하고 있다는 점이다. 따라서 표3에서 제시된 것처럼 최초 발생 위치가 정중앙인지 아니면 다른 지점인지에 따라 달라진다. 네트워크의 정중앙에서 평균이 발생될 때는 확산 시간이 215(4방향)과 171(8방향)으로 나타난다. 반면에 정중앙이 아닌 지역에 무작위로 근원이 발생할 경우-물론 이러한 지점이 네트워크의 중앙에서 얼마나 떨어졌는지가 중요하지만- 상대적으로 오랜 시간이 걸리는 것으로 나타났다. 4방향의 경우는 확산시간이 339이고 8방향의 경우 215로 나타났다.

다른 차이는 폐쇄형 네트워크에서는 개방형 네트워크와 마찬가지로 특정한 임계점이 있지만 창발효과가 상대적으로 적다는 것이다. 최초 요인의 발생 규모가 커질수록 전체 확산 시간이 빨라지고, 확산 방향이 많아질수록 확산 시간이 빨라진다. 최초 발생 규모가 3.9%부터 6.9%일 경우 4방향일 때 확산 시간이 171, 8방향일 때 확산 시간이 136으로 나타난다. 발생 규모가 7.8%부터 9.8%일 경우 네 방향일 경우 확산 시간이 136, 여덟 방향일 경우 108 혹은 86으로 나타난다. 이후에도 상태의 변화가 극적이지 않다. 최초 발생 규모가 10.8%, 12.7% 등으로 계속해서 증가하더라도 확산 시간에는 전혀 변화가 없다. 이러한 경향은 확산 방향에도 관련이 없다.

이렇게 폐쇄형 네트워크에서는 확산 시간 단축이 개방형 네트워크에 비해서는 서서히 이루

어진다. 개방형 네트워크에서는 확산 방향, 발생 규모에 따라 갑자기 확산이 이루어지지만, 폐쇄형 네트워크에서는 그 영향 정도가 상대적으로 약하다. 이는 개방형 네트워크가 확산의 창발과 이에 따른 상태 내의 전이에 보다 민감하다는 것을 보여주는 것이다. 따라서 이러한 특징은 확산 요인의 유통과 전달에 어떠한 요인이 효율적으로 동원될 수 있는가를 시사하는 것으로 볼 수 있다.

표 166 폐쇄형 네트워크에서 최초 평균 발생 위치에 따른 확산 시간

최초 소문 발생 위치	확산 시간	
	4 방향	8 방향
center	215	171
random	339	215

표 167 폐쇄형 네트워크에서 최초 발생 규모에 따른 확산 시간

최초 평균 발생 규모 (백분율)	확산시간	
	4 방향	8 방향
3.8	171	136
4.9	171	136
6.9	171	136
7.8	136	108
8.8	136	108
9.8	136	86
10.8	108	86
12.7	108	86
13.7	108	86
14.7	108	86
15.7	108	85
16.7	108	85
18.6	108	85

(다) 공간 확산 네트워크 모델

확산 모사에 정확성을 향상하기 위해서는 농가별 선 확산 요소와 함께 공간 확산 요소를 동시에 고려할 필요가 있다. 선 확산 요소는 주로 지리적으로 먼 지역에 위치한 농가들로 확산될

때 요인으로 지적받으며 공간 확산 요소는 지리적으로 근접한 지역에 위험 요소를 전파시키는 요인이다. 최초 발병 지역이 농가들이 밀집한 지역이 아니거나 혹은 도로 등으로부터 고립된 지역이라도 공간 확산을 빠른 시간 내에 차단하지 못하면 주변 지역의 농가들에게 확산이 되고 전국적 확산의 시초가 될 수 있다. 2010년 11월 발병한 구제역의 경우 최초 발병 지역의 초기 차단이 실패하면서 도로망을 통한 전국 확산이 시작되었다. 도로망이 발달한 대구 지역과 경남 지역으로 확산하기 이전 공간 확산의 모사를 통해서 초기 대처에 정확성을 높일 수 있었다면 전국 확산을 막을 수 있었을 것이며 이 같은 피해도 크지 않았을 것이다. HPAI도 발병하면 구제역만큼은 아니지만 공기 확산의 영향이 있으며 주변 야생조수류를 통한 확산이 지속된다. 차년도에 공기 확산에 대한 자료가 구축되면 공기 확산을 공간 확산에 포함시킬 것이며 본 연구에서는 농가 주변의 야생조수류를 통한 공간 확산을 적용하였다.

표 168 공간 확산 모델 클래스

Package	Class	비고
SWTResourceManager	SWTResourceManager	UI구현을 위한 그래픽 라이브러리
GUI	MainFrame InformationWindow	다이아로그베이스의 메인프로그램 프레임과 정보창 프레임
Main	ControlControler Controler Main MouseControler	프로그램 프로세스의 컨트롤을 제어하는 메인 컨트롤 프로그램과 기타 입력장치를 통한 제어에 대응하는 UI컨트롤 클래스
Util	HPAINetwork InfectionTable Matrix	확산의 요소를 표현하는 확산 트리의 노드 클래스와 확산을 직접 모의하며 상태를 제어 및 기록하는 제어 테이블 클래스

공간 확산 모델은 자료의 입출력을 담당하는 모듈과 절점과 연결선, 확산 동력을 담당하는 모듈, 그리고 각 절점의 구성을 총괄적으로 관리하는 모듈, 사용자가 손쉽게 이용할 수 있는 GUI로 개발된 Viewer로 구성된다.

농가 node들은 개별 클래스로 구성되어 현재 감염 상태, 연결된 node들의 정보를 가지고 있다. 그리고 8방향의 lattice 격자의 주변 공간과도 연계를 가지고 있어 이 연결선들을 통해서 감염될 경우 선 확산과 공간 확산에 대해서 각각의 발병 경로를 추적할 수 있다. 감염이 된 상태가 되면 main 클래스의 관리에 따라 연결된 공간과 절점들에 확산되는 양상을 모사할 수 있다. 그리고 추후 다양한 지형 정보를 반영해서 공간 정보를 추가할 수 있도록 개방적인 구조로 설계되었으며 공간 정보가 반영된다면 정확한 확산을 모사할 수 있을 것으로 판단된다. 발병

경로에 대해서는 현재 프레임에서도 확인할 수 있으며 자료 출력 모듈과 연계하여 txt, excel 파일로 출력할 수 있다. 다른 절점과의 연계 확률은 사용자가 직접 지정하여 추적할 수 있도록 변수로 처리를 했으며 viewer 모듈과 정보 교환을 통해서 작업이 가능하다.

main 클래스에서는 각 node에서의 확산 경로를 시간 단위로 관리한다. 선 확산의 시간 단위와 공간 확산의 시간 단위를 동기화시키는 작업도 main 클래스에서 수행되며 자료 모듈과 연계하여 총괄적인 자료의 관리를 담당하고 사용자가 필요한 자료를 원하는 형식으로 얻을 수 있도록 지원한다. 그리고 공간 확산을 모사하기 위한 몬테카를로 시뮬레이션을 수행할 수 있는 함수를 각 node 클래스가 아닌 main 클래스에서 총괄적으로 관리하여 트래픽을 줄일 수 있도록 설계되었다. 면 단위가 아닌 시, 도 단위의 자료를 구축할 경우 node 클래스들의 충돌로 과도한 트래픽이 유발될 수 있으나 본 모델에서는 main 클래스에서 함수를 통하여 관리하기 때문에 확장성있는 구조 설계가 가능하다.

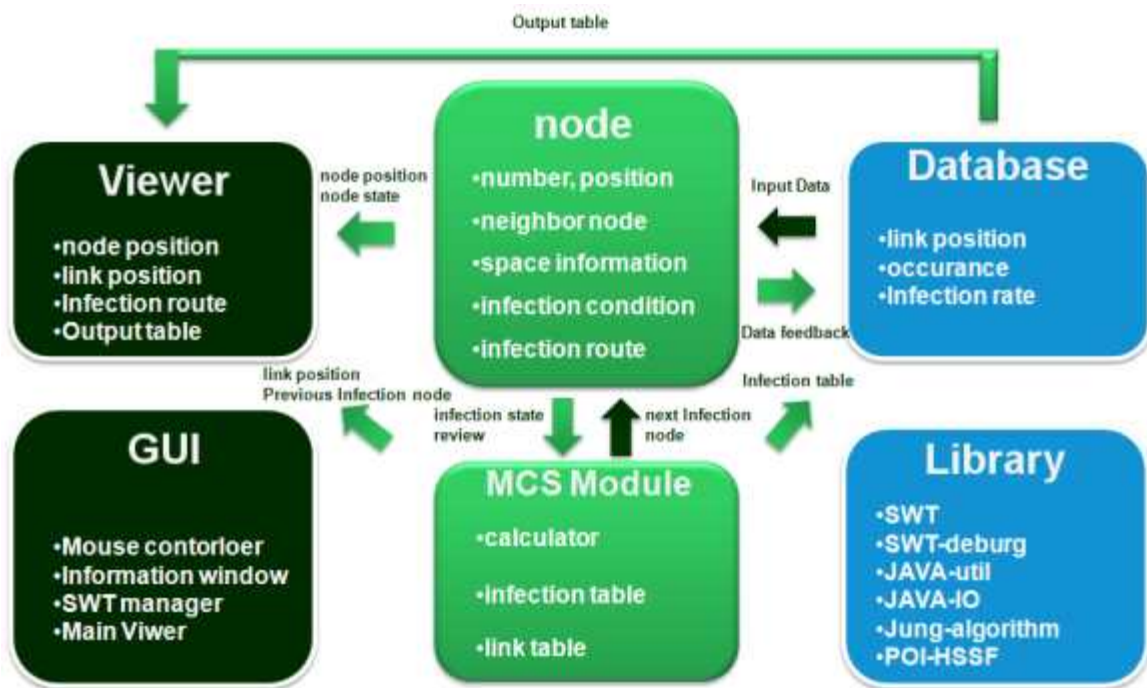


그림 283 HPAI 공간 확산 네트워크 모델 아키텍처

Viewer 모듈은 각 node 클래스의 위치정보와 감염 상태, lattice 격자망의 감염 상태를 시간 단위마다 동기화를 통해서 정보를 획득하고 node를 클릭하면 상세 정보와 감염 경로를 확인할 수 있는 정보창을 통해서 손쉽게 이용할 수 있도록 하였다. 그리고 선확산 요소의 감염률은 현재 다양한 연구가 이뤄지고 있으며 발병 사례마다 다른 값을 가질 수 있으므로 사용자가 입력할 수 있도록 구성하였고 자료 모듈을 통해서 농가의 위치를 손쉽게 입력받을 수 있도록 설계되었다.



그림 284 개략도

현재 선 확산 요소는 3가지만 적용했으며 각 감염률은 각각 20%, 30%, 40%로 정의했다. 다음과 같은 선 확산 요소로 구성된 네트워크 모델이 있을 때 최초 발병지역이 점으로 표기되면 감염확률에 따른 선 확산과 각각의 공간에 대한 확산이 시작된다. 공간 확산은 농가 주변의 야생 조수류의 활동반경을 고려한 것으로 시간이 지속될 때마다 몬테카를로 시뮬레이션을 통해서 반경이 커지게 된다. 일정 시간 단위가 지나면 네트워크내 모든 농가가 감염상태가 되며 감염 반경을 확인할 수 있다.

① 크루스칼 알고리즘

크루스칼 알고리즘은 최소비용 신장 트리(Minimum Spanning Tree) 문제를 풀기 위해 고안된 알고리즘으로 연결선을 가중치가 작은 것부터 정렬한 후에 작은 순서부터 연결선을 선택하여 각 정점을 연결하는 방식이다. 단, 서로 연결된 정점으로 구성된 부분집합 내에서는 연결할 수 없다는 조건을 두어 트리(Tree)내에 같은 자료가 중복되는 것을 피한다. 이 알고리즘은 Kruskal(1956)에 의하여 처음 제안되었고 구현은 다음과 같은 방식으로 이루어진다. 이 알고리즘은 Labeling, Rejecting, Ordering의 3가지 함수를 사용하여 이루어지는데 확산 경로 추적에는 각각의 구성요소를 다음과 같이 대응시켰다. 3단계의 과정을 거쳐서 동작하게 되는데 우선 각 네트워크 확산 자료로부터 불규칙 삼각망을 생성하고 이 삼각망으로부터 구체적인 알고리즘을 구현하는 순서로 진행된다.

표 169 크루스칼 알고리즘의 주요 함수

Functions	Operation
Double labeling of vertices	Each vertex i carries a double label (r_i, p_i) where $r_i = \text{Root of the subtree to which } i \text{ belongs}$ $p_i = \text{Predecessor of } i \text{ in its subtree}$ $p_i = 0 \text{ for roots}$
Rejecting	If (i, j) is next in the list to be considered, reject (i, j) if $r_i = r_j$ (that is, i and j are in the same subtree, so that they are already joined by edges and (i, j) would thus create a cycle. If $r_i \neq r_j$ include (i, j) in T . If there are several choices for r_i , choose the smallest. If subtrees merge (become a single tree), retain the smallest root as the root of the new subtree.
Ordering	For a complete list of m edges, an algorithm would be $O(m \log_2 m)$. but since the $n-1$ edges of the tree are most likely to be found earlier, by inspecting the $q (< m)$ topmost edges, for such a list of Q edges one would have $O(m \log_2 m)$.

GIS의 네트워크 분석 방법과 비교해서 수치고도모형이 생략되기 때문에 보다 빠른 알고리즘으로 진행할 수 있다. 불규칙 삼각망을 이용해서 유역을 추출하는 과정은 원본자료를 불규칙 삼각망으로 만든 후 직접 크루스칼 알고리즘을 통해서 처리하게 되고 GIS를 이용한 방법에 비해 처리의 단계를 단순화시킬 수 있다.

표 170 크루스칼 알고리즘의 원리

Kruskal's Algorithm	This Study
Vertex	Triangles that contains 3 vertices
Edge	Edges that contains 2 triangles
Length	Elevation difference between 2 triangles

세부적인 알고리즘은 확산 경로를 설정하고 그 주변의 확산 경로와 비교하여 일반적인 방향을 결정한다. 그 후에 결정된 확산 방향에 의한 경로를 각각 메이트(mate)라고 하고 이를 크루스칼 알고리즘 내에서 경계로 사용한다. 이 메이트 간의 가중치를 설정하여 이를 크루스칼 알고리즘의 가중치로 사용하며 DB에 저장하는 방식으로 알고리즘이 진행된다. 결과 물로 나오는 확산 경로는 위계 데이터베이스(Hierarchy Database)에 저장하게 된다. 데이터베이스와 처리 모듈을 구분함을 통해서 빠른 처리 속도로 가벼운 프로그램으로 구성할 수 있으며 다른 응용

프로그램에도 손쉽게 결합할 수 있어 유연한 프로그램이 될 수 있다.

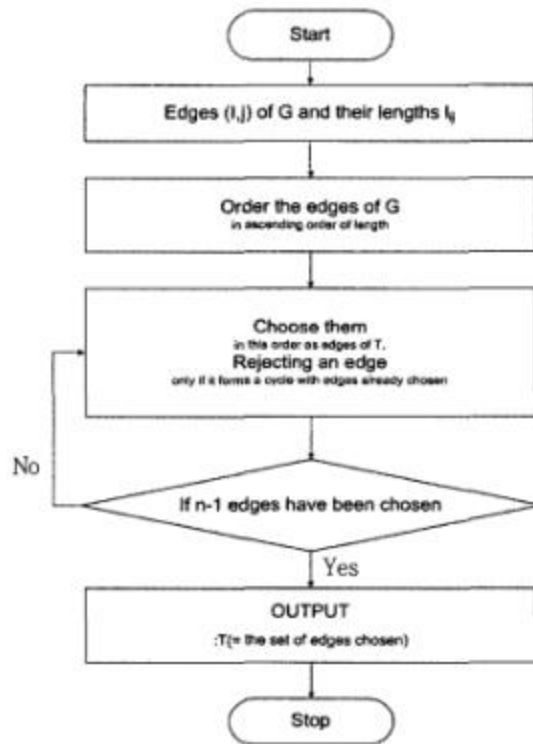


그림 285 크루스칼 알고리즘

② 재귀 함수(Recursion Function)

재귀함수는 함수를 재호출하는 것으로 루프와 유사한 소스 코드를 가진다. 명령어를 반복처리만 하는 것이 아니라 함수 호출 스택의 방식으로 이용하여 명령어들을 하나의 단위로 다루면서도 스택 자료 구조의 이점까지도 사용할 수 있기 때문에 프로그램의 효율성을 높이기 쉬운 구조로 작성할 수 있다. 재귀함수의 경우 동일한 코드를 반복적으로 수행하기 때문에 컴파일하여 수행하면 성능의 이득을 얻을 수 있으나 backward 분기를 기준으로 루프를 확인하는 특성을 가진 코드에서는 재귀 함수의 수행 능력이 떨어지는 경우가 있다.

루프 내의 재귀 함수에 대한 호출이 있는 경우에는 함수 인라이닝 효과로 인해 재귀 함수를 추적하게 되나 반복적으로 수행되는 코드를 동일한 코드 수행으로 인식하지 못하고 인라이닝을 지속하기 때문에 함수 호출이 반복되면 이에 따라 추적도 계속되어 함수 인라이닝이 반복된다. 따라서 이는 코드 전체뿐만 아니라 함수 자신의 안에서도 다양한 위치에서 호출될 수 있는 재귀함수를 비효율적으로 처리하는 원인이 될 때가 있다. 따라서 본 연구의 모델에서는 지정한 깊이 내에서 리턴이 일어나 컴파일을 통해 기계어 코드를 얻게 된다 하더라도 다음 수행에서 같은 깊이만큼 수행될 경우에만 해당 코드가 유효하다. 깊이가 변하면 수행 경로가 바뀌기 때문에 새로운 추적이 발생하고 코드 생성이 일어날 수 있다. 이는 수행 깊이가 바뀔 가능성이 높은 재귀 함수에 적합하지 않은 방식이다.

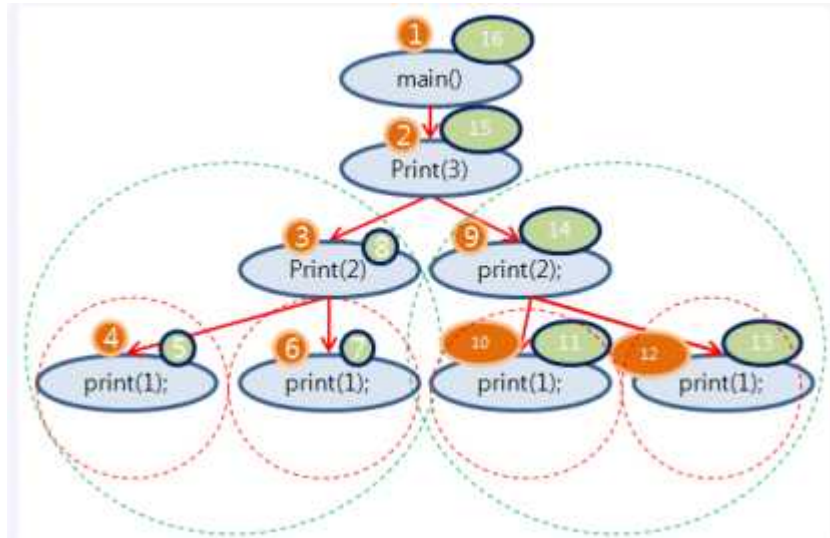
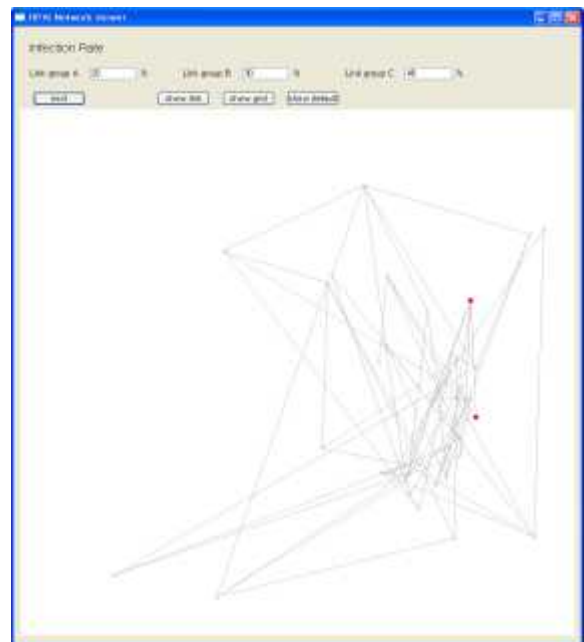
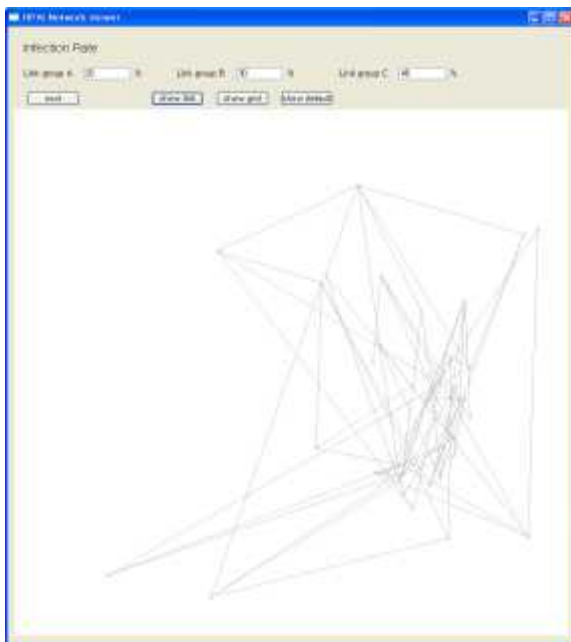


그림 286 재귀 함수



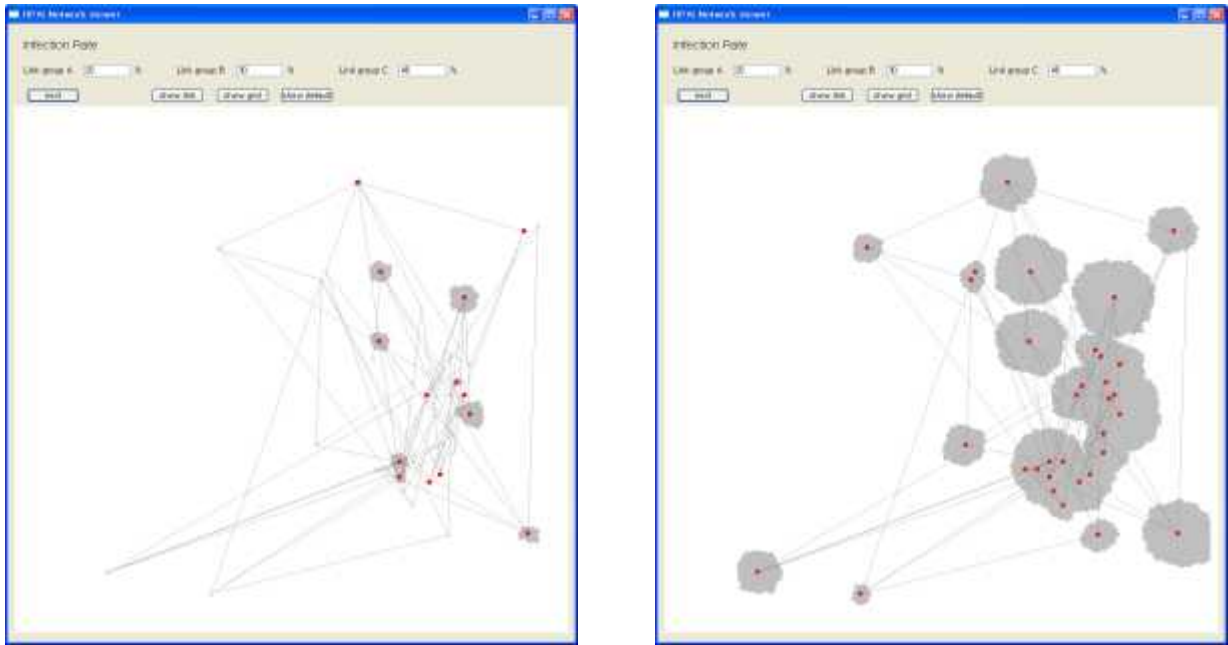


그림 287 공간 확산 적용

함수 전체를 컴파일하기 위해 선택할 수 있는 방법 중에 기존의 추적 기반 컴파일 방식을 활용해서 재귀 함수 호출이 일어나면 추적을 통해서 정보를 수집하되 인라이닝을 하지 않는 방법을 활용하면 코드의 효율성을 향상시킬 수 있고 함수를 호출하고 종료하는 조건을 다음과 같은 방법으로 설정을 하여 추후 절점과 연결선의 수가 급격히 증가했을 경우에 메모리 관리와 효율적인 성능을 유지할 수 있다.

감염확률을 지정하면 현재 수행되는 방역대책은 발병 농가를 기점으로 반경 500m 이내 농가의 살처분, 10km 이내 가축 이동 통제, 차량 소독을 규정하고 있다. 하지만 살처분 반경에 대한 객관적인 기준이 없으며 국내 발병한 HPAI의 경우 항상 초기 방역 대책에 실패한만큼 시뮬레이션을 이용한 확산 모사를 통해 살처분 반경에 대한 객관적인 근거를 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 농가들의 위치를 손쉽게 입력할 수 있으며 각 요소에 대한 감염확률을 사용자가 직접 정할 수 있기 때문에 다양한 사례에 적용할 수 있는 개방적인 모델이 될 것으로 기대하고 있다. 그림 24는 감염된 농가를 클릭했을 때 농가의 감염 정보를 확인할 수 있는 창을 보여준다. 이 정보를 통해서 감염 경로를 확인하고 이후 확산 경로에 대해서 역추적하는 방역대책을 수행할 수 있다.

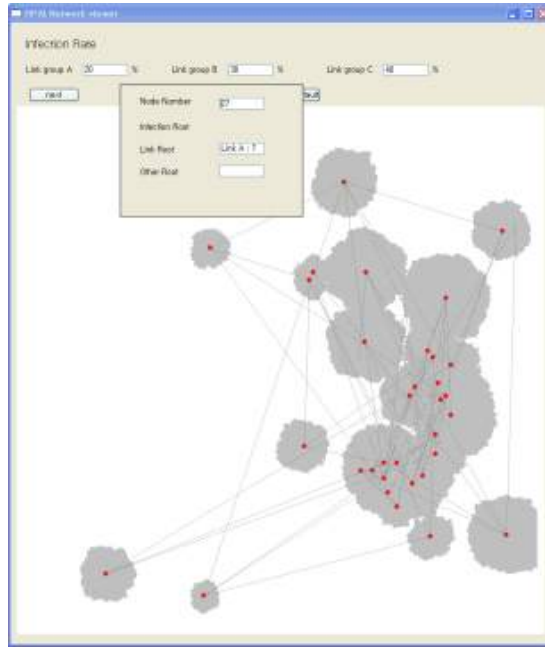


그림 288 농가 확산 경로 추적

속성이 균일한 지형의 경우 모든 방향에 대한 확산이 선형관계를 가지며 동일하게 발생하겠지만 실제 지형은 다양한 변수와 혼돈 요소가 직·간접적으로 작용한다. 확산에 영향을 줄 수 있는 모든 요소를 찾아낼 수 없으므로 가장 영향력이 큰 요인을 이용하여 방향별로 다른 거리별 확산을 도식화할 수 있다. 감염원의 경우 지형에 따른 공기를 이용한 직접적 확산을 기본으로 하되 차량을 통한 간접적 확산이 동시에 진행된다. 1세부팀의 조사를 통한 시기별 풍향빈도는 다음과 같다.

4월1일 0시 ~ 4월 8일 24시	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	16.1%	2.9%	4.1%	15.2%	13.5%	7.3%	11.7%	29.2%
4월9일 0시 ~ 4월 12일 24시	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	20.4%	9.9%	17.6%	15.5%	7.7%	2.1%	4.2%	22.5%
4월 13일 0시 ~ 15일 24 시	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	16.7%	0.0%	1.9%	6.5%	5.6%	0.9%	25.9%	42.6%
4월 16일 0시 ~ 20일 24 시	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	17.7%	6.5%	17.7%	17.2%	6.5%	1.6%	12.4%	20.4%

표 171 시기별 풍향빈도

이 자료를 이용하면 각 시기별에 따른 농가에서 공기 확산을 통한 감염원의 확산 양상을 모의할 수 있다. 기존의 요인별 확산 영향도에서 시기별 풍향빈도에 따른 공기별 확산 영향을 추가하면 다음과 같은 확산 양상을 보인다.

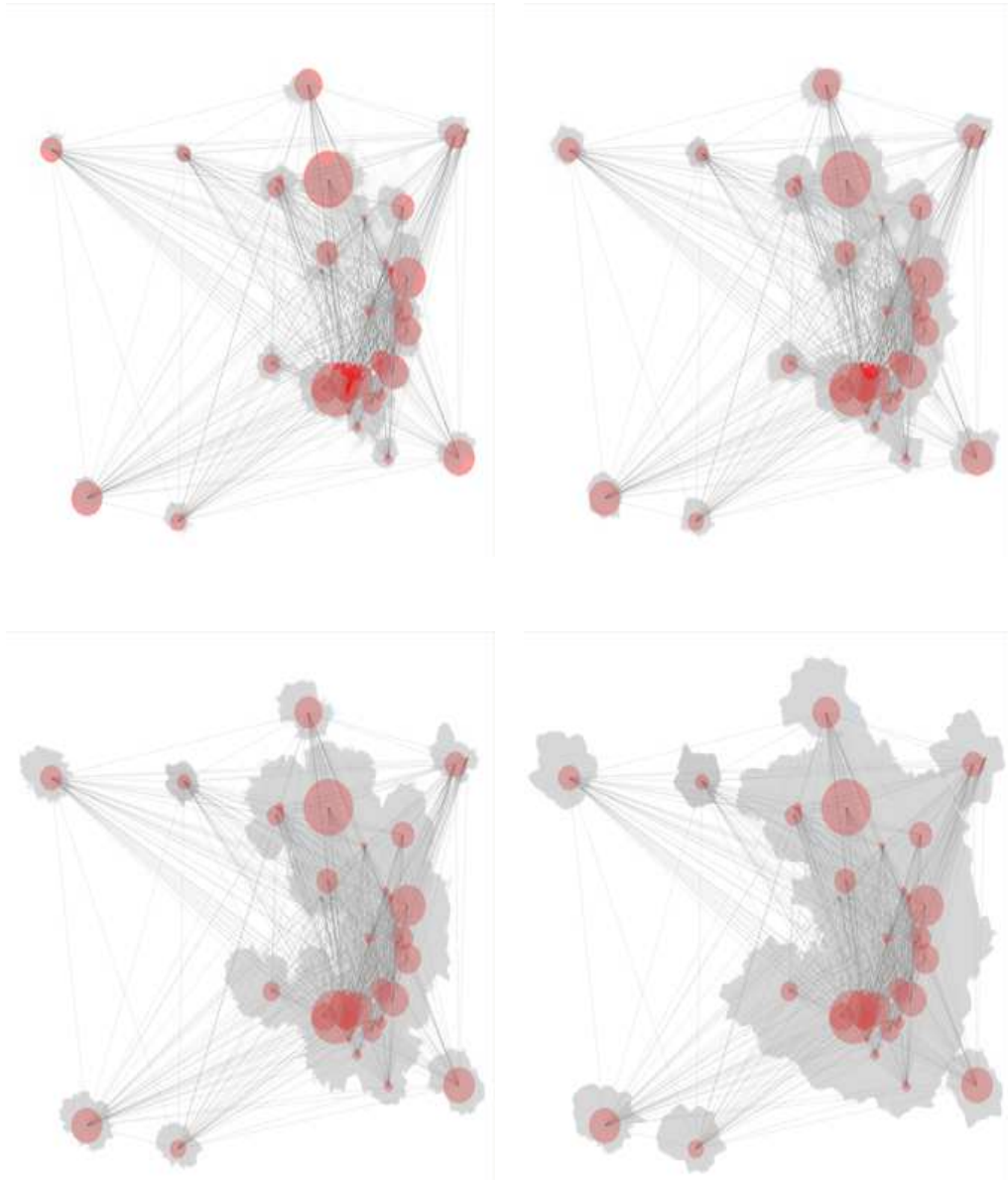


그림 289 공기별 확산 영향 추가

지리적으로 근접한 농가에 대한 영향도를 공기별 확산 영향에 따라 확인할 수 있을 뿐만 아니라 가금 관련 업체로 연계된 영향도까지 표현할 수 있다. 이를 이용하면 중심도가 높은 주요 농가를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 확산 양상을 모사할 수 있다. 추후 방역대책에 단계별 차단 경로를 확인할 수 있고 예방 중심의 방역 대책도 동시에 수립할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

공기 확산에 대한 영향도는 매개체를 통한 확산에도 영향을 미칠 수 있다. 농가 주변 도로에 전달되는 공기 영향도를 이용하면 비균일한 공간 확산을 고려할 수 있을 것이다. 차량을 통한 간접적 확산의 경우 해당 지점 근처의 도로 분포, 도로별 차량 이동량, 최대 이동 속도 등을 이용해서 불균일한 지형에서의 확산을 예측할 수 있다.

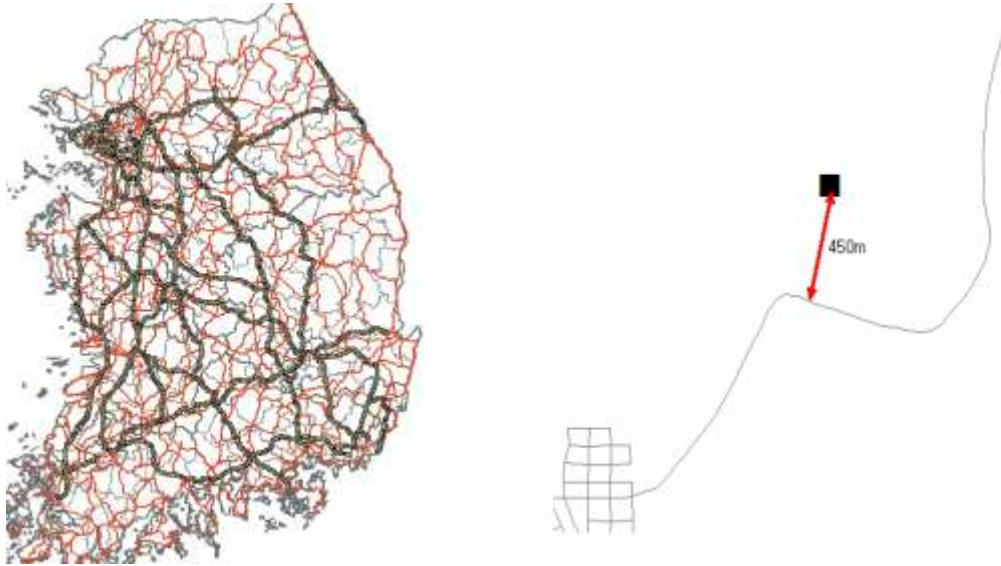


그림 290 전국 도로망 자료와 발생 지점 가장 근접한 도로

‘지능형교통체계_표준노드링크관리시스템’를 통해서 전국의 시도, 지방도, 일반국도, 고속도로 등의 분포와 차량 이동량, 최대 이동 속도의 자료를 얻을 수 있으며 이를 통해 도로를 통한 직접적 확산을 모사할 수 있다. 발생 지점에서 가장 가까운 도로를 찾아 그 도로를 기점으로 다양한 방향으로의 확산 방향을 확인할 수 있다. ArcMap의 네트워크 분석을 통한 도로 상황을 반영한 야생조수류에 의한 단계별 확산 양상으로 초기 확산 단계를 발생 지점을 중심으로 확인해보면 방역 영역의 설정이 가능 할 것으로 판단된다. 그리고 본 연구의 프로그램도 도로망을 적용하여 유사한 방법으로 결과를 도출해낼 수 있을 것이다.

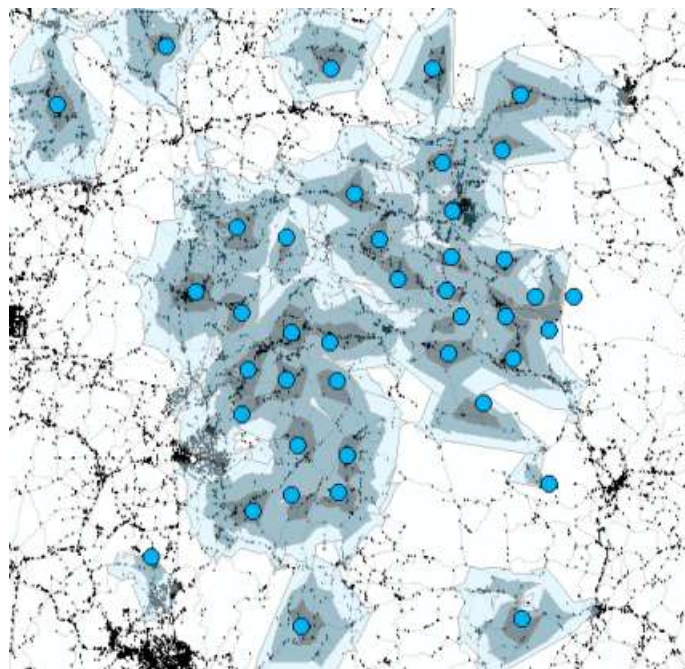


그림 291 비균일 지형을 반영한 공간 확산 분석

라. 행위자 기반 모형을 이용한 확산 분석

대상 지역에서 고려할 수 있는 요인은 계분처리, 동물약품, 가축사료, 농가방문, 입, 출하차량, 농가청결도, 야생조수류까지 총 6가지다. 계분처리, 동물약품, 가축사료, 항의방문, 입출하차량은 타농가와 연계되는 부분이며 야생조수류는 독립적인 요인으로 구분된다. 발병시 값은 1, 초기값은 0으로 각 농가별 변수를 가지고 있다. 각 농가별로 감염됐을 경우 타 농가에 미치는 영향을 다르게 주는 것으로 가정했다. 가중 네트워크 구성시 시간 단위에 대한 모의가 불가능했으나 행위자 기반 모형의 경우 시간 단위에 대한 모의가 가능하며 각 절점이 서로간에 미치는 영향을 통해서 전체 네트워크의 방향을 결정할 수 있으므로 영향도 행렬을 비대칭 행렬로 구성하여 결과의 정확도를 향상시키고자 했다. 1번 농가를 기준으로 타농가의 감염위험도를 조사했을 때 각 변수값은 계분처리, 0.083, 동물약품, 0.083, 가축사료, 0.215, 입출하차량, 0.782, 축주방문, 0.914, 야생조수류, -0.079로 나왔으며 잔차는 0.081로 구할 수 있었다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

표 172 ABM 초기 모델 설계값

초기발생	20%
증가율	1%
확산율	5%
시뮬레이션 시간	100 TIC
행위자 수	39농가
시간 간격	1 TIC
살처분 기준	50% 감염

$$IR = 0.083 \times X_1 + 0.083 \times X_2 + 0.215 \times X_3 + 0.782 \times X_4 + 0.914 \times X_5 - 0.079 \times X_6 + 0.081 \text{ ---- (25)}$$

여기서 IR은 감염영향도(Infection Rate)이며 변수 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ 는 각각 타농가와 연계되어있는 가금 관련 업체 여부이다. 1번 농가가 감염되었을 경우 3번 농가에게 미치는 감염영향도는 0.1255이며 3번 농가가 감염되었을 경우 1번 농가에 미치는 영향은 0.2756으로 가중치 값이 다르므로 비대칭 행렬로 구성된다. 이는 가금 관련 차량의 이동 경로나 농가별 상황에 따라서 그 값은 달라질 수 있다. 각 농가별로 총 38개 농가에 대한 선형 분석을 총 39회 시행하면 선형회귀식의 가중치를 각각 구할 수 있을 것이며 영향도 행렬은 그림 292와 같다.

여기의 각 절점, 농가를 행위자로 두고 모형을 설계한다. 농가는 감염도라는 계수를 가지고 일정 이상이면 감염 유무를 표기한다. 그리고 주변 다른 절점과의 상관도에 따라서 질병을 전파하며 살처분 및 감염도 증가 등의 적응기작을 가진다. 본 연구에서는 JAVA를 통해서 모형을 구현했으며 모의했다. 초기 모델 설계값은 표 50과 같다.

여기서 살처분 된 농가는 감염확산 행위자에서 제외하기로 하고 모의했다. 시간 간격과 발병 시기에 따른 수행 결과는 다음과 같다.

time	farm1	farm2	farm3	farm4	farm5	farm6	farm7	farm8	farm9	farm10	farm11	farm12
0	20%	17%	4%	14%	8%	4%	14%	14%	21%	41%	21%	15%
1	25%	20%	15%	100%	35%	10%	15%	80%	59%	72%	51%	75%
2	29%	55%	16%	100%	80%	23%	19%	100%	100%	100%	100%	100%
3	29%	100%	20%	100%	100%	37%	20%	100%	100%	100%	100%	100%
4	29%	100%	22%	100%	100%	54%	32%	100%	100%	100%	100%	100%
5	30%	100%	32%	100%	100%	100%	49%	100%	100%	100%	100%	100%
6	31%	100%	39%	100%	100%	100%	56%	100%	100%	100%	100%	100%
7	31%	100%	41%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
8	32%	100%	44%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
9	32%	100%	53%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
10	32%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

그림 293 시간 간격에 따른 확산 양상 분석

time	farm1	farm2	farm3	farm4	farm5	farm6	farm7	farm8	farm9	farm10	farm11	farm12
1	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	2	100	100	2	100	100	100	100	2	2	2	2
3	3	100	100	3	3	100	100	3	3	3	3	3
4	4	4	100	4	4	4	100	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	100	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

그림 294 발병 시기를 이용한 모델 검증

모델 결과는 1번 최초 발병 이후 4번, 9번, 10번, 11번, 12번이 그룹화되어 발병하고 이후 5번, 8번 그룹, 2번, 6번 그룹으로 발병되었다. 이후 3번과 7번이 순차적으로 발병되었다. 실제 발병일자는 1번이 최초 발병하고 8번이 발병, 그리고 2번, 3번, 4번, 5번, 6번, 9번, 10번, 11번, 12번 그룹이 발병하고 7번 그룹이 발병한 것으로 발병 순서에 있어서 차이가 있다. 하지만 크게 그룹화한 결과를 보면 1번과 7번이 마지막에 발병하고 중간 그룹이 순차적으로 발병한 부분은 유사한 결과를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

3. 결론

제 3세부에서는 1세부팀, 2세부팀에서 제공한 HPAI 역학 기초 자료를 기반으로 네트워크 이론을 접목해 통해 질병 진행 상황을 모의하고 추후 방역할 수 있는 최적의 방안을 찾고자 했다. 우선 다양한 학문 분야에서 이용되고 있는 네트워크 연구 사례를 분야별로 구분하고 조사했으며 질병 확산 관련 연구 사례의 비교 분석을 통해 HPAI 질병 확산 네트워크 구성을 위한 기본 방향과 방법론을 결정했다.

그리고 1세부팀에서 제공한 고병원성 질병확산 위험요인자료를 기반으로 HPAI 질병 확산 네트워크의 대상과 대상간의 연결선을 정보개량 연구방법인 역학조사내용 보고서의 단어빈도 수 분석을 통해서 선정하고 단일 네트워크 구성을 통해서 확산 요인별 감염기작과 영향 빈도 등을 분석했다. 이를 통해 농장의 질병 전파 매개체인 출입 요인을 분석하여 네트워크 구축을 위한 전처리 과정을 수행하였다.

주요 위험 요인으로 확인된 교통망, 동물약품, 가축사료, 농장관계자 출입 등의 요인을 이용한 단일 네트워크를 통합하여 구성하고 공기 유동 영향을 농장의 속성요소로 구분지어 연결선에 가중치를 추가하는 방식으로 통합 네트워크를 구성할 것으로 기본 모델을 결정했다. 전라북도 김제시 용지면의 농장들을 대상으로 08년도 HPAI 질병 확산 사례와 비교를 통해서 기본 모델의 정확성을 검증하는 방법으로 질병 확산 네트워크 통합 기본 프레임 구성하였다. 또한 실제 모델을 구축하기 위해 1세부팀, 2세부팀에서 받은 기초 자료를 네트워크 모델에 적용할 수 있는 방향으로 자료의 형식을 변경하고 구축했다.

대상농가간의 연결선으로 구성할 수 있는 자료를 기반으로 선형 네트워크 모델을 연결선의 값 유무에 따라 가중, 비가중 네트워크로 구분하여 각각 개발했으며 사육농가 주변의 위험 확산 요인을 반영하기 위해 야생조수류의 활동성을 반영한 공간 확산 네트워크 모델을 몬테카를로 시뮬레이션을 기반으로 구축했다. 또한 농장간 특성과 가금 관련 차량의 경로에 따라 농가간 영향도가 달라지는 점을 고려하여 비대칭 영향도 행렬을 이용한 행위자 기반 모형을 구축하여 모의했다. 각 세부팀을 통해 얻은 자료를 다양한 모델을 이용해서 모의하고 실제 사례와 비교, 검증하였다.

선형 네트워크 모델의 경우 주요 허브 지점을 산출할 수 있고 이를 기반으로 확산 차단 효과의 효과를 실제 사례와 비교하여 그 효용성을 검증할 수 있었다. 선형 확산 모델에서 주변 농가와 지리적 근접성이 간과된 점은 공간 확산 네트워크와 공기 영향도 행렬을 이용한 중심성 분석을 이용해서 보완하고자 했다. 그리고 행위자 기반 모형을 통해서 확산 요인의 통계적 상관성을 분석한 비대칭 영향도 행렬을 적용하여 모의의 정확성을 향상시킬 수 있었다.

주기적인 전문 관리 업체의 농가 출입을 근거로 가금 산업 농가들의 HPAI 확산을 모의하기 위한 다양한 네트워크 모델을 구성하였다. 동일 업체의 이용을 기반으로 구성된 HPAI 확산 네트워크 내의 구성요소 중 중심성 지수가 큰, 중추적인 역할을 하는 절점, 농가 등은 감염이 확산될 경우 다른 농가에 비해서 전체 네트워크로 확산 피해의 파급력이 크다. 따라서 HPAI 확

산 네트워크에서 중추적인 역할을 하는 농가에 방역 대책을 집중하여 관리할 필요가 있다. 본 연구에서는 주요 농가를 우선적으로 통제하고 실제 확산 양상과 비교했을 때 감염 농가와 확산 속도와 감염 농가를 줄이는 등 보다 효과적으로 질병 확산을 차단할 수 있음을 확인하였다. 연구 결과를 가금 산업 농가가 밀집된 지역에 확대 적용했을 때 효율적인 예찰 시스템의 기초 자료로 구성할 수 있을 것이며 발생 이후에도 확산 경로를 추적하는데 주요한 역할을 담당할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 추가적인 확산 요인 조사가 수행되면 보다 신뢰성 높은 HPAI 확산 네트워크를 구성할 수 있을 것으로 사료된다.

추후 연구에서 지난 3년간 연구에서 마련된 통합 네트워크 기본 프레임을 기본으로 선형 확산 네트워크와 공간 확산 네트워크를 동기화시켜 통합하는 방안을 고찰할 수 있을 것이며 이를 통한 통합 네트워크 허브 선정을 수행할 수 있다. 수행된 자료를 바탕으로 사육농가를 군집화시켜 관리하는 방안으로 효율적인 방역 대책 수립에 기초 자료로 활용할 수 있는 모델을 구성할 수 있을 것이다.

6 절. 종합 결과 및 활용 방안

1. HPAI 의 국내 유입 및 농가로의 전파 양상 분석

HPAI 발생국으로부터 국내로 HPAI 발병 위험요소가 유입되는 경로는 크게 야생조류(겨울철새, 나그네새, 여름철새), 합법 또는 불법으로 수입되는 가금산업관련 각종 물류의 유통과정에서 살아있는 가금류 및 가금육과 계란 등 축산물, 수입사료, 외국인근로자 및 해외여행객 등의 인적·물적자원의 이동과정에서 HPAI가 유입될 가능성이 가장 높다. 특히 우리나라는 HPAI의 상재국인 중국, 태국, 베트남 등 동남아시아 등과 지속적인 인적 및 물적 교류를 하고 있을 뿐 아니라 아시아-오스트렐리아 철새의 이동 경로 안에 위치하면서, 서해안의 갯벌과 내륙의 습지와 소하천 및 저수지 등이 철새들이 서식할 수 있는 좋은 환경조건을 만들고 있기 때문에 많은 겨울철새들이 우리나라에서 월동을 하기 위해 도래하고 있고, 또한 이들 철새도래지 주변에는 가금사육농가가 밀집되어 있어 철새로부터의 가금사육농가로의 조류인플루엔자의 발병위험요소가 상시 유입될 수 있기 때문에 HPAI 발생위험에 항상 노출되어 있다. 또한 국내로 유입되는 각종 위험요소인 수입되는 각종 가금 산업관련의 물류와 외국인근로자 및 해외여행객 등에 의해 가금사육농가로 유입되는 과정을 조사해 보았다.

따라서 HPAI 발생초기에 국내의 가금사육농가로 HPAI 발병위험요소가 유입되어지고, 또한 오염원이 유입된 농가의 축사내에서 HPAI 전파확산과 발생농장으로부터 타 지역으로 전파 확산되어져 발생하는 양상을 분석함으로써 HPAI 발생을 예방하고 확산을 최소화 할 수 있는 실효성 있는 방역대책을 마련할 필요가 있다.

이들 중에서 가능성이 가장 높은 것은 야생조류에 의한 국내로의 유입이다. 전 세계적으로 약 13개목 100여종 이상의 야생조류에서 HPAI의 감염이 보고된 바 있으며, 국내에서도 2011년 기준으로 약 200여종, 126만 수의 철새가 우리나라를 통과하여 이동한 바 있다. 우리나라는 아시아-오스트렐리아 철새이동경로에 포함되며 국내로 유입되는 겨울철새는 일반적으로 여름에 러시아, 중국, 몽골 등 북방에서 번식하고 기온이 내려가면 9월 중순경부터 남하하여 다음해 3월말 ~ 4월까지 국내에 머물게 된다. 특히 이 시기는 기온이 낮아 바이러스의 야외 생존기간이 길기 때문에 철새도래지를 통하여 농장으로 바이러스가 유입될 가능성이 매우 높다. 유입경로는 농장 인근에 철새 도래지, 연못, 소하천, 주변 논밭 등 야생조류가 서식하는 지역의 오염된 분변 등을 사람 또는 차량(농기구 등)이 농장 안으로 가지고 들어올 가능성이 가장 높으며, 그 외에도 감염된 철새가 직접적으로 HPAI 바이러스를 농장 안으로 가지고 올 수도 있다. 또한 오염된 지역을 왕래하는 텃새, 야생쥐, 야생고양이, 방견 등 야생조수류를 통한 가금사육농장 내 유입 가능성을 고려하여야 한다.

수입 동물 및 축산물의 경우 대부분은 AI 비발생국에서 수입이 되고 있으며, AI 발생국에서 유입되는 축산물은 대부분 열처리 또는 가공처리하여 바이러스의 유입 가능성이 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서 수입되는 축산물에 의한 HPAI 유입 가능성은 매우 낮을 것으로 보인다. 하지만

AI 발생국인 동남아 등지에서 불법으로 야생조류의 밀반입이 이루어지고 있으며, 또한 축산물을 불법으로 휴대하여 입국하는 경우가 있으므로 이에 대한 검역은 지속적으로 이루어져야 한다.

국내에서 사용하는 사료의 원료 대부분은 수입품으로 베트남, 인도네시아, 태국 등 HPAI 발생국에서의 수입도 이루어지고 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 사료에 의한 전파로는 사료 자체의 오염, 운반차량이나 사람 등에 의한 기계적인 전파 등을 고려할 수 있다. 하지만 대부분의 사료가 배에 선적되어 운반되는 현실을 고려하였을 때, AI 바이러스에 오염된 사료라 할지라도 적게는 1주에서 길게는 1달 이상 동안 곡물 컨테이너의 덩고 습한 환경을 견디면서 국내로 수입될 때까지 조류인플루엔자 바이러스가 살아서 유입될 가능성은 매우 낮다.

마지막으로 외국인 근로자 및 외국 여행객에 의한 유입 가능성이 있다. 현재까지 국내에서 발생한 HPAI의 역학조사결과로는 외국을 방문 또는 거주한 사람에 의한 HPAI의 국내 유입은 없었으나, 지속적으로 방문 및 여행 빈도가 늘고 있는 현실에서 입출국시의 철저한 소독을 통한 검역 강화의 필요성이 있다.

2. HPAI 확산 요인별 분석

본 연구에서는 HPAI의 농장간 확산을 다양한 요인에 따라서 분석하여 각 요인별 위험성을 매트릭스로 구현하여 인적 및 물적 자원에 의한 질병의 확산 및 공기 중 전파로 인한 질병의 확산 등을 통합적 네트워크 모델을 구성하였다. 이를 위하여 기본적으로 질병의 확산에 관여할 수 있는 다양한 원인에 대한 고찰이 역학조사 전문가 (농림수산식품검역검사본부), 유체역학 전문가(서울대학교), 네트워크 전문가(서울대학교, 공주대학교) 그룹으로 이루어진 세 연구기관에 의하여 수행되었다. 이를 통하여 과거 HPAI 발생에 대한 역학조사 결과를 바탕으로 질병의 확산에 관한 다양한 요인을 생각하였으나 그 중에서는 실제 데이터를 얻을 수 있는 요인은 매우 제한적이었으며, 실질적인 데이터를 얻기가 어려운 요인들이 많았다. 따라서 이들 요인을 정리하여 질병확산을 분석하기 위한 기초데이터의 확보를 통한 연구의 정확도 향상을 위하여 관련된 확산 요인에 대한 정기 모니터링을 실시할 필요가 있으며, 각 요인별 위험도를 평가 및 확산을 예방하기 위한 적절한 조치에 대한 연구가 추후 필요할 것으로 판단된다.

가. 확산 요인에 대한 분류

HPAI 질병의 농장간 확산은 크게 감수성가축인 가금류(야생조류 등 포함)의 이동에 의한 동거축과의 사육과정에서 직접적인 접촉에 의한 전파, HPAI의 병원체에 직·간접으로 접촉된 오염원(가금류, 사람, 차량, 물건, 사료 등)과 공기유동물질(먼지, 깃털 등)의 이동에 의한 기계적인 간접전파으로 크게 분류할 수 있다. 직접전파의 경우는 첫째, 국내로 유입된 겨울철새(여름철새 포함) 들이 가금축사내로 직접 침입하여 사육하는 가금류와 직접 접촉하거나 가금축사내에 직접 배설한 분변과의 직접 접촉, 둘째, HPAI가 발생된 농장으로부터 발병개체 또는 잠복감염

개체가 타 농장으로 이동하여 감수성가축인 가금류와 동거사육하는 과정에서 잠복감염개체가 발병하거나 동거축이 감염되어져 발병한 것을 말한다. 또한 기계적인 간접전파의 경우는 첫째, 철새도래지나 가금사육농가 주변에서 먹이를 섭취하고 있는 잠복감염된 철새들과 이들이 배설해 놓은 오염된 분변들과 HPAI 발생농장의 오염원과 접촉된 국내에서 서식하는 까치, 참새 등 텃새가 비발생 가금축사로 유입되는 과정에서 오염원을 가금류에게 전파, 둘째, 야생쥐, 야생고양이, 방견, 닭, 족제비, 너구리 등의 야생동물들이 철새들이 배설해 놓은 오염된 분변과 접촉하거나 또는 HPAI 발생농장으로부터 오염원과의 접촉된 이후 비 발생 가금사육농장으로 조류 인플루엔자 병원체를 전파, 셋째, 철새도래지나 가금사육농장 주변에 철새들이 먹이섭취와 휴식과정에서 배설한 오염된 분변이나 HPAI 발생농장으로부터 오염원이 사람의 신발이나 옷, 농기구, 차량 등과의 접촉 후 비 발생 가금사육농가의 축사내로 병원체를 유입시키는 것, 네째, 철새도래지와 가금축사주변에 철새들이 배설해 놓은 오염된 분변이나 HPAI 발생농장의 오염원이 노출된 토양(먼지) 및 분변과 깃털 등이 바람이 의해서 또는 환풍기 배기구 등을 통해 공기유통물질(먼지, 깃털 등)로써 타 지역의 비 발생농장으로 전파되는 것을 말한다.

가금류가 고병원성조류인플루엔자 바이러스에 오염된 분변이나 감염된 동물간의 직접적인 접촉에 의한 것으로 가금사육농장에서 조류인플루엔자에 잠복 감염된 개체가 잠복기를 걸쳐 임상증상을 발현하기 시작하면서 기하급수적으로 분변이나 기침 등을 통하여 바이러스를 인근으로 배출하게 되며, 이렇게 배출된 오염물질들을 통하여 감염된 지역 또는 오염된 지역에 있는 바이러스가 직·간접적으로 건강한 감수성개체인 가금류의 체내로 유입됨으로써 조류인플루엔자에 감염이 된다. 이는 HPAI가 상재하는 중국, 동남아 등 인근 나라에서 유입되는 철새에 의하여 국내 철새 도래지 인근의 농장에서 초기에 HPAI가 유입되는 과정을 설명해 주며, 또한 농장 내부로 유입된 병원체가 감수성동물인 가금류간의 동거사육과정에서 축사별, 품종별, 일령별 등과 밀사정도 등 다양한 환경조건하에서 조류인플루엔자의 전파 및 확산에 큰 영향을 미치고 있다.

따라서 이를 바탕으로 하여 일반적으로 HPAI 가 확정된 발생 농장 500 m 반경으로 오염물질을 직접적으로 확산시키는 쥐와 같은 설치류 동물의 이동 반경을 살처분하고 있으며, 고양이, 살쥬 등의 농장주위에 서식하는 야생동물의 이동 반경인 3 km 이내와 인근 까치, 참새 등 텃새인 야생조수류 및 과거 주민들의 생활권(도보, 자전거 등)의 이동 반경인 10 km를 경계지역으로 설정한 이유 중에 하나이며, 철새의 거동거리인 반경 30km이내는 관리지역으로 설정한 이유이기도 하다. 하지만 이와 같이 30km이상의 원거리의 경우는 야생조수류에 의한 직접적인 전파보다는 인적·물적자원의 간접적인 전파를 통하여 질병에 오염된 농장에서 인근의 다른 농장으로의 병원체를 확산시키는 경우가 많고, 직접적인 전파의 경우는 조류인플루엔자가 발생된 농장으로부터 감염된 가금류의 이동에 의한 타 농장에 사육중인 감수성숙주인 가금류에게 병원체를 전파시킬 가능성이 더 높다고 할 수 있다.

농장간 확산은 직접적으로 감수성가축인 감염 또는 오염된 가금류가 직접적으로 비발생 타 가금사육농가로 입식되어져 동거 사육될 경우, 입식된 잠복감염개체 또는 잠복감염개체와 접촉

된 동거 가금류가 발생하는 것은 역학조사 등으로 전파 및 확산요인이 뚜렷하게 나타나지만 오염원의 접촉에 의한 간접적인 전파는 조류인플루엔자 발생 시 전파 확산되어지는 예측범위를 추정하기가 매우 어렵다.

그렇기 때문에 고병원성조류인플루엔자의 확산방지를 위한 방역조치를 위해서는 간접적인 기계적인 접촉에 의한 전파 요인이 역학조사과정에서 도출하기가 쉽지않아 방역 상 가장 어렵고 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 간접적 전파는 질병에 감염된 개체에 의하여 배출된 오염된 분변이나 오염물질, 깃털 등에 묻어 있는 바이러스가 사료,약품, 어리장 차량 등과 같은 축산 관련 차량이나 작업자,수의사, 축산관련 종사자 등의 옷이나 신발 등에 묻어서 인근의 농장으로 유입된 후 다시 2차적으로 확산되는 것을 의미한다.

따라서, 주로 차량 등에 의하여 원거리를 이동이 하기 때문에 과거처럼 농장과 농장간의 거리에 따른 영향이 무의미해지며 농장과 농장을 절점과 선으로 연결된 일종의 네트워크로 가정하여 농장간의 연결성을 분석하는 것이 중요하다. 이러한 간접적 전파의 상당수 요인들은 실제 HPAI가 발생 및 확정이 된 경우 역학조사 및 방역조치를 통하여 간접적 전파의 원인이 되는 차량이나 사람의 이동을 철저하게 통제함으로써 상당부분 예방 및 확산의 억제가 가능하다.

하지만 직접 및 간접적인 전파 이외에도 공기를 통한 전파의 경우 질병의 전파를 예방 및 차단하기 어렵기 때문에 그 전파 양상을 예측하고 분석하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 특히 공기 중 전파는 축사 내부의 높은 농도의 공기 중 에어로졸에 바이러스에 오염된 분변이 건조되거나 기침등을 통하여 입자상 물질로 배출되는 바이러스가 묻어 환기 장치를 통하여 외부로 배출된 후 외부의 기상조건 및 지형조건에 큰 영향을 받아 외부로 확산이 되어 인근의 농장을 감염시키는 원인이 된다. 특히 축사에서 발생하는 에어로졸 뿐 아니라 축산 관련차량의 이동 시 또는 어리장 차량의 이동 시 발생하는 에어로졸, 분변, 깃털 등은 도로 인근의 농장의 또 다른 질병 확산의 원인이 되는 반면 방역조치를 취하기가 어렵기 때문에 질병의 전파 확률이 직접 또는 간접적 전파에 비하여 상대적으로 낮을 것으로 예상되지만 그럼에도 불구하고 중요한 요인으로 분석될 필요가 있다.

나. 확산 요인별 분석방안 및 보완사항

농장에서부터 HPAI의 확산을 분석하기 위해서는 공기에 의한 질병의 확산, 사람의 일일생활권, 근거리에서의 야생조수류의 분포 및 이동, 물자 및 차량의 이동에 의한 전파 등을 종합적으로 고려하여야 한다. 하지만 본 모델에서는 기초 데이터의 부족으로 인하여 모든 발병 위험인자들을 고려할 수 없었으며 공기 중 전파, 인적 물적 자원의 이동을 네트워크화한 모델을 개발하였다. 추후에는 철새의 영향, 유통망의 상세 영향 등과 같은 요인을 추가하여 결과의 정확도를 향상시킬 필요성이 있다.

(1) 공기 중 전파

HPAI의 경우 공기 중으로 전파가 가능하다는 사실은 많은 선행 연구를 통하여 알려져 있으나 전파되는 정도를 정량적으로 제시하는 것은 매우 어렵다. 하지만 일반적으로 질병에 감염된 개체가 내뿜는 기침이나 분변에서 발생하는 병원체 등이 축사 내부의 공기 중 에어로졸에 흡착되어 멀리까지 확산되기 때문에 이를 바탕으로 각 농장이나 축산관련 차량에서 발생하는 에어로졸의 확산 농도를 바탕으로 공기 중 확산 가능성을 예측할 수 있다. 이를 위하여 상세한 지형 및 기상 조건을 고려하여 정밀한 공기 유동을 모의할 수 있는 전산유체역학 시뮬레이션을 활용하여 다양한 환경 요인에 따라서 질병에 감염된 농장에서 발생하는 에어로졸이 인근 농장으로 확산되는 정도를 예측하고 동시에 인근 도로의 차량의 이동에 의한 에어로졸의 확산 정도를 예측하였다. 이와 같은 결과를 풍환경을 분석한 풍향 빈도 매트릭스와 연동함으로써 특정 시기별로 공기 중으로 질병이 확산되는 경향을 예측할 수 있었다. 이와 같은 시뮬레이션 모델의 정확도를 향상시키기 위해서는 각 농장별로 발생하는 공기 중 에어로졸의 농도 및 물리·화학적인 특성을 고려하는 것이 중요하다. 따라서 향후에는 각 농장별 에어로졸의 농도 분포 및 물리, 화학, 생물학적인 요인을 동시에 고려할 수 있는 모델의 개발이 필요하다. 또한 농장별 발생량 등을 연령별, 환경 조건별, 환기 구조별로 분류함으로써 에어로졸의 발생 정도를 농장별로 예측할 수 있는 기준 농도를 제시할 수 있는 기초 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이와 함께 공기 중 에어로졸을 적절하게 포집하여 바이러스를 검출할 수 있는 모니터링 및 센싱 기술을 향상시키기 위한 연구가 필요하며, 인근 농장에서의 질병이 발생할 경우 건물안으로 유입구를 통하여 들어오는 공기에 대한 필터링 기법 또는 정화 기법이 필요하며 관련된 농장 운영 방안에 대한 고찰이 필요할 것으로 판단된다.

(2) 인적 교류를 통한 전파

HPAI의 최초 발생 원인 중 하나는 HPAI가 발생한 국가를 방문하는 농장주 또는 외국인 노동자의 출입이 될 수 있다. 또한 질병이 발생한 농장을 방문한 사람이 오염된 분변 등을 옷이나 신발에 묻혀 인근의 다른 농장을 방문한 경우 전파의 확률을 매우 높이는 요인으로 고려되어야 한다. 하지만 본 연구에서는 이와 같은 인적 교류를 통합 네트워크에 적용하는 것이 거의 불가능하였다. 이는 관련된 방문기록이나 축산관련인의 이동에 대한 적절한 기초 자료가 부족하기 때문으로 본 연구에서 반영할 수 있었던 부분은 유행 후 역학조사에서 기록된 최초 발병 농가의 감염당시 항의 목적으로 방문한 인접한 농가 축주들의 방문기록이었다. 확률 빈도 분석 결과 기타 확산 요인과 비교했을 때 인적 교류(항의 방문)가 상당히 밀접한 관련이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 인적 자료에 대한 기초 자료는 향후 필히 보완되어 상시 모니터링 및 방문록의 철저한 작성 등을 통해 자료를 확보하는 것이 필요하다.

(3) 차량의 이동에 의한 전파

축산관련차량의 농장 방문은 매우 중요한 전파 요인으로 고려되어야 한다. 이는 실제 농장에서 사료, 가축출하, 약품관련 차량의 출입이 빈번한데 반하여 이에 대한 위험성이나 방역조치는 일반적으로 소홀하기 때문이다. 본 연구에서는 차량의 이동에 의한 질병의 전파를 예측하기 위하여 각 농장별로 거래하는 회사의 사료 차량과 동물 약품 차량의 이동을 조사하였으며, 이를 바탕으로 동일한 회사와 거래하는 농장간의 연결성을 고려한 네트워크 모델을 개발하였다. 이를 통하여 차량의 왕래가 있는 농장간의 질병 전파 가능성을 예측할 수 있었다. 하지만 실제 운영되는 차량의 이동 경로와 방문 일시 및 빈도에 대한 정보는 얻기가 어렵기 때문에 확산에 방향성을 제시하기는 어려웠으며 기타 요인과의 동기화를 통한 통합 네트워크 개발 및 동적 시뮬레이션을 통한 해석에도 한계가 있었다. 즉, 차량이 A농장에서 B농장 방향으로만 움직인다면, B농장에서 발생한 질병이 A농장으로 전파될 확률이 적어지며 공기중 확산 영향과 동시간 간격으로 영향도를 비교하기는 어렵다.

따라서 농가를 방문하는 축산 관련 차량을 실시간으로 모니터링하거나 출입시 통제, 관리하는 시스템이 필요하며, 이를 통하여 차량의 이동경로 및 방문 농장에 대한 데이터를 축적함으로써 향후 통합 네트워크 모델의 정확도를 향상시키는 기초 자료로 활용할 필요성이 있다. 뿐만 아니라 현장실험 및 바이러스 검사 등을 통하여 차량의 어느 부분 (바퀴, 운전석, 문, 창, 적재함, 차체 바닥 등)에 병원체가 묻어서 유입될 수 있는지에 대한 기초 연구를 수행하여 이에 대한 대책을 마련할 필요가 있다.

3. 현장 맞춤형 방역 대책 마련

가. 기존의 방역 방안 분석

HPAI 가 발생할 경우 농림수산물식품부, 농림수산물검역검사본부, 시도 및 시군 등 가축방역기관에서는 첫째, 감수성가축과 그 생산물 등에 대한 이동제한 조치, 둘째, 발생농장과 발생지역 등에 대한 소독과 질병예찰 강화, 셋째, 감염축과 감염우려가 있는 동거축 등에 대한 살처분, 넷째, 살처분가축에 대한 사체의 매몰 또는 소각처리 등 크게 4가지 단계로 방역 조치가 수행되고 있다. 또한 이동제한의 경우 발생농장에서 일정한 범위를 오염, 위험, 경계지역 등 관리지역으로 설정하여 해당 지역 내에 사육하는 감수성 동물에 대한 이동을 제한하며, 이동제한 구역의 각 도로망에 통제초소 및 소독시설을 설치하여 운영하게 된다. 또한 방제차량을 사용하여 농장 및 주변에 대한 소독을 수행한다. 동시에 질병이 발생한 농장을 기준으로 약 10 km 이내에 대한 가금 사육농장에 대한 예찰을 강화하며, 인근 사육농가에서 AI 바이러스를 검사하고 동시에 전국 종오리농장, 종계장 등에 대한 긴급 예찰을 수행한다.

그리고, 발생 농장에서 사육되고 있는 감수성 동물은 감염 정도에 상관없이 확산의 방지 차원에서 살처분하며 모든 생산물을 폐기한다. 또한 오염지역 안에서 사육되고 있는 감수성 동물 및 생산물과 역학조사 결과를 바탕으로 HPAI 의 감염이 의심되는 경우 모두 살처분하게 된다.

또한 필요시 발생 농장에서 반경 3 km 내외의 사육되는 감수성 동물 및 생산물을 폐기하게 된다. 끝으로, 죽은 가축 및 살처분한 가축은 가축방역관의 감독하에 발생지 인접지역에서 매물 또는 소각 등의 방법으로 사체를 처리한다.

나. 가축질병 발생 시 대응 전략

HAI가 발생 시 그 피해를 최소화하기 위해서는 빠르고 적절한 방역조치가 매우 중요하기 때문에 가금 사육농장에서의 신속한 신고 및 자율적인 방역이 매우 중요하다. 또한 다양한 전파 원인을 사전에 파악함으로써 축산관련 인적 물적 자원의 이동, 공기 중 확산, 인근 야생조수류 등의 확산 요인에 대한 방역 조치가 필요하다.

또한 통합 네트워크 모델의 분석 결과를 토대로 확산 양상을 분석하여 발병 농가와 연결성이 높은 주요 농가를 통제하면 이와 연계된 다음 단계의 질병 확산을 최소화할 수 있다.

다. 가축질병 발생의 예방적 방역 대책 수립

축사, 사료창고, 분뇨처리장 등 축산관련 시설 내부로 야생조류가 들어오지 못하도록 농장주변은 울타리를 설치하고, 축사주변은 방조망 등 그물망을 설치하여 농장내 사육하는 가금류와 야생조류가 접촉을 하지 못하도록 차단해야 한다. 또한 가금사육농장 주변에 야생조류가 원천적으로 접근할 수 없는 환경조성을 위해 가금사육농가와 인접한 철새도래지는 잡목과 수풀 등을 제거하거나 소각하며, 농장주위의 논밭은 추수이후에 즉시 트랙터 등을 이용하여 땅을 뒤집어 주거나 낙곡방지와 소각 등 사전에 조류인플루엔자의 발병 위험요소를 제거 및 차단을 할 필요가 있다. 또한 철새서식지 등 야생조류 출몰지역에 대한 출입을 자제하고 출입 시에는 오염물질이 묻어서 농장으로 들어오지 않도록 철저히 세탁 또는 소독을 수행하여야 하며, 축사 출입 시는 축사입구에 실효성이 높은 소독약제가 들어있는 소독조를 설치하고, 반드시 외부 출입이후는 농장 내 전용장화를 신고 솔을 이용하여 장화 등 신발에 묻어있는 유기물을 제거한 후 출입하도록 한다.

또한 닭과 오리를 구입 시는 청정농장으로부터 건강한 개체를 구입하고, 구입 시는 격리축사에서 사육 후 본 축사로 입식을 하거나 출하 시 올-인 올-아웃을 한 농장일 경우는 격리사 대신 본 축사로 입식 시에도 일령대가 높은 쪽 축사로 입식을 한다. 그리고, 출하 시에는 올-인 올-아웃을 하는 것이 이상적이며, 부득이 한 경우는 출하 시 상차반과 출하차량 등에 대한 방역관리를 철저히 하여 외부로부터의 위험요소가 유입되지 않도록 차단한다. 또한 가금류를 사육하는 과정에서 축사 간 분동을 하는 경우는 농장내의 이동경로에 대하여 이동전후에 철저한 소독을 실시한다.

농장 출입 차량 및 사람을 통제 하며 농장을 방문하는 모든 축산관련차량 (사료, 가축수송, 동물약품 등) 및 탑승자에 대한 소독을 통한 방역을 철저히 하여야 하며, 방문하는 축산관련자들에 대한 방역의 중요성을 교육하는 것이 중요하다.

또한 통합 네트워크 모델의 중심성 분석으로 전체 농가 가운데 중심성이 높은 일부 농가들의 집중 방역 대책하면 예방적 차원의 효율적인 방역 대책을 수립할 수 있다.

전북 김제시와 같이 가금의 밀집사육되는 경우 농가 간의 방문을 통한 질병유입 및 전파 가능성이 매우 높기 때문에 농장 간 방문을 자제하여야 한다.

4. 연구 종합 결과 및 향후 필요한 연구 방향 제시

본 연구에서는 기존에 역학 조사 결과를 기반으로 하여 추가적인 데이터의 분석 및 확보를 통하여 2008년도 김제 HPAI 사례에 대한 주요인에 대한 DB 구축하였다. 이를 기반으로 동물약품 및 사료 차량의 이동에 대한 기초적인 자료를 확보하고 각 농장간의 이동성을 기반으로 점과 선으로 표현한 네트워크의 기초를 설계하였다. 또한 기존의 역학조사로 분석이 어려웠던 공기 중 질병의 전파를 전산유체역학 시뮬레이션을 활용하여 예측하고 이를 네트워크 모델에 적용함으로써 통합 질병확산 네트워크 모델을 개발할 수 있었다. 이를 활용하여 질병의 발생 시 다양한 요인에 따라서 질병이 확산되는 양상을 분석할 수 있었으며, 인근의 다른 농장들과의 연결성이 높은 허브 농장을 선정함으로써 이들 농장의 적극적인 사전 예방 및 질병 발생 시 효과적인 방역을 통하여 전체적인 질병의 전파 위험도를 낮추고자 하였다.

본 모델은 현재 기초적인 연구 수준으로써 전북 김제시 용지면 일대로 한정하여 약 40여개의 농장을 대상으로 네트워크를 구성하였으나, 이와 같은 설계 매커니즘은 다른 축종, 지역으로 충분히 확장이 가능하다. 예를 들어 구제역을 대상으로 할 경우 발생 및 확산의 원인이 되는 주요 인자를 추출하고, 이들 요인간의 선형적 및 공간적인 네트워크 모델을 구성할 수 있다. 이러한 네트워크 모델의 정확도는 관련된 인자를 설명하는 기초 데이터의 확보에 매우 큰 영향을 받으며, 이러한 인자들에 대한 기초 자료를 확보하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 각 농장별로 축종, 사육두수, 사육연령, 농장 수, 환기 구조 등의 기초적인 데이터는 물론 거래하는 사료 회사, 약품 회사, 수의사 등의 인적 물적 교류 대상 및 방문 빈도, 사육 환경 및 관리 방안 등에 대한 상시적인 모니터링 시스템이 매우 중요하다. 이들 요인들은 전염성 질병이 발생 시 인근으로 확산되는 영향을 빠르게 분석하는데 매우 중요한 입력 인자들이 되므로 전산화를 통한 국가적인 관리가 매우 시급하다. 이와 같은 데이터들은 추후 네트워크 시스템을 개발 하는데 필요한 기초 데이터로 매우 유용하게 활용될 수 있으며, 질병의 발생 시 확산을 예측하는 기준으로 활용이 가능하다. 또한 동시에 연결성이 높은 허브 농장의 경우 농장으로 출입하는 모든 인적 물적 자원의 방역을 철저히 함으로써 사전에 질병의 확산을 예방하는 것이 매우 중요하다.

상시 모니터링 시스템을 확보한다면, 다음 단계로 본 연구에서 개발한 통합 네트워크 모델을 시도 단위 및 전국적인 단위로 확장을 할 수 있다. 즉, 각 지역의 세부 네트워크에는 인적 물적 교류 및 공기 중 확산 가능성을 예측하여 상세한 네트워크 모델을 만들 수 있으며, 이들 세부 네트워크가 클러스터링되어 각 클러스터들의 인적 물적 교류를 바탕으로 한 전국적인 네트워크 모델을 구축할 수 있다. 이를 위하여 각 지역에서 도축 또는 생산되는 가축의 이동 및 축산관련인의 이동, 인적 물적 자원의 이동을 지역단위로 분석하여 전염성 질병의 발생 시 지역 외부로 확산되는 가능성을 최소화 할 수 있도록 사전 방역을 실시할 수 있는 네트워크 관련

정보를 확보할 필요가 있다.

끝으로 이와 같은 통합 네트워크 모델의 정확도를 향상시키기 위해서는 각 인자별 가중치를 분석하는 것이 중요하다. 즉, 축종이나 질병의 종류에 따라서 확산의 주 원인이 되는 전파 양상이 다를 뿐 아니라 동일한 축종에서도 일령별, 목적별 (예를 들어 육계, 산란계, 종계 등)로 질병의 전파를 야기하는 주요인이 다르게 된다.

따라서, 각 요인별로 위험도를 분석하기 위하여 공기 중 질병의 확산, 차량의 이동에 따른 확산, 사람에 의한 확산, 인근 야생조수류를 통한 확산 등의 상대적인 위험도를 평가하는 기준을 마련할 필요가 있다. 그리고, 고병원성조류인플루엔자의 유입원이 되는 철새에 대하여 국내외 번식처 및 월동지에 대한 계절별로 상세한 추가적인 조사와 국내로 유입되는 겨울철새와 여름철새 들간의 위험요소관리 방안 등에 대하여 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 본 연구에서는 전북 김제지역을 통해 물류의 시스템에 따른 전파확산 모델을 1차적으로 개발하는 수준에 머물렀지만, 본 과제를 수행하는 과정에서도 2010년도와 2011년도에 세계적으로 철새에서 고병원성조류인플루엔자가 다양한 지역에서 가장 많이 발생하였다. 그 동안 국내에서 발생한 고병원성조류인플루엔자가 특이하게도 지역별, 연도별, 축종별, 품종별로 아주 다양한 발생양상을 나타내고 있어, 국가적으로 또는 범세계적으로 고병원성조류인플루엔자의 예방과 발생 시 피해 최소화를 위해 본 연구에서 개발된 각종 기법을 이용하여 국내에서 발생한 고병원성조류인플루엔자의 전 발생 사례를 종합분석 및 응용하여 국가통합방역시스템(KAHIS)상에 고병원성조류인플루엔자의 확산 시뮬레이션 모델을 구축하고자 하며, 더욱 실효성 높은 고병원성조류인플루엔자 확산모델을 개발하여 고병원성조류인플루엔자가 발생 시의 국가 위기관리능력 배양과 더불어 생물학전 위기관리 능력에도 크게 효과적으로 사용될 것으로 판단된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

* 연도별 연구목표 및 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도 및 관련분야의 기술 발전에의 기여도 등을 기술

1. 연도별 연구목표 및 달성도

1세부과제명 : 질병 확산에 대한 기후 및 지형적 요인 분석을 위한 공기유동학적 모델 개발

2세부과제명 : HPAI의 유입 및 전파확산경로에 대한 위험요인평가 및 방제연구

3세부과제명 : HPAI 확산 경로 예측을 위한 네트워크 시스템 개발

구분 (연도)	세부과제	연구목표	달성도(%)
1차년도 (2009)	1세부	HPAI 발생지, 철새도래지의 기상자료 수집 및 위험도 분석	100
		HPAI 바이러스를 지닌 공기오염물질 발생 및 확산에 의한 질병 전파분석	100
		공기유동학적 3차원 시뮬레이션 모델의 검증을 위한 현장 실험	100
		HPAI의 공기 중 확산을 예측하기 위한 공기유동학적 3차원 시뮬레이션 모델 개발	100
	2세부	HPAI 발생지, 철새도래지에 대한 가금사육실태 및 조류상 조사	100
		HPAI 발생지의 가금 사육농가들의 관련물류의 유통경로 조사	100
		전국 재래시장 및 상설생축판매장 분포현황 및 유통실태 조사	100
		HPAI 발생농장 및 발생지역의 기왕력에 대한 추가분석	100
	3세부	질병확산네트워크 관련 이론 및 사례 연구	100
		HPAI 질병확산 위험요인자료 분석	100
		질병확산 네트워크 통합 기본 프레임 구성	100
	2차년도	1세부	HPAI 바이러스의 공기 오염물질에 의한 확산을 예측하기 위한 공기 유동학적 3차원 시뮬레이션 모델 개발
축산관련 차량의 이동시 비산먼지 거동 및 확산 현상 규명			100
2세부		HPAI 발생지역의 철새도래지, 가금 산업 및 물류 유통실태 조사	100
		HPAI 감염에 대한 역학조사결과 분석을 통한 확산 경로 예측 및 국내 유입 위험요인 분석	100
3세부		질병확산네트워크 구성을 위한 자료 구축	100

		연결요소 분석자료 및 구축된 자료를 활용한 질병확산 네트워크 구축	100
3차년도	1세부	3차원 대기장 계산 및 입자거동 현상 모의를 통하여 공기전파로 인한 가상 피해상황 분석	100
		공기 전파에 의한 HPAI 확산 예측 분석	100
		현장 맞춤형 방역 대책 마련 및 제시	100
	2세부	HPAI 발생지의 철새도래지 위험요인 조사 및 평가	100
		가금산업 물류유통과정에서 농장에서의 유입 및 전파 위험요인 조사 분석 및 평가	100
		연구결과를 바탕으로 위험요소별 전략적인 AI 예방 및 실제 방역정책에 활용할 수 있는 방안 제시	100
	3세부	다양한 요인에 대한 통합적 네트워크 모델 확립	100
		질병확산 네트워크 모델의 검증 및 활용	100
		다른 질병으로의 확장을 위한 네트워크 모델의 표준화	100

2. 관련분야의 기술발전예의 기여도

HPAI 와 같은 재난성 축산 전염병이 발생하는 경우 대부분의 방역 조치는 수의학에 근거하여 살처분 및 역학 조사를 수행하여왔다. 본 연구에서는 수 의학을 근거로 확보한 막대한 양의 역학조사결과를 바탕으로 하여 역학조사전문가의 상세 분석을 바탕으로 HPAI의 국내 유입에서부터 농장간의 확산 원인 및 경로에 대한 연구를 수행하였다. 이를 바탕으로 공학적인 접근 방법을 사용하여, 기존의 역학조사로는 규명하기 어려운 공기 중으로의 질병의 확산을 분석하였으며 동시에 다양한 요인을 동시에 고려할 수 있는 통합적 네트워크 시스템을 개발하여 대상 지역에 대한 HPAI 질병의 확산을 예측할 수 있는 기반을 마련하였다. 본 연구를 기반으로 하여 추후에는 다양한 축종에 대한 분석이 가능하도록 확장성을 확보하였으며 더 넓은 지역으로의 연구 확장을 위한 시스템을 개발하였다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 실용화·산업화 계획(기술실시 등)

HPAI 바이러스의 확산 및 전파와 공기 유동과의 역학적 관계 규명 및 공기 유동학적 시뮬레이션을 통한 환경 요인에 따른 확산 예측이 가능한 모델을 개발하였다. 이를 활용하여 전염성 질병의 공기 중 확산을 포함하는 인적, 물적인 이동, 철새도래지 등 다양한 위험요소 대응 전략에 관한 표준 네트워크 시스템을 제안함으로써 다양한 질병위험에 대하여 효율적으로 대처가 가능한 최적 관리 질병확산네트워크 시스템 개발 가능함

개발된 네트워크 시스템을 이용하여 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입 및 전파확산 위험요인에 대한 전략적 관리를 통하여 HPAI를 효과적으로 차단할 수 있으며, HPAI 발생 시에 역학조사, 초동방역조치, 방역대 선정 및 살처분 범위 설정 등을 위한 국가 가축방역대책 수립 시에 기초자료로써 적극 활용이 가능하다.

이를 통하여 추가적인 감염축 발생 예방과 살처분 대상 가축의 발생 최소화 등으로 환경오염 방지 및 가금농가와 관련 산업의 피해를 최소화하는 등 가금 산물에 대한 안전성 및 안정성 확보를 통한 공중보건위생향상을 통해 국가 신인도 제고에 크게 기여할 것으로 판단된다.

2. 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등

농가에 HPAI가 유입되는 다양한 경로 및 감염된 농가에서부터 유입되는 공기, 인적교류, 물적교류, 차량의 이동, 야생조수류 등 다양한 위험요인에 대한 효과적인 관리 및 발생시 대처방안에 대하여 농가에 예방 및 방역지도를 수행하며, 동시에 역학조사 수행을 위한 기초 자료로 활용할 수 있다.

HPAI 예방 및 방역 관리에 관한 정기 모니터링의 필요성, 광범위한 통합적 네트워크 모델의 개발을 통한 전략적 질병 관리 등에 대한 정책건의 자료로 활용할 수 있다.

3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등

국내외 학술 논문 발표 및 학술지, 전문잡지 등에 투고 및 홍보가 진행되었으며 또한 예정되어 있다.

가. 국내 논문 투고 현황

- 서일환, 이인복, 문운경, 홍세운, 황현섭, J.P. Bitog, 권경석, 김기연 (2011). 고병원성 조류인플루엔자 (HPAI)의 에어로졸을 통한 공기 전파 예측을 위한 공기유동학적 확산 모델 연구. 한국농공학회지, 53(1), 29-36 (ISSN 1738-3692).

- 이형진, 정남수, 문운경, 이정재, 네트워크 중심성 분석을 통한 고병원성 조류인플루엔자 확산 차단, 한국농공학회지, 53(1), 9-15 (ISSN 1738-3692).
- 토종닭에서의 H5N1 고병원성 조류인플루엔자 발생의 역학적 특성 (투고 예정)
- 서일환.. 축산관련차량 이동시 도로에서 발생하는 에어로졸의 농도 분석 (투고 예정)

나. 국외 논문 투고 현황 (SCI급)

- Yang Dong-Kun, Yoon-I Oh, Hye-Ryoung Kim, Youn-Jeong Lee, Oun-Kyong Moon, Hachung Yoon, Byounghan Kim, Kyung-Woo Lee, Jae-Young Song. (2011) Serosurveillance for Japanese encephalitis virus in wild birds captured in Korea. J. Vet. Sci. 12(4). 373-377
- Kim Hye-Ryoung, Bang-Sil Kim, You-Chan Bae, Oun-Kyoung Moon, Jae-Ku Oem, Hyun-Mi Kang, Jun-Gu Choi, O.-Soo Lee, Youn-Jeong Lee (2011) H5N1 subtype highly pathogenic avian influenza virus isolated from healthy mallard captured in South Korea. Veterinary Microbiology. 151. 386-389.
- Il-hwan Seo In-bok Lee. CFD application for estimation of airborne spread of HPAI (Biosystems Engineering 투고 예정)
- Hyungjin Lee, Namsu Jung, In Bok Lee, Il Hwan Seo , Oun-Kyong Moon, Jeongjae Lee, Social network analysis to the interaction with farms in the 2008 Highly Pathogenic H5N1 Avian Influenza Virus in South Korea. JOURNAL OF INFECTIOUS DISEASES (투고 예정)
- Oun-kyoung Moon. Epidemiological investigation of HPAI spread in 2008 in Kimje, Korea (J. Vet. Sci. 투고 예정)

다. 학술 논문 발표 현황

- 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 에어로졸을 통한 공기 전파 예측을 위한 공기유동학적 확산 모델 연구. 서일환, 이인복. The 2011 KSAE Annual Conference. 2011년 9월 22~23 일. 경주 코모도 호텔.
- HPAI 확산 차단을 위한 주요 지점 통제, 이형진, 정남수, 이정재, The 2010 KSAE Annual Conference, 2010년 9월 건국대학교
- 공기유동학적 모델을 통한 고병원성 조류인플루엔자의 확산 예측. 서일환, 이인복. Aerodynamic approach for estimation of highly pathogenic avian influenza spread. 제 14회 한국풍공학회 학술발표대회. The Wind Engineering Institute of Korea. 2011. 5. 27. 전남대학교

- Aerodynamic Approaches for the Prediction of Spread the HPAI (High Pathogenic Avian Influenza) on Aerosol. I. Seo, I. Lee, H. Hwang, S. Hong, J.P. Bitog, K. Kwon. 2011 ASABE Annual International Meeting. (USA)
- CFD application for estimation of airborne spread of animal disease. CIGR 2012. Valencia, Spain. (7월 발표 예정)

라. 전문 잡지 투고 및 광고 현황

- AI 등 질병 차단방역 관련 강의. 문운경. 2011.10.17. 시도방역기관
- 가축질병관리 (질병진단). 문운경. 2011.08.29.-09.02. 시도방역기관
- 농협 낙농컨설팅요원 질병관리방법. 문운경. 2011.08.10.. 농축가 및 수의사
- 구제역, AI 재발 방지 워크샵 강의 (조류인플루엔자의 이해). 문운경. 2011.11.08.. 충청남도

4. 추가연구, 타연구에 활용 계획 등

사육농가의 질병발병위험도 평가를 통한 가축 질병 발병 요인 제거를 통해서 노출된 위험요소에 대하여 전략적 집중 관리를 통한 예방중심의 방역대책 수립 및 방제프로그램 개발 가능하다. 또한 이는, 추후 타 가축전염성 질병에도 응용 가능하기 때문에 국가적인 가축 질병 통합 관리 시스템을 개발하기 위한 기초 모델로써 사용될 수 있다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본문 (제 3장) 에 수록함.

제 7 장 참고문헌

- 김유근; 송상근; 오인보 (2002). 중관기상장 및 지형의 특성에 따른 황사의 수송경로 추정. 한국기상학회지, 12(1), 261-3.
- 김재진; 백종진 (2005). CFD 모형을 이용한 도시 지역 흐름 및 스칼라 분산 연구. 한국기상학회지, 41(5), 733-49.
- 남재철; 황승언; 박순웅 (2004). 대기오염물질의 연직수송에 미치는 전선의 역할 II: MM5를 이용한 3차원 연직 수송 실험. 한국기상학회지, 14(4), 3-18.
- 우병준; 이형우; 황윤재; 김진년 (2008). 고병원성 조류인플루엔자 발생의 경제적 피해 계측, 한국농촌경제연구원.
- 윤하정; 박지용; 박최규; 이윤정; 하진경; 정승교; 이용주; 정지원; 이수두; 권준현; 문운경; 이상진 (2008). '03/'04 및 '06/'07 H5N1 고병원성 조류인플루엔자 유행의 역학적 특성. 한국수의공중보건학회, 32(2), 109-16.
- 정태섭 (1996). 비산먼지의 대기중 전송과정의 모델화에 관한 연구. 대한환경공학회지, 18(10), 1171-82.
- 통계청 (2010). 가축동향. 통계청 사회통계국 농어업통계과.
- 국립수의과학검역원. 2008. '08. 고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 역학조사보고서. 농림수산식품부 국립수의과학검역원 역학조사위원회
- Anderson, R. M. and May, R. M., (1991) Infectious Diseases of Humans, Oxford University Press, Oxford
- Albert-László Barabási, Réka Albert, (1999) Emergence of Scaling in Random Networks, Science, Vol. 286 no. 5439 pp. 509-512
- Annalisa Cicerchia, (1999) Measures of Optimal Centrality: Indicators of City Effect and Urban Overloading, SOCIAL INDICATORS RESEARCH, Vol. 46, No. 3, 273-299
- Baraba'si, A.-L., Jeong, H., Ravasz, E., Ne'da, Z., Schuberts, A., and Vicsek, T., (2002), Evolution of the social network of scientific collaborations, Physica A 311, 590-614.
- Beauchamp M. A., (1965) An improved index of centrality, Behavioral Science, Vol 10, No. 2, 161-163
- Benbough JE (1971). Some factors affecting survival of airborne viruses. Journal of General Virology, 10(1), 209-20.

- Blockena B, Stathopoulos T, Carmeliet J (2007) CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems. *Atmospheric Environment* 41, 238–252
- Boccaletti S., V. Latora, Y. Moreno, M. Chavez, D.U. Hwang, (2006) Complex networks: Structure and dynamics, *Physics Reports*, Vol. 424, 175–308
- Bonchev, D and Buck, G. A. , (2005) Quantitative Measures of Network Complexity, *Complexity in Chemistry, Biology and Ecology*
- Bournet PE, Ould Khaoua SA; Boulard T (2007). Numerical prediction of the effect of vent arrangements on the ventilation and energy transfer in a multi-span glasshouse using a bi-band radiation model. *Biosystems engineering* 98, 224–234
- Bournet and Boulard, 2010
- Carmichael GR; Uno I; Phadnis MJ; Zhang Y; Sunwoo Y (1998). Tropospheric ozone production and transport in the springtime in east Asia. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 101(1), 1691–712.
- Chen PS; Lin CK; Tsai FT; Yang CY; Lee CH; Liao YS; Yeh CY; King CC; Wu JL; Wang YC; Lin KH (2009). Quantification of airborne influenza and avian influenza virus in a wet poultry market using a filter/real-time qPCR method. *Aerosol Science and Technology*, 43(4), 290–7.
- Choi H-C; Yeon G-Y; Song J-I; Kang H-S; Kwon D-J; You Y-H; Yang C-B; Chun S-S; Kim Y-K (2006). Dust spatial distribution and emission of tunnel ventilated windowless broiler building. *The Korean Society for Livestock Housing and Environment*, 12(3), 123–32.
- Descamps I; Harion J, Baudoin B (2005). Taking-off model of particles with a wide size distribution. *Chemical Engineering and Processing*, 44(2), 159–66.
- Di Sabatino, S., R. Buccolieri, B. Pulvirenti, and R. Britter. (2007) Simulations of pollutant dispersion within idealized urban type geometries with CFD and integral models. *Atmos. Environ.* 41(37): 8316–8329.
- DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft, (2008) MAK- und BAT-Werte-Liste 2008 - Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe - Mitteilung 44
- Dorogovtsev S. N., AV Goltsev, JFF Mendes, (2008) Critical phenomena in complex networks, *Reviews of Modern Physics*, Vol. 80, 1275–1335
- Fiegel J; Clarke R; Edwards D A (2006). Airborne infectious disease and the suppression of pulmonary bioaerosols. *Drug discovery today*, 11(1), 51–57
- Fluent manual (2008). *Fluent User Guide*, version 6.3. Lebanon, N.H., USA.
- Franke J; Hirsch C; Jensen AG; Krus HW; Schatzmann M; Westbury PS; Miles SD; Wisse JA; Wright NG (2004). Recommendations of the use of CFD in wind

engineering

- Freeman L. C., (1979) Centrality in social networks conceptual clarification, *Social networks*, Vol. 1, No. 3, Pages 215-239
- Germann T C; Kadau K; Longini I M; Macken C A (2006). Mitigation strategies for pandemic influenza in the United States. *PNAS*, 103(15), 5935-5940
- Gloster, J., R. F. Sellers, H. Webster and J. Valarcher, (2006) Assessing the risk of airborne spread of foot-and-mouth disease : a case study. *Weather*, 61, 137-142
- Gloster J; Jones A; Redington A; Bruglin L; Sorensen JH; Turner R; Dillon M; Hullinger P; Simpson M; Astrup P; Garner G; Stewart P; D'Amours R; Sellers R; Paton D (2009). Airborne spread of foot-and-mouth disease -model intercomparison. *The Veterinary Journal*, in Press.
- Greenhalgh, D., (1986) Optimal control of an epidemic by ringvaccination, *Communications in Statistics: Stochastic Models* 2, 339-363
- Guimera', R., Danon, L., Di'az-Guilera, A., Giralt, F., and Arenas, A., (2002) Self-similar community structure in organisations, Preprint cond-mat/0211498
- Hagen LJ (2004). Fine particulates (PM10 and PM2.5) generated by breakage of mobile aggregates during simulated wind erosion. *Transactions of the ASAE*, 47(1), 107-12.
- Harper GJ (1963). The influence of environment on the survival of airborne virus particles in the laboratory. *Archives of Virology*, 13(1-3), 64-71.
- Hefny MM; Ooka R. CFD analysis of pollutant dispersion around buildings: effect of cell geometry. *Building and Environment* 44, 1699-1706.
- Hood AM (1963). Infectivity of influenza virus aerosols. *Journal of Hygiene*, 61(3), 331-5.
- Huberman, B. A., and Hogg, T., (1986), Complexity and Adaptation, *Physica D*, vol. 22, 376-384
- Ijaz MK; Karim YG; Satar SA; Johnson-Lussenburg CM (1987). Development of methods to study the survival of airborne viruses. *Journal of Virological Methods*, 18(2-3), 87-106.
- Johannes Muller, Birgitt Schonfisch, Markus Kirkilionis, (2000) Ring Vaccination, *J. Math. Biol.* 41, 143-171
- Jong MD; Hien TT (2006). Avian influenza A (H5N1). *Journal of Clinical Virology*, 35(1), 2-13.
- Kim, Y. H., (2007), Social network analysis, pakyounghsa, Seoul (in Korean)
- Klontz, K.C. et al. (1989) An outbreak of influenza A/Taiwan/1/86 (H1N1) infections

- at a naval base and its association with airplane travel. *Am. J. Epidemiol.* 129, 341 - 348
- Kim T-H; Hwang W-C; Zhang AD; Sen S; Ramanathan M (2008). Multi-agent model analysis of the containment strategy for avian influenza (AI) in South Korea. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine*, 335-8.
 - Knight V (1980). Viruses as agents of airborne contagion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 353(1), 147-56.
 - Kretzschmar M., S van den Hof, J Wallinga, J, (2004) Ring vaccination and smallpox control, *Emerging Infectious Diseases*, Vol 10, No. 5, 832-841
 - Krumkamp R., Hans-Peter Duerr, Ralf Reintjes, Amena Ahmad, Annette Kassen and Martin Eichner, 2008, Impact of public health interventions in controlling the spread of SARS : Modelling of intervention scenarios
 - Launder BE; Spalding DB (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269-289.
 - Lee, J. H., (2008), 2008 Epidemiology Investigation of Highly pathogenic avian influenza, 32-38, National Veterinary Research Quarantine Service (in Korean)
 - Lee I-B; Han H-T; Hong H-K; Sung S-H; Hwang H-S; Hong S-W; Seo I-H; Kwon S-H (2009). *Japan Agricultural Research Quarterly* , 43(3), 227-37.
 - Lee, M. J., (2008), Complex systems and networks of social change, 93-99, Korea Information Society Development Institute (in Korean)
 - Liljeros F., C. R. Edling, L. A. N. Amaral, H. E. Stanley Y., (2001) The web of human sexual contacts, *Nature* 411, 907-908
 - Li, Y., and Y. Guo. 2008. Numerical simulation of aerolian dusty sand transport in a marginal desert region at the early entrainment stage. *Geomorphology* 100(3-4): 335-344.
 - Pasquill (1961)
 - Li, X., Chai, T., Wang, Z., Song, C., Cao, H., Liu, J., Zhang, X., Wang, W., Yao, M., Miao, Z., (2009) Occurrence and transmission of Newcastle Disease Virus aerosol originating from infected chickens under experimental conditions. *Vet. Microbiol.* 136, 226 - 232.
 - Loomis C.P., and C Proctor, (1950) The relationship between choice status and economic status in social systems, *Sociometry*, Vol. 13, No. 4, 307-313
 - Loosli CG; Lemon HM; Robertson OH; Appel E (1943). Experimental airborne influenza infection. I. Influence of humidity on survival of virus in air. *Proceedings of the Society for Experimental Biology*, 531, 205-6.

- Lowen AC; Mubareka S; Steel J; Palese P (2007). Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *Public Library of Science : Pathogens*, 3(10), 1470-6.
- Mariolis, P., (1975) Interlocking directorates and control of corporations: The theory of bank control, *Social Science Quarterly* 56, 425-439
- Martinez, N. D., (1992), Constant connectance in community food webs, *American Naturalist* 139, 1208-1218.
- May R. M. and R. M. Anderson, (1988) The transmission dynamics of human immunodeficiency virus(HIV), *Philos. Trans. R. Soc. London B* 321, 565-607
- Mayer. D., J. Reiczigel and F. Rubel, 2008, A Lagrangian particle model to predict the airborne spread of foot-and-mouth disease virus, *Atmospheric Environment* 42(2008) 466-479
- Mazumdar S; Chen Q (2008). Influence of cabin conditions on placement and response of contaminant detection sensors in a commercial aircraft, *Journal of Environmental Monitoring*, 10, 71-81.
- Memarzadeh F; Jiang J (2000). Methodology for minimizing risk from air-borne organisms in hospital isolation rooms. *ASHRAE Transactions:Symposia*. MN-00-11-2
- Mika P., (2004), Social networks and the semantic web, *Web Intelligence*, 2004. WI 2004. Proceedings. *IEEE/WIC/ACM International Conference* , 285 - 291
- Milliez M; Carissimo B (2007). Numerical simulations of pollutant dispersion in an idealized urban area, for different meteorological conditions. *Boundary-Layer Meteorol*, 122(2), 321-42.
- Mitchell CA; Guerin LF (1972). Influenza A of human, swine, equine and avian origin: comparison of survival in aerosol form. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 36(1), 9-11.
- Mikkelsen. T., S. Alexandersen, P. Astrup, H. J. Champion, A. I. Donaldson, F. N. Dunkerley, J. Gloster, J. H. Sorensen and S. Thykier-Nielsen, (2003) Investigation of airborne foot-and-mouth disease virus transmission during low-wind conditions in the early phase of the UK 2001 epidemic, 3, 677-703
- Milgram, S., (1967), The small world Problem, *Psychology Today* 2, 60-67.
- Mitchell CA; Guerin LF; Robillard J; (1968). Decay of influenza A viruses of human and avian origin. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 32(4), 544-6.
- Moreno Y., J. B. Gómez, A. F. Pacheco, (2003), Epidemic incidence in correlated complex networks, *Phys. Rev. E* 68, 035103
- Moreno Y., M. Nekovee, A. F. Pacheco, (2004), Dynamics of rumor spreading in

- complex networks, *Phys. Rev. E* 69, 066130
- Mowshowitz, A., (1968), Entropy and the Complexity of Graphs, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 30, 175–204
 - Müller J., B. Schönfisch, M. Kirkilionis, (2000), Ring vaccination, *Journal of Mathematical Biology*, Vol. 41, No. 2, 143–171
 - Newman, M. E. J., Moore, C., and Watts, D. J., (2000) Meanfield solution of the small-world network model, *Phys. Rev. Lett.* 84, 3201–3204.
 - Newman, M. E. J., (2002), Spread of epidemic disease on networks, *Phys. Rev. E* 66, 016128
 - Newman, M. E. J., S. Forrest, J. Balthrop, (2002), Email networks and the spread of computer viruses, *Phys. Rev. E* 66, 035101
 - Ouwerkerk ENJ; Pedersen S (1994), Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate ventilation rates in livestock buildings. *Proceedings of the XII World Congress on Agricultural Engineering*, Milano, 516–29.
 - Pastor-Satorras, R. and Vespignani, A., (2001), Epidemic dynamics and endemic states in complex networks, *Phys. Rev. E* 63, 066117
 - Pontiggia M; Derudi M; Busini V; Rota R (2009). Hazardous gas dispersion : A CFD model accounting for atmospheric stability classes. *Journal of Hazardous Materials* 171. 739–747
 - Réka Albert* and Albert-László Barabási, (2002), Statistical mechanics of complex networks, *Reviews of modern physics*, 30
 - Riddle A; Carruthers D; Sharpe A; McHugh C; Stocker J (2004), Comparisons between FLUENT and ADMS for atmospheric dispersion modeling. *Atmospheric Environment* 38, 1029–1038
 - Sabatino SD; Buccolieri R; Pulvirenti B; Britter R (2007). Simulations of pollutant dispersion within idealised urban-type geometries with CFD and integral models. *Atmospheric Environment*, 41(37), 8316–29.
 - Sattar SA; Iljaz MK (1987). Spread of viral infections by aerosols. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 17(2), 89–131.
 - Schaffer FL; Soergel ME; Straube DC (1976). Survival of airborne influenza virus: effects of propagating host, relative humidity and composition of spray fluids. *Archives of Virology*, 51(4), 263–73.
 - Sedlmaier N; Hoppenheidt K; Krist H; Lehmann S; Lang H; Buttner M (2009). Generation of avian influenza virus(AIV) contaminated fecal fine particulate matter (PM2.5): Genome and infectivity detection and calculation of immission. *Veterinary*

Microbiology, 139(1-2) 156-64.

- Seedorf J; Hartung J; Schroder M; Linkert KH; Pedersen S; Takai H; Johnsen JO; Metz JHM; Groot Koerkamp PWG; Uenk GH; Phillips VR; Holden MR; Sneath RW; Short JL; White RP; Wathes CM (1998). A Survey of ventilation rates in livestock buildings in northern europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(1), 37-47.
- Seo I-H; Lee I-B; Shin M-H; Lee G-Y; Hwang H-S; Hong S-W; Bitog J P; Yoo J-I; Kwon K-S; Kim Y-H; Bartzanas T (2010). Numerical prediction of fugitive dust dispersion on reclaimed land in Korea. *Transactions of the ASABE*, 53(3), 891-901
- Shechmeister IL (1950). Studies on the experimental epidemiology of respiratory infections. III. Certain aspects of the behavior of type A influenza virus as an air-borne cloud. *The Journal of Infectious Diseases*, 87(2), 128-32.
- Songer JR (1967). Influence of relative humidity on the survival of some airborne viruses. *Applied Microbiology*, 15(1), 35-42.
- Sorensen J. H., C. O. Jensen, T. Mikkelsen, D. K. J. Mackay and A. I. Donaldson, 2000, *Modelling the Atmospheric Dispersion of Foot-and Mouth Disease Virus for Emergency Preparedness*
- Takai H; Pedersen S; Johsen JO; Metz JHM; Groot Koerkamp PWG; Uenk GH; Phillips VR; Holden MR; Sneath RW; Short JL; Withe RP; Hartung J; Seedorf J; Schroder M; Linkert KH; Wathes CM (1998). Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in northern europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(1), 59-77.
- Tominaga Y; Mochida A; Yoshie R; Kataoka H; Nozu T; Yoshikawa M; Shirasawa T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind engineering and industrial aerodynamics* 96, 1749-1761
- Tsukamoto K; Imada T; Tanimura N; Okamatsu M; Mase M; Mizuhara T; Swayne D; Yamaguchi S (2007). Impact of different husbandry conditions on contact and airborne transmission of H5N1 highly pathogenic avian influenza virus to chickens. *Summarized from Avian Diseases*, 51(1), 129-32.
- Wasserman, S. and Faust, K., (1994), *Social Network Analysis*, Cambridge University press, Cambridge
- Watts, D J., A, (2002), simple model of global cascades on random networks, *Proc. NatE. Acad. Sci. USA* 99, 5766-5778
- Weber TP; Stilianakis NI (2008). Inactivation of influenza a viruses in the

environment and modes of transmission: a critical review. *Journal of Infection*, 57(5), 361–73.

- Wells WF; Brown HW (1936). Recovery of influenza virus suspended in air and its destruction by ultraviolet radiation. *American Journal of Hygiene*, 24(2) 407–13.
- Wieringa, J., Davenport, A.G., Grimmond, C.S.B. & Oke, T.R. (2001) New Revision of Davenport Roughness Classification. Proceedings of the 3rd European & African Conference on Wind Engineering, Eindhoven, Netherlands, July 2001, 8pp.
- WHO (2007). Avian Influenza, Including Influenza A (H5N1), in Humans: WHO Interim Infection Control Guideline for Health Care Facilities. WHO.