

가축질병 방역활동 지원을 위한 국가동물방역통합시스템 시공간 정보 활용*

박선일¹ · 박홍식² · 정우석² · 이경주^{3*}

Utilizing Spatial and Temporal Information in KAHIS for Aiding Animal Disease Control Activities

Son-II PARK¹ · Hong-Sik PARK² · Woo-Seog JEONG² · Gyoung-Ju LEE^{3*}

요 약

고병원성 조류인플루엔자(Highly Pathogenic Avian Influenza: HPAI)는 전염력이 매우 높아 발병 시 전국적으로 확산되어 막대한 사회경제적 피해를 유발하는 제1종 법정가축전염병이다. 국가동물방역통합시스템(Korea Animal Health Integrated System: KAHIS)은 축산차량등록제를 통하여 축산관련차량의 축산관련시설 출입정보를 실시간으로 기록함으로써 가축질병 발생 시 신속한 방역업무를 지원하기 위하여 구축한 통합시스템이다. KAHIS는 가축질병 발생 시 차량이동에 의한 확산경로를 효과적으로 추적하기 위한 시공간 정보를 포함한다. 이러한 시공간 정보를 바탕으로 시설들 간 연결 관계를 나타내는 접촉 네트워크를 구축할 경우 가축질병의 시공간 확산과정 추론에 유용하게 활용할 수 있다. 본 연구의 목적은 가축질병 방역활동 지원을 위하여 KAHIS에 내재된 시공간 정보를 접촉 네트워크로 구축하여 일차적 활용방안을 실증적으로 제시하는 것이다. 구축한 접촉 네트워크를 토대로 가축질병의 확산이 이루어지는 잠재적 시공간적 권역을 추정함으로써 차단·방역 관련 의사결정을 돕기 위한 분석정보를 도출하고 해석을 통하여 정책적 함의를 제시하였다. 아울러 좀 더 고도화된 의사결정 지원정보 도출을 위한 접촉 네트워크의 심층적 활용 방안을 제시하였다.

주요어 : 고병원성 조류인플루엔자, 국가동물방역통합시스템, 방역업무, 접촉 네트워크

ABSTRACT

2016년 11월 11일 접수 Received on November 11, 2016 / 2016년 12월 15일 수정 Revised on December 15, 2016 / 2016년 12월 19일 심사완료 Accepted on December 19, 2016

* 본 연구는 2014-2016년 농림축산식품부 역학조사과의 용역연구인 “조류인플루엔자 유입감시 체계 구축 (과제번호: Z-1543068-2014-14-01)”에 의해 수행되었음.

1 강원대학교 수의과대학 및 동물의학종합연구소 College of Veterinary Medicine and Institute of Veterinary Science, Kangwon National University

2 농림축산검역본부 동물질병관리부 역학조사과 Dept. of Veterinary Epidemiology, Animal and Plant Quarantine Agency

3 한국교통대학교 도시·교통공학과 Dept. of Urban and Transportation Engineering, Korea National University of Transportation

* Corresponding Author E-mail : lgjracer@gmail.com

HPAI(Highly Pathogenic Avian Influenza) is a contagious animal disease that spreads rapidly by diffusion after the first occurrence. The disease has brought tremendous social costs and economic losses. KAHIS (Korea Animal Health Information System) is the integrated system for supporting the task of preventing epidemics. They provide decision-support information, recording vehicle visiting times and facility location, etc., which is possible by enforcing registration of all livestock related facilities and vehicles. KAHIS has accumulated spatial and temporal information that enables effective tracing of potential disease trajectories and diffusion through vehicle movements. The contact network is created utilizing spatial and temporal information in KAHIS to inform facility connection via vehicle visitation. Based on the contact network, it is possible to infer spatial and temporal mechanism of disease spread and diffusion. The study objective is to empirically demonstrate how to utilize primary spatial and temporal information in KAHIS in the form of the contact network. Based on the contact network, facilities with the possibility of infection can be pinpointed within the potential spatial and temporal extent where the disease has spread and diffused. This aids the decision-making process in the task of preventing epidemics. By interpreting our demonstration results, policy implications were presented. Finally, some suggestions were made to comprehensively utilize the contact network to draw enhanced decision-support information.

KEYWORDS : *Highly Pathogenic Avian Influenza, Korea Animal Health Information System, Task of Preventing Epidemics, Contact Network*

서 론

고병원성 조류인플루엔자(Highly Pathogenic Avian Influenza: HPAI)는 전염성이 매우 강한 가축질병으로 일단 발병하면 100%에 가까운 치사율을 보이기 때문에 예방적 살처분과 이동제한 등에 기인하여 막대한 경제적 피해를 유발한다(Lin and Heffernan, 2011; Yang, 2013). 또한 감염된 가금류와 사람이 직접 접촉하는 경우 사망에 이를 수 있으며 특히 베트남을 비롯한 동남아시아 지역을 중심으로 다발하고 있다(Pfeiffer *et al.*, 2007). HPAI 바이러스의 강한 전염력과 높은 치사율을 감안하여 세계동물보건기구에서는 국제교역에 있어서 적극적 규제와 방역의 필요성을 강조하고 있으며, 우리나라에서도 제1종 법정 가축전염병으로 지정하여 엄격하게 관리하고 있다(Park *et al.*, 2015). 또한 HPAI가 발생하기 이전에 상시적

검체계 운영과 잠정적 감염원 등에 대한 적극적인 모니터링 등을 통하여 사전적 예방을 위한 노력의 중요성이 강조되고 있다(Lee *et al.*, 2006). 그러나 일단 발병이 이루어질 경우 잠재적 확산경로를 신속하게 파악함으로써 초동 대응 및 차단방역을 효과적으로 시행함으로써 예방적 살처분 등으로 인한 사회경제적 피해를 최소화하기 위한 노력 역시 매우 중요하다(Park and Bae, 2016).

가금 농가를 포함한 축산관련시설을 방문하는 축산관련차량은 가축질병을 전국적으로 급속하게 확산시키는 주요 전파 매체들 중 하나로 지적되고 있다(Bae *et al.*, 2016; Kerkhove *et al.*, 2009). 2015년 농림축산검역본부 역학조사 보고서 따르면 차량방문에 의하여 가축질병이 농장 간 전파되는 비율이 78.9%로 가장 큰 비중을 차지하는 것을 알 수 있다(Park and Bae, 2016). 따라서 축산관련시설을 방문하는 차량의 이동궤적을 방문시설의 위치와 방문시

간 등의 정보를 실시간으로 기록하고 이들을 면밀하게 체계적으로 분석할 수 있는 기반을 조성할 경우, 최초 질병이 발생한 시점과 위치에 관한 정보를 토대로 시간의 추이에 따라 지리적 공간상에서 확산이 어떻게 이루어져왔는지를 파악하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

그래프 이론 기반의 사회연결망 분석방식은 가축질병이 발생하여 시간의 추이에 따라 어떻게 확산되는지 예측하기 위한 체계화된 분석틀로서 활용되어져왔다. 이와 관련하여 최근 수행되어온 여러 연구들에서는 그래프 이론에 기반을 두고 있는 사회연결망(social network) 자료구조 및 분석기법을 활용하여 가축질병의 시공간 확산모형을 구축하고 실증자료에 적용하여 효율적인 차단방역을 위한 정책적 함의를 제시하고 있다(Martin *et al.*, 2011; Brennan *et al.*, 2008; Webb, 2005; Martinez-Lopez *et al.*, 2009; Firestone *et al.*, 2012; Smith *et al.*, 2013). 사회연결망 모형을 응용한 이들 연구들에서는 시간의 추이에 따른 질병의 확산 메커니즘을 접촉 네트워크(contact network)라는 개념을 바탕으로 설명한다(Firestone *et al.*, 2012). 접촉 네트워크란 가령, 가축차량이 감염된 농가를 방문한 뒤 가축시장이나 도살장 등지에서 하역하는 과정에서 다른 가축차량들과의 직간접적 접촉이 이루어지고 이들이 다른 감염되지 않은 농가를 방문할 경우 질병이 확산되는 과정을 설명하기 위한 정보 인프라로 볼 수 있다(Firestone *et al.*, 2012).

가축질병에 감염된 차량이 다양한 경로를 통하여 감염되지 않은 차량과의 직·간접적 접촉 및 농가방문을 통하여 해당 차량 및 농가가 감염될 가능성을 추정하는 과정에서 접촉 네트워크는 기본적인 핵심정보를 제공한다. 여기에 더하여 사육두수, 농가밀도, 사양 특성을 함께 반영하여 확률적 변량으로 감염 가능성을 추정하는 것이 접촉 네트워크 관련 연구들의 주요 골자이다. 예를 들어, Brennan *et al.*(2008)은 감염된 농가를 중심으로 종사자, 장비(equipment), 가축 등 농장들과 가축시장, 도살장 등에서 서로 잠재적 접촉관계를 형성하며 질병확산의 매

개체 역할을 하고 있음을 예시적 실증분석을 통하여 제시한 바 있다. 이는 축산 농가들 간 이동 매개체들의 방문을 전제로 형성된 접촉 네트워크가 잠재적 감염경로 추적을 위한 인프라 정보를 제공할 수 있음을 실증한다.

앞서 예시한 연구들에서는 가축질병 확산과정을 모델링하는 과정에서 사회연결망에서 적용되는 자료구조를 다양한 형태의 접촉 네트워크로 정의하고, 이를 실증자료에 적용하여 도출한 분석결과를 토대로 가축방역에 도움을 줄 수 있는 정책적 함의를 제시하고 있다. 이러한 접촉 네트워크 형태의 분석방식은 시공간상에서 축산관련 차량들이 시설들을 방문함으로써 형성되는 연결관계 정보를 토대로 가축질병의 확산과정 모델링에 적합한 기반을 제공하는 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 국가동물방역통합시스템(KAHIS)을 통하여 수집·누적되고 있는 축산관련시설 및 축산관련차량 시공간 자료를 이용하여 접촉 네트워크 정보를 구성함으로써 방역활동에서의 의사결정 지원정보로서의 활용성을 제고하기 위한 분석틀을 실증적으로 제시하는 것이다. 이를 위하여 KAHIS에 관한 개략적 소개와 축산관련차량의 축산관련시설 방문정보를 이용한 접촉 네트워크 구성방식을 설명한다. 이를 토대로 구축된 접촉 네트워크에 수록된 정보를 시각화하여 활용하는 방식을 제시하고, 분석결과를 토대로 정책적 함의를 도출한다. 아울러 향후 연구의 일환으로 접촉 네트워크 정보를 단순히 시각화하는 수준 이상의 고도화된 활용방안을 제안한다.

연구의 내용 및 방법

1. 국가동물방역통합시스템의 개요

국가동물방역통합시스템(Korea Animal Health Integrated System: KAHIS)은 축산차량등록제를 통한 축산관련차량의 축산관련시설 출입 정보 등을 실시간으로 DB에 기록함으로써 가축질병 방역관련 활동 및 업무를 효과적으로 지원하기 위하여 구축한 IT 기반의 통합시스템이다. 이 시스템의 구축 및 운용 목적은 가축질병

예찰 및 통제를 통한 신속한 질병진과 차단에 있으며 가축질병 발생 시 확산경로를 효과적으로 추적하는 것 등을 포함한다. 검역본부에서는 KAHIS를 통하여 가금 사육농가 방문 축산차량을 대상으로 등록제를 실시함으로써 차량의 이력을 시간과 위치정보로 수집하는 DB를 구축·운영하고 있다. 이로써 축산차량이동에 따른 가축질병의 시·공간적 확산과정을 파악하는데 필요한 자료는 갖추어진 것으로 볼 수 있다.

KAHIS DB에 누적되는 자료는 기본적으로 시공간 자료(spatial and temporal data)이다. 즉, 축산관련차량이 언제 어느 농가를 방문했는지에 관한 시공간 궤적이 DB에 기록되는 것이다. 이와 함께 방문목적, 방문차량 및 방문시설의 유형, 방문농가의 사육종별 사육두수 등과 같은 농가 및 차량에 관한 추가적 속성정보가 함께 기록되어 있다.

그러나 KAHIS DB는 효과적으로 방역활동과정에서의 의사결정을 지원할 수 있는 정보원으로써의 잠재력이 상당함에도 불구하고 실질적 활용은 제한적으로 이루어지고 있는 것으로 지적된다(Park and Bae, 2016). 이에 본 연구에서는 KAHIS를 효과적으로 활용하는 방안을 제시하기 위한 방편으로, KAHIS DB에 수록된 차량방문정보를 이용하여 농가들 간 연결 관계를 접촉 네트워크로 구축하는 방식으로 활용방안을 제시한다. 구축한 접촉 네트워크를 이용하여 차량들이 시설들을 방문한 시공간 궤적정보를 시각화함으로써 방역활동에 도움을 줄 수 있는 활용방안을 실증적으로 제시한다. 아울러 실증적 분석결과를 바탕으로 관련된 정책적 함의를 간략히 제시한다.

2. 접촉 네트워크(contact network)의 개념 및 구축방안 예시

가축차량, 가축시장, 도살장, 농가 등은 접촉이 이루어지는 매개체(node)의 역할을 하는데, 앞서 선행연구들에서 지적하였듯이 가축차량의 경우 시간의 흐름에 따른 이동성(mobility)을 전제로 타 유형의 매개체들 간 가축질병의 확

산을 매개하게 된다. 질병의 확산은 축산관련차량의 축산관련시설 방문을 통하여 지리적으로 넓은 범위에 걸쳐서 이루어짐과 함께 한 농장과 인근 농장 간 축산관련 인력의 방문이나 가축의 이동 등 지리적으로 제한된 범위 내에서 이루어지는 경우를 포괄하는 것이 일반적이다.

사회연결망 분석틀에서는 축산관련차량의 이동 및 시설 방문에 따라 질병의 확산이 지리적으로 넓은 범위에 걸쳐서 이루어짐을 전제한다. 또한 차량의 이동이 아닌 한 농장과 인근 농장 간 관리 인력의 방문이나 가축의 이동 등에 따른 국지적 전파 메커니즘 역시 가축질병 모니터링에 있어서 간과할 수 없는 요인으로 간주한다(MIFAFF, 2012; Firestone *et al.*, 2012). 사회연결망 분석틀을 이용한 관련 연구들에서는 차량이동과 사람이나 가축 이동을 포괄하는 광역적(global) 및 국지적 전파 가능성을 동시에 고려하여 사회연결망 분석기법을 적용하는 것이 일반적인 방식이다.

앞서 밝혔듯이 이 연구에서 예시하고자 하는 KAHIS 기반의 시공간 정보 활용방안의 핵심은 접촉 네트워크의 구축이다. 접촉 네트워크의 구축은 기본적으로 축산관련차량이 방문한 축산관련시설의 속성정보와 방문일시 등의 자료가 KAHIS에 기록됨으로 인하여 가능한 사안이다. 다만, 본 연구에서는 현재 사람이나 가축의 이동에 관한 미시적 자료는 취득 및 유지관리 등의 제약 등으로 인하여 제외한다.

그림 1은 접촉 네트워크 구축을 위한 단위 요소 및 이들 간 관계성을 개념적으로 나타낸다. 그림의 좌측 상단은 총 n 개의 축산관련시설 별로 각 시설을 방문한 차량들의 목록이 기록되는 방식을 나타낸다. 예를 들어, 1번 시설을 방문한 차량은 총 ' v_1 ' 개로 명시되어 있다. 마찬가지로 좌측 하단의 그림은 총 m 개의 축산관련차량별로 각 차량이 방문한 시설들의 목록을 예시하는데, 가령 1번 차량은 총 ' f_1 ' 개의 시설들을 방문했음을 알 수 있다. 이 연구에서는 시설별 방문차량의 수나 차량별 방문시설의 수는 2013년 10월 1일부터 2015년 12월 31일까지 총 27개월 기간 동안 이루어진 차량방

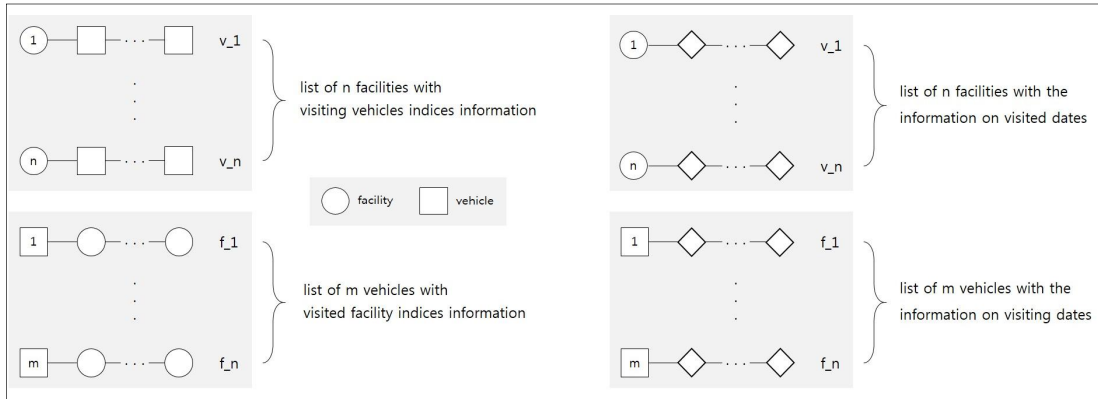


FIGURE 1. Conceptual unit of building contact network based on vehicles' visiting information

문을 일 단위로 집계한다.

그림 1의 우측 상단은 각 시설별 방문차량의 방문시점(일)을 마름모로 표시하고 있으며 마찬가지로, 우측 하단 그림 역시 차량별 시설 방문시점을 일 단위의 목록으로 기록한 것이다. 가령, 1번 시설을 방문한 차량들의 경우 사각형으로 표시된 해당 차량들의 ID가 표시된 위치와 동일하게 방문시점이 표시되는 것이다. 즉, 1번 시설을 방문한 차량들의 ID와 방문시점이 동일한 방식으로 순차적으로 기록된다. 결과적으로 위 예시의 1번 시설은 총 'v_1' 회의 방문이 이루어진 것으로 해석한다. 차량단위 방문기록 역시 마찬가지로 적용된다. 가령 방문차량1의 경우 총 'f_1' 개의 시설을 한 번씩 방문한 것이다.

그림 1이 예시하는 방식의 시설별 방문차량 및 방문된 시점, 차량별 방문시설 및 방문한 시점은 접촉 네트워크를 구성하는 네 가지의 독립적 단위요소이다. 결국 접촉 네트워크 구축을 위한 단위 요소는 그림 1이 예시하듯이 시설별 방문차량 및 방문 받은 시점, 그리고 차량별 방문시설 및 방문한 시점을 리스트 자료 형태로 구조화한 것이다.

그림 2는 그림 1에서 정의한 단위 요소를 바탕으로 농가들 간 접촉(혹은 연결) 관계가 형성되는 방식을 예시한다. 이 그림의 예시에서 시설1을 방문한 차량 중에는 'q' 가 포함되어 있고 차량 'q' 는 또 다른 시설인 'p' 를 방문

한 이력이 있다. 결과적으로 차량 'q' 의 방문을 매개로 농가1과 농가p는 접촉(연결) 관계가 형성되었다.

그림 2와 같은 방식을 모든 축산관련시설과 축산관련차량에 적용하면 접촉 네트워크를 구축할 수 있으며, 이를 바탕으로 분석 기간 내 어떤 시설들이 어느 시점에서 서로 연결 관계를 형성했는지 여부를 파악할 수 있다.

이러한 맥락의 접촉 네트워크는 중요한 정보 원으로써의 잠재적 활용가치가 클 것으로 생각된다. 가령, 그림 2의 예시에서 만일 농가1이 차량q가 방문한 시점에서 HPAI에 감염되었다면 차량q가 방문한 또 다른 농가p는 잠재적으로 감염 가능성이 있는 것으로 볼 수 있다. 여기에는 잠복기(incubation period)라는 개념을 적용할 필요가 있는데 통상 21일을 잠복기로 설정한다. 가령, HPAI가 발생한 농가를 확진일로부터 21일 전부터 방문한 차량들은 잠재적 감염 위험에 노출된 것으로 볼 수 있는 것이다. 따라서 감염 위험에 노출된 차량들이 역시 잠복기 이내에 방문한 타 농가들 역시 확산이 가능한 수준으로 HPAI 발생농가와 접촉 관계가 형성된 것으로 판단할 수 있다.

이는 기존의 차단방역활동과 관련하여 중요한 개선사항 및 정책적 함의를 제공한다. 즉, 이러한 잠재적 확산 가능성이 있는 농가들의 위치와 방문시점 등을 정확히 파악함으로써, 언

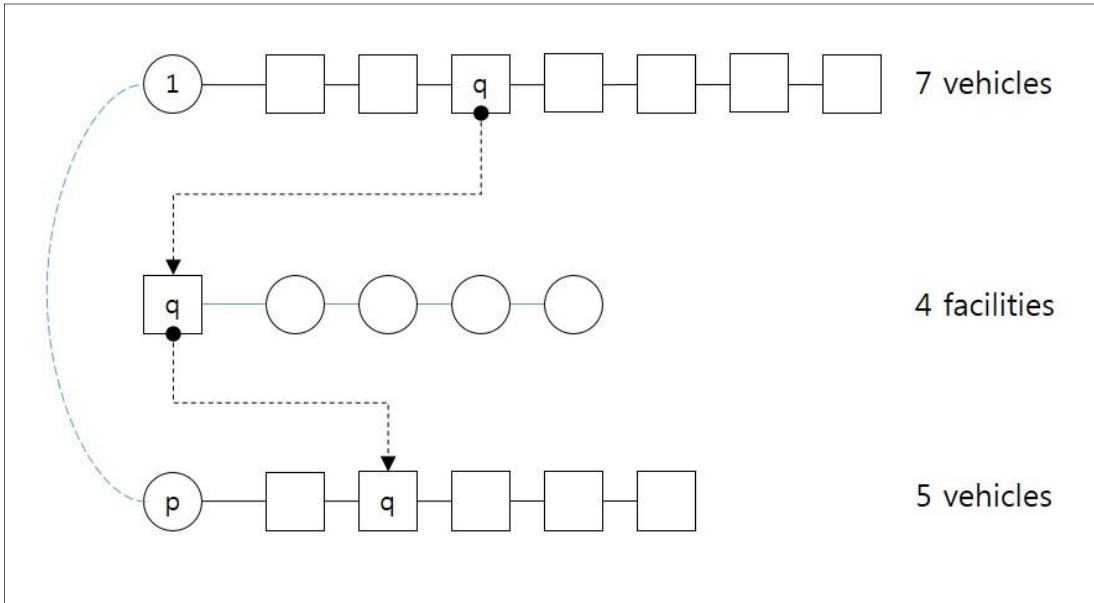


FIGURE 2. Example of generating contact relationship using unit element of contact network

제, 어느 시설 및 방역지점을 중심으로 방역활동을 강화할 것인지를 신속하게 결정하는데 유용한 정보인 것이다. 이러한 정보는 기존의 방식 즉, HPAI가 발생한 농가를 중심으로 일정 반경 내에 불특정 농가들을 대상으로 하는 살처분 조치와 개별 농가 수준에서의 선별적 조치 등 다양한 방역옵션의 가능성을 함의하고 있는 것이다. 물론 차량방문만으로 HPAI 확산이 이루어지는 것은 아니기에 다양한 전파경로를 염두에 두고 역학조사 및 방역활동이 이루어질 필요가 있지만, 현대의 가금 사육체계에서 축산관련차량에 의한 확산 가능성의 비중이 크다는 점을 상기한다면, 차단방역 지원에 중요한 시공간 의사결정 정보로서의 활용가치는 충분하다고 생각된다.

정리하면, 접촉 네트워크란 결국 어떤 축산관련차량이 언제 어느 시설을 방문했는지에 관한 시공간 궤적정보를 담고 있는 정보원으로 볼 수 있다. 이러한 궤적정보는 HPAI 발생 시 불특정 농가를 대상으로 이루어지는 일률적인 방역활동방식에서 발생한 농가를 중심으로 선택과 집중이 가능한 형태의 방역활동을 지원하는

데 핵심이다. 이는 한정된 방역자원으로 방역효과를 높이는데 있어서 중요한 정책적 유용성을 가진다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 앞서 개념적으로 설명한 접촉 네트워크를 KAHIS DB의 실증자료를 대상으로 구축하고, 이를 활용하기 위한 시범적 분석시스템(prototype analysis system)으로 구축하였다. 다음 장에서는 이 시스템을 간략히 소개하고 이를 바탕으로 KAHIS 기반의 접촉 네트워크를 실증적으로 활용하는 방안을 제시한다.

KAHIS 기반의 접촉 네트워크 실증 활용방안

1. 시범 분석시스템 개요

그림 3은 이 분석시스템의 사용자 화면을 나타낸다. 이 시스템은 좌측의 지도화면 및 이와 연계된 정보가 표시된 표들을 우측 상단에 포함하고 있다. 사용자는 '방문시설 선택', '검색조건' 등 분석에 필요한 정보를 지정하고 그에 따른 결과를 확인할 수 있다.¹⁾ 본 연구에서

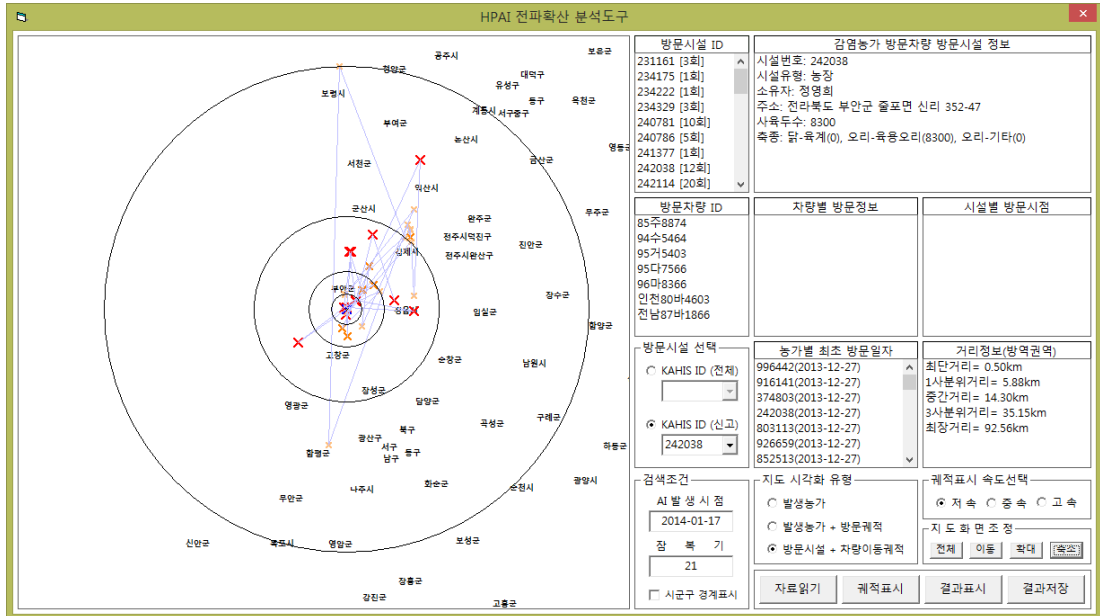


FIGURE 3. GUI(Graphic User Interface) of prototype analysis system for utilizing contact network

예시하는 시범 분석시스템은 KAHIS DB로부터 생성된 접촉 네트워크의 일차적 활용방식에 주안점을 두고 있다. 일차적 활용방식이란 접촉 네트워크에 내재된 시공간 정보 즉, 시설과 시설들 간 연결 관계 현황을 지도로 시각화하고 표로 집계하여 제시하는 방식을 의미한다. 즉, 접촉 네트워크 구성을 통하여 KAHIS DB에 담겨져 있는 기본적 형태의 시공간 정보를 도출하는 것이다. 그러나 이러한 맥락에서의 일차적 활용방식 뿐만 아니라 이를 토대로 심층적인 분석기법을 적용함으로써 접촉 네트워크에 내재되어 있지만 일차적 활용방식만으로는 도출하기 어려운 정보를 생성할 수 있는 가능성은 충분하다. 심층적 분석기법이란 예를 들어, 사회연결망 분석기법의 일환으로 활용되는 중심성(centrality)이나 연결성(connectivity) 등과 같은 네트워크 구조(network structure)를 정량화하기 위한 지수를 통하여 농가들 간 단순한 연결 여부에 관한 정보만으로는 파악하기 어려운 정보를 도출하기 위한 분석수단을 의미한다. 다만 이 연구에서는 농가들 간 단순한 연

결 관계 정보를 바탕으로 하는 일차적 활용방식 예시에 초점을 맞추어, 향후 심도 있는 의사결정 지원정보 도출을 위한 분석과정의 출발점을 제시하는데 의의를 두고 있음을 밝혀둔다. 이에 관해서는 KAHIS DB 향후 활용방안에서 추가적으로 논의한다.

2. 실증 분석결과 및 해석

그림 4의 예시에서는 KAHIS ID ‘242038’에 해당하는 시설이 2014년 1월 17일에 HPAI 확진신고가 있었고, 해당 시설을 잠복기 기간 동안 방문한 차량들이 방문한 타 시설들의 위치 지도상에 표시되어 있다. 또한 해당 차량들의 목록 및 이들이 방문한 타 시설들의 KAHIS ID 목록, 방문시점 및 방문횟수 등의 정보가 표로 제시되어 있다. 이 예시에서는 21일을 잠복기로 설정하였는데, 잠복기 조정에 따라 결과는 달라질 수 있다. 잠복기 내 방문이 이루어진 농가들의 KAHIS ID와 방문횟수 등이 해당 농가의 추가적 속성정보(주소, 시설유형, 사육두수, 축종 등)와 함께 표에 제시되어

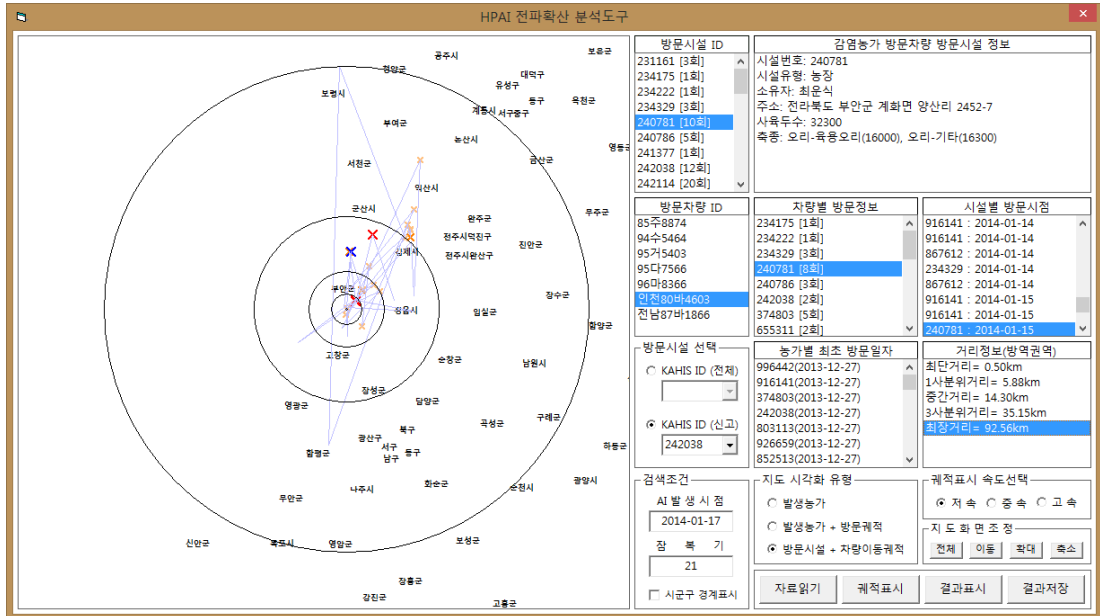


FIGURE 4. Illustration of analysis results

있다. 아울러 방문차량들의 KAHIS ID가 각 차량별 방문정보 및 방문시점 등의 정보와 함께 역시 표에 제시된다. 위 예시에서는 분석기간 (최초 발생시점을 포함한 21일 잠복기) 동안 KAHIS ID ‘240781’에 해당하는 농가의 경우 총 10회 방문이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 방문차량들 중 KAHIS ID ‘인천80바4603’ 차량의 경우 ‘240781’ 농가를 총 8회 방문하였으며, 최초 방문시점은 2014년 1월 15일임을 알 수 있다.

마지막으로, 잠복기 내 발생농가와 차량방문을 매개로 접촉 관계가 형성된 농가들의 지리적 분포범위를 보면 가장 짧게는 약 0.5km에서 가장 멀리는 92.56km에 이르는 것을 알 수 있다. 이는 HPAI가 발생 한 ‘242038’ 농가를 중심으로 잠복기 기간 내에 이미 HPAI의 잠재적 확산 가능성이 이미 도경계를 넘어선 범위까지 확대되었음을 의미한다. 따라서 이 예의 경우만을 놓고 보면 발생 농가를 중심으로 3~5km 이내의 지역을 대상으로 차단방역권역을 설정하고 해당 반경 내 위치하는 불특정 농가들

을 대상으로 살처분 등의 고비용이 소요되는 방역조치는 실효성 측면에서 제고가 필요한 상황으로 해석할 수 있다. 이는 발생 가능성이라는 측면에서 실제 방문되지 않은 3~5km 내 농가들보다는 지리적으로 멀리 있더라도 실제 방문이 빈번히 이루어진 점을 감안하여 이들을 대상으로 가용 방역자원을 투입하는 것이 더 효과적일 수 있다고 판단되기 때문이다.

그림 5는 2014년 1월 16일부터 2015년 6월 10일까지 HPAI가 발생한 모든 시설로부터 해당 발생시설과 접촉 관계가 형성된 시설들까지의 지리적 거리를 통계량으로 요약한 것이다. 그림을 보면 접촉 네트워크 내에서 잠복기 동안의 차량 방문을 통하여 발생 농가와 접촉 관계가 형성된 농가들의 지리적 분포는 3km와 같은 국지적 범위에 국한된 것이 아님을 명백히 알 수 있다. 거의 모든 발생농가가 접촉 네트워크상에서 접촉 관계를 형성하는 농가들의 분포가 5km 이내의 국지적 분포에서부터 50km 정도의 지역적 범위를 지나, 200km 이상, 최장 450km까지의 지리적 범위를 형성하고 있음을 알

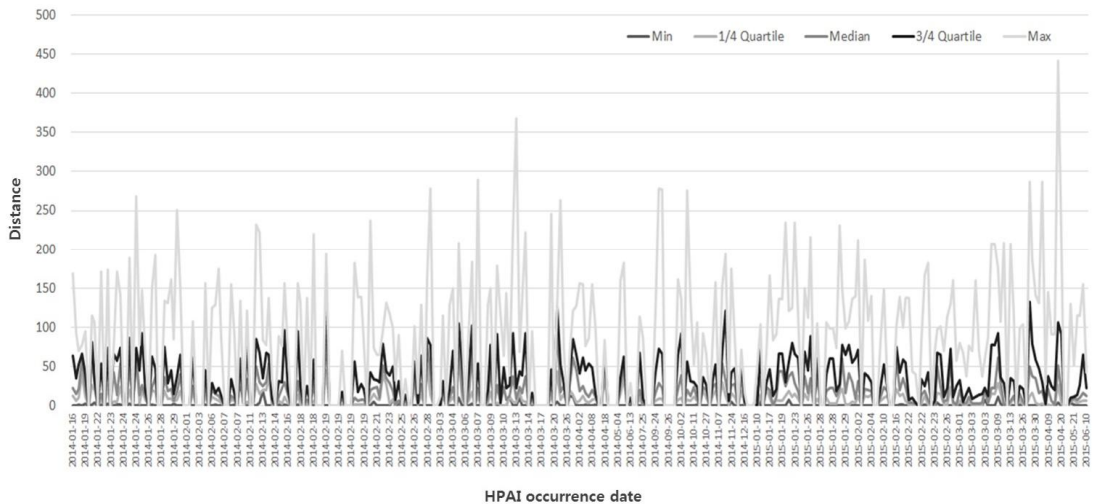


FIGURE 5. Geographic extents of facilities with connected with HPAI positive facilities in contact network during the period of Jan. 16, 2014 ~ Jun, 10, 2015

수 있다. 이는 3~5km라는 기존의 차단방역 범위를 훨씬 벗어나 잠재적 확산 위험에 노출된 농가들의 분포가 HPAI 발생과 함께 이미 전국적 범위로 확대되어 있음을 함의하는 실증적 결과이다. 따라서 국지적 범위 내에서의 불특정 농가를 대상으로 하는 소모적 방역활동이 아닌 실제 농가들 간 접촉 여부에 관한 정보를 바탕으로 선택과 집중을 통하여 방역활동의 효과를 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

앞서 접촉 네트워크는 이미 발생한 농가에 대한 잠재적 시공간 확산 가능성을 살펴보기 위한 인프라 정보로 활용하는 방안을 제시하였다. 이는 프로그램에서 'KAHIS ID(신고)' 옵션 선택을 통하여 가능한 방안이다. 사용자가 바로 위에 위치한 'KAHIS ID(전체)'를 선택하면, 전체 66,342개 모든 가금 관련시설에 대하여 앞서 예시한 과정을 동일하게 재현할 수 있다. 만일 사용자가 '검색조건'의 '발생시점'과 '잠복기'를 설정한 뒤 'KAHIS ID(전체)' 옵션 밑의 콤보(combo) 상자에서 특정 시설을 선택하면, 해당 시설에서 지정된 시점에 HPAI가 발생한 것으로 가정하고, 동일한 방식으로 잠복기 내 선택된 시설을 방문한 차량들

이 방문한 타 시설들의 위치 및 방문시점 등의 정보를 도출할 수 있다. 이는 일종의 시나리오 구성을 통한 실증적 시뮬레이션 결과이다. 즉, 특정날짜에 특정농가에서 HPAI 발생 신고가 접수된 것으로 일종의 시나리오를 구성할 경우 차량방문에 의한 잠재적 확산 경로에 대한 구체적이고 실증적인 예측 근거로 유용하게 활용할 수 있다. 이는 일종의 HPAI 확산경로 예측 모형 구축에 필요한 핵심적인 시공간 정보인프라에 해당한다. 이 때 중요한 전제 조건이 있다. 축산차량의 축산농가 방문정보가 예측모형 구축을 위한 핵심적 정보인프라이기 때문에 위에서 설명한 방식으로 예측모형을 구축하기 위해서는 각 농가별 방문차량의 ID나 방문패턴 등이 향후 동일하게 적용된다는 점이 암묵적 전제조건으로 내포되어 있는 것이다. 이는 가령 향후 5년 후 혹은 10년 후 어떤 도시에서의 인구를 추정할 때 적용하는 추세연장 조건과 유사하다. 미래의 상황을 정확하게 알 수 없으며 추가적인 정보가 없는 상황이라면 현재 추세가 미래(최소한 가까운 미래)에도 적용될 것이라는 전제는 명확한 한계를 가지는 필요조건이다.

3. KAHIS DB의 향후 활용방안

본 연구에서는 KAHIS DB를 바탕으로 접촉 네트워크 정보를 구성하고 이로부터 차량방문을 매개로 시설들 간 시공간 연결 관계 및 추이를 살펴볼 수 있는 분석방안을 제시하였다. 앞서 언급하였듯이 이는 KAHIS DB의 일차적인 활용방식으로 볼 수 있다. 접촉 네트워크를 바탕으로 다양한 분석방법론을 적용함으로써 접촉 네트워크 정보를 시각화하는 일차적인 활용방식만으로는 도출하기 어려운 심도 있는 의사결정 지원정보를 이끌어낼 수 있는 잠재력이 충분할 것으로 생각된다. 이러한 맥락에서 KAHIS DB 및 이로부터 도출한 접촉 네트워크의 향후 심층적 활용방안을 제시한다.

첫째, 접촉 네트워크는 모든 차량들의 방문을 매개로 시간의 흐름에 따른 시설들 간 접촉 방식에 관한 정보를 담고 있다. 가령 HPAI 발생 시설을 방문한 차량이 타 시설을 방문한 경우 발생시점을 기준으로 타 시설 방문시점이 늦을수록 해당 시설이 감염될 잠재적 가능성은 감소하게 된다. 또한 발생시설 및 이와 연결된 시설 간 지리적 거리가 증가할수록 역시 감염 가능성은 줄어드는 것으로 볼 수 있을 것이다. 아울러, 감염 가능성에 영향을 주는 요인들 가령, 방문시설의 사육두수 및 주변 지역의 가금농가 밀도, 방문시점의 계절적 특성, 방문차량이 한번에 운반할 수 있는 가금류 규모 및 사료운반 차량의 용량 등의 요인들 역시 농가들 간 연결 관계를 토대로 감염 및 확산 가능성 혹은 확률에 영향을 주는 것으로 보고 이들을 종합한 시공간 모형을 구축할 수 있을 것이다. 가령 이들을 종합적으로 고려한 감염 가능성 모형을 확률 지수 형태로 정의하고 시간의 흐름에 따라 지수 값이 지리적 공간상에서 어떠한 변화추이를 보이는지를 추론할 수 있을 것이다. 이러한 방식은 접촉 네트워크에 담겨진 정보를 단순히 지도 및 표의 형태로 제시하는 것만으로는 파악하기 어려운 시공간 변화특성에 관한 정보를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 앞서 제시한 감염 가능성을 다루는 모

형과 관련하여 각 요인별 영향력 수준을 정량적으로 추정하여 활용하는 방안도 가능하다. 이는 기본적으로 회귀분석을 통하여 다룰 수 있지만, 접촉 네트워크에 포함된 정보만이 제공할 수 있는 영향력 요인은 분명히 차별점이 있다. 가령, 각 시설별로 어떤 목적으로든 차량방문이 빈번할 경우 이러한 차량들이 해당 시설을 방문하기 전 잠복기 기준으로 HPAI 발생 시설을 방문했다면, 해당 시설의 감염 가능성은 증가할 것으로 보는 것이 타당하다. 만일 HPAI가 발생한 시설과 발생하지 않은 시설을 일종의 case와 control 형태의 종속변수로 구성하고 접촉 네트워크 및 기타 영향요인으로 구성된 로지스틱 회귀모형을 구성할 경우 접촉 네트워크가 제공하는 방문목적별 방문빈도를 포함한 해당 요인별 영향력 수준을 추정할 수 있을 것이다. 이를 바탕으로 영향력 요인별 수준을 고려하여 좀 더 구체적이고 정교한 방식으로 방역활동을 진행하는데 도움이 될 것으로 기대된다. 아울러 같은 독립변수라 하더라도 지역별 여건에 따라 그 영향력 수준이 다를 수 있음을 전제로 공간가중회귀분석(Geographically Weighted Regression: GWR) 등을 적용함으로써 독립변수별, 지역별 영향력 수준을 추정함으로써 지역 맞춤형 방역대책 수립에 참고할 수 있는 정보생성 역시 의미가 있을 것으로 생각된다.

셋째, 접촉 네트워크는 기본적으로 농가를 일종의 노드(node)로 보고 농가들 간 연결 여부를 링크(link)로 구성함으로써 그래프 이론에서 제시하는 다양한 분석방법론 적용이 가능한 자료구조를 가지고 있다. 따라서 다양한 방식의 사회연결망분석기법(social network analysis method)을 활용하여 KAHIS DB의 원시자료(raw data)를 단순히 시각화하거나 집계하는 것만으로는 이끌어내기 어려운 시설들 간 연결 관계를 파악할 수 있을 것을 기대된다. 가령, 시설들 간 연결 관계에 있어서 중심적 역할을 하거나 타 시설과의 매개 역할이 두드러지는 시설의 경우 특히 방역활동이 집중될 필요성이 있음을 의미한다면, 사회연결망분석을 통하여 이러한 역할에 있어서 허브(hub)에 해당하는

시설들을 정량적으로 파악하는데 활용성이 높을 것으로 기대된다.

결론

본 연구에서는 HPAI와 같은 전염성 가축전염병 발생 시 효과적인 방역활동이 이루어지도록 지원하기 위하여 국가동물방역통합시스템(KAHIS)에 누적되고 있는 시공간 정보 활용방안을 제시하고 실증적 분석결과를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 활용방안은 KAHIS DB에 거의 실시간으로 누적되고 있는 축산관련차량의 축산관련시설 방문정보를 바탕으로 시설들 간 접촉 여부를 통한 접촉(연결) 네트워크를 구성하여 지도에 시각화하고 관련정보를 표로 집계하는 방식이었다. 이는 접촉 네트워크 정보를 추가적인 분석이나 가공과정을 적용하지 않고 시설들 간 일차적인 관계구조 현황을 파악하는데 주안점을 둔 일차적인 활용방안이다. 그렇더라도 접촉 네트워크를 구성하여 차량들의 방문 이력 및 이로부터 생성한 시설들 간 연결 관계 정보는 방역활동을 수행하는데 있어서 선택과 집중을 통한 효율성을 높이는 데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다. 접촉 네트워크의 활용성 예시를 위하여 제시한 분석결과에 따르면, 대부분의 경우 발생 농가를 중심으로 잠복기 기간 내 차량방문을 매개로 잠재적 감염여부 및 확산 가능성이 있는 시설들은 이미 시도 경계를 넘어서 전국적 규모로 확산되었음을 알 수 있었다. 이는 기존의 방역활동에서 다소 인위적으로 설정되는 살처분 및 이동제한 등의 방역환경의 실효성을 의심케 하는 실증적 분석결과이다.

결과적으로 접촉 네트워크를 이용하여 시설들 간 실질적 접촉여부를 파악하고 이를 토대로 질병의 확산 가능성이 의심되는 농가들의 위치 및 시점 등을 세밀하게 파악할 수 있는 단초 정보로 의미가 있다고 판단된다.

본 연구에서 제시한 접촉 네트워크 활용방안은 접촉 네트워크에 포함된 연결 관계 정보를 단순히 시각화하거나 집계하는 정도에 한정하였다. 이는 본 연구의 범위이자 한계이다. 최

근 활용영역이 급격히 확대되고 있는 사회연결망분석에 있어서 접촉 네트워크는 자료의 구조적 측면에서 정보 인프라로써 잘 부합된다고 생각된다. 즉, 접촉 네트워크에는 단순히 시각화하는 것만으로는 파악하기 어려운 심도 있는 분석정보를 도출할 수 있는 잠재적 활용 가능성이 내포되어 있다. 이러한 맥락에서 KAHIS DB에 내재된 다양한 수준의 유용한 정보를 다각도로 분석함으로써 KAHIS의 근본적 구축목적을 충실히 달성할 수 있도록 하기 위한 심도 있는 방법론 관련 연구가 지속적으로 필요할 것으로 생각된다. 마지막으로 본 연구에서는 1개의 질병발생 농가를 중심으로 분석결과를 도출하는 과정을 제시하였다. 그러나 시간의 추이에 따라 2개 이상의 발생 농가들을 대상으로 분석을 수행할 경우 보다 실효성 있는 방역활동 의사결정 지원정보를 도출할 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

주

- 1) Visual Basic 6.0을 이용하여 외부 ocx 파일사용을 배제하고 독립적 프로그램 구축하였음. 지도 시각화 모듈에서는 축소, 확대, 이동, 전체보기 등 기본적인 GIS 시각화 기능을 구현함.

REFERENCES

- Bae, S.H., H.Y. Jeong, and C.H. Eom. 2016. Social network type analysis of highly pathogenic avian influenza (HPAI) outbreaks in South Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 19(3):114-126 (배선헌정해용엄치호. 2016. 2014-2016 국내 발생 고병원성조류인플루엔자(HPAI)의 사회연결망(social network) 유형 분석. *한국지리정보학회지* 19(3):114-126).
- Brennan, M.L., R., Kemp, and R.M.

- Christley. 2008. Direct and indirect contacts between cattle farms in north-west England. *Preventive Veterinary Medicine* 84(3-4):242-260.
- Firestone, S.M., R.M. Christley, M.P. Ward, and N.K. Dhand. 2012. Adding the spatial dimension to the social network analysis of an epidemic: Investigation of the 2007 outbreak of equine influenza in Australia. *Preventive Veterinary Medicine* 106(2):123-135.
- Kerkhove, M.D.V., S. Vong, J. Guitian, D. Holl, P. Mangtani, S. San, and A.C. Ghani. 2009. Poultry movement networks in Cambodia: implications for surveillance and control of highly pathogenic avian influenza (HPAI/H5N1). *Vaccine* 27(45): 6345-6352.
- Lee, J.H., T.J. Kim, H.M. Nam, H.C. Yoon, C.K. Park, J.Y. Park, S.H. An, C.S. Kim, and S.H. Wee. 2006. Changes in policies of animal disease control measures according to the outbreak of foot-and-mouth disease in Korea. *Korean Journal of Veterinary Public Health* 30(1):57-68. (이주호 · 김태중 · 남향미 · 윤하정 · 박최규 · 박지용 · 안수환 · 감창섭 · 위성환. 2006. 국내 구제역 발생에 따른 가축 방역 정책의 변화. *한국수의공중보건학회지* 30(1):57-68).
- Lin, Y and C. Heffernan. 2011. Accessible and inexpensive tools for global HPAI surveillance: a mobile-phone based system. *Preventive Veterinary Medicine* 98(2-3):209-214.
- Martin, V., X. Zhou, E. Marshall, B. Jia, G. Fusheng, M.A. FrancoDixon, N. DeHaan, D.U. Pfeiffer, R.j. Soares Magalhaes, and M. Gilbert. 2011. Risk-based surveillance for avian influenza control along poultry market chains in South China: The value of social network analysis. *Preventive Veterinary Medicine* 102(3):196-205.
- Martinez-Lopez, B., A.M. Perez, and J.M. Sanchez-Vizcaino. 2009. Combined application of social network and cluster detection analyses for temporal-spatial characterization of animal movements in Salamanca, Spain. *Preventive Veterinary Medicine* 91(1): 29-38.
- MIFAFF(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2012. Development of a lookout network system on domestic fowl industry for predicting HPAI (highly pathogenic avian influenza) outbreak and dispersion. Research Report. pp.506-507 (농림수산식품부. 2012. 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 유입 및 전파확산경로 예측을 위한 가금 산업의 유통 감시 네트워크 시스템 개발에 관한 연구. 연구보고서. 506-507쪽.
- Park, S.I., O.K. Moon, W. Jeong, and G. Lee. 2015. A study on spatial sampling of domestic wild bird migrate habitats for monitoring HPAI. *Journal of the Korean Cartographic Association* 15(1): 25-35(박선일, 문운경, 정우석, 이경주. 2015. 국내 야생 철새 도래지 공간표집방법론에 관한 연구. *한국지도학회지* 15(1):25-35).
- Park, S.I and S.H. Bae. 2016. Link between service coverage of slaughterhouse and the potential disease transmission: analyzing the livestock movements data for simulation exercise(CPX). *Journal of the Korean Cartographic Association* 16(1): 67-77(박선일 · 배선학. 2016. 가축질병 가상방역훈련(CPX)을 위한 축산차량 이동 분석: 도축장의 서비스 범위 분석을 사례로. *한국지도학회지* 16(1):67-77).
- Pfeiffer D.U., P.Q. Minh, V. Martin, M.

- Epprecht, and M.J. Otte. 2007. An analysis of the spatial and temporal patterns of highly pathogenic avian influenza occurrence in Vietnam using national surveillance data. *Veterinary Journal* 174(2):302–309.
- Smith, R.P., A.J.C. Cook, and R.M. Christley. 2013. Descriptive and social network analysis of pig transport data recorded by quality assured pig farms in the UK. *Preventive Veterinary Medicine* 108(2–3):167–177.
- Webb, C.R. 2005. Farm animal networks: unraveling the contact structure of the British sheep population. *Preventive Veterinary Medicine* 68(1):3–17.
- Yang, K.G. 2013. Analysis of relative importance of FMD disaster management policies by their categories –focused on the privatization using AHP method–. *The Korea Public Administration Journal* 22(2):91–119 (양기근. 2013. 구체적 재난 관리 정책의 영역별 상대적 중요도 분석 –AHP 기법을 이용한 우선순위 측정을 중심으로–. *한국행정연구* 22(2):91–119). 