

사회연결망 분석을 통한 축산시설 차량이동 네트워크의 허브시설 도출

이경주¹, 박선일², 이광녕³, 김한이¹, 박진호¹, 홍성조^{1*}

¹한국교통대학교 도시·교통공학전공, ²강원대학교 수의과대학, ³농림축산검역본부 역학조사과

Hub Facilities in Vehicle Movement Network between Livestock Facilities

Gyoung-Ju Lee¹, Son-Il Park², Kwang-Nyeong Lee³, Han-Yee Kim¹,
Jin-Ho Park¹, Sungjo Hong^{1*}

¹Dept. of Urban & Transportation Engineering, Korea National University of Transportation

²College of Veterinary Medicine and Institute of Veterinary Science, Kangwon National University

³Animal and Plant Quarantine Agency

요약 축산시설 사이의 차량이동은 국내에서 가축전염병 확산의 주요 원인이다. 이 같은 상황에서 본 연구는 축산시설의 차량이동 네트워크에서 주요한 위치를 차지하는 허브시설을 도출하고, 그 특성을 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 본 연구는 농림축산검역본부의 KAHIS(Korea Animal Health Integrated System)에서 제공하는 축산시설의 차량 진출입자료를 활용하였다. 허브시설의 도출에는 사회연결망 분석의 대표적인 중심성 지표인 연결정도 중심성과 매개 중심성 지표를 활용하였다. 본 연구의 분석결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 축산시설의 차량이동 네트워크에는 다른 시설에 비하여 매우 높은 중심성 지표 값을 가지는 소수의 허브 시설이 존재한다. 둘째, 연결정도 중심성 기준의 허브시설은 사료공장, 집유장, 도축장, 도계장, 가축시장이다. 셋째, 매개 중심성 기준의 허브시설은 가축시장, 사료공장, 도축장이다. 넷째, 연결정도 중심성에 기반한 허브시설은 특정지역에 집중되어 입지하고 있으나, 매개 중심성에 따른 허브시설을 상대적으로 고르게 분포하고 있다. 다섯째, 중심성 지표에 따른 허브시설은 시간이 지나도 상당히 안정적으로 유지된다. 본 연구는 축산시설 사이의 차량이동이 가축 전염병 전파의 주요 원인으로 지목되는 상황에서, 방대한 진출입 자료를 활용하여, 허브시설을 도출하였다는 점에서 그 의의가 있다.

Abstract The purpose of this study was to derive and analyze the hub facilities that occupy major positions in the vehicle movement networks of livestock facilities. For this purpose, this study used the KAHIS data provided by Animal and Plant Quarantine Agency. The hub facilities were derived from the degree centrality & betweenness centrality. The analysis results are summarized as follows. First, in a livestock facility's vehicle movement network, there are a small number of hub facilities with very high centrality indicator values compared to other facilities. Second, the hub facilities based on the degree centrality are the feed factory, the milk collecting center, slaughterhouse, slaughterhouse for chicken, and livestock markets. Third, the hub facilities based on the betweenness centrality are the livestock markets, the feed factory, and slaughterhouse. Fourth, hub facilities based on the degree centrality are concentrated in a particular area, but the hub facilities based on betweenness centrality are distributed relatively evenly.

Keywords : Foot-and-mouth disease(FMD), Highly Pathogenic Avian Influenza(HPAI), Livestock Epidemic, Quarantine Policy, Social Network Analysis, Vehicle Movement Network

본 연구는 2017년 농림축산검역본부의 “축산관계 시설의 사회연결망 분석을 통한 구제역 및 조류인플루엔자의 확산 위험 평가(과제번호: 1545015379)” 연구과제의 지원으로 수행되었으며, 1차년도 연구보고서의 내용 일부를 수정·보완한 것임.

*Corresponding Author : Sungjo Hong (Korea National University of Transportation)

Tel: +82-43-841-5417 email: sungjo.hong@ut.ac.kr

Received April 5, 2018

Revised May 9, 2018

Accepted June 1, 2018

Published June 30, 2018

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

대표적인 가축 전염병인 구제역(이하 FMD)과 조류인플루엔자(이하 AI)의 지속적인 발생으로 축산농가 및 국가에 미치는 직간접적 영향이 심각한 상황이다. 2008년 고병원성 조류인플루엔자(이하 HPAI)로 인한 국가적 손실은 최소 6,488억원에 달하는 것으로 추정^[1]되었으며, 구제역 방역활동 중 공무원과 전경이 과로와 교통사고로 사망하기도 하였다^[2].

HPAI의 경우 2003년 국내에서 최초 발생한 이후 거의 2년을 주기로 반복적으로 발생되고 있으며, 구제역 또한 백신처방 이후 규모는 감소하였으나 발병이 지속^[3]되고 있다. 따라서 FMD나 HPAI와 같은 가축 전염병을 감염과 확산을 제어하기 위한 방안의 마련이 시급하다.

국내에서 유행하는 AI와 FMD는 사람과 차량을 통한 전파가 확산의 큰 원인으로 나타나고 있다. AI는 차량(26.9%), 축주 및 관계자(27.4%)가 발병 및 확산원인의 절반이상을 차지^[4]하고 있다. FMD 또한 가축운반차량(54.7%), 사료차량(18.9%)이 70% 이상의 발병과 확산원인을 차지하는 것으로 분석되었다^[5]. 즉, 국내 가축 전염병의 주요 전파원인은 차량이동으로 판단할 수 있다.

이에 본 연구는 가축전염병의 확산과정에서 축산시설 사이의 차량이동 네트워크의 역할에 주목하고, 축산시설 사이의 차량이동 네트워크에서 허브(HUB)역할을 수행하는 시설을 도출하고자 한다. 허브시설은 네트워크 내에서 다른 시설들과 밀접하게 연결되어 있으며, 주요한 위치를 차지하여 전염병의 전파에 주요한 역할을 수행할 것으로 예상되는 시설이다. 본 연구에서는 허브시설을 도출하고, 그 특성을 분석하여 향후 방역정책의 시사점을 제공하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 전국으로 하고, 시간적 범위는 2013년 10월에서 2016년 12월까지로 한다. 분석 자료는 농림축산검역본부 국가동물방역통합시스템(이하 KAHIS : Korea Animal Health Integrated System)에서 구축하고 있는 차량의 축산시설 진출입자료를 활용하였다.

연구의 내용적 범위는 다음과 같다. 첫째, KAHIS의 진출입자료를 사회연결망 분석이 가능한 형태로 변환하

여 사회연결망을 구축하는 것이다. 두 번째, 중심성 지수를 활용하여 축산관계시설의 사회연결망 내에서 허브역할을 하는 시설을 도출한다. 세 번째, 허브시설의 특징과 시점에 따른 변화양상을 분석한다.

연구의 방법은 사회연결망 분석(Social Network Analysis)을 활용하며, 그 중에서도 중심성 지수를 주로 활용하였다. 시설별로 중심성 지수를 도출하고 그 값이 높은 시설이 네트워크에서 허브역할을 하는 시설로 판단하였다.

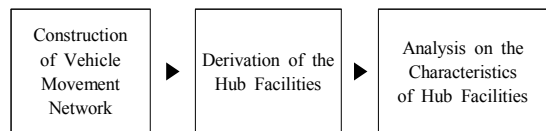


Fig. 1. Flow of Research

2. 이론적 배경

2.1 전염병의 차량전파의 대응 필요

앞 장에서 언급한 것처럼, 차량이동은 국내에서 가축 전염병 확산의 주요한 원인으로 지목되고 있는데, HPAI의 1차 감염은 철새가 주요 원인으로 지목되고 있으며, 2차 감염과 전파는 감염 농가를 방문한 차량 및 사람의 이동을 통하여 전파가 이루어지는 것으로 의심되고 있다^[7]. FMD의 경우에도 전파요인별 확산원인을 분석하여 보면, 사료차량에 의한 전파가 가장 큰 비중을 차지한다^[8].

차량으로 인한 전파가 주요 원인이기 때문에 가축 전염병은 매우 빠른 속도로 전파되는 것으로 알려져 있다. 국내에서 구제역은 직선거리 기준으로 53.9km/일, 도로에 따른 실거리 기준으로 71.1km/일의 속력으로 전파되는 것으로 알려져 있다^[9].

그러나 현재의 방역정책은 발생농가를 중심으로 500m에서 3km에 집중되어 있으며, 가장 범위가 큰 예찰지역도 반경 10km에 그치고 있다. 구제역 방역실시요령(농림축산식품부 고시 제2016-12호)에서는 중점적인 방역을 실시하기 위한 관리지역과 보호지역을 지정하는데, 관리지역은 구제역에 오염되었거나 오염되었다고 의심되는 지역으로 발생농장을 중심으로 하여 반경 500m 이내의 지역이며, 보호지역은 반경 500m부터 3km 이내의 지역이다^[10].

조류인플루엔자 방역실시요령(농림축산식품부고시 제2015-174호)에서는 방역을 위한 관리지역, 보호지역, 예찰지역, 발생권역을 나누고 있는데, 관리지역은 발생 농장으로부터 반경 500m, 보호지역은 반경 0.5~3km, 예찰지역은 3~10km이다^[11]. 즉, 현재의 방역권역은 차량을 통한 빠른 전파속도에 비하여 매우 작은 범위를 대상으로 하고 있으며, 따라서 효과적인 대응에는 한계가 있다.

또한 빠른 속도로 장거리를 이동하는 차량에 의한 전파를 막기 위한 교통부문 방역정책의 필요성이 제기되고 있으나, 그 대책은 미비한 상황이다^[12].

그러나 하루에 70km 이상의 속도로 전파되는 전염병을 막기 위하여, 반경 70km이상의 권역을 방역권역으로 설정하는 것은 국토의 규모를 고려할 때 현실적으로 불가능하다. 따라서 빠른 차량전파에 대응하되, 핵심적인 방역지역 또는 시설을 선정하고 선제적으로 대응하는 전략이 요구된다.

2.2 사회연결망 분석과 가축전염병

가축의 전염병과 관련한 역학관련 연구는 국내외에서 활발하게 진행되고 있으나, 국내에서 동물의 질병에 관한 시공간적 분석은 초기단계이다^[13]. 특히 시설간의 네트워크 구조를 기반으로 하는 사회연결망 분석을 활용하여 가축전염병의 전파양상을 분석하거나 방역정책적 시사점을 도출한 연구는 찾기 어렵다.

3. 분석의 틀

3.1 연구문제의 설정

상술한 바와 같이 본 연구의 목적은 축산시설간의 차량이동 네트워크 내에서 중심적인 역할을 수행하는 허브시설을 도출하고 그 특성을 분석하여 향후 방역정책의 시사점을 제공하는 것이다. 이와 같은 연구의 목적을 달성하기 위하여 설정한 연구문제는 다음과 같다.

연구문제 1 : “축산관계시설의 차량이동 네트워크 내에서 주요한 위치를 차지하는 허브시설이 존재하는가?”

본 연구의 목적에 따라 차량이동 네트워크 내에서 다른 시설과 밀접하게 연결되어 있으며, 전염병을 매개할 가능성이 높은 허브시설을 도출하고자 하며, 이와 같은 시설은 향후 방역의 중점적인 목표가 될 수 있다.

연구문제 2 : “축산관계시설의 차량이동 네트워크 내에서 주요한 위치를 차지하는 허브시설의 특성은 어떠한가?”

연구문제 1을 통하여 도출한 허브시설들이 주로 어떠한 시설이며, 그 공간적인 위치는 어떠한지를 분석하여 향후 방역정책의 시사점을 제공하고자 한다.

연구문제 3 : “축산관계시설의 차량이동 네트워크 내에서 주요한 위치를 차지하는 허브시설이 시계열적으로 변화하는가?”

본 연구에서 도출한 허브시설은 향후 전염병 발생 시 우선적인 방역의 목표로 활용하기 위한 것이다. 그러나 축산시설의 차량이동 연결망은 정적이지 않고 시점에 따라 변화하기 때문에 미래에도 활용이 가능한지 확인할 필요가 있다. 따라서 시점에 따른 허브시설의 변화를 분석하여 허브시설이 안정적으로 유지되는가를 확인하고자 한다.

3.2 분석방법과 자료의 구축

3.2.1 축산시설의 차량이동 사회연결망의 구축

사회연결망은 액터(actor)와 액터 사이의 관계(relation)로 이루어진다. 본 연구에서는 축산관련시설을 액터로 하고, 시설 사이의 차량이동을 관계로 하여 사회연결망을 구성하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 KAHIS에서 제공하고 있는 축산시설의 차량 진출입 데이터와 시설 정보를 활용하였다. 축산시설의 경우 사육 품종에 따라서 별도의 연결망을 구축하는 것이 이상적이다. 그러나 우리나라의 축산업 현실에서는 가금류와 우제류가 혼합 사육되는 경우가 매우 많으며, 사료공장, 도축장 등도 함께 이용하는 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 사육품종을 구분하지 않고 사회연결망을 구성하였으며, 이는 연구의 한계로 지적될 수 있다.

연구의 시간적 범위에 따라 2013년 10월에서 2016년 12월까지의 자료를 활용하였다. 이 자료에는 해당 시점 동안에 KAHIS에 등록된 차량이 등록된 시설이 진출입한 모든 기록이 담겨져 있다. 따라서 전체자료를 하나의 데이터 셋으로 만들어서는 현실적으로 분석이 불가능하다. 또한, 축산시설간의 사회연결망 구조는 완벽하게 정적구조를 가질 수 없으며, 시점에 따라 변화가 크게 일어날 수 있다. 이에 본 연구는 사회연결망을 시기별로 나누어 분석을 실시하였다.

국제수역사무국(OIE)은 FMD의 최대 잠복기를 14일^[14], HPAI의 최대 잠복기는 3주^[15]로 하고 있다. 즉, 발생전 3주에서 발생이후 3주까지는 영향이 있을 수 있다. 이에 본 연구는 1달 단위의 자료를 3개씩 붙여서 3개월 단위로 자료를 구축하여 활용하였다. 자료의 형태는 출발시설과 도착시설이 표현된 엣지리스트(Edge List)형식으로 정리되었으며 총 37개의 데이터 셋이 구성되었다. 각 데이터 셋은 해당 셋에 포함된 시점 중에서 가운데 시점을 기준으로 이름을 붙였으며, 이후의 분석에서 시점이 의미하는 바는 해당 시점을 중심으로 전월과 후월의 데이터가 합쳐진 3개월 단위의 데이터 셋의 분석결과이다. 즉, 201405로 표현된 결과는 2014년 4월, 5월, 6월의 3개월치 자료가 합쳐진 데이터 셋의 분석결과로 도출된 결과임을 의미한다. 이렇게 구축된 데이터 셋 하나는 평균 93,961개의 액터, 1,067,577개의 연결, 6,964,893건의 차량이동을 포함하는 방대한 데이터이다.

3.2.2 중심성 지표를 통한 허브시설 도출

본 연구에서 허브시설은 축산관계시설의 차량이동 네트워크에서 중요한 구조적 위치를 가지고 있어 네트워크에 끼치는 영향력이 큰 시설로 정의한다. 네트워크에서 액터가 가지는 위치를 판단하기 위한 사회연결망 분석의 지표로 널리 활용되는 것이 중심성 지표이다. 본 연구에서는 연결정도 중심성(Degree Centrality)과 매개 중심성(Betweenness Centrality)을 시설이 연결망에서 가지는 위치를 설명하는 지표로 선택하였다.

연결정도 중심성은 해당 액터가 네트워크 내의 다른 액터와 얼마나 많이 연결되어 있는가를 바탕으로 계산된다^[16]. 따라서 시설 사이의 연결 관계를 정보나 전염병 등이 전파되는 통로로 생각한다면, 연결정도 중심성은 네트워크 내에 액터가 노출되는 정도로 해석될 수 있다. 즉, 네트워크를 통해 흘러 다니는 무언가에 노출되는 기회 또는 위험을 나타낸다^[17]. 따라서 연결정도가 높은 시설은 감염의 위험이 높으며, 해당시설이 감염된 경우에 질병원을 전파할 가능성도 높다. 본 연구에서는 시설 사이의 차량이동횟수를 고려한 Weighted Degree Centrality를 활용하였으며, 시점별 네트워크의 크기를 고려하기 위하여 연결정도 중심성을 자유도(액터의 개수-1)로 나눈 표준화 액터 연결정도 중심성을 활용하였다. 앞으로의 원고에서 연결정도 중심성은 이를 의미한다.

매개 중심성은 네트워크 내의 다른 액터 사이의 최단

경로 상에 해당 액터가 얼마나 많이 위치하는 가를 바탕으로 계산된다^[18]. 따라서 시설의 매개중심성이 높다는 것은 감염된 시설로부터 다른 시설로 질병원을 매개할 가능성이 높다고 판단할 수 있다. 중심성지표의 도출은 사회연결망 분석 소프트웨어인 NetMiner 4를 이용하였다.

3.2.3 허브시설의 특성과 변화 분석

본 연구에서는 중심성 지수의 값이 상위권에 속하는 시설을 허브시설로 판단하고 이들 시설의 특성을 분석하였다. 허브시설의 종류별 비율을 분석하여 주로 어떠한 시설이 허브시설로 기능하고 있는가를 파악하고, 지도화(mapping)를 통하여 허브시설의 지리적인 분포를 분석하였다.

이후에는 허브시설이 시점에 따라 달라지는 가를 분석하였는데, 이는 과거의 데이터를 바탕으로 추출된 허브시설이 미래의 방역정책의 주요 대상이 될 수 있는가를 확인하기 위함이다. 이를 위하여 유지비율이라는 지표를 도입하였는데, 유지비율은 “현시점의 상위권 시설(허브시설) 중에서 전(前)시점에도 상위시설에 포함되었던 시설의 비율”을 의미한다. 유지비율이 높을수록 기존의 허브시설이 다음 시점에도 그대로 유지되고 있다고 판단할 수 있으며, 허브시설의 변화가 적은 것으로 이해할 수 있다.

4. 분석결과

4.1 허브시설의 존재

Fig. 2는 201611데이터 셋의 연결정도 중심성과 매개 중심성 지표의 누적분포를 나타낸 것이다. 모든 데이터 셋에서 같은 형태의 분포가 나타나며, 이를 모두 표현할 경우 구분이 어려워 가장 최근 데이터 셋의 분포를 보고하였다. 그림에서 보는 바와 같이 두 지표 모두 대부분의 액터들이 낮은 지표값을 가지며, 소수의 최상위 액터들이 매우 높은 지표값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 전체 축산관계시설 중에서 소수의 시설이 다른 시설과는 차별화되게 큰 중심성 지표값을 나타내는 것을 의미하며, 이와 같은 시설이 허브시설일 것으로 예상할 수 있다. 그림에서 보면 연결정도 중심성에 비하여 매개 중심성의 경우 더욱 뚜렷하게 최상위층이 구분되는 것을 확인할 수 있다.

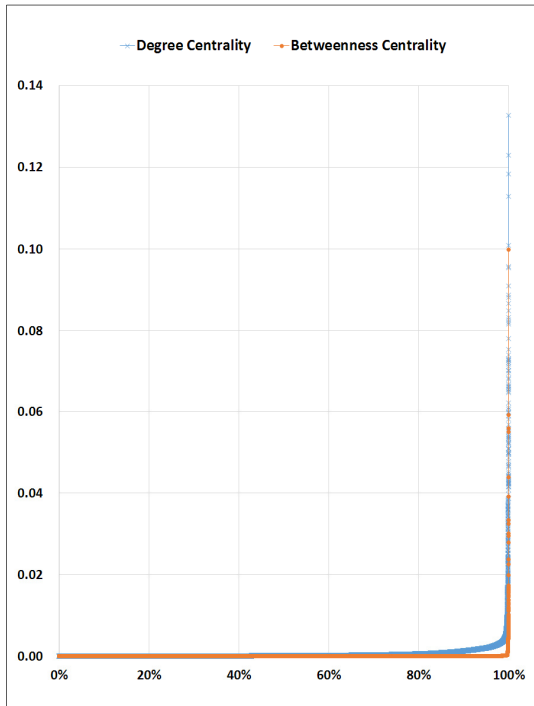


Fig. 2. Cumulative Distribution of Centrality Index

4.2 허브시설의 특성

4.2.1 중심성에 따른 허브시설의 종류

Fig. 3은 데이터 셋별로 연결정도 중심성 지표값이 100위권에 포함되는 시설의 종류별 비율을 나타낸 것이다. 데이터 셋 별로 평균 93,961개의 액터를 포함하고 있기 때문에 100위권에 포함되는 시설은 지표값이 상위 0.1% 수준에 포함되는 최상위권 시설로 판단할 수 있다.

앞에서 설명한 바와 같이 시점별로 사회연결망의 변화가 나타나기 때문에 본 연구에서는 시점별로 100위권에 포함되는 시설을 별도로 추출하였다. 이후에 이를 합산하여 허브시설의 종류별 비율을 도출하였으며, 진한색은 전체기간, 연한색은 2016년의 자료를 합산하여 비율을 산정한 것이다. 전체 시설 중에 90% 이상이 농장인 것에 비하여 상위권 시설에서 농장의 비율은 2% 미만으로 나타난다.

전체시점의 분석결과를 보면 연결정도 중심성이 높은 시설은 사료공장, 집유장, 도축장, 도계장, 가축시장 등이다. 즉 이들 시설이 전염병 발생 시에 전염병의 감염과 전파에 주요한 역할을 하는 허브시설로 파악할 수 있다. 특히 사료공장의 경우 절반에 가까운 비율(47.49%)을

차지하여 중점적인 관리대상임을 확인할 수 있다. 두 번째로 높은 비율(21.76%)을 차지하는 집유장의 경우 FMD발생 시의 주요 관리대상임을 확인할 수 있다.

2016년의 분석결과를 보면, 전 시점의 분석결과와 전반적으로 비슷하게 나타나지만 집유장의 비율이 감소하고 도계장, 도축장, 사료공장, 가축시장의 비율이 소폭 상승하였다. 즉 집유장을 제외한 허브시설의 중요도는 보다 상승한 것으로 판단할 수 있다.

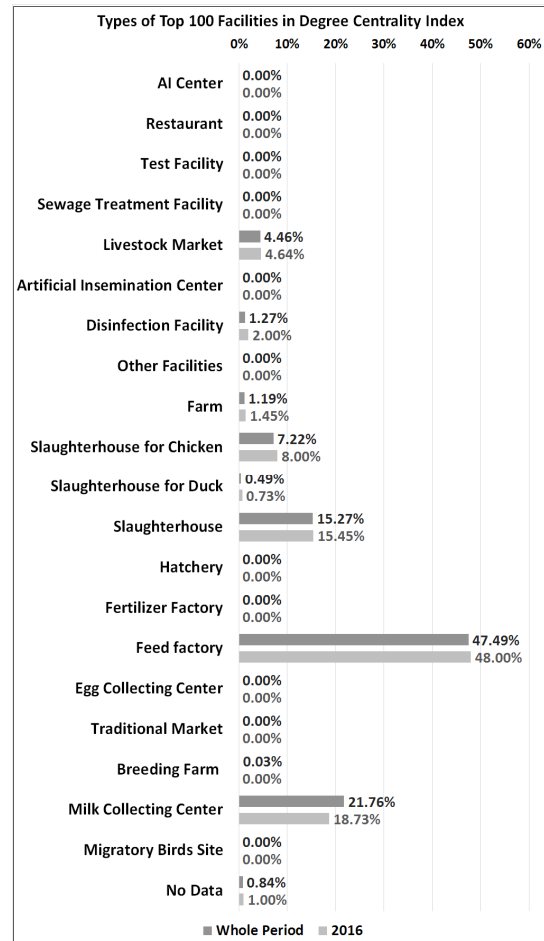


Fig. 3. Types of Top 100 Facilities in Degree Centrality

Fig. 4는 매개 중심성 지표를 기준으로 100위권에 포함되는 허브시설을 포함한 것이다. 전체시점의 분석결과를 보면 매개 중심성이 높은 시설은 가축시장, 사료공장, 도축장이다. 이들 시설이 차지하는 비중이 92.43%에 달한다. 특히 가축시장이 40%에 가까운 비율을 차지하기

때문에 주요한 관리대상임을 확인할 수 있다. 매개 중심성이 높은 시설은 감염위험도 높지만, 특히 전염병의 전파에 주요한 역할을 할 것이기 때문에 평상시 보다 전염병 발생 시에 보다 중점적인 관리가 필요하다.

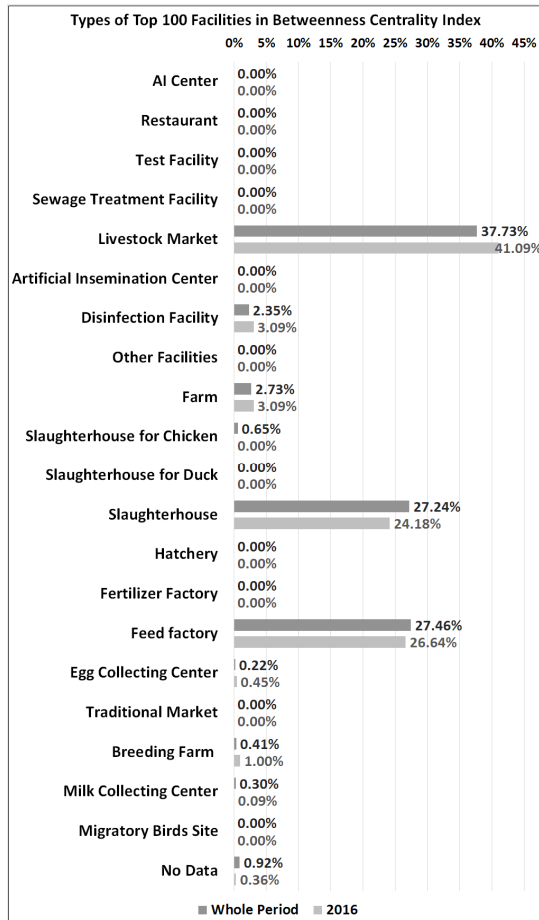


Fig. 4. Types of Top 100 Facilities in Betweenness Centrality

2016년의 분석결과를 보면, 가축시장의 비율이 증가하고, 도축장과 사료공장의 비율이 감소하였다. 가축시장의 경우 도축장이나 사료공장에 비하여 집중적인 방역이나 관리가 어렵다는 점에서 보다 높은 관심이 필요할 것이다.

두 가지 중심성 지표에 따른 허브시설은 큰 차이가 나타난다. 연결정도 중심성에서는 사료공장이 가장 많은 비율을 차지하는 것과 달리 매개 중심성에서는 가축시장이 가장 높은 비율을 차지한다.

시설별로 보면, 가축시장은 연결정도 중심성에서는 4.46%에 그치고 있으나 매개 중심성에서는 37.73%를 차지한다. 도축장은 연결정도 중심성에서는 15.27%, 매개 중심성에서는 27.24%가 나타난다. 사료공장은 연결정도 중심성에서는 47.49%, 매개 중심성에서는 27.46%로 나타난다. 순위와 비율에는 차이가 있으나 가축시장, 도축장, 사료공장 등은 연결정도 중심성과 매개 중심성이 모두 높게 나타나는 시설로 판단할 수 있다.

반면 도계장은 연결정도 중심성에서는 7%이상을 차지하지만 매개 중심성에서는 상위권에 포함되지 못하였다. 이는 도계장은 가금류에만 한정되어 활용되기 때문인 것으로 판단된다. 소사육시설과만 연결관계를 가지는 집유장 또한 연결정도 중심성에서는 21.76%를 나타냈지만, 매개 중심성에서는 상위권에 포함되지 못하였다. 이와 같은 결과를 보면 전체적으로 많은 축산시설과 연결관계를 가지는 경우 연결정도 중심성과 매개중심성이 모두 높게 나타나지만, 한정된 시설과 집중적인 관계를 가지는 시설은 연결정도 중심성만 높게 나타나는 것으로 이해할 수 있다.

4.2.2 허브시설의 지리적 위치

Fig. 5는 가장 최근인 201611 데이터 셋에서 연결정도 중심성 기준의 100위권 시설 분포를 지도화 한 것이며, Fig. 6은 매개 중심성 기준의 100위권 시설 분포를 지도화 한 것이다. 다른 시점의 허브시설의 경우에도 유사한 분포를 보이며, 분량의 한계로 인하여 가장 최신 시점의 위치만을 보고하였다. 연결정도 중심성 기준의 허브시설은 수도권, 전북과 전남의 서해안 지역, 경남, 경북의 일부 지역에 집중되어 있음을 확인할 수 있다. 반면에 매개 중심성을 기준으로 한 허브시설은 가축시장을 상당히 포함하고 있으며, 이에 따라 전국적으로 퍼져 있음을 확인할 수 있다.

4.3 허브시설의 변화양상 분석

Fig. 7은 허브시설의 시기에 따라 얼마나 변화하는가를 확인하기 위하여 유지비율을 나타낸 것이다. 유지비율은 “현시점의 상위권 시설(허브시설) 중에서 전(前)시점에도 상위시설에 포함되었던 시설의 비율”을 의미한다. 예를 들어 201402 시점의 상위권 시설 100개 중에서 201401 시점에도 상위권에 포함되어 있었던 시설이 97개라면 유지비율은 97%로 나타낼 수 있다. 이를 통하여

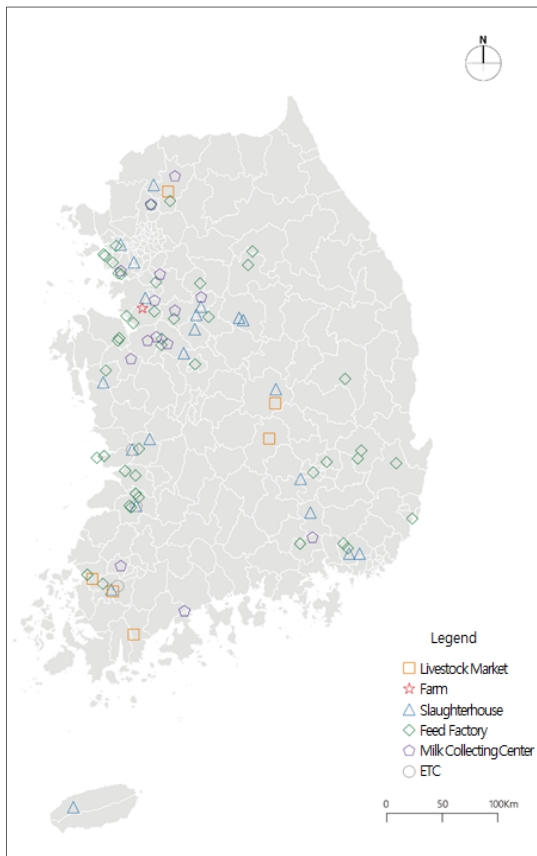


Fig. 5. Location of Hub Facilities by Degree Centrality

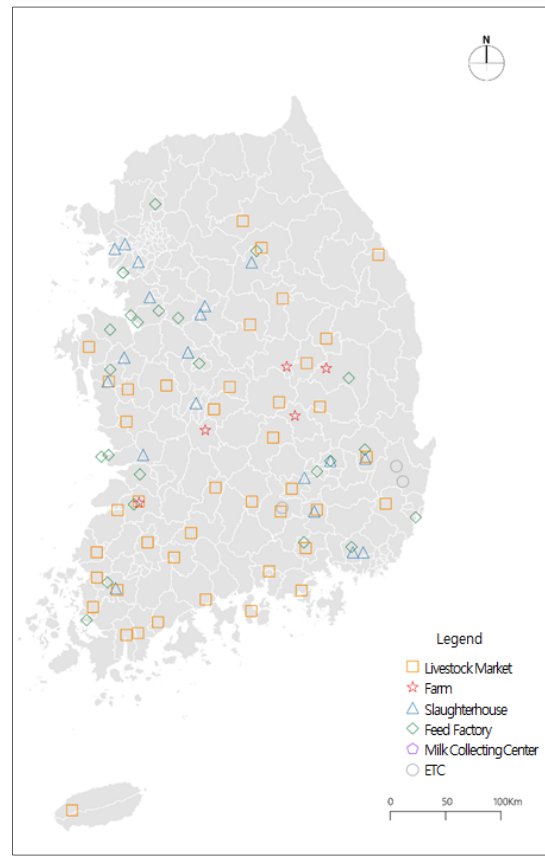


Fig. 6. Location of Hub Facilities by Betweenness Centrality

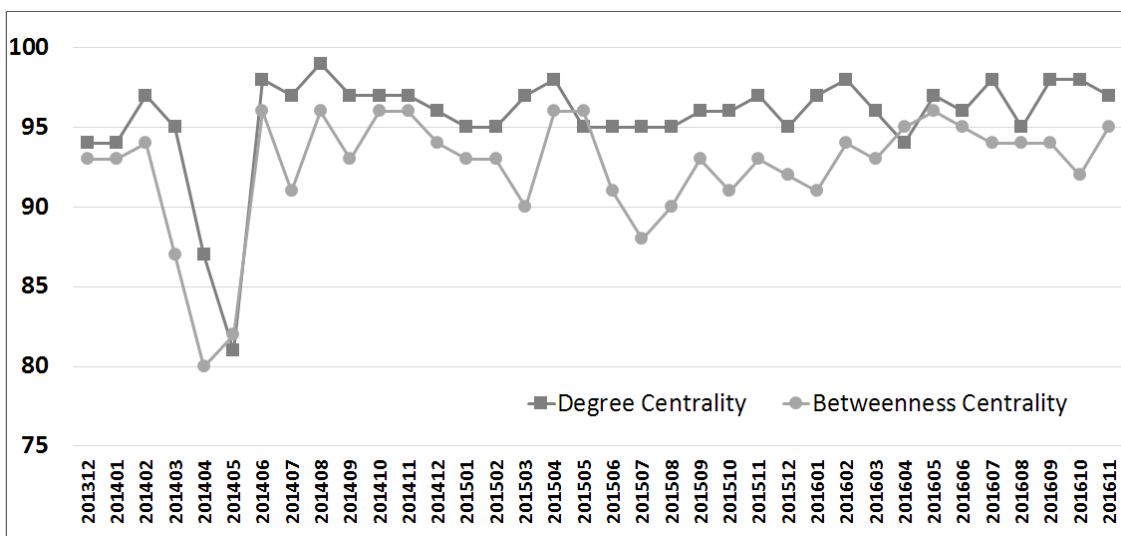


Fig. 7. Retain Ratio of Hub Facilities

시점에 따라 얼마나 많은 시설이 변화하는 지를 확인할 수 있다.

Fig. 7에서 사각형으로 표시된 그래프는 연결정도 중심성 기준의 허브시설이 유지되는 비율을 시계열로 나타낸 것이며, 원으로 표시된 그래프는 매개 중심성을 기준으로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 2014년 봄을 제외하고는 전반적으로 90% 이상의 시설이 유지되는 것을 확인할 수 있다. 이 시점은 2014년 1월 대규모 AI 발생 이후 시설의 수, 연결의 수, 이동 횟수가 급속히 회복하던 시기로 새로운 허브시설이 등장한 것으로 판단된다.

이 시점을 제외하면, 연구의 시간적 범위 내에서 중심성 지표 값이 최상위권에 속하는 허브 시설들은 안정적으로 유지되는 것으로 판단할 수 있다. 분량의 한계로 인하여 본 원고에는 보고하지 못하나, 해당 시점에 100위권에 새롭게 진입한 시설들도 대부분 이전 시점에 200위권 안에 포함되는 최상위 시설인 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구는 가축 전염병의 확산과정에서 차량이동의 중요성에 주목하여, 방역의 집중적인 관심대상인 허브시설을 사회연결망 분석을 통하여 도출하고 그 특징을 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 축산시설의 차량이동 네트워크에는 다른 시설에 비하여 매우 높은 중심성 지표 값을 가지는 소수의 시설이 존재한다. 이들 시설은 다른 시설에 비하여 네트워크 내에서 중요한 위치를 차지하며 전염병 발생시에 감염과 전파의 위험이 높은 허브시설로 판단할 수 있다.

둘째, 연결정도 중심성이 높게 나타나는 허브시설은 사료공장, 집유장, 도축장, 도계장, 가축시장이다. 특히 사료공장의 경우 절반에 가까운 비율을 차지하여 중점적인 관리대상이다. 두 번째로 높은 비율을 차지하는 집유장의 경우 FMD발생 시의 주요 관리대상이다.

셋째, 매개 중심성이 높은 허브시설은 가축시장, 사료공장, 도축장이다. 이 중에서도 가축시장이 40%에 가까운 비율을 차지하기 때문에 주요한 관리대상이다.

넷째, 연결정도 중심성에 기반한 허브시설은 특정지역에 집중되어 입지하고 있으나, 매개 중심성에 따른 허브시설을 상대적으로 고르게 분포하고 있다. 특히 전통

시장은 매개중심성이 높으며, 전국적으로 위치하고 있다.

다섯째, 중심성 지표에 따른 허브시설은 시간이 변화해도 상당히 안정적으로 유지되지만, 일부 시설의 경우 변동이 존재한다.

본 연구의 결과에 따른 정책적 시사점을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 사전에 중심성 지표를 바탕으로 허브시설을 선정하고 이들 시설에 특별한 방역절차를 실행할 수 있는 제도의 마련이 필요하다. 축산시설의 차량이동 네트워크에서는 다른 시설에 비하여 다른 시설과 매우 밀접하게 연결되어 있으며, 많은 시설을 매개하는 소수의 시설이 존재한다. 이들 시설은 전염병 발생 시 전염병의 확산에 큰 역할을 할 수 있기 때문에 발생 초기부터 발생시설과의 거리와 상관없이 주의깊은 방역이 필요하다. 따라서 사전에 허브시설을 도출하고 별도의 관리절차를 제도화해야 한다.

둘째, 중심성 지표에 따른 허브시설은 시간이 변화해도 상당히 안정적으로 유지되지만, 일부 시설의 경우 변동이 존재한다. 따라서 최신의 KAHIS 데이터를 이용하여 허브시설을 지속적으로 업데이트하고 그 목록을 관리할 필요가 있다.

본 연구는 축산시설 사이의 차량이동이 가축 전염병 전파의 주요 원인으로 지목되는 상황에서, 방대한 진출입 자료를 활용하여, 실질적인 축산시설 차량 이동 네트워크를 구축하고 분석하였다는 점에서 그 의의가 있다. 또한 허브시설의 특성과 변화를 분석하여 이들 시설에 대한 별도의 방역정책을 제도화할 수 있는 근거를 제공한다는 점에서도 의의가 있다.

그러나, 본 연구는 사회연결망 분석의 중심성 지표만을 활용하여 허브시설을 도출하였으며, 이런 허브시설이 실제 전염병의 전파과정에서 주요한 역할을 수행하는지를 역학적으로 증명하지는 못하였다는 한계가 있다. 따라서 중심성 지표값이 높은 개별 시설들에 집중하여 전염병의 전파과정을 실증적으로 분석하는 후속연구가 필요하다.

References

- [1] B. J. Woo, H. W. Lee, Y. J. Hwang, J. N. Kim, Measuring economic damage of highly pathogenic avian influenza, p. 48, Korea Rural Economic Institute, 2008.

- [2] J. K. Lim, J. H. Sul, Y. S. Jeong, A Study on Traffic Management Measures for Preventing the Spread of Foot and Mouth Disease in Korea, p. 1, The Korea Transport Institute, 2011.
- [3] E. H. Lee, S. H. Lee, S. H. Lee, U. Kim, I. S. Kim, Study on Improvement of Plan for Preventing and Responding to Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI), p. 1, Gyeonggi Research Institute, 2017.
- [4] S. H. Lee, E. W. Lee, S. M. Hong, U. Kim, The issue of AI and FMD and its response issues, p. 1, Gyeonggi Research Institute, 2017.
- [5] K. S. Jung, M. G. Kim, C. S. Song, Follow-up measures for improvement of the AI prevention system, p. 36, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2015.
- [6] C. G. Park, Current Status and Causes of foot-and-mouth disease and Fundamental Preventive Measures, p. 13, Open Forum Kyeongbuk National University, 2015.
- [7] S. H. Bae, H. Y. Jeong, C. H. Eom, "Social Network Type Analysis of Highly Pathogenic Avian Influenza(HPAI) Outbreaks in South Korea, 2014-2016", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.19, No.3 pp. 114-126, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.11108/kagis.2016.19.3.114>
- [8] J. K. Lim, J. H. Sul, Y. S. Jeong, A Study on Traffic Management Measures for Preventing the Spread of Foot and Mouth Disease in Korea, p. 17, The Korea Transport Institute, 2011.
- [9] S. K. Choi, H. H. Song, K. S. Park, "Analysis of Foot-and-mouth Disease Diffusion Velocity using Network Tool", *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science*, Vol.20, No.2 pp. 101-107, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2012.20.2.101>
- [10] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "Guidelines for the Prevention of FMD", <http://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000039360>(accessed may, 2018)
- [11] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "Guidelines for the Prevention of Avian Influenza" <http://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000035624>(accessed may, 2018)
- [12] J. K. Lim, J. H. Sul, Y. S. Jeong, A Study on Traffic Management Measures for Preventing the Spread of Foot and Mouth Disease in Korea, p. 3, The Korea Transport Institute, 2011.
- [13] O. K. Moon, S. B. Cho, S. H. Bae, "Spatio-Temporal Clustering Analysis of HPAI Outbreaks in South Korea, 2014", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.18, No.3 p. 91, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.11108/kagis.2015.18.3.089>
- [14] J. Kim, "Environmental problem and Citizens Science owing to the failure of foot and mouth disease (FMD) policy", *Environmental Sociology ECO*, Vol.15, No.1, pp. 85-119, 2011.
- [15] J. H. Kim, H. W. Sung, Y. K. Kwon, Y. J. Lee, J. G. Choi, S. J. Cho, M. C. Kim, E. K. Lee, H. Jang, S. H. Wee, I. P. Mo, C. S. Song and J. M. Park, "Current Status and Characteristics of Highly Pathogenic Avian Influenza," *Korean Journal of Poultry Science*, Vol. 31, No. 2, pp. 119-128, 2004.
- [16] K. Y. Kwak, Social Network Analysis, p. 185, CR Books, 2014.
- [17] K. Y. Kwak, Social Network Analysis, p. 185, CR Books, 2014.
- [18] K. Y. Kwak, Social Network Analysis, p. 200, CR Books, 2014.

이 경 주(Gyoung-Ju Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 서울대학교 조경학과 (농학사)
- 2008년 6월 : 뉴욕주립대(버펄로) 지리학과 (이학박사)
- 2008년 4월 ~ 2010년 9월 : 국토연구원 책임연구원
- 2010년 10월 ~ 현재 : 한국교통대학교 도시·교통공학전공 교수

<관심분야>

지리정보시스템(GIS), 공간통계분석, 도시입지

박 선 일(Son-II Park)

[정회원]



- 1991년 8월 : 서울대학교 보건대학원 (역학석사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 수의과대학 (수의학박사)
- 2008년 1월 ~ 현재: 중앙가축방역심의위원회 위원
- 2002년 4월 ~ 현재 : 강원대학교 수의과대학 교수

<관심분야>

수입위험평가, 혈청예찰

이 광 녕(Kwang-Nyeong Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 서울대학교 대학원 동물자원과학과 (농학석사)
- 2011년 8월 : 서울대학교 대학원 동물생명공학부 (농학박사)
- 2000년 7월 ~ 2017년 8월 : 농림 축산검역본부 근무(수의연구사)
- 2017년 8월 ~ 현재 : 농림축산검역본부 역학조사과 근무(수의연구관)

<관심분야>

가축질병 역학, 백신 및 진단 분야

홍 성 조(Sungjo Hong)

[정회원]



- 2007년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 서울대학교 건설환경공학부 (공학박사)
- 2013년 3월 ~ 2014년 3월 : 수원시정연구원 연구위원
- 2014년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 도시·교통공학전공 교수

<관심분야>

도시계획 및 설계, 국토 및 지역계획, 도시공간구조

김 한 이(Han-Yee Kim)

[준회원]



- 2017년 2월 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 (공학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 일반대학원 도시·교통공학과 (석사과정 재학 중)

<관심분야>

도시계획 및 설계, 국토 및 지역계획, 도시공간구조

박 진 호(Jin-Ho Park)

[준회원]



- 2018년 2월 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 (공학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 일반대학원 도시·교통공학과 (석사과정 재학 중)

<관심분야>

GIS, 공간통계