

차량이동 네트워크에서의 축산시설 연결중심성과 가축 전염병 발생 사이의 관계

이경주¹, 박선일², 이광녕³, 김한이¹, 박진호¹, 홍성조^{4*}

¹한국교통대학교 도시·교통공학전공, ²강원대학교 수의과대학, ³농림축산검역본부 역학조사과, ⁴충북대학교 도시공학과

Relationship Between Degree Centrality of Livestock Facilities in Vehicle Movement Network and Outbreak of Animal Infectious Disease

Gyoung-Ju Lee¹, Son-Il Pak², Kwang-Nyeong Lee³,
Han-Yee Kim¹, Jin-Ho Park¹, Sungjo Hong^{4*}

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

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

³Veterinary Epidemiology Division, Animal and Plant Quarantine Agency

⁴Dept. of Urban Engineering, Chungbuk National University

요약 주기적으로 발생하는 가축전염병으로 인한 국가적 손실이 매우 크다. 또한 우리나라에서 차량이동이 가축전염병의 주요 원인인 것으로 알려져 있다. 이 같은 상황에서, 본 연구는 축산차량의 이동 네트워크에서 축산시설의 구조적 위치와 전염병의 발생 사이의 관계를 실증분석하였다. 이를 위하여 KAHIS에서 제공하는 축산차량의 시설 진입 데이터를 활용하여 축산차량 이동 네트워크를 구축하였다. 구축된 네트워크에서 시설별로 중심성 지표를 도출하고, 전염병이 발생한 시설과 비발생 시설의 지표 평균을 비교하였다. 분석결과 첫번째 가설인 “전염병 발생시설의 연결정도 중심성은 비발생 시설보다 크다.”는 옳은 것으로 나타났다. 전체시점과 시점별 분석을 실시한 결과 대부분의 자료에서 가축전염병이 발생한 시설의 연결정도 중심성이 비발생 시설에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. 두 번째 가설인 “HPAI에서 발생시설과 비발생시설 사이의 연결중심성 차이가 FMD에서의 차이보다 작다.”는 전체시점 자료에서 옳은 것으로 나타났다. 반면에 시점을 나누어서 분석한 결과에서는 뚜렷한 차이를 찾을 수 없었다. 연구의 결과에 따른 정책적 시사점은 다음과 같다. 첫 번째, 연결정도 중심성에 기반한 시설의 사전 관리가 필요하다. 두 번째, 우제류 농가의 경우 연결중심성에 기반한 관리정책의 도입이 보다 시급하다.

Abstract The national loss caused by the periodic livestock epidemic is very large. In addition, vehicle movement is the main cause of livestock epidemics in Korea. In this context, this study analyzed the relationship between the degree centrality of livestock facilities and the outbreak of infectious diseases. For this purpose, a livestock vehicle movement network was constructed using the facility entrance data provided by KAHIS. Afterwards, the centrality index was derived for each facility in the vehicle movement network and the mean centrality index of the epidemic and non-epidemic facilities were compared. The analysis results are summarized as follows. First, the degree centrality of epidemic facilities is significantly greater than non-epidemic facilities. As a result of the analysis of the entire period data and the period-based data, in most data, the degree centrality of facilities where livestock infectious diseases occurred was significantly greater than most non-occurrence facilities. Second, in the entire period data, the difference in degree centrality between the epidemic and non-epidemic facilities was smaller for HPAI than for FMD. On the other hand, no significant difference was found in the results of the analysis according to the divided period. The policy implications of the results are as follows. First, proactive management of facilities based on centrality is needed. Second, in the case of cloven-hoofed animal facilities, it is more urgent to introduce a management policy based on the degree centrality.

Keywords : Social Network Analysis, Highly Pathogenic Avian Influenza, Foot and Mouth Disease, Risk of Infection, Quarantine Policy

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 것입니다. 또한 한국산학기술학회 2018년 춘계학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완한 것임을 밝힙니다.

*Corresponding Author : Sungjo Hong(Chungbuk National Univ.)

Tel: +82-43-261-2494 email: sjhong@cbnu.ac.kr

Received September 10, 2018

Revised (1st October 8, 2018, 2nd October 16, 2018, 3rd October 29, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

고병원성 조류인플루엔자 (HPAI: Highly Pathogenic Avian Influenza)는 2003년에 최초로 발생 이후 거의 2~3년을 주기로 반복적으로 발생[1]하고 있으며, 구제역 (FMD: Foot and Mouth Disease)도 지속적으로 발병[2]하고 있다. 이에 따라 2010년 이후 8년간 FMD와 조류인플루엔자(AI: Avian Influenza)로 인한 직접적인 피해액이 4조원[3]에 달하는 등, 주기적으로 발생하는 FMD와 HPAI로 인한 국가경제적 손실이 매우 크다. 따라서 FMD와 HPAI같은 가축 전염병의 감염과 확산을 예방하기 위한 노력이 필요하다.

국내에서 HPAI와 FMD의 확산에는 차량을 통한 접촉이 큰 역할을 했었던 것으로 알려져 있다. 과거 사례에 대한 연구를 보면, AI의 확산원인에서 차량이 26.9%를 차지[4]하고, FMD에서는 차량이 발병과 확산 원인의 70%이상(가축운반차량: 54.7%, 사료차량: 18.9%)을 차지[5]한 것으로 보고된 바 있다.

이와 같은 상황에서 본 연구는 축산차량의 이동 네트워크에서 특정 시설이 가지는 구조적 위치에 따라 가축 전염병의 감염 위험이 달라질 것이라는 가설에서 출발하였다. 이와 같은 가설이 옳다면, 차량 이동 네트워크에서의 구조적 위치에 따라 축산시설의 감염 위험 정도를 예측하고 선제적으로 대응하는 방역정책의 수행이 가능하기 때문이다. 본 연구는 네트워크 내에서 특정 노드(본 연구에서는 축산시설)의 구조적 위치를 설명하는 사회연결망지표 중에서 가장 대표적인 중심성 지표를 선정하고, 중심성 지표와 가축 전염병 발생 사이의 관계를 분석하였다.

정리하면, 본 연구의 목표는 축산차량의 이동 네트워크에서 축산시설의 중심성 지표와 전염병 발생 사이의 관계를 실증분석하는 것이다. 이는 차량이동에 기반한 축산시설의 가축전염병 감염 위험도를 판단하기 위한 기초지표로서 중심성 지표의 활용가능성을 검증하기 위한 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 전국이며, 시간적 범위는 2014년 1월부터 2016년 12월까지이다. 한국에서 축산차량 이동 네트워크는 정적이지 않으며, 시기에 따라 변화

하는 것으로 알려져 있다[6]. 이에 본 연구에서는 전체 시간적 범위의 자료의 분석과 함께 시점별로 분절한 자료의 분석을 함께 실시하였다. 자료의 분절은 질병의 잠복기 등을 고려하여 3개월 단위로 분절하여 분석하였다.

분석 자료는 국가가축방역통합시스템(KAHIS: Korea Animal Health Integrated System)에서 제공하는 차량의 축산시설 진입자료와 농림축산검역본부에서 제공받은 FMD와 HPAI 발생자료를 활용하였다[7].

본 연구의 내용적 범위는 다음과 같다. 첫째, 가축전염병 중에 가장 대표적인 HPAI와 FMD가 발생한 시점의 데이터 셋을 추출한다. 두 번째, 차량동 네트워크에서의 축산시설별 연결정도 중심성 지표를 작성한다. 세 번째, 전염병 발생시설과 비발생시설사이의 연결정도 중심성 지표차이를 검증한다.

연구의 분석방법은 발생시설과 비발생시설로 집단을 나누어 중심성 지표의 차이를 독립 표본 T-검정을 통하여 분석하였으며, 분석에는 SPSS 20을 활용하였다.

2. 이론적 배경

2.1 가축전염병의 차량전파

상술한 바와 같이 국내에서 차량이동이 가축전염병 확산의 주요 원인으로 지목되고 있으며, 이에 따라 가축 전염병이 빠른 속도로 전파될 수 있는 것으로 알려져 있다. 이와 관련하여 과거 국내사례에서 FMD는 직선거리로 53.9km/day, 도로기준 거리로는 71.1km/day의 속력으로 전파될 수 있는 것으로 보고된 바 있다[8].

따라서 전염병의 발병 이후 질병의 초기 검출 및 차단 방역에 실패할 경우 발생가능을 중심으로 하는 방역정책에는 한계가 있을 가능성이 높다. 현재의 방역정책은 질병의 인근전파에 우선순위를 두어야 하기 때문에 발생가능을 중심으로 500m에서 10km에 집중되어 있지만, 빠른 속도의 차량 전파에 대응하기 위한 방역정책이 함께 요구되는 상황이다. 이를 위하여, 감염위험이 높은 시설을 사전에 선정하고 선제적으로 대응하는 방역정책의 활용을 검토해 볼 수 있다.

본 연구의 분석대상인 축산시설의 중심성 지표가 가축 전염병의 발생과 실제 관계가 있다면, 중심성 지표를 기준으로 감염의 위험이 높은 시설을 도출할 수 있을 것이다.

2.2 사회연결망 분석과 가축전염병 연구

가축전염병 발생과 관련한 연구가 활발하게 진행되고 있는 것에 비하여, 국내에서 가축 전염병에 관한 시공간적 분석은 초기단계이다[9]. 특히 축산 시설간 네트워크에 사회연결망 분석방법을 적용하는 연구는 찾기 어려운 상황이다[10].

2.3 사회연결망 분석의 중심성 지표

사회연결망분석에서 연결망을 구성하는 요소는 액터와 액터 사이의 관계이다. 본 연구는 축산시설을 액터로, 시설 간의 차량이동을 관계로 하여 사회연결망을 구성하였다.

사회연결망 내에서 액터가 가지고 있는 위치는 다른 액터에게 영향력을 가지게 되며, 이를 파워라고 한다[11]. 액터의 중심성이 높다는 것은 해당 액터가 파워를 가지는 구조적 위치를 차지하고 있음을 의미한다.

본 연구는 액터가 다른 액터와 얼마나 많이 연결되어 있는가로 측정되는 연결정도 중심성(degree centrality)을 활용하였다. 다른 액터들과 많은 연결관계를 가지는 액터는 충분한 대안을 가지고, 네트워크 내의 여러 자원에 쉽게 접근이 가능하며, 액터들 간의 연결을 중개할 수 있어 파워를 가진다[12].

이에 따라 연결정도는 액터의 파워(중심성)를 판단하기 위한 효과적인 지표이다. 액터 사이의 연결 관계를 전염병 등이 전파되는 경로로 생각한다면, 액터의 연결정도 중심성은 전염병에 액터가 노출될 기회 또는 위험을 나타낸다[12]. 즉, 본 연구에서와 같이 축산시설 사이의 차량이동 네트워크에서 병원체가 매개될 수 있다면, 시설별 방역수준이 동일하더라도 연결정도 중심성이 높은 시설은 병원체에 노출될 위험이 많다고 할 수 있다.

연결정도 중심성은 액터간의 연결을 이진값으로 처리할 수도 있으며, 연결의 정도에 따라 가중치를 줄 수도 있다. 본 연구는 시설사이의 차량 이동 횟수를 연결의 가중치로 하는 가중 연결정도 중심성(weighted degree centrality)을 활용하였다.

위와 같은 연결정도 중심성, 가중 연결정도 중심성은 네트워크의 크기가 커질수록(액터의 개수가 늘어날수록) 그 값이 커지게 된다. 본 연구는 여러 시점의 분석을 실시하며, 시점에 따라 네트워크의 크기는 차이가 있다. 따라서 네트워크 크기의 영향을 통제하기 위하여 연결정도 중심성을 자유도로 나눈 표준화 연결정도 중심성을 활용

하였다. 이후의 원고에서 연결정도 중심성은 가중연결정도 중심성을 자유도로 나누어 도출된 표준화 연결 중심성을 의미하며, 이를 식으로 표현하면 다음의 식(1)과 같다.

$$C_D(N_i) = \sum_{j=1}^g x_{ij} / (g-1) \quad (1)$$

$C_D(N_i)$: 축산시설 i의 연결정도 중심성

x_{ij} : 시설 i와 다른 시설 j사이의 차량이동 횟수

$\sum_{j=1}^g x_{ij}$: 시설 i의 총 차량이동 횟수

g : 해당 시점의 네트워크에 포함된 시설의 수

위의 식 (1)에서 보면 연결정도 중심성이 높은 시설은 다른 시설과 차량의 이동이 많은 시설로 판단할 수 있으며, 따라서 연결중심성이 높은 시설은 차량을 통하여 전파되는 감염원에 노출된 확률이 높은 것으로 이해할 수 있다. 본 연구에서는 연구결과의 직관적인 해석을 위하여 연결정도 중심성과 함께 해당 시설의 총 차량이동 횟수($\sum_{j=1}^g x_{ij}$)를 함께 보고하였다.

3. 분석의 틀

3.1 가설의 설정

연구 목적을 달성하기 위한 연구문제의 설정은 다음과 같다.

가설 1 : “전염병 발생시설의 연결정도 중심성은 비발생 시설보다 크다.”

전염병 발생시설의 연결중심성 지표 값이 비발생 시설에 비하여 통계적으로 유의미하게 크다면, 발생시설이 비발생시설에 비하여 차량이동을 통한 다른 시설과의 연결이 통계적으로 유의미하게 더 많다는 것을 의미한다. 이에 따라 빈번하게 발생하는 차량접촉이 전염병 발생의 가능성을 높인다고 생각할 수 있다. 즉, 연결정도 중심성을 기준으로 감염위험이 높은 시설을 사전에 도출하고 관리하는 방역정책의 논리적 근거가 될 수 있다.

가설 2 : “HPAI에서 발생시설과 비발생시설 사이의 연결중심성 차이는 FMD에서의 차이보다 작다.” HPAI의 경우 FMD에 비하여 차량이동을 통한 전파의 비중이 작으며, 야생조류로 인한 전파의 비중 또한 크다. 따라서 HPAI의 전파과정에서 차량의 영향력이 FMD보다 작을

것으로 예상된다. 본 가설이 옳은 것으로 검증된다면, 연결정도 중심성에 기반한 방역정책이 가축 전염병의 종류에 따라 다른 방식으로 적용되어야 할 것이며, FMD에 보다 우선적으로 적용되어야 할 것이다.

3.2 자료의 구축

본 연구는 KAHIS에서 제공하는 차량의 축산시설 진입데이터를 활용하였다. Fig. 1은 자료의 구축과정을 설명한 것이다.

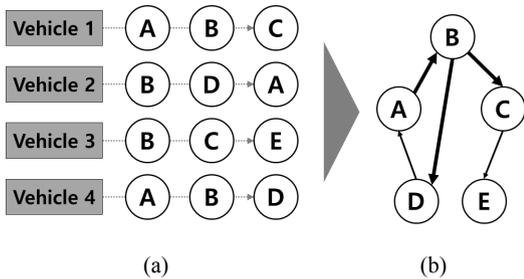


Fig. 1. Construction of Data
(a) Vehicle Log Data
(b) Vehicle Movement Network

그림에서 보는 바와 같이 KAHIS에서는 특정 차량이 특정 시설에 진입한 순서를 제공하는데, 이를 활용하여 축산차량이 이동한 데이터를 작성할 수 있다. 예를 들어, 1번 차량은 그림에서 보는 바와 같이 A, B, C 순으로 시설에 진입하였다. 본 연구에서는 이 자료를 A시설→B시설, B시설→C시설의 2번의 이동이 있는 것으로 판단하고 이동 자료로 변환하였다. 이와 같은 이동자료를 취합하면 Fig. 1의 (b)에서 보는 바와 같이 축산시설 사이의 차량 이동 네트워크를 구축할 수 있다. 이와 같이 구축된 네트워크에서 중심성지표를 시설별로 산출하였다.

국제수역사무국에서 HPAI의 최대 잠복기는 3주[13], FMD의 최대 잠복기는 14일[14]로 제시하고 있다. 따라서 발생 전후로 3주까지 영향이 있는 것으로 가정하였다. 이에 본 연구는 3개월 단위로 자료를 구축하였으며, HPAI와 FMD가 발생한 시점을 기준으로 자료를 구축하였다. Table 1과 같이 총 19개 시점의 데이터 셋에 활용되었다.

Table 1. Data Set Used for Analysis

Year	Month of Epidemic	Included Month			FMD	HPAI
2014	1	201312	201401	201402		O
	2	201401	201402	201403		O
	3	201402	201403	201404		O
	4	201403	201404	201405		O
	5	201404	201405	201406		O
	6	201405	201406	201407		O
	7	201406	201407	201408		O
	8	201407	201408	201409		O
	9	201408	201409	201410		O
	10	201409	201410	201411		O
	11	201410	201411	201412		O
	12	201411	201412	201501	O	
2015	1	201412	201501	201502	O	O
	2	201501	201502	201503	O	
	3	201502	201503	201504	O	
	4	201503	201504	201505	O	
2016	1	201602	201602	201603	O	
	2	201603	201603	201604	O	
	3	201611	201611	201612		O
	4	201612	201612	201701		O

3.3 분석방법

본 연구의 분석과정은 크게 3단계로 나눌 수 있다. 첫째, 위에서 제시된 데이터 셋의 시점별로 축산시설의 차량이동 네트워크를 구축한다. 앞의 Figure 1과 같이 차량의 시설진입 데이터를 축산시설 사이의 차량이동 네트워크로 변환하였다. 차량이동 네트워크는 축종의 구분 없이 전체 축산농가와 축산관련 시설을 대상으로 구축하였다. 현재 우리나라에서 축산농가는 상이한 축종을 사육하는 농가들이 인근에 위치하는 경우가 많으며, 혼합 사육이 이루어지는 경우도 많다. 또한 재래시장 등의 축산관련 시설은 축종의 구분이 어려운 경우가 많다. 따라서 축산차량 네트워크는 전체 축산시설을 대상으로 시점별로 구축하였다.

둘째, 구축된 네트워크에서 시설별로 연결정도 중심성을 도출한다. 이 과정에서 시설별로 총 차량이동 횟수도 함께 도출한다. 연결정도 중심성과 총 차량이동 횟수의 도출은 NetMiner 4 소프트웨어를 이용하였다.

세 번째, 가설에서 설정된 발생시설과 비발생시설 사이의 연결정도 중심성 평균 값의 차이를 검증한다. 이를 위하여 발생여부에 따른 전체자료의 분석과 함께 HPAI와 FMD의 경우로 나누어 별도의 분석도 함께 실시하였다.

Table 2. Average Difference in centrality Index Between Epidemic Facilities and Non Epidemic Facilities

	Centrality Index	Non Epidemic Facilities		Epidemic Facilities		Equality of Variances	T-test		
		N	Average (A)	N	Average (B)		t	p	Average Difference (B-A)
All Data	total movement	1,407,051	57.55706	512	95.06641	O	7.604	.000	37.50935
	degree centrality	1,407,051	0.00069	512	0.00099	O	4.875	.000	0.00030
HPAI	total movement	176,426	51.40233	388	88.84278	X	7.230	.000	37.44045
	degree centrality	176,426	0.00065	388	0.00085	O	2.915	.004	0.00020
FMD	total movement	442,628	59.67291	106	118.64151	O	5.263	.000	58.96860
	degree centrality	442,628	0.00067	106	0.00150	X	6.476	.000	0.00083

전체 네트워크는 축종의 구분 없이 작성한 것과는 달리 이 과정에서는 농장별 주요 축종을 반영하였다. 주요 축종에 따라 사육형태가 다르게 나타나며, 축종에 따라서 농장의 일반적인 차량이동 횟수 자체에 차이가 있을 수 있기 때문이다. 따라서 HPAI의 경우 주사육축종이 가금류인 농장만을 대상으로 분석하였으며 HPAI가 발생한 13개 시점의 자료만을 분석에 포함하였다. FMD는 주사육축종이 우제류인 농장만을 대상으로 분석하였으며, 마찬가지로 FMD가 발생한 7개 시점의 자료만을 분석에 포함하였다.

연결정도 중심성 지표의 평균 차이를 검정하기 위하여 독립표본 T-검정을 실시하였으며, SPSS 20을 활용하였다. 분석의 유의수준은 10%로 설정하였다.

4. 분석결과

4.1 전체시점의 분석결과

Table 2는 분석에 포함된 전염병이 발생한 19개 데이터 셋의 자료를 시점을 구분하지 않고 전염병 발생시설과 비발생시설의 사회연결망 지표의 평균차이를 검정한 것이다. HPAI와 FMD를 구분하지 않은 전체 전염병 발생시설의 지표차이를 검정한 후에 HPAI와 FMD발생시설을 각각 구분하여 비교하였다. 발생시설의 종류가 모두 농장이기 때문에 비발생시설도 시설종류가 농장인 시설만을 도출하여 분석하였다.

Table 2에는 발생시설과 비발생시설의 개수(N), 연결

정도 중심성 지표와 총 이동횟수의 평균값이 보고되어 있다. 여기서 N은 시점별로 네트워크에 포함되는 농장의 수의 합계를 의미하는 것으로 실제 농장의 수를 의미하는 것은 아니다. 또한 FMD발생시설과 HPAI발생시설의 합계가 전체 질병발생시설의 수보다 작게 나타나는 것은 질병별 분석은 축종을 구분하여 이루어 졌는데 이것이 주축종을 기준으로 하기 때문이다. KAHIS 데이터에서 제공하는 농장정보에는 해당 농장의 주요 축종한가지를 제공하고 있다. 본 분석에서는 이를 기준으로 우제류 사육농가와 가금류 사육농가를 구분하였다. 그러나 앞에서 말한 바와 같이 일부 농장은 혼합사육을 하고 있다. 따라서 주요 축종이 우제류로 기재된 농가이지만 일부 가금류를 사육하고 있어 HPAI가 발생하는 경우가 있다. 이와 같이 질병과 주요 축종 기재의 불일치성이 나타나는 경우는 질병별 분석에서는 제외되었으며, 이는 연구의 한계로 지적될 수 있다. 또한 Table 2에는 Levene의 등분산 가정 통과여부를 O와 X로 표기하였으며, 등분산 가정을 통과한 경우에는 등분산이 가정된 경우의 T-검정 결과를 보고하였으며, 통과하지 못한 경우에는 등분산이 가정되지 않은 경우의 T-검정 결과를 보고하였다.

전체 질병의 경우 비발생시설과 발생시설 사이에 사회연결망 지표의 평균이 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 즉, 연결정도 중심성과 총 이동횟수 모두 발생시설의 평균 값이 비발생시설의 평균 값보다 통계적으로 유의미하게 크게 나타났다. 연결정도 중심성 지표 값의 차이에 비하여 총 이동횟수의 차이는 직관적으로 해석이

Table 3. Average Difference in centrality Index by Period

Disease	Period	Centrality Index	Non Epidemic Facilities		Epidemic Facilities		Equality of Variances	T-test	
			N	Average (A)	N	Average (B)		p	Average Difference (B-A)
HPAI	201401	total movement	9,784	45.05509	20	59.20000	O	0.450	14.14491
		degree centrality	9,784	0.00069	20	0.00091	O	0.450	0.00022
	201402	total movement	10,218	45.94412	39	70.20513	O	0.083	24.26101
		degree centrality	10,218	0.00069	39	0.00106	O	0.082	0.00037
	201403	total movement	9,590	52.41303	26	83.92308	O	0.104	31.51004
		degree centrality	9,590	0.00084	26	0.00134	O	0.104	0.00050
	201404	total movement	9,760	44.67439	2	145.00000	O	0.083	100.32561
		degree centrality	9,760	0.00068	2	0.00219	O	0.083	0.00152
	201405	total movement	11,123	58.47334	4	181.75000	O	0.037	123.27666
		degree centrality	11,123	0.00084	4	0.00260	O	0.037	0.00176
	201406	total movement	11,249	61.79518	2	54.00000	O	0.927	-7.79518
		degree centrality	11,249	0.00088	2	0.00077	O	0.927	-0.00011
	201407	total movement	11,529	61.47619	1	388.00000	-	0.006	326.52381
		degree centrality	11,529	0.00086	1	0.00544	-	0.006	0.00457
	201409	total movement	12,343	59.42194	4	156.50000	O	0.102	97.07806
		degree centrality	12,343	0.00081	4	0.00213	O	0.102	0.00132
	201410	total movement	12,650	57.89739	11	84.09091	O	0.450	26.19352
		degree centrality	12,650	0.00078	11	0.00113	O	0.449	0.00035
	201411	total movement	12,783	58.85332	3	28.66667	O	0.652	-30.18665
		degree centrality	12,783	0.00079	3	0.00038	O	0.652	-0.00040
	201501	total movement	12,917	58.55462	1	31.00000	-	0.819	-27.55462
		degree centrality	12,917	0.00078	1	0.00041	-	0.819	-0.00037
	201611	total movement	26,241	43.48721	65	84.49231	X	0.023	41.00509
		degree centrality	26,241	0.00033	65	0.00064	X	0.023	0.00031
201612	total movement	26,239	40.00953	210	93.78095	X	0.000	53.77142	
	degree centrality	26,239	0.00030	210	0.00071	X	0.000	0.00041	
FMD	201412	total movement	53,573	58.83859	5	92.40000	O	0.521	33.56141
		degree centrality	53,573	0.00078	5	0.00123	O	0.521	0.00045
	201501	total movement	53,870	58.25315	30	94.86667	O	0.083	36.61352
		degree centrality	53,870	0.00077	30	0.00126	O	0.083	0.00049
	201502	total movement	55,348	60.41559	30	101.10000	O	0.059	40.68441
		degree centrality	55,348	0.00077	30	0.00129	O	0.059	0.00052
	201503	total movement	56,060	63.56454	29	169.27586	O	0.000	105.71132
		degree centrality	56,060	0.00080	29	0.00212	O	0.000	0.00132
	201504	total movement	56,274	67.65581	8	101.87500	O	0.445	34.21919
		degree centrality	56,274	0.00084	8	0.00127	O	0.445	0.00043
	201602	total movement	79,204	55.97793	3	170.00000	O	0.067	114.02207
		degree centrality	79,204	0.00049	3	0.00150	O	0.067	0.00101
	201603	total movement	88,299	56.33581	1	1.00000	-	0.604	-55.33581
		degree centrality	88,299	0.00044	1	0.00001	-	0.604	-0.00044

가능하다. 발생시설의 총 이동 횟수 평균은 95.1회로, 비발생시설의 57.6회에 비하여 37.5회 만큼의 이동이 더 발생한다. 즉, 전염병이 발생한 시설은 비발생 시설에 비하여 평균적으로 3개월 동안 37.5회의 차량이동이 더 발생하는 시설이다.

이는 전염병이 발생한 농장은 발생하지 않은 농장에 비하여 다른 축산시설과의 차량이동이 더 많이 발생하고 있다는 것을 의미한다. 즉, 다른 시설과의 연결관계(차량 이동)가 많을수록 네트워크를 통해 매개되는 병원체에 노출될 위험이 크며, 전염병 발생의 위험이 커지는 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 결과는 본 연구의 가설 1에 부합하는 결과이다.

HPAI의 결과에서도, 연결정도 중심성과 총 이동횟수 모두 발생시설이 비발생시설에 비하여 통계적으로 유의미하게 크다. 즉, 전체질병의 경우와 마찬가지로 다른 시설과 연결관계가 많을수록 네트워크를 통해 매개되는 병원체에 노출될 위험이 크며, 이에 따라서 전염병 발생 위험이 커질 것이라는 본 연구의 가설1에 부합한다.

FMD의 경우에도 발생시설의 연결정도 중심성과 총 이동 횟수는 모두 비발생시설에 비하여 통계적으로 유의미하게 크게 나타났다. 또한 그 차이가 HPAI에 비하여 훨씬 크게 나타났는데, 총 이동횟수의 차이는 FMD가 HPAI에 비하여 약 1.6배 크게 나타났으며, 연결정도 중심성의 차이는 약 4.1배 크게 나타났다.

HPAI가 발생하지 않은 가금류 농장의 총 차량이동 횟수 평균은 51.4로, FMD가 발생하지 않은 우제류 농장의 횟수인 59.7과 차이가 8.3회이다. 반면에 HPAI가 발생한 가금류 농장의 총 차량이동 횟수는 88.8, FMD가 발생한 우제류 농장의 118.6으로 그 차이가 29.8회에 이른다. 즉, 우제류 농장이 일반적으로도 가금류 농장에 비하여 차량 이동횟수가 크지만, FMD가 발생한 우제류 농장의 차량 이동횟수는 HPAI가 발생한 가금류 농장의 차량 이동횟수보다 더욱 크게 나타난다.

이는 본 연구의 가설 2에 부합하는 결과이다. 본 분석 결과만을 통하여 인과관계를 증명할 수는 없으나 FMD가 HPAI에 비하여 차량접촉네트워크를 통한 감염위험의 영향이 큰 것으로 추정할 수 있으며, 추가적인 연구가 요구되는 부분이다. HPAI는 철새와 같은 야생조류를 통한 전파가 이루어질 수 있으나 FMD는 주로 육로이동을 통해서 감염이 되기 때문에 감염에서 차량접촉이 더 큰 영향을 끼치는 것으로 판단할 수 있다.

4.2 시점별 분석결과

Table 3은 전염병이 발생한 데이터 셋의 자료를 질병별, 시점별로 구분하여 전염병 발생시설과 비발생시설의 연결정도 중심성과 총 이동 횟수의 평균차이를 검정한 것이다. 발생시설과 비발생시설의 개수(N), 지표의 평균값이 보고되어 있다. Levene의 등분산 가정을 통과여부를 O와 X로 보고하였으며, 발생시설의 표본이 1개라 등분산 검정을 수행하지 못하는 경우는 “-”로 표기하였다. 등분산 가정을 통과한 경우에는 등분산이 가정된 경우의 T-검정 결과를 보고하였으며, 통과하지 못한 경우에는 등분산이 가정되지 않은 경우의 T-검정 결과를 보고하였다.

Table 3에서 확인할 수 있는 바와 같이 시점별로 발생시설의 개수(N)가 매우 작은 경우가 다수 포함되어 있어 통계검정을 위한 최소한의 표본을 갖추지 못한 시점이 많이 있다. 따라서 시점별 검정의 결과를 그대로 받아들이는 것에는 무리가 있으나 시점별 자료를 제공한다는 측면에서 결과를 보고하였다. 다만 일반적으로 중심극한정리를 활용할 수 있는 충분한 표본의 개수로 30개가 널리 활용되기 때문에, 발생시설의 개수가 30개 이상인 시점의 결과는 이텔릭체와 볼드체로 표현하였다.

발생시설의 수가 30개가 넘는 시점의 분석결과를 보면 전체시점의 분석결과와 일치하는 결과를 나타낸다. 즉 발생시설의 총 이동횟수와 연결정도 중심성 지표 값이 비발생시설에 비하여 통계적으로 유의미하게 크게 나타난다.

발생시설의 수가 30개 미만인 경우에도 발생시설이 극소수(1개 또는 3개)인 3개의 시점을 제외하면 통계적으로 유의하지 않더라도 발생시설의 총 이동횟수와 연결정도 중심성 지표 값이 비발생시설에 비하여 크게 나타난다.

즉, 시점을 분리하여 분석한 결과에서도 발생시설의 총 이동 횟수와 연결정도 중심성이 비발생시설에 비하여 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 본 연구의 가설 1에 부합하는 결과이다.

Table 3에서 발생시설과 비발생시설 사이의 지표값 차이가 통계적으로 유의미하며, 발생시설의 수가 30개가 넘는 시점은 HPAI에서 201402, 201611, 201612의 3개시점이며, FMD에서 201501, 201502의 2개 시점이다.

FMD가 발생한 201511시점(36.61)과 201502시점(40.68)의 발생시설과 비발생시설의 총 이동횟수 차이는

HPAI가 발생한 201402시점(24.26), 201611시점(41.00), 201612시점(53.77)에 비하여 뚜렷한 차이를 찾기는 어렵다. 즉 본 연구의 가설 2는 시점별 분석결과에서는 부합한다고 판단하기 어렵다.

Table 4. Summary of Average Difference in Centrality Index by Period

Period	Period	# of Epidemic Facilities	Total Movement		Degree Centrality	
			Average Difference	P	Average Difference	P
HPAI	201401	20	+		+	
	201402	39	+	*	+	*
	201403	26	+		+	
	201404	2	+	*	+	*
	201405	4	+	**	+	**
	201406	2	-		-	
	201407	2	+	***	+	***
	201409	4	+		+	
	201410	11	+		+	
	201411	3	-		-	
	201501	1	-		-	
	201611	65	+	**	+	**
201612	210	+	***	+	***	
FMD	201412	5	+		+	
	201501	30	+	*	+	*
	201502	30	+	*	+	*
	201503	29	+	***	+	***
	201504	8	+		+	
	201602	3	+	*	+	*
	201603	1	-		-	

*** : p<0.01, ** : p<0.05, * : p<0.1

Table 4는 Table 3의 시점별 분석결과를 보다 쉽게 이해하기 위하여 정리한 것이다. 발생시설의 지표 평균값에서 비발생시설의 지표 평균값을 감한 평균차가 음인 경우는 “-”로 양인 경우는 “+”로 표시하였다. 즉, 비발생 시설의 지표 값이 발생시설의 지표 값 보다 큰 경우에는 “+”로 표기하였다. Table 3과 마찬가지로 발생시설의 개수가 30개 이상인 시점은 이탤릭체와 볼드체로 표현하였다.

5. 결 론

본 연구는 축산차량의 이동 네트워크에서 축산시설의 중심성 지표와 전염병 발생 사이의 관계를 실증분석하였는데, 2개의 가설을 설정하고 검증하였다.

분석결과 첫번째 가설인 “전염병 발생시설의 연결정

도 중심성은 비발생 시설보다 크다.”는 옳은 것으로 나타났다. 전체시점과 시점별 분석을 실시한 결과, 대부분의 자료에서 가축전염병이 발생한 시설의 연결정도 중심성이 비발생 시설에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. 이는 가축전염병이 발생한 시설이 비발생시설에 비하여 다른 시설과의 차량이동이 유의미하게 많이 일어남을 의미한다.

두 번째 가설인 “HPAI에서 발생시설과 비발생시설 사이의 연결중심성 차이가 FMD에서의 차이보다 작다.”는 전체시점 자료에서는 옳은 것으로 나타났다. 발생시설의 연결정도 중심성은 비발생시설에 비하여 크게 나타났는데 그 차이는 FMD 발생시설이 HPAI 발생시설보다 크게 나타났다. 이는 FMD 발생시설이 HPAI 발생시설에 비하여 보다 큰 연결정도 중심성을 가지고 있음을 의미한다. 반면에 시점을 나누어서 분석한 결과에서는 뚜렷한 차이를 찾을 수 없었다. 이는 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

연구의 결과에 따른 정책적 시사점은 다음과 같다. 첫 번째, 연결정도 중심성을 바탕으로 시설의 사전 관리가 필요하다. 본 연구의 결과로 연결정도 중심성과 전염병 발생의 인과관계가 증명된 것은 아니지만, 발생시설이 상대적으로 높은 연결정도 중심성을 가지고 있음이 증명되었다. 따라서 연결정도 중심성과 전염병 발생 사이에 일정한 관계가 있음을 추론할 수 있다. 즉, 연결정도 중심성은 가축전염병의 발생 위험을 나타내는 지표 중의 하나로 이해할 수 있다. 그러므로 연결정도 중심성이 높은 시설을 사전에 확인하고 집중적으로 관리하는 노력이 필요하다.

두 번째, 연결정도 중심성이 높은 농장들의 특성(사육 규모, 형태, 입지특성 등)을 분석하여 유형화하는 노력이 필요하다. 연결정도 중심성이 집중적인 관리가 필요한 시설을 도출하는 특성 중 하나로 이용이 가능하지만, 그 외에도 여러 특성을 종합적으로 고려해야 되기 때문이다. 따라서 연결정도 중심성이 높은 농가들의 여러 특성을 분석하고 이를 유형화 하는 후속연구가 필요할 것이다.

세 번째, 우제류 농가의 경우 연결중심성을 바탕으로 한 관리정책의 도입이 보다 시급하다. 연구결과 FMD 발생가능성은 HPAI 발생가능성보다 큰 연결중심성을 나타내었으며, 비발생시설과의 차이도 보다 크게 나타났다. 따라서 연결중심성을 바탕으로 한 시설의 사전 관리 및 방역정책은 우제류 농가에서 보다 효과적일 것이다.

본 연구는 축산차량의 이동네트워크와 가축 전염병 발생사이의 관계를 실증분석한 기초연구로서 그 의의가 있다. 본 연구의 결과를 바탕으로 축산차량 이동네트워크에서 시설의 구조적 위치와 가축 전염병 발생 사이의 관계를 밝히는 연구가 이루어지기를 기대한다. 하지만 본 연구는 연결 관계만을 분석의 대상으로 하여 농장이 가지는 여러 특성(규모, 형태, 입지 등)을 분석에 포함하지 못한 점에서는 한계가 있다. 따라서 발생시설과 비발생시설의 여러 특성에 따라 모형을 세분화하여 분석하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한 본 연구는 자료의 한계로 인하여 농가의 대표 축종을 바탕으로 시설을 구분하였는데, 혼합사육이 이루어지는 경우를 정교하게 반영하지 못한 점은 연구의 한계로 지적될 수 있다. 향후 시설별 사육 축종과 관련한 추가적인 자료의 구축을 통하여 보다 정밀한 연구가 이루어지기를 기대한다.

References

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] J. H. Park, "Newspaper articles : Livestock epidemic when it gets cold...It is useless to use the 4 trillion won.", Available From: <http://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=01390726616121456&mediaCodeNo=257&OutlnkChk=Y>(accessed Oct., 05, 2018)
- [4] 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.
- [5] C. G. Park, Current Status and Causes of foot-and-mouth disease and Fundamental Preventive Measures, p. 13, Open Forum Kyeongbuk National University, 2015.
- [6] H. Y. Kim, S. I. Pak, K. N. Lee, G. J. Lee, S. . Hong, "Time-series Changes in Vehicle Contact Network of Livestock Facilities", *Korea Academia-Industrial cooperation Society 2018 Spring Conference*, 2018.
- [7] Animal and Plant Quarantine Agency. Korea Animal Health Integrated System [Internet]. Animal and Plant Quarantine Agency, c2018[cited 2018 Oct. 05], Available From: http://www.kahis.go.kr/home/intrcn/intrcn_ml_01.do (accessed Oct., 20, 2018)
- [8] 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.
- [9] 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>
- [10] G. J. Lee, S.I. Park, K. N. Kwang, H. Y. Kim, J. H. Park. S. Hong, "Hub Facilities in Vehicle Movement Network between Livestock Facilities", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.19, No.6, pp. 137-146, 2018. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.6.137>
- [11] K. Y. Kwak, Social Network Analysis, p 182, CR Books, 2014.
- [12] K. Y. Kwak, Social Network Analysis, p 185, CR Books, 2014.
- [13] 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.
- [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.

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 Pak)

[정회원]



- 1991년 8월 : 서울대학교 보건대학원 (역학석사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 수의과대학 (수의학박사)
- 2008년 ~ 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 : 농림축산검역본부 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 ~ 2018년 8월 : 한국교통대학교 도시·교통공학전공 교수
- 2018년 9월 ~ 현재 : 충북대학교도시공학과 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)
- 2018년 7월 ~ 현재 : 수원시지속가능도시재단 마을르네상스센터

<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