

# 음이항 회귀모형을 이용한 오리농장의 HPAI 발생 요인 분석\*

안미린\*\*      지인배\*\*\*      한귀덕\*\*\*\*

## Keywords

고병원성 조류인플루엔자(HPAI), 오리농장(duck farm), 발생건수(number of incidence), 과대산포(overdispersion), 음이항 회귀모형(negative binomial regression model)

## Abstract

Duck farms are getting attention as the primary propagation medium of HPAI. Therefore, this study analyzes the effect of duck farms' characteristics on the occurrence of HPAI. We classified duck farms' characteristics into farm management method, facility status, and location type, and selected 25 variables related to them. We used survey data from 715 duck farms for our research. We conducted an overdispersion test to choose a proper model. The test result showed that a negative binomial regression model was more appropriate than a Poisson regression model. The simulation of the negative binomial regression model showed that the incidence of HPAI was higher in farms with a high gross margin, large breeding scale, and increased mortality. In farms where shipment and manure vehicles entered their premises, the occurrence of HPAI increased. In addition, the occurrence of HPAI rose in areas where many farms were clustered and in farms where roads and feed manufactures were closer.

## 차례

- |                 |            |
|-----------------|------------|
| 1. 서론           | 4. 분석 결과   |
| 2. 분석 모형        | 5. 요약 및 결론 |
| 3. 분석 자료 및 변수설정 |            |

\* 본 연구는 2018년 농림식품기술기획평가원(IPET) 「방역지역 설정의 타당성과 합리적 근거마련을 위한 수의·경제·통계학적 연구」 연구과제의 지원으로 수행됨.

\*\* 동국대학교 식품산업관리학과 연구원.

\*\*\* 동국대학교 식품산업관리학과 교수, 교신저자. e-mail: jiinbae@dongguk.edu

\*\*\*\* Oklahoma State University, Institutional Research and Analytics, Data Analyst.

## 1. 서론

우리나라 오리산업의 역사는 타 축종에 비해 비교적 짧지만 그 사육규모나 생산액은 매우 빠른 속도로 증가하였다. 오리 생산액은 1990년 375억 원에서 2011년 1조 3,966억 원까지 이르러 연평균 7.21%의 빠른 성장을 보였다. 그러나 오리산업은 2011년 이후 해마다 발생하는 HPAI의 여파로, 오리고기에 대한 수요가 줄어들면서 공급불균형으로 인한 가격하락 문제에 직면하여 크게 위축되었다. 이에 오리 생산액은 2012년부터 2017년까지 연평균 0.39%의 마이너스 성장을 보였다(국가통계포털, 농림업생산지수).

HPAI는 2003년 처음 발생한 이후 2020년까지 총 8차례나 발생하였다. 2000년대에는 간헐적으로 발생하였으나 2010년대에 들어서면서 매년 발생하고 있어 축산업을 포함한 연관산업의 피해는 매우 막대하다. 축종별 HPAI 발생현황을 살펴보면, 1차(2003년)부터 3차(2008년)까지의 발생은 오리농장보다 닭농장에서 더 많이 발생하였다. 그러나 4차(2011년)의 경우, 오리농장의 발생사례가 급격히 증가하여 닭농장 발생건수의 3배 수준에 이르렀으며, 이후 5차(2014/15년), 6차(2016년)와 8차(2017/18년)에서도 오리농장의 발생건수가 더 많았다. 과거 8차례 HPAI 발생에서 닭농장의 발생건수는 총 474건이었으나 오리농장은 총 556건으로 나타나, 오리농장의 발생건수가 닭농장의 발생건수보다 1.2배 수준으로 많았다(농림축산식품부 2018). 전체 가금농장 중에서 닭농장이 오리농장보다 약 5배 정도 많다는 점을 감안한다면 오리농장의 HPAI 발생건수는 매우 높다고 할 수 있다.

이와 같이 HPAI가 오리농장에서 지속적으로 발생하면서 오리가 HPAI 전파매개체로 지목받고 있는데, 그 이유는 오리의 특성상 닭에 비해 잠복기가 길고 무증상 감염이 존재하기 때문이라고 지적되고 있다(송창선 2015). 한편, 오리의 생태적 특성보다는 오리농장의 사육시설이 열악하여 차단 방역에 취약하기 때문이라는 주장도 제기되고 있다(지인배 외 2019). 또한 안미란 외(2019)는 오리농장의 HPAI 발생은 농장의 사육규모, 농장과 도로, 도압장, 철새도래지와와의 거리 등의 영향을 받는다는 연구결과를 제시하였으며, Kim et al.(2018)은 오리농장의 HPAI 발생은 500m 내의 농장 유무, 분뇨처리방식, 농장주 사육경력 등의 영향을 받는다고 제시하였다. 이렇듯, 오리농장의 HPAI 발생 요인은 다양하게 논의되고 있다. 실제로 HPAI 발생과 확산은 특정된 개별 요인이 아닌

다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 초래된다. 따라서 오리농장의 HPAI 발생 요인을 농장의 사육시설, 운영방식, 입지유형 등 다양한 측면에서 살펴볼 필요가 있다.

그동안 오리농장의 HPAI 발생빈도에 대한 영향 요인 분석 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 앞에서 언급한 Kim et al.(2018)과 안미란 외(2019)는 비록 오리농장의 HPAI 위험 요인을 분석하였으며, 이들 연구는 HPAI 발생 여부 자료를 활용하여 로지스틱 회귀모형을 적용하였다. 따라서 HPAI 발생빈도를 고려하지 못하여 데이터 손실 우려가 있으며, 종오리를 제외한 육용오리농장에만 국한되어 있다는 점에서 오리농장 전부를 고려하고 있지 못하다는 한계를 보이고 있다.

한편 Yupiana et al.(2010)은 2003년부터 2008년까지 인도네시아의 HPAI 발생건수 자료를 활용하여 사육규모, 인구밀도, 도로밀도가 HPAI 발생에 미치는 영향을 분석하였으며, 포아송 회귀모형을 활용하였다. 그러나 이 연구는 과대산포(overdispersion) 문제를 고려하지 못하는 한계를 지니고 있다. 포아송 회귀모형은 종속변수의 평균과 분산이 같다는 제약조건이 따르지만, HPAI 발생과 같은 현실 자료에서 과대산포 현상이 존재할 가능성이 높다. 과대산포가 존재함에도 불구하고 포아송 회귀모형을 이용할 경우 회귀계수의 추정값은 편의가 발생한다(Cox 1983). 이에 실증모형 구축에 앞서 과대산포 존재 여부를 확인하는 것이 중요하며, 과대산포 현상이 존재하면 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 적용하는 것이 적절하다.

따라서 본 연구는 오리농장과 관련된 특성을 시설현황, 운영방식, 입지유형 등 다양한 측면으로 구분하여, 이러한 특성들이 오리농장의 HPAI 발생빈도에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 이는 오리농장의 HPAI 발생빈도에 영향을 미치는 농장의 특성을 파악함으로써 오리농장의 HPAI 방역 강화를 위한 대응방안을 모색하기 위함이다. 이를 위해 본 연구는 오리농장의 HPAI 발생건수를 반영한 통계분석기법을 적용하며, 과대산포 검정을 통해 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형 중 보다 적절한 실증모형을 이용하여 분석한다.

## 2. 분석 모형

### 2.1. 포아송 회귀모형(Poisson Regression Model: PRM)

HPAI 발생건수는 일정한 기간 동안 사건의 발생빈도를 나타내는 가산자료(countable data)로서 음의 값을 가질 수 없으므로 비음정수(Non-negative Integer) 형태를 가진다. 이러한 가산자료의 분포는 비대칭 분포(skewed distribution)를 이루기 때문에 종속변수와 독립변수는 서로 비선형관계를 가진다. 따라서 가산자료를 종속변수로 설정하여 각 설명변수들의 영향력을 추정할 때, 가산자료에 적합한 분포함수를 가진 분석모형을 구축하는 것이 바람직하다. 발생확률이 매우 낮은 사건의 경우 주로 포아송 회귀모형(Poisson Regression Model)을 활용하는데, 이는 가산자료가 포아송 분포를 따른다는 전제조건을 따른다. HPAI의 발생빈도를 나타내는 가산자료의 포아송 분포는 식 (1)과 같은 확률밀도함수로 표현된다.

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

여기서  $Y_i$ 는 종속변수이며,  $P(Y_i = y_i)$ 는  $i$ 기간 동안 각 농장에서 HPAI가 발생한 건수의 확률을 의미한다.  $\lambda_i$ 는 포아송 분포의 모수로서 HPAI 발생건수의 평균과 분산을 의미한다.

포아송 회귀모형은 포아송 분포를 따르는 종속변수의 기댓값이 설명변수와 선형결합된다고 가정한 모형이다(De Jong et al. 2008; 정재풍 외 2014). 따라서 포아송 회귀모형은  $y_i$ 의 평균값인  $\lambda_i$ 와 설명변수  $X_i$ 들 간의 지수함수(exponential function)형태로 표현되며 식 (2)와 같다.

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

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

이와 같은 포아송 회귀모형의 대표적인 특징은 ‘평균과 분산은 같다’는 균등산포

(equidispersion)를 가정한다는 것이다. 균등산포를 수식으로 나타내면 다음의 식 (3)과 같다.

$$(3) \quad E(y_i | X_i) = \text{Var}(y_i | X_i) = \lambda_i$$

## 2.2. 음이항 회귀모형(Negative Binominal Regression Model: NBRM)

포아송 분포는 특성상 ‘평균과 분산이 동일하다’는 것을 가정하고 있으나, 실제 가산자료는 이러한 기본가정을 만족하지 못하는 경우가 종종 발생한다. 이에 분산이 평균보다 더 커지는 현상이 나타나는데, 이를 과대산포(overdispersion)라고 한다. 과대산포 문제가 발생하는 이유는 실제 가산자료의 0의 빈도가 포아송 분포에서 예측되는 0의 빈도보다 더 많기 때문이다. 과대산포 현상이 존재함에도 불구하고 포아송 회귀모형을 적용할 경우, 회귀계수의 표준오차가 과소추정되며, 통계적 유의성 검정에 오류가 발생하게 된다(Cox 1983). 따라서 실제 가산자료가 포아송 분포의 기본가정을 위배할 경우, 음이항 회귀모형을 적용하는 것이 바람직하다(Khan et al. 2011).

음이항 분포는 이분산성을 허용하는 분산함수로서 가산자료의 이분산성을 허용하는 장점이 있다(Cameron et al. 1986; 남영은 외 2018 재인용). 음이항 회귀모형은 종속변수  $Y_i$ 가 음이항 분포를 따른다는 것을 가정하며, 그 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$(4) \quad P(y_i | \lambda_i, \alpha) = \frac{\tau(y_i + (1/\alpha))}{\tau(y_i + 1)\tau(1/\alpha)} \left(\frac{1/\alpha}{1/\alpha + \lambda_i}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_i}{1/\alpha + \lambda_i}\right)^{y_i}, \quad y_i = 0, 1, 2, \dots$$

여기서  $\alpha$ 는 과대산포 모수(overdispersion parameter)이며,  $\alpha = 0$ 이면 평균과 분산이 같은 균등산포의 특징을 나타냄으로써 음이항 분포는 포아송 분포와 같아진다.

음이항 분포의 평균은 포아송 분포의 평균과 같으며, 분산은  $\alpha\lambda_i^2$  만큼 더 커지게 된다.

$$(5) \quad E(y_i | X_i) = \lambda_i$$

$$\text{Var}(y_i | X_i) = \lambda_i(1 + \alpha\lambda_i)$$

포아송 회귀모형의 식 (3)은 설명변수에 의한 영향이 오차 없이 완벽하게 표현되는 형태인 반면,

음이항 회귀모형은 포아송 회귀모형에 과대산포로 인해 발생하는 오차(가산자료의 평균값의 이질성(heterogeneous))를 반영하는 모수  $\epsilon_i$ 를 추가한 모형이다.

$$(6) \quad \lambda_i = E(y_i | X_i, \epsilon_i) = \exp(X_i\beta + \epsilon_i) = \exp(X_i\beta)\exp(\epsilon_i)$$

### 2.3. 과대산포 검정(Test for Overdispersion)

포아송 모형과 음이항 모형 중 보다 적절한 분석모형을 선정하기 위해 가산자료에 과대산포가 존재하는지를 확인해야 한다. 과대산포 존재유무에 대한 가설은 다음의 식 (7)과 같다.

$$(7) \quad H_0 : \alpha = 0 \text{ vs } H_1 : \alpha > 0$$

과대산포 모수  $\alpha$ 에 대한 귀무가설이 기각되면 과대산포가 존재한다는 것을 의미하므로 음이항 회귀모형이 보다 적절하다는 것을 의미한다. 이에 대한 검정방법은 우도비 검정(likelihood ratio test), Wald 검정, 스코어 검정(score test) 등이 사용되는데, 본 연구는 우도비 검정을 사용하였다(정재풍 외 2014). 우도비 검정을 위한 검정통계량은 식 (8)과 같으며, 이는 자유도가 1인 카이제곱(Chi-Square)분포를 따른다.

$$(8) \quad LR = 2(\ln L_{NBRM} - \ln L_{PRM}) \sim \chi^2_{(1)}$$

여기서  $L_{NBRM}$ 은 음이항 회귀모형,  $L_{PRM}$ 은 포아송 회귀모형의 우도비 값(Likelihood ratio)을 의미한다.

### 3. 분석 자료 및 변수선정

#### 3.1. 분석 자료

본 연구는 오리농장 특성이 HPAI 발생에 미치는 영향을 분석하기 위해 오리자조금관리위원회에서 추진한 전국 오리 사육농가에 대한 전수조사 자료를 활용하였다. 총 950개 조사 농가 중 일부 누락된 농가를 제외하여, 사용 가능한 농가 자료는 총 715개였다. 본 연구는 715개 농가자료를 활용하였으며, HPAI 발생에 영향을 미칠 것으로 판단되는 요인을 농장의 운영방식, 시설현황, 입지 유형 등 3가지로 구분하여 총 25가지 농장 특성 자료를 이용하였다.

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

농장의 시설현황은 축사형태(비닐하우스형, 트러스형, 샌드위치 패널형, 기타 시설), 축사 환기 방식, 축산차량(사료차량, 출하차량, 분뇨차량) 축사 내부 진입 여부, 그리고 분뇨처리 방법 등을 고려하였다. 비닐하우스형 축사형태는 설치비용이 낮아 투자비용이 낮은 장점이 있어, 남부지역의 대부분 농가들은 비닐하우스형 축사를 이용하여 사육하고 있다. 그러나 비닐하우스형 축사는 냉난방 시설이 되어 있지 않아 자연식으로 냉난방을 하고 있으며, 이는 외부환경의 변화에 취약하여 HPAI 바이러스에 쉽게 감염될 가능성이 높을 것으로 판단된다. 이에 축사형태와 HPAI 발생과의 상관관

계가 있는지를 분석해보고자 각 축사형태에 대한 자료를 더미변수로 고려하였으며, 비닐하우스형 시설을 기저변수로 활용하였다.

축산차량은 HPAI 전파의 매개체로 지목받고 있는데, 이는 HPAI 발생 농장에 방문한 차량이 타 농장을 경유하는 과정에서 HPAI 확산이 이루어지기 때문이다(박선일 외 2016). 이렇듯, 축산차량이 농장 내부에 진입하면 농장 외부에 머무를 때보다 HPAI 감염 가능성이 클 것으로 판단된다. 따라서 사료차량, 출하차량, 분뇨차량이 축사 내부에 진입함에 따라 HPAI 발생은 어떠한 영향을 받는지를 살펴보기 위해 설명변수로 고려하였다.

농장의 분뇨처리 방법은 위탁계약과 자가처리 방법이 포함된다. 위탁계약은 외부의 전문 분뇨처리업체가 분뇨를 가져가는 방식이며, 자가처리는 주로 농장주가 직접 가축분뇨를 처리하여 인근 농경지에 살포하는 방식이다. 따라서 분뇨처리 방법에 따라 오리농장의 HPAI 발생빈도가 차이를 나타내는지를 살펴보고자 설명변수로 고려하였다.

일반적으로 겨울철에는 기온이 낮기 때문에 오리농장에 대한 환기 횟수가 줄어들게 된다. 이 경우 축사 내부에는 가스가 차오르면서 환경이 악화될 우려가 크다. 따라서 축사 내부에 대한 환기는 청결한 내부 환경 조성에 중요한 역할을 한다. 한편, 환기방식을 기계식이 아닌 자연식을 이용할 경우, 오리들은 외부의 찬 공기에 그대로 노출되어 질병에 걸릴 확률이 높아지게 된다. 따라서 축사의 환기방식을 자연식으로 하느냐, 아니면 기계식으로 하느냐에 따라 HPAI 발생 위험성은 달라질 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 환기방식에 관한 변수를 고려하였다.

HPAI는 급성전염병으로서 한번 발생하면 인근 농장에 쉽게 전파되며, 농장 간 인접 정도는 HPAI 발생에 영향을 미친다(Wang et al. 2014). 이에 특정 범위에 농장 수가 많을수록 농장의 인접성이 높아짐에 따라 HPAI 확산에 따른 피해범위가 더욱 광범위해질 수 있다. 따라서 본 연구는 특정 범위에서의 농장 분포가 HPAI 발생에 미치는 영향을 살펴보고자 현행 방역지역인 예찰지역(항원 검출농장 500m 이내), 보호지역(500m~3km), 예찰지역(3~10km)의 농장 수 자료를 활용하였다. 뿐만 아니라 Pfeiffer et al.(2007)과 Martin et al.(2011)은 각각 베트남과 중국의 HPAI 발생사례로 HPAI 전파 요인을 분석하였는데, 그 결과 해발고도가 HPAI 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 본 연구는 개별 농장의 해발고도 자료를 이용하였다. HPAI 최초 발생은 철새 이동에 의해 바이러스가 유입된 것으로 알려져 있으므로 농장과 철새도래지와와의 거리도 중요한 변수 중의 하나이다. 또한 축산차량이 HPAI 매개체로 지목받는 것은 HPAI가 도로를 이용하는 차량에 의해 전파

될 수 있다는 것을 암시해 주고 있다(안미란 외 2019). 따라서 본 연구는 농장 위치정보에 기반하여 Arc GIS를 활용하여 개별 오리농장으로부터 가장 가까운 철새도래지, 하천, 도로, 사료업체, 도압장과의 거리 정보를 취합하여 설명변수로 이용하였다.

### 3.2. 기초통계

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

오리농장의 연간 총 조수익은 평균 1억 5,597만 원이며, 전체 농가 중 19%의 농가가 후계농이 있는 것으로 나타났다. 농장당 평균 고용인원은 1.96명이며, 농장주의 평균 사육경력은 12.72년인 것으로 나타났다. 또한 육용오리농장은 650개, 종오리농장은 65개인 것으로 나타나, 전체 오리농가의 91%가 육용오리를 사육하는 것으로 나타났다. 농장의 평균 사육마릿수는 1만 6,480마리이며, 폐사율은 평균 1.97%인 것으로 나타났다.

오리농장의 축사형태 중 비닐하우스 형태가 76%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 샌드위치패널형은 15%, 트러스형은 8%인 것으로 나타났다. 축산차량의 축사 내부 진입 여부를 살펴보면, 농장 내부로 진입하는 출하차량은 89%를 차지하였다. 사료차량이 농장 내부로 진입한 비중은 88%이며, 분뇨처리차량은 78%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 대부분의 축산차량들이 농장 내부로 진입한다는 것을 보여준다. 가축분뇨를 위탁처리하는 농가가 79%를 차지하여 자가처리하는 농가에 비해 매우 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 기계식 환기방식을 활용한 농장은 61%를 차지한 것으로 나타났다.

개별 오리농장으로부터 500m 내에 위치한 농장 수는 평균 1.67개이며, 3km 내에 위치한 오리농장은 평균 5.79개, 10km 내에 위치한 오리농장은 평균 25.41개인 것으로 나타났다. 오리농장의 평균 해발고도는 81.68m였다. 농장과 철새도래지와의 평균 거리는 24.15km이며, 하천과의 평균 거리는 0.66km, 2차선 도로와의 평균 거리는 0.75km, 사료업체와의 평균 거리는 4.39km, 도압장과의 평균 거리는 13.93km였다.

표 1. 오리농장 특성의 기초통계량(N=715)

변수		Mean	Std.Dev.	Min	Max	단위
종속변수	HPAI 발생빈도	0.26	0.54	0	3	건
	연간 조수익	155.97	164.24	7.00	1,700.00	백만 원
운영방식	후계농 유무	0.19	0.39	0	1	더미변수
	고용인원 수	1.96	1.47	1.00	30.00	명
	육용오리 여부	0.91	0.29	0.00	1.00	더미변수
	농장주의 사육경력	12.72	6.71	1.00	43.00	년
	농장 사육마릿 수	16.48	9.46	1.30	80.00	천 마리
	오리 폐사율	1.97	2.73	0.00	50.00	%
	시설 형태	비닐하우스형 시설	0.76	0.43	0.00	1.00
트러스형 시설		0.08	0.27	0.00	1.00	더미변수
샌드위치 패널형 시설		0.15	0.36	0.00	1.00	더미변수
기타 시설		0.01	0.07	0.00	1.00	더미변수
시설 형태	사료차량 축사 진입 여부	0.88	0.33	0.00	1.00	더미변수
	출하차량 축사 진입 여부	0.89	0.32	0.00	1.00	더미변수
	분뇨차량 축사 진입 여부	0.78	0.42	0.00	1.00	더미변수
	분뇨위탁처리 여부	0.79	0.41	0.00	1.00	더미변수
	환기방식(기계식 여부)	0.61	0.49	0.00	1.00	더미변수
입지 유형	500m 내의 농장 수	1.67	1.06	1.00	6.00	개
	3km 내의 농장 수	5.79	4.79	1.00	26.00	개
	10km 내의 농장 수	25.41	22.12	1.00	94.00	개
	해발고도	81.68	101.74	3.00	740.00	m
	철새도래지와의 거리	24.15	13.50	0.56	93.22	km
	하천과의 거리	0.66	0.69	0.00	5.56	km
	도로와의 거리	0.75	0.72	0.01	4.41	km
	사료업체와의 거리	4.39	3.59	0.07	16.26	km
도압장과의 거리	13.93	10.071	0.11	72.04	km	

### 3.3. 변수선정 및 다중공선성 진단

오리농장의 HPAI는 다양한 요인들로 인해 발생한 만큼 실증모형에 포함할 수 있는 설명변수들도 매우 다양하다. 따라서 설명변수를 자료의 수집가능 여부에 따라 임의로 선택한 후, 변수별 유의성에 따라 분석결과를 해석하는 것이 일반적이다. 그러나 이러한 변수선정 방법은 꼭 필요한 변수를 모형에서 누락(omission variable)시키거나 불필요한 변수를 모형에 포함(inclusion of

irrelevant variables)시키게 되어, 결과적으로 부적절한 변수로 인해 실증모형의 설정오류를 범하게 된다. 적절한 설명변수가 모형에서 누락되었거나 부적절한 설명변수가 모형에 포함된다면, 오차항의 분산이 정확하게 측정되지 않고 추정계수에 편의가 발생하며, 회귀계수의 통계적 유의성은 잘못된 추론에 도달하기 때문이다. 따라서 본 연구는 분석모형을 구축하기에 앞서, 적절한 변수를 선정하기 위해 후진제거 방법(backward elimination)<sup>2</sup>을 이용하였다.

변수선정 결과, 운영방식 특성 중 연간 조수익, 사육경력, 사육축종, 사육마릿수, 폐사율 등 5개 변수, 농장의 시설현황 중 트러스형, 샌드위치 패널형, 기타 시설형태, 출하차량과 분뇨차량의 농장 진입 여부, 분뇨처리방식 등 6개 변수가 선정되었다. 입지유형 중은 500m와 3km 내의 농장 수, 농장의 해발고도, 농장과 도로, 사료업체와의 거리 등 5개 변수가 선정되어 총 16개 변수를 모형에 포함시키는 것이 적합한 것으로 나타났다. 또한 설명변수 간의 다중공선성 존재 여부를 검증하기 위하여 분산팽창지수(Variance Inflation Factors: VIF)을 추정하였다. 모든 변수들의 VIF값은 1.1140~2.8260의 범위로 나타나, 5보다 작은 값을 가진다. 이는 설명변수들은 간의 다중공선성 문제가 존재하지 않다는 것을 의미한다.

표 2. 설명변수 선정결과

구분	변수명	선정 여부	분산팽창지수(VIF)
운영방식	농장의 연간 조수익	○	1.5657
	후계농 유무	×	1.1140
	고용인원수	×	1.5753
	육용오리 여부	○	1.3743
	농장주의 사육경력	○	2.2265
	농장 사육마릿 수	○	1.3843
	오리 폐사율	○	1.6022
시설현황	비닐하우스형 여부	×	(기저변수)
	트러스형 여부	○	1.4042
	샌드위치 패널형 여부	○	1.3556
	기타 시설 여부	○	1.3068

2 후진제거 방법(backward elimination)은 우선 모든 설명변수를 모형에 포함시켜 회귀분석을 실시한 후 편상관계수(partial correlation coefficient)나 t값 또는 F값을 활용하여 가장 유의성이 작거나 기여도가 낮은 변수를 한 개씩 단계별로, 더 이상 제거할 변수가 없을 때까지 제거하는 방법을 의미한다(이종원 2016: 431).

(계속)

구분	변수명	선정 여부	분산팽창지수(VIF)
시설현황	사료차량 축사 진입 여부	×	1.1989
	출하차량 축사 진입 여부	○	1.2049
	분뇨차량 축사 진입여부	○	1.2834
	분뇨위탁처리 여부	○	1.8021
	환기방식(기계식 여부)	×	1.1436
입지 유형	500m 내의 농장 수	○	1.2314
	3km 내의 농장 수	○	2.7970
	10km 내의 농장 수	×	2.8260
	해발고도	○	1.4517
	철새도래지와와의 거리	×	1.3775
	하천과의 거리	×	1.1385
	도로와의 거리	○	1.2126
	사료업체와의 거리	○	1.4835
도압장과의 거리	×	1.7567	

#### 4. 분석 결과

오리농장의 HPAI 발생 요인을 분석한 결과는 <표 3>과 같다. 음이항 회귀모형의 과대산포 모수인  $\alpha$  값은 1.1076으로 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이에  $\alpha$  값이 0이라는 귀무가설을 기각하여 오리농장의 HPAI 발생건수 자료는 분산이 평균보다 더 큰 과대산포 문제가 존재한 것으로 나타났다. 따라서 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 이용하여 분석하였다.<sup>3</sup> 분석결과는 농장의 운영방식, 시설현황, 입지유형 등의 특성을 반영한 24개 변수를 모두 포함한 완전모형(Full model)과 후진제거법을 통해 선정된 16개 변수만을 포함한 축소모형(Reduced model)의 결과를 모두 제시하였다.

음이항 회귀모형의 완전모형(Full model)과 축소모형(Reduced model) 중 어떤 모형이 보다 타당한지는 log likelihood 값, AIC와 BIC 값의 비교를 통해 알 수 있다. 일반적으로 log likelihood

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

값이 보다 크고, AIC와 BIC 값이 보다 작은 모형일수록 적합도가 더 높다는 것을 의미한다. log likelihood 값은 완전모형에서 -369.434, 축소모형(Reduced model)에서 -371.266으로 나타나, 축소모형에서 더 작은 값을 가진다. 그리고 AIC와 BIC 값은 완전모형에서 790.868과 909.747로 나타난 반면, 축소모형에서는 각각 778.532와 860.833으로 더 작은 값으로 나타났다. 따라서 log likelihood 값은 완전모형이, AIC와 BIC 값은 일부 변수를 제외한 축소모형이 보다 적합한 모형으로 나타났다.

음이항 회귀모형의 완전모형과 축소모형의 회귀계수를 살펴보면, 계수 값의 부호는 서로 일치하지만 그 크기와 통계적 유의성은 다소 차이가 있다. 완전모형에서는 농장의 조수익, 사육마릿수, 폐사율, 트러스형 축사, 출하차량, 분뇨차량, 분뇨처리, 500m와 3km 내의 농장 수, 농장과 도로와의 거리 등 10개 변수가 10% 유의수준에서 통계적 유의한 것으로 나타났다. 한편 축소모형에서는 이러한 변수뿐만 아니라 사육축종과 농장주의 사육경력, 해발고도, 농장과 사료업체와의 거리 변수를 포함하여 총 16개 변수가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

음이항 회귀모형의 축소모형을 통해 분석한 결과, 오리농장의 조수익이 1백만 원 증가할 때 오리농장의 HPAI 발생건수는 0.1% 증가하는 것으로 나타났다. 축종에 관한 변수는 더미변수이며, 종오리를 기저변수로 설정하였다. 따라서 축종 변수에 대한 분석결과는 육용오리 대비 종오리의 HPAI 발생건수가 64.38% 더 많다는 것을 의미한다. 농장주의 사육경력이 1년 많을수록 오리농장의 HPAI 발생건수는 1.9% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 점은 농장주의 사육경력이 긴 농장은 농장 시설환경이 사육경력이 길지 않은 오리농장에 비해 낙후되었을 가능성이 높은 것이 원인으로 판단된다. 한편 Kim et al.(2018)의 연구에서는 농장주의 사육경력과 HPAI 발생은 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되어, 본 연구의 결과와 서로 다른 결과를 보이고 있다. Kim et al.(2018)은 43개 육용오리농장에 국한하여 분석한 반면, 본 연구는 육용오리뿐만 아니라 종오리도 포함하여 총 715개 농장을 대상으로 분석하여, 분석대상의 차이로 인해 다른 결과가 나타난 것으로 판단된다.<sup>4</sup> 그리고 농장 사육마릿수가 1천 마리 증가할 때 HPAI의 발생건수는 1.83% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 Gilbert et al.(2006)의 연구결과와 일치한다. Gilbert et al.(2006)은 태국의 자유방목 오리의 사육규모와 HPAI 발생과의 상관관계 분석을 통해 오리의 사육마릿수 증가는 HPAI 발생 위험성을 높인다고 제시하였다. 오리의 폐사율이 1% 높으면 HPAI의 발생건수는

4 육용오리농장의 평균 사육경력은 12.39년인 데 반해 종오리농장의 평균 사육경력은 15.85년이었다.

4.96% 증가하는 것으로 나타났다.

사육시설 중 샌드위치 패널형이나 기타 형태의 시설은 통계적 유의성이 없는 것으로 추정되었으나, 트러스형은 통계적으로 유의한 것으로 추정되었다. 비닐하우스형 축사에 비해 트러스형 축사인 농장의 HPAI 발생건수는 103.81% 많은 것으로 추정되었으며, 이는 음성이나 안성 등 트러스형이 많은 중부지역에서 HPAI가 상대적으로 많이 발생하였기 때문인 것으로 보인다. 본 분석결과 비닐하우스형 축사가 HPAI의 원인이라는 지적은 증명되지 않았다. 또한 사료차량 농장 내부 진입 여부는 HPAI 발생에 유의미한 영향을 미치지 못하는 반면, 출하차량과 분뇨차량의 진입은 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 출하차량과 분뇨차량이 농장에 진입할 경우가 진입하지 않을 때보다 HPAI 발생건수가 각각 177.87%, 147.69% 증가한 것으로 나타났다. 이는 출하차량과 분뇨차량의 농장출입이 HPAI 확산에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다. 그리고 분뇨처리 방식도 HPAI 발생에 영향을 미치며, 위탁처리 농가의 HPAI 발생건수는 자가처리 농가에 비해 123.65% 높은 것으로 나타났다. 이는 위탁처리업체가 여러 오리농장을 돌며 분뇨를 처리하기 때문에 HPAI 전파 가능성이 높아지는 것으로 판단된다.

표 3. 음이항 회귀모형의 분석결과

변수		Full model		Reduced model	
		$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$
상수		-4.4010***	0.0123	-4.5040***	0.0111
운영 방식	조수익	0.0010**	1.0010	0.0010**	1.0010
	후계농	-0.0716	0.9309	-	-
	고용인원	0.0242	1.0245	-	-
	축종(육용오리=1)	-0.3686	0.6917	-0.4404*	0.6438
	사육경력	0.0163	1.0164	0.0188*	1.0190
	마릿수	0.0175**	1.0177	0.0181**	1.0183
	폐사율	0.0561***	1.0577	0.0485***	1.0496
시설 현황	트러스형 시설	0.6963**	2.0063	0.7120***	2.0381
	샌드위치 패널형 시설	0.2458	1.2786	0.2685	1.3080
	기타 시설	0.6128	1.8456	0.5328	1.7037
	사료차량	0.0892	1.0933	-	-
	출하차량	0.9353**	2.5480	1.0220**	2.7787
	분뇨차량	0.8892**	2.4332	0.9070**	2.4769
	분뇨처리(위탁처리=1)	0.7636***	2.1460	0.8049***	2.2365
	환기방식	0.0090	1.0090	-	-

(계속)

변수		Full model		Reduced model	
		$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$
입지 유형	농장 500m 내 농장 수	0.0999*	1.1051	0.1128*	1.1194
	농장 3km 내 농장 수	0.0773***	1.0804	0.0780***	1.0811
	농장 10km 내 농장 수	-0.0511	0.9502	-	-
	해발고도	-0.0024	0.9976	-0.0027*	0.9973
	철새도래지와 의 거리	-0.0130	0.9871	-	-
	하천과의 거리	0.1231	1.1310	-	-
	도로와의 거리	-0.3278**	0.7205	-0.3479**	0.7062
	사료업체와의 거리	-0.0511	0.9502	-0.0659**	0.9362
도압장과의 거리	-0.0130	0.9871	-	-	
$\alpha$	1.1076**				
log likelihood	-369.434		-371.266		
AIC	790.868		778.532		
BIC	909.747		860.833		

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

특정 농장을 기준으로 500m 내에 농장이 1개 더 많으면 HPAI 발생건수는 11.94% 높아지며, 3km 내에 1개 더 많으면 HPAI 발생건수는 8.11% 높아지는 것으로 분석되었다. 이로부터 농장 분포가 밀집될수록 HPAI 발생 위험성이 높으며, 농장 간 전파 우려가 커진다는 것을 알 수 있다. 또한 Pfeiffer et al.(2007)과 Martin et al.(2011)의 분석결과와 같이, 농장의 해발고도는 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 해발고도가 1m 높을수록 HPAI 발생건수는 0.27% 감소하는 것으로 추정되었다. 농장과 도로, 사료업체와의 거리는 HPAI 발생과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 즉, 인근 도로와 1km 가까워질수록 HPAI 발생건수는 29.38% 증가하며, 사료업체와 1km 가까워질수록 HPAI 발생건수는 6.38% 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 도로와 가까운 농장일수록 HPAI 발생우려가 높은 분석결과는 한국을 대상으로 HPAI 전파 요인을 분석한 안미란 외(2019), 태국의 HPAI 전파 요인을 분석한 Paul et al.(2011)의 연구결과와 일치한다.

## 5. 요약 및 결론

최근 들어 HPAI가 매년 발생하고 있어 사회적으로 큰 문제가 되고 있다. 특히 오리농장에서의 발생빈도가 급격히 늘어남에 따라 오리 휴지기제 도입 등 오리산업은 크게 위축되고 있다. 오리농장의 HPAI 발생이 잦은 것에 대한 논의가 다양하게 이루어지고 있으나, 이에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 오리농장의 운영방식, 사육시설, 입지유형 등 농장과 관련된 다양한 요인들을 종합적으로 고려하여, 이러한 요인들이 오리농장의 HPAI 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 이에 HPAI 발생빈도를 반영할 수 있는 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형의 이론적 배경을 정리하였으며, 모형의 적합도 검정을 통해 두 모형 중 보다 적절한 모형을 선정하였다. 또한 농장의 운영방식, 사육시설, 입지유형 등과 관련된 모든 변수를 포함한 완전모형(Full model)과 후진제거법에 의해 선정된 변수만을 포함한 축소모형(Reduced model)을 구축하여 두 모형의 분석결과를 비교해 보았다.

오리농장의 HPAI 발생빈도 자료에는 과대산포 문제가 존재하여 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 활용하는 것이 보다 적절한 것으로 나타났다. 음이항 회귀모형의 축소모형에 대한 분석결과를 요약하면, 오리농장의 조수익이 많을수록, 종오리농장일수록, 농장주의 사육경력이 길수록, 농장의 사육마릿수가 많을수록, 폐사율이 높을수록 HPAI 발생빈도가 높은 것으로 분석되었다. 이는 조수익이 높은 농장일수록 오리 사육마릿수가 많고, 회전율이 높기 때문에 바이러스 전파 위험성이 높은 것으로 판단된다. 종오리농장의 HPAI 발생빈도가 높은 것은 종오리의 사육기간이 육용오리의 사육기간에 비해 상대적으로 길어 농장소독과 청소의 빈도가 적게 이루어지는 등 사육환경이 더 안 좋기 때문으로 판단된다. 농장주의 사육경력이 길수록 HPAI 발생빈도가 높은 것은 사육경력이 높아짐에 따라 해당 농장의 건축연도도 오래됐을 가능성이 있고, 소독이나 방역시설, 방역의식의 미흡으로 인해 HPAI 발생건수가 높아질 수 있기 때문인 것으로 추측된다. 또한 폐사율과 HPAI 발생빈도가 양의 상관관계로 추정된 것은 쾌적한 사육환경이 조성되지 못하였거나 사육기술이 낮은 것에 기인할 것으로 판단된다. 이러한 분석결과로부터 오리농장의 HPAI 사전예방을 위해 조수익, 종오리농장, 사육경력, 사육규모와 폐사율이 높은 농장일수록 열악한 환경개선을 위한 적극적인 노력이 필요할 것으로 판단된다.

농장의 시설현황 중 트러스형 시설 농장이 HPAI 발생에 취약한 것으로 나타났는데, 이는 음성과 안성 등 중부의 오리 밀집사육지역에서 HPAI가 많이 발생한 것과 연관이 있는 것으로 판단되며, 또한 트러스형 시설이 상대적으로 보온이나 차단방역에 취약하기 때문으로 판단된다. 트러스형 시설 농장은 정기적인 소독과 세척을 통해 HPAI 예방 중심의 방역활동을 적극적으로 추진하거나 샌드위치 패널형 시설로 개선할 필요가 있어 보인다. 출하차량과 분뇨차량이 농장 내부로 진입할 경우, HPAI 발생빈도가 상당히 높아지는 것으로 추정되었다. 이로부터 축산차량에 의한 HPAI 전파 위험성이 매우 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 농장 방문 차량에 대한 방문기록을 작성하고, 차량의 출입관리를 강화하여 차량의 농장 진입을 최대한 줄여야 할 필요가 있다. 뿐만 아니라 축산차량에 대한 세척 및 소독을 강화하여 축산차량에 의한 바이러스 노출을 최소화할 필요가 있다. 분뇨처리 방식에 있어서 자가처리에 비해 위탁처리 방식이 HPAI 발생 위험성이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 위탁처리업체가 여러 농장을 돌며 분뇨를 가져가 처리하기 때문에 전파 가능성이 높은 것으로 판단된다. 분뇨위탁처리업체에 대한 방역 강화 조치가 필요하다.

농장의 입지유형에서 500m와 3km 내의 농장 수가 많을수록 오리농장의 HPAI 발생빈도가 높아지는 것으로 나타났으며, 그중 500m 범위가 3km 범위보다 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 HPAI는 농장의 인접 정도 또는 밀집도와 상호 연관성이 있으며, 농장의 분포가 밀집될수록 HPAI 발생 위험성이 더 크다는 것을 보여준다. 해발고도가 상대적으로 낮은 농장일수록 HPAI 발생 우려가 큰 것으로 추정되었으며, HPAI 발생농장과 도로, 사료업체와의 거리가 가까울수록 HPAI 발생빈도는 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 오리농장 밀집지역에 대한 예찰 강화와 집중관리지역 지정 등 선제적 방역조치 강화가 필요함을 시사한다.

오리농장의 HPAI 발생이 매우 높은 비중을 차지함에 따라 오리산업뿐만 아니라 국가 경제에 크나큰 피해를 끼치고 있다. 오리농장의 HPAI 발생이 잦은 것에 대한 논의가 다양하게 제시되고 있으나, 이에 대한 연구가 뒷받침되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 농장의 시설현황, 운영방식, 입지유형 등을 세분화하여, HPAI 발생빈도에 영향을 미치는 요인을 분석함으로써 오리농장에 대한 HPAI 방역 활동에 많은 시사점을 제공한다. 본 연구결과가 오리농장의 방역 강화와 오리산업의 지속가능한 발전에 유용한 정보가 될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- 남영은, 서지현, 최가영, 이경준. 2018. “음이항회귀모형을 이용한 꽃게 출하량에 관한 연구.” 『Journal of The Korean Data Analysis Society』 제20권 제6호. pp. 2941-2951. 한국자료분석학회. <http://doi.org/10.37727/jkdas.2018.20.6.2941>
- 농림축산식품부. 2018. 『2017/18년 AI 역학조사보고서』. 역학조사위원회.
- 박선일, 박홍식, 정우석, 이경주. 2016. “가축질병 방역활동 지원을 위한 국가동물방역통합시스템 시공간 정보활용.” 『한국지리정보학회지』 제19권 제4호. pp. 186-198. 한국지리정보학회. <http://doi.org/10.11108/kagis.2016.19.4.186>
- 송창선. 2015. 『야생조류의 조류인플루엔자 바이러스에 대한 감수성 비교 연구( I )』. 국립환경과학원.
- 안미란, 지인배, 배선학, 박선일, 김상태. 2019. “가금 농장의 특성에 따른 HPAI 위험요인 분석.” 『농촌경제』 제42권 제3호. pp. 173-192. 한국농촌경제연구원. <http://doi.org/10.36464/jrd.2019.42.3.007>
- 이종원. 2016. “계량경제학.”
- 정재풍, 최종후. 2014. “교통사고건수에 대한 포아송 회귀와 음이항 회귀모형 적합.” 『Journal of the Korean Data Analysis Society』 제16권 제1호. pp. 165-172. 한국자료분석학회.
- 지인배, 조재성, 김현중, 김동훈, 김선현, 최용훈. 2019. 『오리사육시설 개선방안 조사연구』. 오리사조금관리위원회. 국가통계포털. 2012-2017. 『농림업생산지수』.
- Cameron, A. C. & P. K. Trivedi. 1986. “Econometric Models Based on Count Data. Comparisons and Applications of Some Estimators and Tests.” *Journal of applied econometrics*. vol. 1, no. 1, pp. 29-53. <https://doi.org/10.1002/jae.3950010104>
- Cox, D. R. 1983. “Some Remarks on Overdispersion.” *Biometrika*. vol. 70, no. 1, pp. 497-505. <https://doi.org/10.1093/biomet/70.1.269>
- De Jong, P. & G. Z. Heller. 2008. *Generalized linear Models for Insurance Data*. Cambridge Books.
- Gilbert, M., P. Chaitaweesub, T. Parakamawongsa, S. Premashtira, T. Tiensin, W. Kalpravidh, ... & J. Slingenbergh. 2006. “Free-Grazing Ducks and Highly Pathogenic Avian Influenza, Thailand.” *Emerging Infectious Diseases*, vol. 12, no. 2, p. 227. <https://doi.org/10.3201/eid1202.050640>
- Khan, A., S. Ullah, J. Mitz. 2011. “Statistical Modelling of Falls Count Data with Excess Zeros.” *Injury Prevention*. vol. 17, pp. 266-270. <https://doi.org/10.1136/ip.2011.031740>
- Kim, W. H., J. U. An, J. Kim, O. K. Moon, S. H. Bae, J. B. Bender & S. Cho. 2018. “Risk Factors Associated with Highly Pathogenic Avian Influenza Subtype H5N8 Outbreaks on Broiler Duck Farms in South Korea.” *Transboundary and Emerging Diseases*. vol. 65, no. 5, pp. 1329-1338. <https://doi.org/10.1111/tbed.12882>
- Martin, V., D. U. Pfeiffer, X. Zhou, X. Xiao, D. J. Prosser, F. Guo & M. Gilbert. 2011. “Spatial distribution and risk factors of highly pathogenic avian influenza (HPAI) H5N1 in China.” *PLoS Pathog*. vol. 7, no. 3, p. e1001308. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1001308>
- Paul, M., S. Wongnarkpet, P. Gasqui, C. Poolkhet, S. Thongratsakul, C. Ducrot & F. Roger. 2011. “Risk Factors for Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) H5N1 Infection in Backyard Chicken Farms, Thailand.” *Acta tropica*. vol. 118, no. 3, pp. 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2011.03.009>
- Pfeiffer, D. U., P. Q. Minh, V. Martin, M. Epprecht & M. J. Otte. 2007. “An analysis of the spatial and temporal patterns of highly pathogenic avian influenza occurrence in Vietnam using national surveillance data.” *The*

- Veterinary Journal*. vol. 174, no. 2, pp. 302-309. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.05.010>
- Wang, Y., P. Li, Y. Wu, X. Sun, K. Yu, C. Yu & A. Qin. 2014. "The Risk Factors for Avian Influenza on Poultry Farms: A Meta-Analysis." *Preventive Veterinary Medicine*. vol. 117, no. 1, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.06.008>
- Yupiana, Y., S. J. de Vlas, N. M. Adnan & J. H. Richardus. 2010. "Risk Factors of Poultry Outbreaks and Human Cases of H5N1 Avian Influenza Virus Infection in West Java Province, Indonesia." *International Journal of Infectious Diseases*. vol. 14, no. 9, pp. e800-e805. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2010.03.014>

원고 접수일: 2020년 08월 31일
원고 심사일: 2020년 09월 08일
심사 완료일: 2020년 12월 16일