

ANIMAL

Effects of duck farming restriction measures on the incidence of avian influenza

Jaesung Cho¹, Yonggeon Lee², Hyunjoong Kim^{2*}

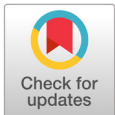
¹Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Environment & Resources Research, Korea Rural Economic Institute, Naju 58321, Korea

*Corresponding author: kim1025@krei.re.kr

Abstract

Duck farming restriction refers to a program in which duck farms suspend their operations for a certain period at times when the risk of avian influenza (AI) is high and receive compensation from the Korean government. This study analyzed the effect of this duck farming restriction on the incidence of AI using data on regional AI incidence rates, the program participation rate, and characteristics of poultry farming in 2016 (before the implementation of the restriction), as well as data from 2020 and 2021 (when new AI outbreaks occurred). In this study, the treatment group was divided into five subgroups according to the policy participation rate and a difference-in-difference (DID) estimation was conducted using certain covariates, in this case the average number of ducks raised, the land area, the number of high-susceptibility farms, the number of low-susceptibility farms, the average number of farms within a 3 km radius, the average distance to the nearest farm, and a year dummy. The results showed that when more than 30% of all duck farms in a region participated in the farming restriction, it had a statistically significant effect on the incidence of AI. Specifically, when more than 30, 40, 50, and 60% of all duck farms participated in the farming restriction, the AI incidence rate decreased by 0.7184, 1.0025, 1.5844, and 1.5843%p, respectively.



OPEN ACCESS

Citation: Cho J, Lee Y, Kim H. Effects of duck farming restriction measures on the incidence of avian influenza. Korean Journal of Agricultural Science 50:207-218. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20230016>

Key words: avian influenza, difference in difference, duck farming restriction, policy evaluation

Introduction

조류인플루엔자(avian influenza, AI)는 닭·칠면조·오리 등 가금류에 폐사 및 생산성 저하 등 심각한 피해를 입히는 급성 전염병으로, 국내에서는 2003년 12월 처음 발생하였으며, 이후 2022년 4월까지 2005, 2009, 2012, 2013, 2019년을 제외하고는 매년 발생하고 있다. AI 발생에 따른 소비 위축(Lim and Park, 2017) 및 가금류 폐사와 방역조치에 따른 가금류 살처분, 이동 제한, 도축 제한 등은 가금 산업뿐만 아니라 전후방 연관산업 및 정부 재정에도 악영향을 준다. 특히, 2016/17년¹⁾ 발생한 AI의 경우 역대 최대 규모인 3,808만 수의 가금류가 살처분되었으며, 살처분 보상금으로만 2,195억 원의 정부 재정이 투입되었다. 이를 계기로 정부는 2017년부터 AI 발생 위험 시기에 오리 사육 및 종란 생산을 일시 중단하는 가축 사육제한 사업(“이후 오리사육제한”)을 시행하고 있다(MAFRA, 2017; Huh et al., 2020).

Received: February 28, 2023

Revised: April 07, 2023

Accepted: April 20, 2023

Copyright: © 2023 Korean Journal of Agricultural Science

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

오리 사육제한은 AI 발생 위험이 높은 동절기에 육용오리 및 종오리 농장이 일정 기간 사육을 중단(육용오리) 또는 종란을 폐기(종오리)하는 대신 정부가 이들 농장에 휴업 보상금을 지급하는 사업이다. 사업 규모는 2017/18년 263만 마리(182 농가), 2018/19년 315만 마리(203 농가), 2019/20년 300만 마리(207 농가), 2020/21년 333만 마리(213 농가), 2021/22년 300만 마리(193 농가)로, 매년 약 300만 마리(약 200 농가) 규모이다. 사업 예산은 매년 사업 규모 및 보상금 단가 등에 따라 달라지나, 국비 50%, 지방비 50%로 충당되고 있으며, 연도별 국비 지원액은 2017/18년 21억 원, 2018/19년 30억 원, 2019/20년 34억 원, 2020/21년 47억 원, 2021/22년 37억 원이다. 보상금 단가는 2022년 기준 육용오리의 경우 마리당 845원으로 최근 2년 평균 위탁수수료에서 평균 농가 소요비용을 제외한 금액의 약 80% 수준이며, 종란의 경우 개당 702원으로 최근 2년 평균 병아리 가격의 약 50% 수준이다.

오리 사육제한 시행 이후 AI 발생 현황을 살펴보면, AI 발생 건수는 사업 시행 직전인 2016/17년 421건에서 시행 직후인 2017/18년 22건으로 크게 감소한 뒤 2020년 11월까지 AI가 아예 발생하지 않는 등 오리 사육제한은 AI 발생 억제에 매우 효과적인 수단으로 평가되어 왔다. 하지만 2020/21년 다시 109건의 AI가 발생하고, 이듬해인 2021/22년에도 47건의 AI가 연달아 발생함에 따라 오리 사육제한의 효과를 보다 면밀히 평가할 필요성이 제기되고 있다.

지금까지 오리 사육제한의 효과는 주로 제도 시행 전후의 AI 발생 현황에 대한 단순 비교, 균형대체모형을 이용한 경제적 후생 분석, 산업연관분석을 통한 경제적 파급 효과 분석을 통해 이루어져 왔다(Jeong et al., 2019; Ji et al., 2019; Kim et al., 2020). 선행연구에서 도출한 오리 사육제한의 효과는 공통적으로 오리 사육제한이 AI 발생에 미치는 영향에 대한 명시적 또는 암묵적 가정에 의해 결정된다. 즉, 오리 사육제한이 AI 발생을 충분히 억제한다고 가정하면²⁾, 오리 사육제한의 효과는 방역적 측면뿐만 아니라 경제적 측면에서도 긍정적이나, 그렇지 못할 경우에는 인위적인 공급제한에 따른 부작용이 우려된다는 점이다. 결국, 오리 사육제한의 방역적·경제적 효과는 오리 사육제한이 AI 발생확률에 미치는 영향에 의해 결정되나, 아직까지 관련 연구는 한 번도 수행된 적이 없다.

따라서 본 연구는 오리 사육제한 시행 직전인 2016/17년과 시행 이후 AI가 다시 연이어 발생하기 시작한 2020/21년과 2021/22년의 지역(시군)별 AI 발생확률, 오리 사육제한 참여 정보, 가금류 사육 현황 및 특성 등의 자료와 대표적인 정책 효과 추정 방법 중 하나인 이중차분법(difference in difference, DID)을 이용하여 오리 사육제한이 AI 발생확률에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. Materials and Methods에서는 오리 사육제한 효과 측정을 위한 분석 자료 및 모형을 제시하고, Results and Discussion에서는 DID 추정 결과 및 오리 사육제한의 효과를 설명하고, Conclusion에서는 연구 결과를 요약 정리한다.

Materials and Methods

분석 모형

무작위 추출 및 무작위 배정이 가능한 실험연구에서 특정 처리의 효과(treatment effect)는 동질적으로 구성된 처리군(처리 집단)과 대조군(미처리 집단)의 결과 값의 차이로 측정이 가능하다. 하지만 처리군과 대조군을 동질적으로 구성하기 어려운 정책이나 제도 등은 두 집단 간 존재하는 특성 차이(이질성)로 인해 두 집단의 결과 값을 그대로 이용하여 그 효과를 추정할 경우 편의(bias)가 발생한다. 따라서 정책의 효과는 정책 시행 및 수혜 여부(처리 변수) 외에 정책 시행 및 수혜로 기대되는 결과(결과변수)에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인들(공변량)을 최대한 통제하는 방식으로 집단 간 이질성을 최소화한 후 측정해야 한다. 이처럼 처리군과 대조군의 동질성을 최대한 확보한 후 정책의 순효과를 추정하는 대표적인 방법에는 DID, 성향점수매칭(propensity score matching, PSM), 회귀불연속설계(regression discontinuity design, RDD) 등이 있으며, 이중 어떤 방법을 사용하느냐는 정책의 특성 및 분석 자료의 가용성 등에 따라 결정된다(Cho and Lee, 2022).

본 연구의 목적은 오리 사육제한이 AI 발생확률에 미치는 영향을 분석하는 것으로 분석에 사용된 자료는 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년의 시군별 AI 발생확률(결과변수 자료), 시군별 오리 사육제한 농장 정보(처리변수 자료), 시군별 가금류 사육 현황 및 특성 자료(공변량 자료)이다. 이중 동질적 시군 식별 및 구분에 활용할 수 있는 시군별 가금류 사육 현황 및 특성 자료는 가금류 축종별 사육두수 및 농장수, 토지면적, 거리 기반 정보(각 농장과 최근접 농장과의 평균 거리, 각 농장을 기준으로 특정 반경 내에 위치한 농장의 수 등) 등으로 제한적이다. 따라서 본 연구는 개별 시군 단위의 동질성 확보가 필수적인 PSM 및 RDD 대신 처리군과 대조군 즉, 집단 특성 및 시점 특성에 의한 이질성을 통제하는 방식으로 정책의 순효과를 분석하는 DID를 이용하여 오리 사육제한의 효과를 분석하였다.

DID는 처리군의 정책 시행 전후의 결과변수 값을 차분함으로써 시간 불변 요인들(time invariant factor)인 집단 특성에 의한 영향을 제거하고, 해당 차분 값에서 대조군의 정책 시행 전후의 결과변수의 차분 값을 다시 차분함으로써 시간에 따라 변화하는 요인들(time-varying factors)인 시간 특성에 의한 영향을 추가로 제거하여 정책의 순효과를 측정하는 방법으로, 정책 시행 전후의 처리군과 대조군의 결과변수 값만 있으면 정책 효과 추정이 가능하다는 점에서 정책 효과 분석에 광범위하게 사용되고 있다(Yoon et al., 2012; Kang et al., 2014; Kim, 2016; Kim, 2019; Cho et al., 2021). DID의 기본모형을 수식으로 나타내면 아래와 같다(Cho et al., 2021).

$$Y_{i,t} = \alpha + \beta T_{i,t} + \gamma P_i + \delta (T_{i,t} \times P_i) + \epsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$E(Y) = \begin{cases} \alpha & \text{if } T_{i,t} = 0, P_i = 0 [C] \\ \alpha + \beta & \text{if } T_{i,t} = 1, P_i = 0 [D] \\ \alpha + \gamma & \text{if } T_{i,t} = 0, P_i = 1 [A] \\ \alpha + \beta + \gamma + \delta & \text{if } T_{i,t} = 1, P_i = 1 [B] \end{cases}$$

$$(B - A) - (D - C) = [(\alpha + \beta + \gamma + \delta) - (\alpha + \gamma)] - [(\alpha + \beta) - \alpha] = \delta$$

여기서 $Y_{i,t}$ 는 결과변수(AI 발생확률), $T_{i,t}$ 는 정책 시행 이전은 0, 시행 이후는 1의 값을 갖는 시점변수, P_i 는 처리군(오리 사육제한 참여 시군)에 1, 대조군(오리 사육제한 미참여 시군)에 0을 할당하는 처리변수이다. β 는 시점 변화에 따른 영향, γ 는 집단 특성에 의한 영향, δ 는 오리 사육제한의 평균처리효과(average treatment effect) 즉, 이중차분을 통해 집단 특성(γ)과 시간 특성(β)의 교란효과가 제거된 오리 사육제한의 순수한 효과를 나타내는 계수이다.

만약 처리군과 대조군이 동질적으로 구성되고, 정책 개입이 없다고 가정하면, 공변량을 모형에 추가한다고 해도 두 집단의 결과 변수값은 동일할 것이나, 현실적으로 두 집단이 완벽하게 동질적인 것은 불가능하기 때문에 일반적으로 위 식에 공변량을 추가한 모형을 사용한다(Lee, 2018; Cho et al., 2021). 본 연구에서도 공변량을 추가한 모형을 사용하였으며, 공변량으로는 평균 사육두수, 토지면적, 고감수성 농장수, 저감수성 농장수, 반경 3 km 내 평균 농장수, 최근접 농장과의 평균 거리, 연도더미를 사용하였다.

마지막으로 본 연구에서 대조군은 분석 시점 중 단 한 번도 오리 사육제한에 참여한 경험이 없는 시군으로 설정하였으며, 처리군은 매년 대상 지역 및 규모(참여 농장수)에 변동이 발생하는 오리 사육제한의 특성을 고려하여, 2020/21년과 2021/22년 연속해서 오리 사육제한에 참여한 시군 중 매년 최소 20% 이상(14개 시군), 30% 이상(10개 시군), 40% 이상(7개 시군), 50% 이상(5개 시군), 60% 이상(4개 시군)의 오리 농장이 참여한 시군으로 구분하여 설정하였다. 즉, 본 연구는 처리군의 유형을 5가지로 분리한 후 유형별 처리군과 대조군을 대상으로 DID 분석을 실시하여 오리 사육제한의 효과를 오리 사육제한 참여 여부 및 참여율에 따라 구분하여 살펴보았다.

분석 자료

분석을 위해 활용한 기초 자료는 오리 사육제한 시행 직전인 2016/17년과 시행 이후 AI가 다시 연이어 발생하기 시작한 2020/21년과 2021/22년의 시군별 AI 발생확률, 오리 사육제한 참여 정보, 가금류 사육 현황 및 특성 등의 자료이다. 기초 자료는 오리 사육제한 시행 시점(매년 10 - 11월)을 고려하여 매년 9월 30일 기준으로 수집하였으며, 기초 자료에 포함된 시군은 가금류 사육 농장을 보유한 시군으로 한정하였다. 기초 자료 중 시군별 AI 발생확률은 한국농촌경제연구원(Kim et al., 2022), 가금류 사육 현황 정보(농장 위치 정보, 축종, 사육두수, 농장 수 등)는 가축 위생방역지원본부의 FAHMS (축산농가 방역정보 시스템), 오리 사육제한 참여 농장 정보는 농림축산식품부로부터 제공받았으며, 시군별 특성 정보(토지면적, 거리 기반 정보) 중 토지면적은 국토교통부의 지적통계, 거리 기반 정보(각 농장과 최근접 농장과의 평균 거리, 각 농장을 기준으로 특정 반경 내에 위치한 농장의 수 등)는 FAHMS의 농장 위치 정보를 활용하여 산출하였다.

본 연구는 이상의 기초 자료를 토대로 분석 모형의 결과변수와 공변량 자료를 구축하였으며, 이들 변수는 구체적으로 시군별 AI 발생확률, 평균 사육두수, 토지면적, 고감수성 농장수, 저감수성 농장수, 반경 3 km 내 평균 농장수, 최근접 농장과의 평균 거리, 연도더미(2021/22년에 1의 값을 갖고, 그 외에는 0의 값을 가짐)이다. AI 감수성이 높은 고감수성 농장에는 AI 발생사례가 많은 육용오리, 산란계, 종오리, 토종닭, 종계 농장이 포함되고, 저감수성 농장에는 AI 발생사례가 상대적으로 적은 육계, 산란오리, 기타 농장이 포함된다. 연도더미는 분석 시점(3개년 자료) 중 오리 사육제한이 시행된 2개년(2020/21년, 2021/22년)에 대한 추가적인 시점 효과를 통제하기 위해 모형에 포함하였다. 실증분석에 활용한 자료의 기초 통계량은 Table 1과 같다.

Table 1. Descriptive statistics of the variables used in the empirical analysis.

Year	Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
2016	Probability of occurrence (%)	0.87	0.69	0.69	5.61
	Average number of heads (thousand heads)	5.67	7.49	0.02	39.92
	Land area (10 million m ²)	61.60	33.72	3.33	182.01
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	2.82	2.13	0.07	10.48
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.19	0.18	0.00	1.21
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.21	0.12	0.02	0.74
	Average distance from nearest farms (km)	0.58	0.33	0.15	2.73
2020	Probability of occurrence (%)	0.18	0.13	0.14	1.16
	Average number of heads (thousand heads)	3.68	4.67	0.02	26.42
	Land area (10 million m ²)	61.64	33.73	3.33	182.03
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	4.06	2.64	0.12	13.14
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.19	0.16	0.00	0.77
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.28	0.13	0.05	0.68
	Average distance from nearest farms (km)	0.44	0.21	0.19	1.54
2021	Probability of occurrence (%)	0.09	0.11	0.07	1.29
	Average number of heads (thousand heads)	3.82	4.90	0.01	26.70
	Land area (10 million m ²)	61.65	33.74	3.33	182.05
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.95	2.66	0.05	13.38
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.20	0.16	0.00	0.75
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.28	0.13	0.05	0.68
	Average distance from nearest farms (km)	0.44	0.20	0.18	1.37

Note that the number of observations is 154.

처리군과 대조군 구성에 대해 설명하면 우선, 분석 대상 기간 중 오리 사육제한에 한 번도 참여하지 않은 시군은 전체 154개 시군 중 125개(81.17%), 한 해만 참여한 시군은 12개(7.79%), 두 해 모두 참여한 시군은 17개(11.04%)이다. 이중 오리 사육제한에 한 번도 참여하지 않은 125개 시군이 DID 분석의 대조군에 해당하고, 두 해 모두 참여한 17개 시군 중 매년 최소 20% 이상(14개), 30% 이상(10개), 40% 이상(7개), 50% 이상(5개), 60% 이상(4개)의 오리 농장이 사육제한에 참여한 시군이 각각 처리군20%, 처리군30%, 처리군40%, 처리군50%, 처리군60%로 명명된 본 연구의 처리군에 해당한다. 처리군 및 대조군에 포함되지 않은 시군은 DID 분석 시 결측치³⁾로 처리하였다. DID 분석 시 대조군과 처리군에 해당하는 시군의 기초통계량은 Table 2 - Table 7에 제시하였다.

처리군과 대조군의 기초 통계량에서 볼 수 있듯이 AI 발생확률은 시점별로는 AI 발생건수가 많았던 2016/17년, 2020/21년, 2021/22년 순으로 높게 나타났고, 그룹별로는 대조군보다 처리군에서 높게 나타났다. 또한, 처리군 중에서도 오리 사육제한 참여율이 높은 처리군의 AI 발생확률이 대체적으로 높게 나타났다. 본 연구는 DID 분석을 통해 이상에서 확인된 시점별·그룹별 이질성을 통제하고, 오리 사육제한의 순효과를 살펴보았다.

Table 2. Descriptive statistics of variables for the regions that have not participated in the duck farming restriction measure.

Year	Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
2016	Probability of occurrence (%)	0.75	0.31	0.69	3.99
	Average number of heads (thousand heads)	4.50	6.27	0.02	37.20
	Land area (10 million m ²)	61.63	36.58	3.33	182.01
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	2.71	2.14	0.07	10.48
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.16	0.17	0.00	1.21
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.20	0.11	0.02	0.56
	Average distance from nearest farms (km)	0.59	0.35	0.21	2.73
2020	Probability of occurrence (%)	0.16	0.09	0.14	0.97
	Average number of heads (thousand heads)	2.87	4.01	0.02	26.42
	Land area (10 million m ²)	61.66	36.57	3.33	182.03
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.91	2.61	0.12	10.75
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.16	0.15	0.00	0.75
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.28	0.12	0.05	0.59
	Average distance from nearest farms (km)	0.44	0.22	0.19	1.54
2021	Probability of occurrence (%)	0.07	0.04	0.07	0.46
	Average number of heads (thousand heads)	3.06	4.35	0.01	26.70
	Land area (10 million m ²)	61.67	36.57	3.33	182.05
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.82	2.61	0.05	11.39
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.17	0.15	0.00	0.75
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.27	0.12	0.05	0.55
	Average distance from nearest farms (km)	0.44	0.21	0.18	1.37

Note that the number of observations is 125.

Table 3. Descriptive statistics of variables for the regions with participation rates of 20% or more in the duck farming restriction measure.

Year	Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
2016	Probability of occurrence (%)	1.40	1.25	0.70	4.97
	Average number of heads (thousand heads)	12.88	8.52	1.35	26.18
	Land area (10 million m ²)	58.94	14.57	40.72	101.54
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	2.89	1.55	1.07	6.47
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.34	0.17	0.10	0.67
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.25	0.17	0.08	0.74
	Average distance from nearest farms (km)	0.53	0.20	0.22	0.93
2020	Probability of occurrence (%)	0.27	0.15	0.14	0.55
	Average number of heads (thousand heads)	10.14	5.37	1.35	18.45
	Land area (10 million m ²)	59.12	14.98	40.73	103.30
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.57	1.61	1.51	7.05
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.36	0.21	0.07	0.77
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.27	0.11	0.08	0.43
	Average distance from nearest farms (km)	0.48	0.20	0.28	1.03
2021	Probability of occurrence (%)	0.19	0.32	0.07	1.29
	Average number of heads (thousand heads)	10.16	5.84	2.22	17.72
	Land area (10 million m ²)	59.21	15.21	40.73	104.38
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.32	1.76	1.51	7.03
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.36	0.20	0.04	0.64
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.25	0.12	0.07	0.48
	Average distance from nearest farms (km)	0.49	0.18	0.27	0.93

Note that the number of observations is 14.

Table 4. Descriptive statistics of variables for the regions with participation rates of 30% or more in the duck farming restriction measure.

Year	Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
2016	Probability of occurrence (%)	1.66	1.41	0.70	4.97
	Average number of heads (thousand heads)	14.67	9.19	1.35	26.18
	Land area (10 million m ²)	60.89	16.74	40.72	101.54
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	2.98	1.64	1.07	6.47
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.34	0.19	0.10	0.67
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.26	0.19	0.08	0.74
	Average distance from nearest farms (km)	0.55	0.23	0.22	0.93
2020	Probability of occurrence (%)	0.30	0.16	0.14	0.55
	Average number of heads (thousand heads)	11.14	5.68	1.35	18.45
	Land area (10 million m ²)	61.14	17.22	40.73	103.30
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.64	1.82	1.51	7.05
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.36	0.20	0.07	0.77
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.28	0.12	0.08	0.43
	Average distance from nearest farms (km)	0.50	0.23	0.28	1.03
2021	Probability of occurrence (%)	0.21	0.38	0.07	1.29
	Average number of heads (thousand heads)	11.17	6.09	2.22	17.72
	Land area (10 million m ²)	61.25	17.51	40.73	104.38
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.39	2.05	1.51	7.03
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.37	0.19	0.04	0.64
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.25	0.14	0.07	0.48
	Average distance from nearest farms (km)	0.52	0.21	0.27	0.93

Note that the number of observations is 10.

Table 5. Descriptive statistics of variables for the regions with participation rates of 40% or more in the duck farming restriction measure.

Year	Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
2016	Probability of occurrence (%)	1.98	1.60	0.70	4.97
	Average number of heads (thousand heads)	14.35	9.73	1.35	26.18
	Land area (10 million m ²)	55.10	10.28	40.72	69.29
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.33	1.87	1.07	6.47
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.32	0.17	0.10	0.64
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.31	0.21	0.13	0.74
	Average distance from nearest farms (km)	0.50	0.22	0.22	0.82
2020	Probability of occurrence (%)	0.32	0.17	0.14	0.55
	Average number of heads (thousand heads)	10.16	5.87	1.35	16.84
	Land area (10 million m ²)	55.22	10.37	40.73	69.31
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	4.16	1.87	1.97	7.05
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.35	0.22	0.07	0.77
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.32	0.11	0.20	0.43
	Average distance from nearest farms (km)	0.41	0.14	0.28	0.60
2021	Probability of occurrence (%)	0.27	0.45	0.07	1.29
	Average number of heads (thousand heads)	10.39	5.76	2.22	16.48
	Land area (10 million m ²)	55.22	10.37	40.73	69.31
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.97	2.20	1.62	7.03
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.36	0.18	0.04	0.64
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.30	0.13	0.14	0.48
	Average distance from nearest farms (km)	0.43	0.17	0.27	0.67

Note that the number of observations is 7.

Table 6. Descriptive statistics of variables for the regions with participation rates of 50% or more in the duck farming restriction measure.

Year	Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
2016	Probability of occurrence (%)	2.48	1.66	0.71	4.97
	Average number of heads (thousand heads)	14.15	10.46	1.35	26.18
	Land area (10 million m ²)	51.20	9.07	40.72	63.61
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.16	1.20	1.60	4.41
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.27	0.12	0.10	0.40
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.33	0.24	0.14	0.74
	Average distance from nearest farms (km)	0.46	0.20	0.22	0.68
2020	Probability of occurrence (%)	0.33	0.20	0.14	0.55
	Average number of heads (thousand heads)	9.09	6.21	1.35	15.76
	Land area (10 million m ²)	51.20	9.07	40.73	63.61
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	4.03	1.39	2.82	6.36
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.27	0.14	0.07	0.44
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.33	0.11	0.20	0.43
	Average distance from nearest farms (km)	0.39	0.13	0.28	0.55
2021	Probability of occurrence (%)	0.10	0.06	0.07	0.20
	Average number of heads (thousand heads)	9.72	6.43	2.22	16.48
	Land area (10 million m ²)	51.20	9.07	40.73	63.62
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.96	2.10	1.86	7.03
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.31	0.17	0.04	0.47
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.32	0.14	0.14	0.48
	Average distance from nearest farms (km)	0.40	0.16	0.27	0.65

Note that the number of observations is 5.

Table 7. Descriptive statistics of variables for the regions with participation rates of 60% or more in the duck farming restriction measure.

Year	Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
2016	Probability of occurrence (%)	2.51	1.91	0.71	4.97
	Average number of heads (thousand heads)	15.84	11.26	1.35	26.18
	Land area (10 million m ²)	53.82	7.99	44.32	63.61
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.23	1.37	1.60	4.41
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.29	0.13	0.10	0.40
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.34	0.28	0.14	0.74
	Average distance from nearest farms (km)	0.48	0.23	0.22	0.68
2020	Probability of occurrence (%)	0.38	0.19	0.17	0.55
	Average number of heads (thousand heads)	9.88	6.88	1.35	15.76
	Land area (10 million m ²)	53.82	8.00	44.29	63.61
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	4.02	1.60	2.82	6.36
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.28	0.16	0.07	0.44
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.32	0.12	0.20	0.43
	Average distance from nearest farms (km)	0.41	0.14	0.28	0.55
2021	Probability of occurrence (%)	0.10	0.06	0.07	0.20
	Average number of heads (thousand heads)	10.66	7.02	2.22	16.48
	Land area (10 million m ²)	53.82	8.01	44.29	63.62
	Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	3.70	2.32	1.86	7.03
	Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	0.29	0.18	0.04	0.47
	Average number of farms within 3 km (hundred farms)	0.29	0.14	0.14	0.48
	Average distance from nearest farms (km)	0.44	0.16	0.28	0.65

Note that the number of observations is 4.

Results and Discussion

본 연구는 분석 대상 기간 중 오리 사육제한에 한 번도 참여하지 않은 125개 시군을 대조군, 2020/21년과 2021/22년 연속해서 오리 사육제한에 참여한 시군 중 매년 최소 20% 이상(14개), 30% 이상(10개), 40% 이상(7개), 50% 이상(5개), 60% 이상(4개)의 오리 농장이 사육제한에 참여한 시군을 각각 처리군20%, 처리군30%, 처리군40%, 처리군50%, 처리군60%로 정의하여 오리 사육제한 참여 여부 및 참여율에 따라 오리 사육제한이 AI 발생확률에 미치는 영향을 살펴보았다. 모든 DID 추정에서 대조군은 분석 대상 기간 중 오리 사육제한에 한 번도 참여하지 않은 125개 시군으로 동일하며, 각 처리군에 대한 DID 추정은 최소자승법(ordinary least square, OLS)과 강건표준오차(robust standard error)를 이용하여 실시하였으며, 통계 프로그램은 Stata 17 (Stata Corp, College Station, USA)을 이용하였다.

처리군별 DID 추정 결과를 살펴보면(Table 8 - Table 12), 우선 오리 사육제한의 순효과 즉, 이중차분 추정치(식(1)의 δ)는 처리군20%를 제외한 모든 경우에서 AI 발생확률을 통계적으로 유의하게 낮추는 것으로 나타났으며, 전체 오리 농장 중 30% 이상, 40% 이상, 50% 이상, 60% 이상이 오리 사육제한에 참여할 경우 AI 발생확률은 각각 0.7184, 1.0025, 1.5844, 1.5843%p 감소하는 것으로 추정되었다. 다음으로 시점 특성 추정치(식(1)의 β)는 -0.5690과 -0.5585 사이로 추정되어 2016/17년에 비해 2020/21년 이후의 AI 발생확률이 감소했음을 알 수 있고, 처리군 특성 추정치(식(1)의 γ)는 0.5058 - 1.5867 사이로 추정되어 오리 사육제한에 참여한 시군의 AI 발생확률이 기본적으로 대조군에 속한 시군보다 약 0.5058 - 1.5867%p 높다는 것을 알 수 있다. 마지막으로 공변량 추정치를 살펴보면, 반경 3 km 내 평균 농장수를 제외한 모든 공변량이 AI 발생확률에 통계적으로 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 반경 3 km 내 평균 농장수는 처리군에 따라 통계적 유의성 여부가 결정되는 것으로 나타났다. 즉, 처리군 기준을 참여율 20% 이상, 30% 이상, 40% 이상으로 정의한 경우에는 AI 발생확률에 통계적으로 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으나, 50% 이상과 60% 이상으로 정의한 경우에는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다.

Table 8. Difference-in-difference (DID) estimation results when the treatment group is defined as the regions with a participation rate of 20% or more in the duck farming restriction measure.

Variable	Coefficient	Standard error	t-value	p-value
Time effect	-0.5690	0.0239	-23.760	0.000
Group effect	0.5058	0.2930	1.730	0.085
Policy effect	-0.4954	0.3027	-1.640	0.102
Year dummy (2021)	-0.0902	0.0134	-6.730	0.000
Average number of heads (thousand heads)	0.0239	0.0095	2.510	0.013
Land area (10 million m ²)	-0.0007	0.0003	-2.330	0.020
Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	0.0163	0.0081	2.020	0.044
Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	-0.3022	0.1390	-2.170	0.030
Average number of farms within 3 km (hundred farms)	-0.2735	0.1527	-1.790	0.074
Average distance from nearest farms (km)	-0.1371	0.0724	-1.890	0.059
Constant term	0.8276	0.0658	12.580	0.000

Note that the number of observations is 417 and R-squared value is 0.6409.

Table 9. Difference-in-difference (DID) estimation results when the treatment group is defined as the regions with a participation rate of 30% or more in the duck farming restriction measure.

Variable	Coefficient	Standard error	t-value	p-value
Time effect	-0.5686	0.0241	-23.640	0.000
Group effect	0.7451	0.3965	1.880	0.061
Policy effect	-0.7184	0.4049	-1.770	0.077
Year dummy (2021)	-0.0914	0.0134	-6.820	0.000
Average number of heads (thousand heads)	0.0220	0.0092	2.390	0.017
Land area (10 million m ²)	-0.0008	0.0003	-2.260	0.025
Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	0.0167	0.0085	1.960	0.051
Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	-0.2776	0.1308	-2.120	0.034
Average number of farms within 3 km (hundred farms)	-0.3479	0.1917	-1.810	0.070
Average distance from nearest farms (km)	-0.1537	0.0695	-2.210	0.028
Constant term	0.8588	0.0662	12.970	0.000

Note that the number of observations is 405 and R-squared value is 0.6587.

Table 10. Difference-in-difference (DID) estimation results when the treatment group is defined as the regions with a participation rate of 40% or more in the duck farming restriction measure.

Variable	Coefficient	Standard error	t-value	p-value
Time effect	-0.5634	0.0247	-22.800	0.000
Group effect	1.0733	0.5233	2.050	0.041
Policy effect	-1.0025	0.5321	-1.880	0.060
Year dummy (2021)	-0.0904	0.0135	-6.700	0.000
Average number of heads (thousand heads)	0.0216	0.0093	2.310	0.022
Land area (10 million m ²)	-0.0006	0.0004	-1.760	0.080
Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	0.0161	0.0095	1.700	0.090
Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	-0.2578	0.1289	-2.000	0.046
Average number of farms within 3 km (hundred farms)	-0.4377	0.2425	-1.810	0.072
Average distance from nearest farms (km)	-0.1598	0.0731	-2.190	0.029
Constant term	0.8736	0.0738	11.840	0.000

Note that the number of observations is 396 and R-squared value is 0.6846.

Table 11. Difference-in-difference (DID) estimation results when the treatment group is defined as the regions with a participation rate of 50% or more in the duck farming restriction measure.

Variable	Coefficient	Standard error	t-value	p-value
Time effect	-0.5589	0.0243	-22.980	0.000
Group effect	1.5813	0.5992	2.640	0.009
Policy effect	-1.5844	0.5997	-2.640	0.009
Year dummy (2021)	-0.0984	0.0115	-8.530	0.000
Average number of heads (thousand heads)	0.0205	0.0092	2.240	0.026
Land area (10 million m ²)	-0.0008	0.0004	-1.830	0.067
Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	0.0199	0.0119	1.670	0.095
Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	-0.2040	0.1082	-1.890	0.060
Average number of farms within 3 km (hundred farms)	-0.5039	0.3158	-1.600	0.111
Average distance from nearest farms (km)	-0.1492	0.0798	-1.870	0.062
Constant term	0.8751	0.0898	9.750	0.000

Note that the number of observations is 390 and R-squared value is 0.7463.

Table 12. Difference-in-difference (DID) estimation results when the treatment group is defined as the regions with a participation rate of 60% or more in the duck farming restriction measure.

Variable	Coefficient	Standard error	t-value	p-value
Time effect	-0.5585	0.0243	-23.000	0.000
Group effect	1.5867	0.7577	2.090	0.037
Policy effect	-1.5843	0.7543	-2.100	0.036
Year dummy (2021)	-0.0992	0.0116	-8.550	0.000
Average number of heads (thousand heads)	0.0205	0.0092	2.220	0.027
Land area (10 million m ²)	-0.0008	0.0004	-1.850	0.065
Number of high-susceptibility farms (hundred farms)	0.0200	0.0119	1.670	0.095
Number of low-susceptibility farms (hundred farms)	-0.2046	0.1106	-1.850	0.065
Average number of farms within 3 km (hundred farms)	-0.5067	0.3169	-1.600	0.111
Average distance from nearest farms (km)	-0.1498	0.0794	-1.890	0.060
Constant term	0.8763	0.0887	9.880	0.000

Note that the number of observations is 387 and R-squared value is 0.7326.

Conclusion

본 연구는 오리 사육제한 시행 직전인 2016/17년과 시행 이후 AI가 다시 연이어 발생하기 시작한 2020/21년과 2021/22년의 시군별 AI 발생확률, 오리 사육제한 참여 정보, 가금류 사육 현황 및 특성 등의 자료와 대표적인 정책 효과 추정 방법인 이중차분법을 이용하여 오리 사육제한이 AI 발생확률에 미치는 영향을 분석하였다. 대조군은 분석 시점 중 단 한 번도 오리 사육제한에 참여한 경험이 없는 시군으로 설정하였으며, 처리군은 매년 사업 대상 지역 및 규모(참여 농장수)에 변동이 발생하는 오리 사육제한의 특성을 고려하여, 2020/21년과 2021/22년 연속해서 오리 사육제한에 참여한 시군 중 매년 최소 20% 이상(14개), 30% 이상(10개), 40% 이상(7개), 50% 이상(5개), 60% 이상(4개)의 오리 농장이 참여한 시군으로 구분하여 설정하였다. 즉, 본 연구는 처리군의 유형을 5가지로 구분한 후 유형별 처리군과 대조군을 대상으로 공변량을 포함한 DID 모형을 추정하였으며, 이때 공변량으로는 평균 사육두수, 토지면적, 고감수성 농장수, 저감수성 농장수, 반경 3 km 내 평균 농장수, 최근접 농장과의 평균 거리, 연도더미를 사용했다.

분석 결과, 전체 오리 농장 중 30% 이상이 사육제한에 참여할 때 오리 사육제한은 AI 발생확률에 통계적으로 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 전체 오리 농장 중 30% 이상, 40% 이상, 50% 이상, 60% 이상이 오리 사육제한에 참여할 경우 AI 발생확률은 각각 0.7184, 1.0025, 1.5844, 1.5843%p 감소하는 것으로 나타났다.

Footnote

- 1) 2016/17년은 총 세 차례에 걸쳐 AI가 발생하였으며 1차 발생은 2016년 3월 23일부터 4월 5일까지, 2차 발생은 2016년 11월 16일부터 2017년 4월 4일까지, 3차 발생은 2017년 6월 2일부터 6월 19일까지임.
- 2) 오리 사육제한이 AI 발생에 미치는 영향을 명시적으로 다루지 않은 경우라도 분석에 활용한 자료가 최대 2020년까지의 자료라는 점 즉, 오리 사육제한 시행 후 지속해서 AI 발생 건수가 줄어든 기간이라는 점에서 오리 사육제한이 AI 발생확률을 낮춘다는 암묵적인 가정이 포함됨.
- 3) 일관성 확보를 위해 두 해 중 한 해만 오리 사육제한에 참여한 경우는 결측치로 처리함.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 논문은 한국농촌경제연구원(KREI)의 지원으로 수행되었습니다(고위험지역 사육제한 명령 제도 도입에 따른 보상금 산정 및 운영 기준에 관한 연구).

Authors Information

Jaesung Cho, <https://orcid.org/0000-0002-9720-7950>

Yonggeon Lee, <https://orcid.org/0000-0003-1551-0778>

Hyunjoong Kim, <https://orcid.org/0000-0002-2252-1160>

References

- Cho J, Kim H, Jeong M. 2021. Analysis of the impact of beef grading system reform on the price of premium Hanwoo beef. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy* 48:279-289. [in Korean]
- Cho J, Lee Y. 2022. Analysis of the impact of the livestock facility modernization policy on the management performance of Hanwoo farms. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy* 49:397-413. [in Korean]
- Huh D, Woo B, Hwang Y, Lee Y, Kim T. 2020. 2017/2018 highly pathogenic avian influenza (AI) occurrence and response case study. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea. [in Korean]
- Jeong K, Song C, Kim M, Chang J. 2019. A study on the evaluation of implementation performance of poultry breeding restrictions and the establishment of implementation guidelines. Konkuk University, Seoul, Korea. [in Korean]
- Ji I, Cho J, Kim H, Kim D, Kim S, Choi Y. 2019. Duck breeding facility improvement investigation study. Dongguk University, Seoul, Korea. [in Korean]
- Kang C, Lee J, Park S, Yoon Y. 2014. A micro-analysis methodology for evaluating the employment impact of government policies and projects. Korea Labor Institute, Sejong, Korea. [in Korean]
- Kim H, Lee Y, Choe J, Song W, Jeong M, Park M, Cho J, Chung J, Uhm J. 2022. A study on data-based efficient response to livestock infectious diseases (year 1 of 2). Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea. [in Korean]

- Kim K. 2016. The analysis of average treatment effects and quantile treatment effects of educational welfare schools on the achievement of Korean middle school students. *Korean Journal of Educational Administration* 34:119-146. [in Korean]
- Kim M, Jeong K, Chang J. 2020. A study on the improvement of livestock (duck) breeding restriction system. Konkuk University, Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim N. 2019. Government program evaluation using difference-in-differences: Employment and school dropout effect of mister school program. *Korean Journal of Policy Analysis and Evaluation* 29:141-167. [in Korean]
- Lee S. 2018. Impact evaluation methods: Quasi-experiments & qualitative design. Bobmunsa, Paju, Korea. [in Korean]
- Lim K, Park J. 2017. Consumers' awareness and behavior intention on meat consumption according to climate change. *Korean Journal of Agricultural Science* 44:296-307. [in Korean]
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2017. Foot-and-mouth disease and AI special quarantine measures. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- Yoon Y, Hong M, Kang C, Lee J, Lee H, Koh Y. 2012. Establishment of labor market policy evaluation methodology and multi-sector macro-industry model DB. Korea Labor Institute, Sejong, Korea. [in Korean]