

정보화기기 활용이 국내 축산농가 총판매금액에 미치는 영향 분석

정한나* · 심지민** · 임예린* · 이종욱***

*서울대학교 농경제사회학부 농업·자원경제학전공 및 글로벌 스마트팜 융합전공 석사과정

**서울대학교 농경제사회학부 농업·자원경제학전공 석사과정

***서울대학교 농경제사회학부 조교수, 융합전공 글로벌 스마트팜 전공, 농업생명과학연구원 겸무연구원

A Study on Effects of Adopting ICT in Livestock Farm Management on Farm Sales Revenue

Hanna Jeong* · Jimin Shim** · Yerin Lim* · Jongwook Lee***

*M.A. Candidate, Department of Agricultural Economics and Rural Development,
Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University

**M.A. Candidate, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University

***Assistant Professor, Department of Agricultural Economics and Rural Development,
Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University

ABSTRACT : This study examines the effects of adopting Information and Communication Technology (ICT) in livestock farm management on farm sales revenue. Using the 2020 Census of Agriculture, Forestry, and Fisheries, a nationally representative data set constructed by Statistics Korea, this study focuses on a sample of 9,020 livestock farms in South Korea. We employ Propensity Score Matching (PSM) methods to address the potential selection bias between 2,076 farms that used ICT for livestock farm management and 6,944 farms that did not. The findings consistently show that the use of ICT significantly increases farm revenue, taking into account the selection bias. The utilization of ICT in livestock farms leads to a higher increase in sales revenue, particularly for farms with greater sales.

Key words : ICT Device, Livestock Production, Ordered Logistic Regression, Propensity Score Matching, Smart Livestock Farming

I. 서 론

최근 생산비 증가, 농촌 고령화와 일손 부족, 기후변화로 인한 기상 이변과 재배여건 변화와 같은 농가 경영을 위협하는 요인이 증가하고 있다(Kim and Park, 2023). 코로나19 및 러시아-우크라이나 전쟁의 여파로 비료값과 사료값이 인상된 상황에서 농촌 인구는 큰 폭으로 감소하고 있다. 여기에 이상기후로 인한 피해가 증대되면서 농가의 경영 부담이 가중되고 있다. 이같은 상황을 극복하기 위해 중앙정부 및 지방자치단체는 농업생산비 절감 지원 사업,

청년농업인 육성정책, 외국인 계절근로자 체류기간 확대, 재해보험 품목 및 대상 재해 확대와 같은 대안을 마련하고 있다. 그러나 단기적인 개별 문제 해결만큼이나 장기적인 관점에서 농업 생산성을 증대하고 농업 인프라를 개선하기 위한 방안 역시 중요하다. 대표적인 예로 스마트농업 육성을 들 수 있다. 스마트농업은 농업 분야 가치사슬 전반에 정보통신기술(Information and Communication Technology, ICT)을 적용하는 것을 의미한다. 스마트농업은 우리나라의 주요 정책 과제 중 하나로 농림축산식품부는 스마트팜 혁신밸리 4개소를 중심으로 2027년까지 온실과 축사의 30%를 스마트화 하는 목표를 설정하였다(MAFRA, 2023.01.04.). Byeon(2022)의 보고에 따르면 국내 스마트농업 연도별 보급실적은 2014년 이후 지속해서 증가하고 있다. 스마트팜

Corresponding author : Jongwook Lee

Tel : 02-880-4725

E-mail : jongwooklee@snu.ac.kr

은 2014년 405ha에서 2021년 6,485ha로, 스마트축사는 같은 기간 동안 23호에서 4,743호로 증가하였다. 2021년 기준 스마트축사 도입 농가는 전체 축산 전업농의 14.5%를 차지한다. 2023년 7월에는 「스마트농업 육성 및 지원에 관한 법률」이 제정되어 관련 사업과 정책의 법적 근거가 마련되었다.

스마트농업에 대한 관심이 증가함에 따라 스마트농업을 경제학적 관점에서 분석하는 시도도 활발하게 이루어지고 있다. Lio and Liu(2006)는 81개국의 패널자료로 생산함수를 추정하였다. ICT기술 도입은 국가간 농업 생산성 차이에 영향을 미치며, 상대적으로 적은 투입으로 비슷한 양의 농업 생산을 가능하게 하는 주요한 요인임을 입증하였다. Eaves and Eaves(2018)는 퀘백의 상추 온실 재배(Greenhouses)와 수직농장(Vertical Farming)의 수익성을 비교하였다. 수직농장은 실내에서 수경재배와 인공 햇빛을 사용하여 사다리처럼 생긴 칸마다 작물을 재배하는 농장을 뜻한다. 수직농장은 초기 시설 투자와 시설 전기료 및 내부 환경제어에 더 많은 비용이 투입되지만 총 비용은 온실 재배와 큰 차이가 없었고, 총 이익은 수직농장이 더 높을 것으로 확인되었다. 국내에서는 스마트팜과 스마트축사에서 수집한 환경 및 생육 정보를 이용한 보다 심층적인 연구도 등장하였다. Lee et al.(2022)은 토마토, 딸기, 파프리카에 대해 최적화 모형을 이용하여 스마트팜은 수확량 조정 등 가격 변화에 대응이 용이하여 실질적인 경영 성과 개선으로 이어질 수 있음을 시사하였다. Lee and Seol(2019)은 토마토 농가 실증 분석을 통해 스마트팜에서 수집한 생육 정보를 활용하여 생산성을 향상시킬 수 있음을 보였다. 그러나 Ha et al.(2021)는 고정비로 인해 일부 전라권 딸기 스마트팜 농가에서 투입 대비 산출 비효율이 발생하고 있으며 하우스 비닐, 포장 자재를 포함하는 기타재료비, 노동비, 비료비와 종자비가 효율성에 부정적인 영향을 미침을 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)방법으로 분석하였다.

스마트농업의 기술적 우수성과 경제적 유망성만큼 농촌 현장에서의 적용 가능성 역시 중요하다. 이에 다음 연구들은 어떤 특징을 가진 농가들이 스마트팜을 선택하는지 분석하였다. Noh and Lee(2022)는 농가 특성이 스마트팜 도입 결정에 어떤 영향을 미치는지 분석하기 위해 강원도농업기술원의 설문조사 자료를 이용하여 파프리카 농가를 대상으로 프로빗 모형을 적용하였다. 분석 결과 순이익과 영농경력에 스마트팜 도입에 양(+)의 영향을 미치지만, 나이는 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. Yoo et al.(2021)은 농산업 교육 패널조사 자료를 이용하여 스마트팜 도입 여부에 농가 소득, 가구주연령, 교육 만족도가 미치는 영향을 분석하였다. 해당 연구에서는 독립변수와 종

속변수 간 상관관계가 있을 것으로 보이는 투자 비용, 농기계 임차 여부 등의 변수를 통제변수로 추가하였다. 또한 구성에 따라 세 가지 모형을 설정하고 모형 간 추정 결과를 비교하였는데, 농가 특성 변인이 통제변수 수준에서 포함되어야 할 필요가 있다는 결론을 도출하였다. 농가 경영 측면에서는 Jo and Song(2023)이 구조방정식모형(PLS-SEM)을 이용하여 농작업 역량, 재무적 자원, 비재무적 자원 등이 스마트팜 경영성과에 긍정적 영향을 미치는 요인임을 밝혔고, 노동력 절감과 같은 비재무적 성과가 스마트팜 도입 만족도에 더 높은 영향을 미친다는 결론을 제시하였다. 해외 사례 중 국내 스마트농업과 비슷한 개념으로 정밀기술농업(Precision Agriculture Technology)이 있다. Barnes et al.(2019)은 정밀기술농업 도입에 미치는 영향 요인을 도입 농가와 그렇지 않은 농가 대상의 설문조사자료를 기반으로 분석하였다. 그 결과 국내 연구와 유사하게 높은 초기 비용과 불확실한 수익성이 기술 도입을 막는 진입 장벽으로 작용함을 밝혔다.

선행연구 검토를 통해 스마트농업은 대체로 생산성 및 농가 경영 성과에 긍정적 영향을 미칠 것으로 기대되나, 높은 초기 투자 비용과 불확실한 수익성은 기술 도입을 저해하는 요인임을 확인하였다. 농가 특성 또한 도입 의사결정에 영향을 미치는 것으로 보이므로 농가의 특성을 고려하여 실제 도입 시 발생할 결과에 대한 실증 분석의 필요성을 발견하였다.

이 연구의 주목적인 생산 단계에 정보화기기를 도입하는 것은 무작위로 배정되는 것이 아니라 농가의 선택에 의해 결정된다. 따라서 자기선택편의(Self-selection bias)가 발생하여 정보화기기 도입 여부와 농가 수입 간의 인과관계를 파악하는 것이 어렵다. 이 연구에서는 자기선택편의를 제어할 수 있는 성향점수매칭(Propensity Score Matching, PSM)을 이용하여 축산업 생산 단계(축사 관리)에서의 정보화기기 활용(스마트축사)이 축산 농가의 총판매금액에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 성향점수매칭은 비실험적 환경에서 관측 자료를 사용하여 효과성 평가를 하는 방법의 하나로 농가 기술 도입과 관련한 국내외 연구에 이용되어왔다. Mendola(2007)는 방글라데시의 농가를 대상으로 생산성이 높은 쌀 품종을 도입한 농가와 일반 품종을 재배한 농가 간의 소득 차이를 분석하였고 그 결과 기술 적용이 농가 빈곤을 줄이는 효과가 있음을 밝혔다. Wordofa et al.(2021)은 에티오피아의 농가를 대상으로 성향점수매칭 방법 중 최근접매칭(Nearest Neighbor Matching)을 이용하여 신기술 도입이 농가 소득에 긍정적 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 국내연구로는 Jun(2019)이 동일 방법론에 패널데이터를 이용한 이중차분법(Difference in differences)

을 적용하여 정부 정책이 귀농인의 소득에 미치는 효과를 분석하였고, Do et al.(2015)은 시설원에 농가의 ICT 도입을 처리 변수로 설정하여 원격제어 기술을 적극적으로 활용하는 농가의 조수입과 소득이 더 높다는 결과를 보였다.

이 연구에서는 정보화기기 사용이 축산농가 총판매금액에 미치는 영향을 분석하고자 생산 단계(축사 관리)에서 정보화기기를 사용하는 농가를 1세대 혹은 1세대 이상의 스마트축사로 정의한다. 2020년 농림어업총조사 자료를 이용하여 축산업 생산 단계에서 정보화기기를 활용하는 축산 농가(스마트축사)와 활용하지 않는 축산 농가를 구분한 후 성향점수매칭을 통해 매칭된 표본으로 순서형 로지스틱 회귀분석(Ordinal Logistic Regression)을 실시하여 정보화기기 사용의 효과를 추정한다. 생산 단계(축사 관리)에서 정보화기기를 활용한 스마트축사가 농가의 총판매금액에 미치는 영향과 더불어 판매 단계에서 정보화기기를 사용할 때의 시너지 효과도 함께 살펴보고자 한다.

이 연구는 다음 두 가지 측면에서 기존의 연구와 차별점이 있다. 첫째, 스마트농업의 연구 대상을 축산 농가로 확대한다. 기존의 경제학 분야의 스마트농업 연구는 토마토, 딸기, 파프리카 등의 작물 스마트팜 연구 위주로 진행되었다. 스마트축사는 스마트팜 못지않게 빠른 속도로 확산하고 있으며 스마트농업에서 중요한 역할을 함에도 불구하고 아직까지 스마트축사에 대한 관심과 연구는 상대적으로 활발하게 이루어지지 않았다. 둘째, 분석자료 측면에서 차별성을 갖는다. 농가 특성 변수를 이용한 기존의 대부분 스마트농업 연구는 표본 설문조사 자료를 이용하였다. 반면 이 연구는 국가기관의 전수 자료를 이용하여 많은 수의 축산 농가의 다양한 변수를 이용하여 분석한다는 장점이 있다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 성향점수매칭과 순서형 로지스틱 회귀분석을 중심으로 분석방법에 대해 설명한다. 제3장에서는 분석에 이용한 자료와 변수의 특성에 관해 제시하고, 제4장에서는 분석 결과를 정리하여 설명한다. 마지막 제5장은 연구의 결과를 요약하고 결론에 관해 논한다.

II. 분석방법

이 연구에서는 정보화기기의 활용이 농가의 총판매금액에 미치는 영향을 알아보고자 두 단계로 분석을 실시한다. 우선 정보화기기 활용 농가와 미활용 농가의 구조적 차이로 인한 편의를 보정하기 위해서 성향점수매칭을 활용한다. 이후 두 집단의 구조적 차이가 보정된 표본을 사용하여 정보화기기 활용의 효과를 추정한다. 종속변수인 농가

의 총판매금액이 13개 범주로 이루어져 있는 특성에 따라 순서형 로지스틱 회귀분석을 실시한다.

1. 성향점수매칭(P propensity Score Matching, PSM)

매칭(Matching)은 기본적으로 처치변수 이외의 여러 특성이 유사한 처치군과 비교군을 짝지어 처치효과(Treatment effect)를 분석하는 방법이다. 즉, 매칭은 처치를 받은 집단 혹은 참여한 집단(예: 정보화기기 활용 농가)과 가능한 가장 가까운 특성을 가진 처치를 받지 않은 집단 혹은 미참여 집단(예: 정보화기기 미활용 농가)을 선택하여 두 집단의 차이를 비교하는 방법이다. 처치(treatment)와 결과(outcome) 사이의 인과 효과를 추정하기 위해 가장 많이 사용되는 방법은 무작위비교연구(Randomized Controlled Trial, RCT)로 개개인의 특성과 관계없이 무작위로 처치를 배정하기 때문에 편향이 없는 인과 효과를 추정할 수 있다(Glewwe and Todd, 2022). 그러나 사회과학에서 이상적인 무작위비교연구를 진행하는 것은 여러 어려움이 있기 때문에 이미 수집된 자료를 통해 비실험적 환경에서 처치효과를 분석하기 위해 이중차분법, 도구변수, 성향점수매칭 등 다양한 계량경제학적 분석방법이 사용된다.

처치의 인과 효과는 동일한 집단이 처치를 받은 경우의 결과와 받지 않은 경우의 잠재적 결과의 차이로 추정할 수 있다. 그러나 현실에서는 두 잠재적 결과 중 처치 배정 혹은 선택에 따라 어느 하나의 결과만 관찰되기 때문에 나머지 하나는 항상 결측치(missing data)가 된다. 매칭을 통해 인위적으로 처치집단과 특성이 유사한 비교집단을 설정할 때 여러 특성을 동시에 고려하게 되면 비교해야 할 변수가 증가하여 모든 특성이 같은 짝을 찾기 어려워지는 차원의 저주(Curse of Dimensionality) 문제가 발생한다. 따라서 이 연구에서는 Rosenbaum and Rubin(1983)이 제안한 성향점수매칭을 사용하였다.

이 연구에서는 축산농가의 생산을 위한 정보화기기 활용($D = 1$: 활용/ $D = 0$: 미활용)의 효과를 성향점수매칭을 통해 분석한다. 여러 관찰 가능한 농가의 특성 변수들(Z)을 고려했을 때 개별 농가가 정보화기기를 활용할 조건부 확률을 다음과 같이 성향점수(P propensity Score)로 정의할 수 있다.

$$ps(Z) = Pr(D = 1|Z) \quad (1)$$

식 (1)의 $ps(Z)$ 는 성향점수로 여러 특성 변수 벡터(Z)를 조건으로 할 때 개별 농가가 정보화기기를 활용($D = 1$)할 조건부확률을 의미하며, 정보화기기 활용 여부($D \in \{0,1\}$)

를 이항(binary) 종속변수로 하여 로지스틱 회귀모형 또는 프로빗 회귀모형 등을 통해 성향점수를 추정할 수 있다. 이 때 특성 변수 벡터 Z 는 정보화기기 활용에 영향을 줄 수 있는 특성 변수들로 설정한다(Becker and Ichino, 2002). 이 연구에서는 여러 농가 및 영농 특성 변수를 공변인으로 설정하여 로지스틱 회귀모형을 통해 성향점수를 추정하였다.

추정한 성향점수를 토대로 정보화기기를 활용한 농가(처치집단)와 비슷한 성향점수를 갖는 정보화기기 미활용 농가(비교집단)를 매칭하여 짝지어진 두 집단의 결과를 비교해 처치집단의 평균처치효과(Average Treatment Effect on the Treated, ATT)를 분석할 수 있다(Glewwe and Todd, 2022). 성향점수매칭 방법으로는 최근접매칭(Nearest Neighbor Matching), 반경매칭(Caliper Matching), 층화매칭(Stratification Matching), 커널매칭(Kernel Matching) 등이 있다(Glewwe and Todd, 2022; Heckman et al., 1997; Li, 2013). 최근접매칭은 두 집단을 무작위로 정렬시킨 후, 처치군의 첫 번째 관측치와 가장 가까운 성향점수를 갖는 관측치를 비교군에서 선택하는 방법을 말한다. 최근접매칭의 경우 연구자의 선택에 따라 일대일 매칭 또는 일대다 매칭으로 설정할 수 있다. 반경매칭은 최근접매칭과 기본적으로 동일한 방법이지만 연구자가 선택한 반경 내에서만 처치군과 성향점수 차이에 따라서 비교군의 관측치를 하나 이상 선택할 수 있다. 층화매칭은 대상을 성향점수에 따라 몇 개의 층(strata)을 나눈 뒤 각각의 층별로 ATT를 추정한 후 층별, 층 내에 위치한 처치군 관측치 수에 따라 가중치를 주어 앞서 추정한 ATT 평균을 구하는 방법이다. 이 연구에서는 성향점수를 추정하여 가장 직관적인 매칭 방법인 최근접매칭과 반경매칭을 실시한 후 각각의 추정 결과를 비교하였다. 최근접매칭으로는 일대일 매칭과 가장 가까운 비교군 3개까지 매칭하는 일대다 매칭을 활용하였고 반경매칭은 3개의 캘리퍼(Caliper)값(0.1, 0.05, 0.01)을 설정하여 매칭하였다.

2. 순서형 로지스틱 회귀모형(Ordinal Logistic Regression Model)

순서형 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 3개 이상의 항목으로 나누어지고, 항목 간 순서가 있는 경우에 적합하다. 이 모형의 중요한 가정 중 하나로 종속변수의 범주에 대해 모수의 추정치가 바뀌지 않는다는 평행 추세 가정(Parallel line assumption)이 있다(Erkan and Yildiz, 2014). 아래의 순서형 로지스틱 회귀모형의 분석 식은 Kleinbaum et al.(2010)을 참고하였다.

범주형 종속변수인 농가 총판매금액을 $Y \in \{1, 2, \dots, 13\}$,

관심변수인 정보화기기 활용 여부를 $D \in \{0, 1\}$, k 개의 독립 변수 벡터를 $X = [X_1 X_2 \dots X_k]$ 라고 할 때, 종속변수 Y 가 $j \in \{2, 3, \dots, 13\}$ 이상의 범주에 속할 조건부 확률은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$P(Y \geq j | D, X) = \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha_j + \delta D + \beta'X))}, j \in \{2, 3, \dots, 13\} \quad (2)$$

종속변수 Y 가 j 이상의 범주에 속할 승산(Odds)은 식 (3)과 같이 종속변수 Y 가 j 이상의 범주에 속할 조건부 확률과 종속변수 Y 가 j 미만의 범주에 속할 조건부 확률의 비율로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} odds(Y \geq j | D, X) &= \frac{P(Y \geq j | D, X)}{1 - P(Y \geq j | D, X)} \\ &= \frac{P(Y \geq j | D, X)}{P(Y < j | D, X)} \\ &= \exp(\alpha_j + \delta D + \beta'X), j \in \{2, 3, \dots, 13\} \end{aligned} \quad (3)$$

예를 들어, 동일한 조건(D, X)을 가진 농가가 120만 원 이상의 농가 총판매금액($Y \geq 3$)을 얻을 확률을 120만 원 미만의 농가 총판매금액($Y < 3$)을 얻을 확률로 나눈 값이 120만 원 이상의 농가 총판매금액을 얻을 경우의 승산으로 나타낼 수 있다. 승산을 로그 변환하면 식 (4)와 같이 로지스틱 회귀분석의 계수를 선형으로 표현할 수 있다.

$$\ln(odds) = \ln \left[\frac{P(Y \geq j | D, X)}{P(Y < j | D, X)} \right] = \alpha_j + \delta D + \beta'X, j \in \{2, 3, \dots, 13\} \quad (4)$$

순서형 로지스틱 회귀분석 결과를 보다 직관적으로 해석하기 위해, 관심변수인 D 혹은 설명변수 $X_{i \in \{1, 2, \dots, k\}}$ 의 변화에 따른 승산의 변화를 나타내는 승산비(Odds Ratio, OR)로 표현할 수 있다. 관심변수 D 의 변화, 즉 정보화 기기를 활용하지 않는 경우($D = 0$)와 활용한 경우($D = 1$)의 승산비를 식 (5)로 표현할 수 있으며, X_{-i} 를 설명변수 $X_{i \in \{1, 2, \dots, k\}}$ 를 제외한 $k - 1$ 개의 독립변수 벡터라고 할 때 X_i 의 값이 $X_i = X_i^*$ 에서 $X_i = X_i^{**}$ 으로 변화할 때 종속변수 Y 가 j 이상의 범주에 속할 승산의 비율을 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} OR &= \frac{P(Y \geq j | D = 1, X) / P(Y < j | D = 1, X)}{P(Y \geq j | D = 0, X) / P(Y < j | D = 0, X)} \\ &= \frac{\exp(\alpha_j + \delta \cdot 1 + \beta'X)}{\exp(\alpha_j + \delta \cdot 0 + \beta'X)} = \exp(\delta), j \in \{2, 3, \dots, 13\} \end{aligned} \quad (5)$$

$$OR = \frac{P(Y \geq j | X_i = X_i^{**}, D, \mathbf{X}_{-i}) / P(Y < j | X_i = X_i^{**}, D, \mathbf{X}_{-i})}{P(Y \geq j | X_i = X_i^*, D, \mathbf{X}_{-i}) / P(Y < j | X_i = X_i^*, D, \mathbf{X}_{-i})}$$

$$= \frac{\exp(\alpha_j + \beta_i X_i^{**} + \delta D + \beta'_{-i} \mathbf{X}_{-i})}{\exp(\alpha_j + \beta_i X_i^* + \delta D + \beta'_{-i} \mathbf{X}_{-i})} = \exp(\beta_i (X_i^{**} - X_i^*)) \quad (6)$$

, $j \in \{2, 3, \dots, 13\}, i \in \{1, 2, \dots, k\}$

이 연구에서 사용한 종속변수인 총판매금액은 순서를 나타내는 범주형 변수이므로 성향점수매칭 후 순서형 로지스틱 회귀모형을 사용하여 정보화기기 활용에 따른 효과를 추정하였다.

III. 분석자료

이 연구에서는 통계청에서 제공하는 ‘2020년도 농림어업총조사’ 자료를 사용한다. 이 자료는 5년을 주기로 수집되는 설문조사로 농가, 임가 및 여가의 정의에 부합하는 국내 모든 농림어가를 대상으로 하는 조사이다. 따라서 농가별 다양한 정보를 얻을 수 있으며 정확성도 비교적 높다는 이점이 있다. 이 연구에서 사용한 2020년도 가구 조사의 경우 농촌지역 응답자가 주로 고령층이며 정보화 능력이 낮은 점을 감안하여 조사원이 같은 해 12월 1일부터 15일까지 가구를 방문하여 면접조사를 실시하였다. 국내 농림어업을 경영하는 가구와 가구원의 규모, 분포, 구조 및 특성을 총체적으로 파악하기 위해 조사된 설문으로 농산 어촌 부문별 세부 정책 수립 및 평가 활용의 기초자료로 사용될 수 있다. 동 자료는 개별 농가의 가구주와 가구원의 특성(나이, 성별, 교육수준)과 영농 특성(농업경력연수, 사육두수, 판매금액 등)을 동시에 파악할 수 있다는 장점이 있다. 다만, 5년마다 연속적으로 시행되어 온 설문조사임에도 매 회마다 가구 식별 변수가 상이하어 개별 농가 단위의 패널자료 구축이 어렵다는 한계점이 있다.

일반적으로 스마트농업은 기술 수준에 따라 1, 2, 3세대로 구분된다. 1세대 스마트농업은 정보기술(IT)을 활용해서 시설 환경을 모니터링하고 스마트폰으로 원격제어 하는 수준이다. 2세대 스마트농업은 정밀한 생육 관리가 가능한 단계로 빅데이터, 인공지능, 사물인터넷(IoT)을 기반으로 한다. 3세대 스마트농업은 인공지능, 로봇 등을 이용하여 첨단기술 융합을 통해 무인, 자동화가 이루어진 모델이다. 축사의 경우 가축 사양관리와 내부 환경관리 장비가 모두 보급된 농가를 2세대로, 그 외를 1세대로 구분한다. 축사의 가축 사양관리 장비로는 낙농가의 착유기를 비롯한 음수 관리기, 사료 자동급이기 등이 있으며, 온도, 습도 측정기

는 환경관리 장비에 속한다. 현재 양돈, 낙농, 한우, 양계(육계, 산란계)를 포함하여 양봉 및 곤충 사육 농가에서도 스마트축사가 운영되고 있다. 이 연구는 축산업 생산 단계(축사관리)에서 정보화기기를 활용한 스마트축사 여부가 축산 농가의 판매수입에 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 농업총조사 문항 중 농림업과 관련하여 정보화기기 활용 여부에 대한 문항을 활용하였다. 해당 문항은 중복응답이 가능한 문항이다. 동 문항에 대해 ‘농림업 재배 시설 및 축사 관리’를 선택했을 경우 생산 단계에서 스마트축사를 활용한 농가로 보았다. 동일 문항에 대해 ‘농림산물 판매’를 선택했을 경우에는 판매 단계에서 정보화기기를 활용한 것으로 보았다. 해당 문항의 관련 보기는 농림업 시설 및 축사 자동화 제어에 정보화기기 활용 여부를 확인하기 위한 목적으로 2020년도에 신규 추가되었다.

2020년 기준 농업총조사의 전체 농가 수는 1,035,193호이다. 이 중 정보 확인이 어려운 농가와 작물만을 재배하거나 작물과 더불어 가축을 같이 키우는 농가 등을 제외하였고, 축종에 따라 농가를 구분하였다. 이는 축산업만으로 발생하는 총판매금액을 분석하고 축종에 따라 농가의 선택과 결과가 어떻게 다르게 나타나는지 파악하기 위함이다. 최종적으로 지난 1년 동안의 농가 판매금액이 가장 높은 경영형태가 축산인 9,020호의 농가를 분석 대상으로 선정하였다. 단일 축종을 키우는 농가는 한육우(한우, 육우), 젖소 암컷, 돼지, 닭(산란계, 육계), 오리, 기타가축(염소, 토끼, 사슴, 개)로 구분하였다. 여러 축종을 함께 키우는 농가는 총 783호로 별도로 구분하였다. 이는 한 축종만을 키우는 농가와 여러 축종을 함께 키우는 농가는 위험에 대한

52 정보화 기기 보유

2020년 12월 1일 현재, 보유하고 있는 정보화기기를 모두 표시하여 주십시오.

① 컴퓨터·노트북 ③ 태블릿 PC
② 스마트폰 ④ 없음 → 54 항

53 정보화 기기 활용

지난 1년간 농림업과 관련하여 정보화 기기를 활용하였습니까?

· 해당하는 보기(○~◎)에 모두 표시

① 예 → 농림업 재배 시설 및 축사 관리
 농림산물 판매
 농촌·산촌 관광 사업(주말농원, 민박 등)
 농림업 경영 관리
 농림업 관련 정보 수집(시세, 기상 등)

② 아니요

Resource: Statistics Korea
Figure 1. 2020 Agricultural, Forestry, and Fisheries Census Survey Questionnaire

Table 1. Number of livestock

Livestock	Specific	Observations (No)	Ratio (%)
Hanwoo and Cattle	Hanwoo, Cattle	4,598	50.98
Cow	-	623	6.91
Pig	-	1,163	12.89
Poultry	Broiler	760	8.43
	Hen	404	4.48
Duck	-	543	1.62
Others	Goat, Rabbit, Deer, Dog	146	6.02
Multiple species	-	783	8.68
Total		9,020	100.00

선호와 같은 관측 불가능한 특성이 다를 수 있기 때문이다. 이때, 꿀벌과 곤충은 일반 가축과 단위가 달라 축산농가에 서 제외하였다. 축종별 세부 관측치 수는 Table 1과 같다.

분석에 포함된 변수의 설명은 Table 2에 작성하였다. 농업총조사에서는 농가의 총판매금액에 대해 ‘판매없음’부터 ‘5억 원 이상’까지 총 13개의 범주로 구성된 범주형 자료 만을 제공한다. 따라서 이 연구에서도 범주형 종속변수를 이용하였다. 독립변수는 농가 특성 변수와 영농 특성 변수 로 나눌 수 있으며, 농가 특성 변수에는 농가의 기본 특성 을 나타내는 나이, 성별, 교육연수가 있다. 농가 특성 변수 는 모두 가구 내에서 농업 전반을 책임지고 경영을 총괄하 는 사람을 의미하는 경영주를 기준으로 한다. 나이는 제곱 항을 추가하였으며 경영주 성별(여성 경영주)은 여성을 1, 남성을 0으로 하는 이항 변수로 구성하였다. 경영주 교육

Table 2. Variable description

Category	Variable	Type	Description
Dependent variable	Farm sales revenue	Categorical	1 = None 2 = Under 1.2M 3 = 1.2M ~3M 4 = 3M~5M 5 = 5M~10M 6 = 10M~20M 7 = 20M~30M 8 = 30M ~50M 9 = 50M~70M 10 = 70M~100M 11 = 100M~200M 12 = 200M~500M 13 = Over 500M
Farm operator characteristics	Age	Continuous(years)	
	Age ²	Continuous(years)	
	Gender	Dummy	1 = Female, 0 = Male
	Years of education	Continuous(years)	
Farming specific variables	Years of farming experience	Continuous(years)	
	Region	Categorical	Used for standard error calculation clustered at the Si/Gun/Gu level
	Livestock	Categorical	0 = Hanwoo and Cattle 1 = Cow 2 = Pig 3 = Broiler 4 = Hen 5 = Duck 6 = Others (Goat, Rabbit, Deer, Dog) 7 = Multiple species
Farming specific variables	Number of livestock	Continuous(heads)	
	Livestock × Number of livestock	Continuous	
ICT variables	Adoption of ICT for production	Dummy	1 = Yes, 0 = No
	Adoption of ICT for sales	Dummy	1 = Yes, 0 = No

Notes: Farm sales revenue is measured in one million KRW (1,000,000 KRW).

연수 변수는 졸업을 기준으로 미취학 0년, 초등학교 6년, 중학교 3년, 고등학교 3년, 대학 2년, 대학교 4년, 석사 2년, 박사 4년으로 계산하였다. 영농 특성 변수로는 영농경력, 영농지역, 축종, 총 가축 수가 있다. 영농경력은 경영주 기준이며, 영농지역은 시군구 단위를 사용하였다. 단, 영농지역은 표준오차 계산 시에만 활용하였다. 축종은 위에서 언급한 것과 같이 총 여덟 가지로 재구성하였다. 총 가축 수는 단일 축종을 키우는 8,237호의 농가는 해당 축종의 사육 두수이며, 여러 축종을 키우는 783호의 농가는 모든 축종의 사육 두수 합계를 의미한다. 그 외 스마트농업과 관련된 변수로 축사를 포함한 생산 단계에서 시설관리에 정보화기기를 사용하는지 여부와 축산물 판매에 정보화기기를 사용하는지 여부를 나타내는 정보화기기 사용 여부

변수를 포함하였다. 성향점수 추정 시에는 생산 단계(축사 관리)에서의 정보화기기 사용 여부를 종속변수로 두어 로지스틱 회귀분석을 실시하였고, 판매 단계에서의 정보화기기 사용 여부를 설명변수로 사용하였다. 또한 총판매금액에 대한 로지스틱 회귀분석 시에는 생산 단계 정보화기기 사용, 판매 단계 정보화기기 사용, 그리고 두 변수의 교차항을 설명변수로 사용하였다.

Table 3의 총판매금액 분포를 보면 축종별로 양상이 다르다. 예를 들어, 소는 다른 가축에 비해 ‘판매없음’의 비중이 높았다. 이는 본 설문은 2020년 한 해를 기준으로 조사한 총판매금액을 나타낸 것으로, 한육우의 상대적으로 긴 출하일령으로 인해 조사 연도 기준으로 판매가 없는 농가가 다른 축종의 농가보다 더 많았던 것으로 해석할 수

Table 3. Distribution and proportion of farm sales revenue by livestock type

Farm sales revenue	Livestock								
	Hanwoo and Cattle	Cow	Pig	Broiler	Hen	Duck	Others	Multiple species	Total
None	264 (5.7%)	8 (1.3%)	11 (0.9%)	6 (0.8%)	16 (4.0%)	3 (2.1%)	23 (4.2%)	31 (4.0%)	362 (4.0%)
Under 1.2M	138 (3.0%)	1 (0.2%)	6 (0.5%)	0 (0.0%)	11 (2.7%)	1 (0.7%)	42 (7.7%)	39 (5.0%)	238 (2.6%)
1.2M~3M	161 (3.5%)	7 (1.1%)	3 (0.3%)	13 (1.7%)	13 (3.2%)	1 (0.7%)	73 (13.4%)	36 (4.6%)	307 (3.4%)
3M~5.0M	275 (6.0%)	11 (1.8%)	8 (0.7%)	16 (2.1%)	8 (2.0%)	2 (1.4%)	62 (11.4%)	38 (4.9%)	420 (4.7%)
5M~10M	459 (10.0%)	13 (2.1%)	25 (2.1%)	27 (3.6%)	22 (5.4%)	6 (4.1%)	91 (16.8%)	63 (8.0%)	706 (7.8%)
10M~20M	581 (12.6%)	26 (4.2%)	42 (3.6%)	38 (5.0%)	22 (5.4%)	12 (8.2%)	75 (13.8%)	70 (8.9%)	866 (9.6%)
20M~30M	513 (11.2%)	31 (5.0%)	43 (3.7%)	58 (7.6%)	25 (6.2%)	10 (6.8%)	77 (14.2%)	77 (9.8%)	834 (9.2%)
30M~50M	638 (13.9%)	39 (6.3%)	93 (8.0%)	105 (13.8%)	35 (8.7%)	27 (18.5%)	49 (9.0%)	80 (10.2%)	1,066 (11.8%)
50M~70M	429 (9.3%)	40 (6.4%)	91 (7.8%)	103 (13.6%)	30 (7.4%)	34 (23.3%)	20 (3.7%)	60 (7.7%)	807 (8.9%)
70M~100M	355 (7.7%)	63 (10.1%)	101 (8.7%)	116 (15.3%)	28 (6.9%)	24 (16.4%)	15 (2.8%)	66 (8.4%)	768 (8.5%)
100M~200M	423 (9.2%)	101 (16.2%)	130 (11.2%)	146 (19.2%)	46 (11.4%)	15 (10.3%)	7 (1.3%)	72 (9.2%)	940 (10.4%)
200M~500M	250 (5.4%)	175 (28.1%)	171 (14.7%)	82 (10.8%)	52 (12.9%)	6 (4.1%)	9 (1.7%)	90 (11.5%)	835 (9.3%)
Over 500M	112 (2.4%)	108 (17.3%)	439 (37.7%)	50 (6.6%)	96 (23.8%)	5 (3.4%)	0 (0.0%)	61 (7.8%)	871 (9.7%)
Total	4,598 (100%)	623 (100%)	1,163 (100%)	760 (100%)	404 (100%)	146 (100%)	543 (100%)	783 (100%)	9,020 (100%)

Notes: Farm sales revenue is measured in one million KRW (1,000,000 KRW). Measured in farm households. Share in the total number of farm households by livestock type is in parentheses.

Table 4. Demographic characteristics by research groups

Category	Variable	Adoption of Information Technology Device for Production			Estimated difference	p-value
		Adopted average	Non-Adopted average	Whole sample average		
Dependent variable	Farm sales revenue	9.51 (3.00)	7.69 (3.28)	8.11 (3.31)	-1.81 (0.35)	< 0.001
Farm operator characteristics	Age	54.09 (11.30)	59.69 (11.36)	58.40 (11.56)	5.60 (0.28)	< 0.001
	Gender	0.09 (0.29)	0.11 (0.31)	0.10 (0.30)	0.01 (0.01)	0.120
	Years of education	12.88 (2.86)	11.01 (3.54)	11.44 (3.49)	-1.88 (0.09)	< 0.001
Farming specific variables	Years of farming experience	19.41 (12.89)	22.62 (14.66)	21.88 (14.34)	3.22 (0.36)	< 0.001
	Number of livestock	14,296.70 (54,636.52)	8,810.76 (73,227.20)	10,073.38 (69,426.71)	-5,748.94 (1,735.78)	0.002
Observations		2,076	6,944	9,020	-	-

Notes: Standard errors are in parentheses. The p-value is calculated using a Two-sample t-test.

있다. 소와 오리는 대체로 중간 구간인 1천만 원에서 1억 원 사이에 많이 분포되어 있는 형태이다. 젓소 암컷과 돼지, 육계와 산란계는 5천만 원 이상에 해당하는 농가가 많아 오른쪽으로 갈수록 증가하는 형태를 보인다. 기타 가축은 다른 축종에 비해 판매금액이 적은 편에 속하며, 100만 원대의 비중이 높다. 마지막으로 여러 축종을 키우는 농가는 판매금액 구간 전반에 균일하게 분포하고 있음을 확인할 수 있다.

생산 단계에서 정보화기기를 사용하는 2,076호 축산 농가와 생산 단계에서 정보화기기를 사용하지 않는 6,944호 축산 농가를 비교하여 변수별 기초통계량과 t-검정 결과를 Table 4에 정리하였다. 생산 단계에서 정보화기기를 활용한 축산 농가의 총판매금액 평균은 ‘5천~7천만 원’ 범주에 해당하는 반면 미활용 농가의 총판매금액 평균은 ‘2천~3천만 원’ 범주에 해당한다. 축종, 지역 등을 고려하지 않은 단순 평균값이지만 생산 및 축사 관리에 정보화기기를 사용하는 축산 농가의 평균 판매 금액이 그렇지 않은 농가보다 약 두 단계 높다고 볼 수 있다.

정보화기기의 사용에 있어서는 대체로 나이가 어릴수록, 교육 수준이 높을수록 정보화기기에 접근 및 사용이 용이할 것으로 기대할 수 있다. 두 변수의 평균값을 살펴보면 이와 일치함을 확인할 수 있다. 경영주의 평균 나이는 정보화기기 미활용 농가에서 더 높았고, 교육연수는 정보화기기 활용 농가에서 더 높았다. 경영주 성별은 두 집단에서 통계적 차이 없이 남성의 비중이 더 높은 것으로 나타났다. 영농 평균 경력은 생산 단계에서 정보화기기를

활용한 축산 농가에서 더 낮았는데 영농경력이 짧을수록 신기술 도입에 더 유연한 태도를 가진다고 볼 수 있다. 마지막으로 사육두수 평균은 생산 및 축사 관리에 정보화기기를 활용한 농가에서 더 높았다. 이는 소규모의 축사보다 가축 수가 많은 대규모 축사에서 가축 사양관리와 내부 환경관리 장비의 필요성이 더 크기 때문으로 해석된다.

생산 단계에서 정보화기기를 활용한 축산 농가와 활용하지 않은 농가의 주요 변수 평균값의 차이를 t-검정한 결과 성별을 제외한 모든 변수에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(유의수준<0.05).¹⁾ 정보화기기 활용 농가와 미활용 농가의 평균값이 같다는 귀무가설이 기각되었으므로 생산 단계에서 정보화기기를 사용하는 농가와 그렇지 않은 농가 사이에 유의한 특성 차이가 있다는 것을 의미한다. 정보화기기 사용 선택에 있어 농가의 자기선택편의가 존재할 수 있기 때문에 두 집단 간의 여러 특성 차이가 유사하도록 조정하는 매칭 방법이 필요함을 시사한다.

1) 순서형 변수인 ‘농가 총판매금액’에 대해서는 t-검정과 더불어 카이제곱 검정을 시행하였다. 그 결과 카이제곱 통계량 534.89(p-value <0.001)로 귀무가설이 기각되었다. 두 검정 결과가 일치하였으며, 정보화기기 활용 농가와 미활용 농가 간에 유의미한 차이가 있는 것으로 확인되었다.

2) 설명변수 x_j 에 대해 나머지 설명변수들을 회귀 분석했을 때 얻어진 결정계수를 R_j^2 라하면 VIF는 $\frac{1}{(1-R_j^2)}$ 이다. 변수 간에 상관성이 강할수록 결정계수값이 커지므로, VIF도 커지게 된다. VIF를 이용하여 다중공선성 확인 시 명확한 판단 기준이 존재하지는 않는다. 일반적으로 VIF가 5보다 크면 다중공선성을 의심할 만하며, 10보다 큰 경우 다중공선성이 있다고 본다(Kwon, 2015).

IV. 분석결과

본격적인 분석에 앞서 설명변수 간의 다중공선성 여부를 검정하기 위해 교차항을 제외한 변수의 분산팽창인수 (Variance Inflation Factor, VIF)를 계산하였다. 상세 값은

Table 5. Variance inflation factor

Variable	VIF	Tolerance(1/VIF)
Age	1.79	0.56
Gender	1.02	0.98
Years of education	1.52	0.66
Years of farming experience	1.49	0.67
Cow	1.09	0.92
Pig	1.13	0.88
Broiler	1.17	0.86
Hen	1.11	0.91
Duck	1.02	0.98
Others (Goat, Rabbit, Deer, Dog)	1.07	0.94
Multiple species	1.07	0.93
Number of livestock	1.13	0.89
Adoption of ICT for production	1.11	0.9
Adoption of ICT for sales	1.06	0.95
Mean VIF	1.20	-

Table 6. Logistic regression ICT and explanatory variables

Variable	Coefficient	Variable	Coefficient	Variable	Coefficient
Age	0.020 (0.018)	Broiler	0.556*** (0.119)	Pig × No. of livestock	-0.002*** (0.0004)
Age ²	-0.0004** (0.0002)	Hen	-0.014 (0.155)	Broiler × No. of livestock	-0.002*** (0.0004)
Gender	0.028 (0.092)	Duck	-0.342 (0.340)	Hen × No. of livestock	-0.002*** (0.0004)
Years of education	0.122*** (0.011)	Others	-0.978*** (0.192)	Duck × No. of livestock	-0.002*** (0.0004)
Years of farming experience	0.003 (0.003)	Multiple species	0.360*** (0.115)	Others × No. of livestock	-0.001** (0.001)
Hanwoo and Cattle	-	Number of livestock	0.002*** (0.0004)	Multiple species × No. of livestock	-0.002*** (0.0004)
Cow	0.210 (0.171)	Hanwoo and Cattle × No. of livestock	-	Adoption of ICT for sales	1.489*** (0.120)
Pig	0.443*** (0.140)	Cow × No. of livestock	0.002 (0.002)	Constant	-2.834*** (0.495)
Observations			9,020		
Wald chi ² (21)			655.65***		

Notes: Standard errors in parentheses are clustered at the Si/Gun/Gu level. Statistical significance at the 1, 5, and 10 percent levels is indicated by ***, **, and *.

Table 5에 나타내었으며, 그 결과 분석에 활용된 변수의 VIF가 모두 2 미만으로 다중공선성 문제가 발생하지 않는 것으로 확인되었다.²⁾

1. 성향점수 추정

2020년 기준 스마트축사를 운영 중인 농가의 농가 특성 변수와 영농 특성 변수를 독립변수로 성향점수를 산출하기 위해 로지스틱 회귀분석을 통해 Table 6와 같이 추정하였다. 로지스틱 회귀분석 결과 경영주의 최종 교육연수가 높을수록, 사육두수가 많을수록 그리고 판매 단계에서 정보화기기를 사용하는 농가는 통계적으로 유의미한 수준으로 생산 단계에서 정보화기기를 활용하는 경향을 보였다. 축종에 있어서는 소 농가보다 돼지와 육계 농가에서 생산 단계에 정보화기기를 더 많이 도입하는 경향을 보였다. 그러나 사육 두수와 교차항에서는 돼지, 육계 및 다른 축종보다 소 농가의 사육두수가 증가할 때 정보화기기를 더 많이 사용하는 추세를 확인했다. 이는 소의 마리 당 가격이 가장 높으므로 가축 한 마리 당 가치를 반영한 결과로 보이며, 사육두수 증가에 따라서는 소 농가가 다른 축종에 대비해서 가장 민감하게 정보화기기 도입에 반응할 가능성을 시사한다. 다만, 분석에 사용된 자료가 패널 자료가 아닌 횡단면 자료임을 감안할 때, 이를 인과관계로 해석하기에는 다소 어려움이 있다.

농가 특성 변수 중 농업 경력연수와 경영주의 나이는 통계적 유의성은 낮으나 정보화기기 사용과 양의 상관관계를 보인다. 경영주 나이의 경우 일차항에서는 증가하다 이차항(제곱항)에서는 음의 상관관계를 보여, 경영주의 나이가 증가할 때 정보화기기 사용이 증가하지만 증가폭은 점점 감소하면서 특정 연령이 지나는 경우 정보화기기 사용이 감소함을 의미한다. 고령층은 상대적으로 정보화기기 사용에 익숙하지 않으므로 이는 보편적으로 예상할 수 있는 결과로 보인다.

2. 공통영역 산출

경영주 특성과 영농 특성을 고려하여 로지스틱 회귀분석으로 추정한 정보화기기 활용 농가와 미활용 농가의 성향점수 분포는 아래 Figure 2와 같다. 가로축은 성향점수를, 세로축은 빈도수를 나타내고 있다. 빨간색 그래프는 정보화기기를 사용하는 농가를 뜻하고 파란색은 정보화기기를 사용하지 않는 농가를 나타낸다. 두 집단의 성향점수 분포에서 공통영역(Common support)에 위치한 두 집단의 관측치들은 서로 특징이 상이하지 않다는 가정을 만족한다(Bryson et al., 2002). 만약 정보화기기를 사용하는 농가의 성향점수 분포와 사용하지 않는 농가의 성향점수 분포가 공통영역 내에 존재하지 않는다면, 매칭이 이뤄지지 못하고 해당 농가는 분석에서 제외되어 표본수가 감소하게 된다. 이 연구에서 사용한 자료의 경우, Figure 2를 통해 두 집단의 성향점수 대부분이 공통영역 내에 위치함을 확인할 수 있고 이를 통해 두 집단 대부분의 관측치들을 정보의 손실 없이 매칭에 사용할 수 있음을 알 수 있다.

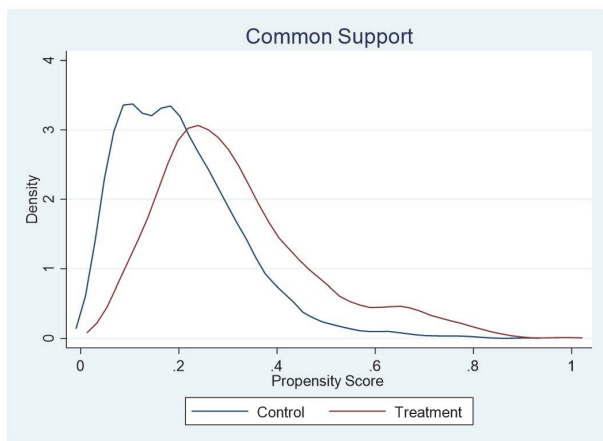


Figure 2. Common Support

3. 매칭된 농가의 특성 비교

이 연구에서 사용한 두 가지 매칭 방법에 의해 매칭된 정보화기기 활용 농가와 미활용 농가의 특성이 서로 상이하지 않게 매칭이 되었는지 확인하고자 t-검정을 이용하여 주요 설명변수에 대해 balance test를 실시했다. Table 7에 나타난 t-검정 결과를 통해 매칭 후 편의가 대체로 감소하였고 두 집단 간 평균 차이가 유의하지 않게 되었음을 확인할 수 있다.

4. 순서형 로지스틱 회귀분석 결과

Table 8는 성향점수매칭을 통한 순서형 로지스틱 회귀분석의 주요 결과를 보여준다.³⁾ 매칭 방법에 따라 관측치의 개수가 달라 가장 많게는 정보화기기 미활용 농가를 3개까지 매칭한 최근접매칭에서 5,427개의 관측치를 분석에 사용하였고, 가장 적게는 0.01이하 반경매칭법으로 3,572개의 관측치를 사용하였다. Table 8는 순서형 로지스틱 회귀분석의 승산비를 나타내었고, 매칭 후의 표준오차는 부트스트랩 법을 통해 재산출한 값을 제시하였다. 성향점수로 매칭된 표본으로 계산한 표준편차는 매칭 전 전체 표본의 표준편차와 오차가 있어 부트스트랩 방법으로 500번의 반복추출을 통해 표준오차를 산출했다. 순서형 로지스틱 회귀분석의 승산비 해석에 있어서는 종속변수의 각 범주에 따라 모수의 추정치가 달라지지 않는다는 가정 하에 해석했다. 매칭 전 전체 농가를 대상으로 분석한 처치 효과와 다섯 가지의 매칭 방법을 이용하여 분석한 결과, 승산비는 모두 유의수준 0.01 하에서 1 이상으로 유사한 경향을 보였다. 이는 생산 단계에서 정보화기기를 사용하는 농가는 그렇지 않은 농가보다 총판매금액이 한 단계 높을 승산(Odds)이 약 1.7배 더 높다는 것을 의미한다.

스마트농업의 개념처럼 농가의 정보화기기 사용은 생산 외에 다른 가치사슬 단계에서도 발생할 수 있다.⁴⁾ 이에 생산 단계와 판매 단계에서 정보화기기를 함께 사용할 때 시너지 효과가 발생하는지 교차항을 통해 확인하였다. 결과적으로 매칭 전과 후에서 모두 통계적으로 유의미하지 않았고

3) 분석에 사용된 변수 전체에 대한 분석 결과는 부록으로 첨부하였다.

4) 정보화기기 활용 범위를 확장하기 위해 판매 단계에서의 정보화기기 사용 여부를 처치변수로 성향점수 매칭 및 순서형 로지스틱 회귀분석을 진행해보았다. 그 결과 매칭 전과 모든 매칭 방법 적용 후 승산비가 1 이상이었으며 유의수준 0.01 하에서 통계적으로 유의하였다. 결과적으로 정보화기기 사용은 축산업 가치사슬의 어느 단계에서든 농가 판매금액 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

Table 7. Results of balance test after matching for selected variables

Category	Variable	Matching method	Adopted average	Non-Adopted average	%bias	t	p-value
Farm operator characteristics	Age	Nearest Neighbor (1:1)	54.00	54.082	0.100	0.020	0.982
		Nearest Neighbor (1:3)	54.090	54.340	-2.300	-0.720	0.470
		Caliper Matching (0.1)	54.090	54.412	-2.900	-0.930	0.354
		Caliper Matching (0.05)	54.085	54.429	-3.100	-0.990	0.322
		Caliper Matching (0.01)	54.123	54.426	-2.700	-0.870	0.383
	Gender	Nearest Neighbor (1:1)	0.093	0.094	-0.300	-0.110	0.915
		Nearest Neighbor (1:3)	0.093	0.093	.100	0.020	0.986
		Caliper Matching (0.1)	0.093	0.087	2.300	0.760	0.448
		Caliper Matching (0.05)	0.094	0.086	2.600	0.870	0.385
		Caliper Matching (0.01)	0.094	0.086	2.700	0.870	0.385
	Years of education	Nearest Neighbor (1:1)	12.882	12.891	-0.300	-0.110	0.916
		Nearest Neighbor (1:3)	12.882	12.897	-0.500	-0.180	0.859
		Caliper Matching (0.1)	12.882	12.898	-0.600	-0.180	0.855
		Caliper Matching (0.05)	12.878	12.897	-0.700	-0.220	0.829
		Caliper Matching (0.01)	12.863	12.896	-1.200	-0.370	0.709
Farming specific variables	Years of farming experience	Nearest Neighbor (1:1)	19.405	19.210	1.500	0.490	0.623
		Nearest Neighbor (1:3)	19.405	19.554	-1.100	-0.380	0.708
		Caliper Matching (0.1)	19.405	19.260	1.100	0.370	0.715
		Caliper Matching (0.05)	19.405	19.269	1.000	0.340	0.733
		Caliper Matching (0.01)	19.427	19.296	1.000	0.330	0.742

Table 7. (Continued)

Category	Variable	Matching method	Adopted average	Non-Adopted average	%bias	t	p-value
Farming specific variables	Number of livestock	Nearest Neighbor (1:1)	14,297	14,411	-0.100	-0.040	0.968
		Nearest Neighbor (1:3)	14,297	14,584	-0.400	-0.110	0.910
		Caliper Matching (0.1)	14,297	17,795	-3.400	-0.930	0.354
		Caliper Matching (0.05)	14,224	17,810	-3.400	-0.950	0.343
		Caliper Matching (0.01)	14,133	17,683	-3.400	-0.940	0.349
ICT variable	Adoption of ICT for sales	Nearest Neighbor (1:1)	0.137	0.096	12.900	4.170	0.000
		Nearest Neighbor (1:3)	0.137	0.129	2.800	0.790	0.429
		Caliper Matching (0.1)	0.137	0.119	5.900	1.760	0.078
		Caliper Matching (0.05)	0.137	0.119	5.800	1.720	0.086
		Caliper Matching (0.01)	0.134	0.119	4.900	1.450	0.148

Table 8. Ordinal logistic regression. ICT and farm sales revenue (Odds ratio)

Farm sales revenue	(1) Before Matching	(2) Nearest Neighbor (1:1)	(3) Nearest Neighbor (1:3)	(4) Caliper Matching (0.1)	(5) Caliper Matching (0.05)	(6) Caliper Matching (0.01)
Adoption of ICT for production	1.773*** (0.092)	1.714*** (0.095)	1.659*** (0.084)	1.784*** (0.116)	1.784*** (0.116)	1.776*** (0.116)
Adoption of ICT for sales	1.526*** (0.188)	1.392** (0.184)	1.212 (0.163)	1.456** (0.264)	1.458** (0.264)	1.455** (0.264)
Adoption of ICT for production × Adoption of ICT for sales	0.856 (0.139)	0.954 (0.152)	1.078 (0.182)	0.906 (0.181)	0.905 (0.180)	0.912 (0.182)
Observations	9,020	4,152	5,427	3,582	3,579	3,572
Wald chi ² (23)	2896.09	1256.10	1933.92	1258.29	1296.88	1933.92

Notes: Standard errors in parentheses in column (1) are clustered at the Si/Gun/Gu level. Bootstrap standard errors are in parentheses in column (2)-(6). Statistical significance at the 1, 5, and 10 percent levels is indicated by ***, **, and *.

그 값도 최근접매칭을 제외하고는 1보다 작은 음의 상관관계를 보였다. 축산업의 특성상 판매 단계에 정보화기기를 사용하는 농가 수가 적은 데다가 특히 육류는 계통출하와 같은 다양한 유통 절차가 존재하므로 정보화기기 사용을 판매 단계까지 확대하는 것의 효과가 두드러지지 않을 수 있다고 보인다. 총판매금액 구간별로 해당 구간에 속할 확

률을 파악하고자 평균한계효과(Average Marginal Effects)를 Table 9에 정리하였다.⁵⁾

Table 9에서 매칭 전 전체 농가를 대상으로 한 생산 단계 정보화기기 사용의 평균 한계효과는 ‘3천~5천만 원’

5) 지면의 한계로 총판매금액 구간별 처치 효과 계수만 표로 나타냈으며, 사용한 통제 변수는 매칭에 사용한 변수와 동일하나 제곱항과 교차항 변수는 제외하였다.

Table 9. Ordinal logistic regression. ICT and farm sales revenue (Average Marginal Effects)

Farm sales revenue	(1) Before Matching	(2) Nearest Neighbor (1:1)	(3) Nearest Neighbor (1:3)	(4) Caliper Matching (0.1)	(5) Caliper Matching (0.05)	(6) Caliper Matching (0.01)
None	-0.020*** (0.002)	-0.013*** (0.001)	-0.014*** (0.001)	-0.014*** (0.002)	-0.014*** (0.002)	-0.014*** (0.002)
Under 1.2M	-0.011*** (0.001)	-0.007*** (0.001)	-0.007*** (0.001)	-0.007*** (0.001)	-0.007*** (0.001)	-0.007*** (0.001)
1.2M~3M	-0.013*** (0.001)	-0.007*** (0.001)	-0.008*** (0.001)	-0.008*** (0.001)	-0.008*** (0.001)	-0.008*** (0.001)
3M~5M	-0.014*** (0.001)	-0.010*** (0.001)	-0.010*** (0.001)	-0.011*** (0.001)	-0.011*** (0.001)	-0.011*** (0.001)
5M~10M	-0.019*** (0.002)	-0.015*** (0.002)	-0.016*** (0.001)	-0.016*** (0.002)	-0.016*** (0.002)	-0.016*** (0.003)
10M~20M	-0.015*** (0.002)	-0.018*** (0.002)	-0.017*** (0.002)	-0.020*** (0.003)	-0.019*** (0.003)	-0.019*** (0.003)
20M~30M	-0.007*** (0.001)	-0.014*** (0.002)	-0.012*** (0.001)	-0.014*** (0.002)	-0.014*** (0.002)	-0.014*** (0.002)
30M~50M	0.0004 (0.001)	-0.011*** (0.002)	-0.007*** (0.001)	-0.011*** (0.002)	-0.011*** (0.001)	-0.011*** (0.002)
50M~70M	0.006*** (0.001)	-0.003** (0.001)	0.0001 (0.001)	-0.003** (0.001)	-0.003** (0.001)	-0.002** (0.001)
70M~100M	0.010*** (0.001)	0.003** (0.001)	0.005*** (0.001)	0.003** (0.001)	0.003** (0.001)	0.003** (0.001)
100M~200M	0.019*** (0.002)	0.013*** (0.002)	0.015*** (0.001)	0.014*** (0.002)	0.014*** (0.001)	0.014*** (0.002)
200M~500M	0.025*** (0.003)	0.026*** (0.003)	0.024*** (0.002)	0.026*** (0.004)	0.026*** (0.004)	0.026*** (0.004)
Over 500M	0.038*** (0.004)	0.056*** (0.007)	0.046*** (0.005)	0.060*** (0.008)	0.059*** (0.008)	0.059*** (0.008)
Observations	9,020	4,152	5,427	3,582	3,579	3,572

Notes: Farm sales revenue is measured in one million KRW (1,000,000 KRW). Standard errors in parentheses are clustered at the Si/Gun/Gu level. Statistical significance at the 1, 5, and 10 percent levels is indicated by ***, **, and *.

구간을 제외하고 모든 구간에서 유의수준 0.01 하에서 통계적으로 유의했다. 정보화기기를 활용한 농가는 그렇지 않은 농가보다 총판매금액이 ‘판매없음’에 위치할 확률이 2%p 감소했으며, ‘2천~3천만 원’ 구간에 위치할 가능성은 0.7%p 감소하는 것으로 나타났다. 정보화기기의 사용은 해당 구간에 위치할 확률을 감소시키는 것으로 보이며, 반대로 ‘5천~7천만 원’ 구간부터 ‘5억 원 이상’ 구간에 위치할 확률은 0.6%p부터 4%p까지 통계적으로 의미있게 증가하였다. 이는 정보화기기의 사용이 농가의 총판매금액 증가에 긍정적인 영향을 미침을 시사한다. 일대일 매칭의 경우에도 ‘5천~7천만 원’ 구간과 ‘7천~1억 원’ 구간(유의수준<0.05)을 제외한 모든 구간의 처치 효과가 0.01 유의수준 하에서 통계적으로 유의하였다. 축사 관리에 정보화기

기를 도입한 농가는 도입하지 않은 농가 대비 연간 총판매금액이 ‘판매없음’부터 ‘5천~7천만 원 구간’에 위치할 가능성이 구간별 약 0.1%p부터 3%p까지 낮게 나타났다. 반면, ‘7천~1억 원 구간’부터는 해당 구간에 위치할 확률이 점점 증가하여 총판매금액이 5억 원 이상일 가능성이 약 5.6%p 증가하는 것으로 나타났다. 그 외 반경매칭과 최근 접매칭에 따른 결과도 같은 추세를 보였다. 결과적으로 매칭 전 전체 표본을 대상으로 한 순서형 로지스틱 회귀분석과 더불어 여러 매칭 방법을 통해 두 집단 간 차이를 통제 한 모형에서도 생산 단계에서의 정보화기기 사용과 총판매금액 사이에 일관적인 양(+)의 상관관계를 확인할 수 있었다. 다만, 매칭 전 분석에서는 ‘3천~5천만 원’ 구간을 기준으로 두 집단의 총판매금액 차이가 달라졌으나, 매칭 후

분석에서는 ‘5천~7천만 원’ 구간을 기준으로 두 집단의 총 판매금액 차이가 달라지는 모습이 나타났다. 이는 매칭을 통한 자기선택편의를 보정한 결과로 볼 수 있다. 결과를 종합하면 횡단면 자료 분석이라는 한계에도 불구하고 종속변수와 독립변수의 관계가 특정 모형에 의존하는 것이 아니라 일관적임을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

이 연구는 통계청의 2020년 농업총조사 미시 자료를 이용한 축산 농가의 정보화기기 활용이 농가의 총판매금액에 미치는 영향에 대한 것이다. 생산 단계에 해당하는 축사 관리에 정보화기기를 사용하는지 여부를 기준으로 스마트축사를 정의하였고 9,020개의 표본을 정보화기기 사용 여부에 따라 두 집단으로 구분하였다. 두 집단은 정보화기기 활용 여부 외 연령, 농업 종사 경력 등 여러 특성들이 상이하게 나타나 자기선택편의를 보정하기 위해 두 가지 성향점수매칭 방법을 이용하여 두 집단 간의 특성을 사후적으로 무작위비교연구와 유사하게 구성하였다. 종속변수가 판매금액 구간으로 범주형 변수에 속하므로 순서형 로지스틱 회귀분석을 통해 정보화기기 사용 여부에 따른 효과를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 매칭 이전과 이후 모형 모두에서 정보화기기를 사용하는 농가가 그렇지 않은 농가보다 축산 총판매금액이 클 확률이 더 높았다. 그러나 생산 단계에서의 정보화기기 사용과 판매 단계에서의 정보화기기 사용 사이의 시너지 효과는 발견하지 못했다. 둘째, 판매금액 변수의 각 구간(13개)별 평균한계효과를 분석한 결과, 정보화기기를 사용한 농가는 그렇지 않은 농가에 비해 ‘판매없음’부터 ‘3천~5천만 원’ 구간(매칭 전) 혹은 ‘5천~7천만 원’ 구간(매칭 후)에 위치할 확률은 대체로 감소했으며, 그 이상의 판매 수입이 나타날 확률은 증가하는 것으로 나타났다. 셋째로, 이 연구에서 사용한 모든 모형에서 정보화기기의 사용이 농가 총판매금액에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 또한 정보화기기 사용의 한계효과는 농가의 총판매금액 규모가 큰 구간일수록 더 크게 나타났다.

축산업을 비롯한 국내 농업의 스마트화는 관련 정책에 힘입어 향후 더욱 확대될 것으로 전망된다. 농업 정책의 주요 목적은 농가의 삶의 질 향상 및 소득 증대를 통한 생활 안정이다. 이에 축사 관리에 정보화기기를 도입하는 것이 농가 판매금액에 긍정적인 영향을 미친다는 이 연구의 결과는 스마트농업 관련 정책의 목적과 필요성에 시사하는 바가 있다. 이 연구는 생산 단계에 해당하는 축사 관리

를 주요 분석 대상으로 하지만 판매 단계에서 정보화기기 사용과의 시너지 효과를 확인한 결과 통계적으로 유의한 결과는 얻지 못했다. 결과적으로 생산 단계에서 정보화기기 도입은 자기 선택 편향을 고려하더라도 농가 총판매금액에 긍정적 영향을 미치지만 판매 등 가치사슬의 확장에 있어서는 아직은 효과를 판단하기 어려운 단계이다.

이 연구에서 활용한 농업총조사는 국가통계기관에서 조사한 자료이므로 신뢰도가 높고 다양한 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 스마트축사를 구분하는 생산 단계 정보화기기 사용 여부 문항이 2020년도부터 추가되면서 패널자료 구성이 어렵다는 한계가 존재한다. 정보화기기 사용의 인과 효과를 분석하기 위해 성향점수 매칭 방법을 사용하여 일반 회귀분석 시 발생할 수 있는 자기선택편의로 인해 나타나는 효과의 편의를 보정하고자 했다. 이 연구 결과에 이어서 향후 패널자료 구성 후 이중차분법이나 성향점수매칭-이중차분법 등의 연구 방법을 적용한다면 생산 단계에서의 정보화기기 활용과 총판매금액 간의 인과 관계를 보다 명확하게 추정할 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구는 자료의 특성 상 농가 총판매금액에 관해 분석하였으나, 초기투자 비용이 높은 스마트농업의 특성 및 선행연구 결과로 미루어 보아 농가 이윤을 종속변수로 분석하는 경우 다른 결과가 도출될 수 있다. 또한 총판매금액이 범주형 변수로만 제공되는 자료이기 때문에 성향점수 매칭 후 일반적인 선형 회귀분석이 아닌 순서형 로지스틱 회귀분석을 사용할 수밖에 없다는 한계가 있다. 같은 판매금액 구간에 존재하는 농가일지라도 실제 판매금액에는 차이가 있을 수 있다는 잠재적 문제가 있다. 각 농가의 판매금액 혹은 농가 수입을 원 단위로 수집한 정보를 이용한 추가 연구가 이루어진다면 정보화기기 도입의 효과를 금액 수준으로 자세히 추정하고 다양한 방법론을 적용하여 결과를 비교해볼 수 있을 것이다. 마지막으로 향후 노지 및 시설원에 농가 혹은 작물 재배와 축산을 동시에 하는 농가로 확대하여 분석하거나 농업 가치사슬 연계 및 단계별 정보화기기 사용의 인과적 효과에 대해 분석한다면 다양한 시사점을 도출할 수 있을 것이라 기대한다.

References

1. Barnes, A.P. et al., 2019, Influencing Incentives for Precision Agricultural Technologies within European Arable Farming Systems, *Journal*, Vol 93, 66-74.
2. Becker, S.O. and Ichino, A., 2002, Estimation of Average Treatment Effects Based on Propensity Scores,

- The Stata Journal, Vol 2(4), 358-377.
3. Bryson, A. et al., 2002, The Use of Propensity Score Matching in the Evaluation of Active Labour Market Policies, Department for Work and Pensions, London, UK.
 4. Byeon, J., 2022, Analysis on the Status and Future Development of Smart Farming Projects, 31-9700486-001958-01, National Assembly Budget Office, Seoul, 27 (in Korean).
 5. Do, J. et al., 2015, The Performance Analysis of Horticulture Farms' Ict Convergence Technology and Plan to Apply Consulting, The Korean Society of Management Consulting, Vol 15(4), 193-205.
 6. Eaves, J. and Eaves, S., 2018, Comparing the Profitability of a Greenhouse to a Vertical Farm in Quebec, Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie, Vol 66(1), 43-54.
 7. Erkan, A. and Yildiz, Z., 2014, Parallel Lines Assumption in Ordinal Logistic Regression and Analysis Approaches, International Interdisciplinary Journal of Scientific Research, Vol 1(3), 8-23.
 8. Glewwe, P. and Todd, P., 2022, Impact Evaluation in International Development: Theory, Methods, and Practice, World Bank Publications, Washington DC, 13-231.
 9. Ha, J. et al., 2021, The Analysis of the Management Efficiency and Impact Factors of Smart Greenhouse Business Entities - Focusing on the Business Entities of Strawberry Cultivation in Jeolla-Do -, Journal of Korean Society for Quality Management, Vol 49(2), 213-231.
 10. Heckman, J.J. et al., 1997, Matching as an Econometric Evaluation Estimator: Evidence from Evaluating a Job Training Programme, The review of economic studies, Vol 64(4), 605-654.
 11. Jo, Y. and Song, K., 2023, A Study on the Relationships in Management Performance, Determinants and Satisfaction with the Smart Farms in Controlled Horticulture, Korean Journal of Agricultural Management and Policy, Vol 50(3), 435-478.
 12. Jun, I., 2019, An Analysis of the Effects of Return-to-Farm Related Policies on the Household Income of People Returning to Farming, Journal of Rural Development, Vol 42(1), 103-135.
 13. Kim, D. and Park, H., 2023, 2022 Agricultural and Rural Public Perception Survey, Korea Rural Economics Institute, Naju-si (in Korean).
 14. Kleinbaum, D.G. et al., 2010, Logistic Regression: A Self-Learning Text, Springer, 590.
 15. Kwon, S., 2015, Exploring a Way to Overcome Multicollinearity Problems by Using Hierarchical Construct Model in Structural Equation Model, Journal of Information Technology Applications & Management, Vol 22(2), 149-169.
 16. Lee, J. and Seol, B., 2019, Intelligent Smart Farm a Study on Productivity: Focused on Tomato Farm Households, Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship, Vol 14(3), 185-199.
 17. Lee, S. et al., 2022, Developing a Smart Farm Management Optimization Model Incorporating Price Forecasts, Korean Journal of Food Marketing Economics, Vol 39(2), 41-71.
 18. Li, M., 2013, Using the Propensity Score Method to Estimate Causal Effects: A Review and Practical Guide, Organizational Research Methods, Vol 16(2), 188-226.
 19. Lio, M. and Liu, M.C., 2006, Ict and Agricultural Productivity: Evidence from Cross-Country Data, Agricultural Economics, Vol 34(3), 221-228.
 20. MAFRA, 2023.01.04., Enhance Food Self-Sufficiency, Increase Agricultural Exports! Reduce Distribution Costs and Farming Burdens! , Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Published online. <https://mafra.go.kr/home/5109/subview.do?sessionId=322hu2-ziMxp95qrXGcahKMJ.inst11?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGaG9tZSUyRjc5MiUyRjU2NTAyMCUyRmFydGNsVmllldy5kbyUzRg%3D%3D> (in Korean).
 21. Mendola, M., 2007, Agricultural Technology Adoption and Poverty Reduction: A Propensity-Score Matching Analysis for Rural Bangladesh, Food policy, Vol 32(3), 372-393.
 22. Noh, H.S. and Lee, Y., 2022, Factors Associated with Covid-19 at the Community Level: Analysis of Factors Influencing Decision to Introduce Smartfarm into Paprika Farm in Gangwon Province, Journal of Regional Studies and Development Vol 31(1), 79-90.
 23. Rosenbaum, P.R. and Rubin, D.B., 1983, The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects, Biometrika, Vol 70(1), 41-55.
 24. Wordofa, M.G. et al., 2021, Adoption of Improved Agricultural Technology and Its Impact on Household Income: A Propensity Score Matching Estimation in Eastern Ethiopia, Agriculture and Food Security, Vol 10(5), 1-12.

25. Yoo, D. et al., 2021, A Study on the Determinants of Smart Farm Adoption in the Participants of Farmers' Education: The Role of Interaction Effect of Farm Types, Journal of Agricultural Education and Human Resource Development, Vol 53(4), 27-49.

-
- Received 31 January 2024
 - Finally Revised 21 February 2024
 - Accepted 21 February 2024

정보화기기 활용이 국내 축산농가 총판매금액에 미치는 영향 분석

Supplementary Table 1. Ordinal logistic regression. ICT and farm sales revenue (Odds ratio)

Farm sales revenue	(1) Before Matching	(2) Nearest Neighbor (1:1)	(3) Nearest Neighbor (1:3)	(4) Caliper Matching (0.1)	(5) Caliper Matching (0.05)	(6) Caliper Matching (0.01)
Age	1.066*** (0.013)	1.032 (0.022)	1.031 (0.020)	1.028 (0.027)	1.028 (0.027)	1.030 (0.0275)
Age ²	0.999*** (0.0001)	1.000** (0.0002)	1.000** (0.0002)	1.000 (0.0002)	1.000 (0.0002)	1.000 (0.0002)
Gender	0.769*** (0.050)	0.895 (0.080)	0.862* (0.068)	0.970 (0.099)	0.971 (0.099)	0.973 (0.099)
Years of education	1.056*** (0.008)	1.065*** (0.014)	1.055*** (0.013)	1.063*** (0.015)	1.063*** (0.015)	1.063*** (0.015)
Years of farming experience	1.018*** (0.002)	1.023*** (0.003)	1.023*** (0.003)	1.024*** (0.0035)	1.024*** (0.003)	1.024*** (0.003)
Hanwoo and Cattle	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)
Cow	4.589*** (0.987)	4.878*** (1.192)	4.446*** (1.186)	5.225*** (1.658)	5.223*** (1.657)	5.379*** (1.714)
Pig	13.74*** (2.921)	14.91*** (3.421)	13.92*** (3.593)	17.28*** (4.884)	17.28*** (4.891)	15.07*** (4.299)
Broiler	5.853*** (0.678)	5.432*** (0.911)	5.370*** (0.697)	5.935*** (0.938)	5.933*** (0.938)	6.028*** (0.948)
Hen	5.204*** (1.661)	4.073*** (1.091)	4.400*** (1.202)	4.947*** (1.627)	4.943*** (1.626)	5.023*** (1.651)
Duck	4.325*** (0.789)	3.478*** (1.178)	3.536*** (0.897)	3.123*** (1.097)	2.749** (1.146)	2.787** (1.161)
Others (Goat, Rabbit, Deer, Dog)	0.547*** (0.054)	0.434*** (0.073)	0.502*** (0.082)	0.428*** (0.077)	0.428*** (0.077)	0.432*** (0.078)
Multiple species	2.995*** (0.357)	3.745*** (0.508)	3.256*** (0.453)	4.105*** (0.614)	4.103*** (0.614)	4.168*** (0.631)
Number of livestock	1.012*** (0.001)	1.008*** (0.001)	1.010*** (0.001)	1.009*** (0.001)	1.009*** (0.001)	1.009*** (0.001)
Hanwoo and Cattle × Number of livestock	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)
Cow × Number of livestock	1.003 (0.002)	1.004 (0.003)	1.004 (0.001)	1.003 (0.003)	1.003 (0.003)	1.003 (0.003)
Pig × Number of livestock	0.988*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)
Broiler × Number of livestock	0.988*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)
Hen × Number of livestock	0.988*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)
Duck × Number of livestock	0.988*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)
Others × Number of livestock	0.989*** (0.001)	0.993*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.992*** (0.001)
Multiple Species × Number of livestock	0.988*** (0.001)	0.992*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)	0.991*** (0.001)
Adoption of ICT for production	1.773*** (0.092)	1.714*** (0.095)	1.659*** (0.084)	1.784*** (0.116)	1.784*** (0.116)	1.776*** (0.116)
Adoption of ICT for sales	1.526*** (0.188)	1.392** (0.184)	1.212 (0.163)	1.456** (0.264)	1.458** (0.264)	1.455** (0.264)
Adoption of ICT for production × Adoption of ICT for sales	0.856 (0.139)	0.954 (0.152)	1.078 (0.182)	0.906 (0.181)	0.905 (0.180)	0.912 (0.182)
Observations	9,020	4,152	5,427	3,582	3,579	3,572
Wald chi ² (23)	2896.09	1256.10	1933.92	1258.29	1296.88	1933.92

Notes: Standard errors in parentheses in column (1) are clustered at the Si/Gun/Gu level. Bootstrap standard errors are in parentheses in column (2)-(6). Statistical significance at the 1, 5, and 10 percent levels is indicated by ***, **, and *.