

기후변화가 축산 생산성에 미치는 영향

-거세우, 낙농, 양돈, 산란계, 육계를 대상으로-

이현경¹, 박희민¹, 신용광^{1*}

¹한국농수산대학

Effects of Impact of Climate Change on Livestock Productivity

- For bullocks, dairy, pigs, laying hens, and broilers -

H. K. Lee¹, H. M. Park¹ and Y. K. Shin^{1*}

¹*Korea National College of Agriculture and Fisheries, 1515, Kongjwipatjwi-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54874, Korea*

Abstract

The global impact of climate change on agriculture is now increasing. The purpose of this study was to investigate the effect of climate change on livestock productivity. The variables that have the greatest influence on climate change factors were examined through previous studies and expert surveys. We also used the actual productivity data of livestock farmers to investigate the relationship with climate change. In order to evaluate the climate for changes in livestock productivity, national representative data (such as bullocks, dairy, pigs, laying hens, and broilers) were surveyed in Korea. Also, to select and classify evaluation indexes, we selected climate change factor variables as prior studies and studied the weighting factor of climate variable factors. In this study, the researchers of industry, academia, and farmers in the livestock sector conducted questionnaires on the indicators of vulnerability to climate change using experts, and then weighed the selected indicators using the hierarchical analysis process (AHP). In order to verify the validity of the evaluation index, was examined using domestic climate data (temperature, precipitation, humidity, etc.). Correlation and regression analysis were performed. The empirical relationship between climate change and livestock productivity was examined through this study. As a result, we used data with high reliability of statistical analysis and found that there are significant variables.

Key Words : Livestock productivity, Climate change, AHP, Regression analysis

*교신저자 한국농수산대학 ykshin22@korea.kr

I. 서론

1. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 전 세계적으로 기후변화로 인한 농축산업의 환경 변화는 악영향으로 이어지고 있어 이에 대한 피해를 최소화하기 위하여 기후변화에 대응·적응 조치하기 위한 중요성이 지속적으로 강조되고 있는 상황이다. 최근 지구온난화 등의 기후변화로 인하여 나타나는 환경 변화는 농축산업의 피해로 이어지고 있어 농축산업과 농촌의 지속가능한 발전을 위하여 기후변화를 고려한 농축산 정책이 요구되고 있다. 그러나 기후변화가 농축산업에 미치는 영향에 대한 국가 차원의 실태조사가 현재까지는 심도 있게 다루어지고 있지 않아, 기후변화에 대비한 농축산 정책을 펼칠 수 있는 여건이 미비한 상황이다. 이에 농림축산식품부 장관은 지구온난화 등 기후변화가 농축산업·농축산어촌에 미치는 영향과 기후변화에 따른 취약성을 5년마다 조사·평가하여 공표하고 그 결과를 정책수립의 기초자료로 활용하도록 법적 근거를 완비하였다(농업·농촌 및 식품산업 기본법 제47조의 2).

또한 '한반도 미래기후변화 전망보고서'에 따르면 지구 온난화는 더욱 심각해져 21세기 후반(2071~2100) 한반도 기온은 현재(1981~2010)보다 5.7°C 상승하며, 폭염과 열대야 등 기후관련 극한지수도 크게 악화될 것으로 전망(기상청, 2012)하고 있다. 폭염일수는 현재 연간 7.3일 수준에서 21세기 후반기에는 30.2일, 열대야 일수는 현재 2.8일 수준에서 37.2일로 크게 증가할 것으로 예측하고 있다.

이러한 기후변화가 농업에 미치는 영향을 살펴보면 한반도 온난화에 따른 농작물 재배 한계선이 사과와 전남·경남 북부에서 전국적으로 확대되어 재배되고 쌀보리는 충청 이남에서 온난화의

영향으로 경기북부로 북상하고 있으며, 제주도에 서만 재배되던 원예작물(한라봉, 월동배추, 겨울감자 등)이 남해안지역으로 북상하고 있는 실정이다(국립농업과학원, 2007). 그리고 이러한 농작물 재배 한계선이 북상함에 따라 사과, 복숭아, 포도, 콩 등에 피해를 주는 갈색여치와 벼 줄무늬잎마름병과 같은 바이러스 병으로 새로운 병해충 피해 지역 또한 북상되어 확대되고 있으며 이러한 기후변화의 영향으로 일조량 부족에 의한 벼와 과수의 품질저하 및 수량 감소 현상으로 생산적 피해가 나타나고, 시설채소(오이, 호박, 풋고추 등), 대파 등은 생산량이 증가하게 되어 시장가격이 하락하는 등의 경제적 피해가 발생하고 있다. 현재 축산분야에 있어서도 기후변화가 축산 생산 환경에 영향을 주고 있다는 연구들이 많이 보고되고 있다.

하지만 축산분야에서의 연구들은 거의 기후 특정요소에 대한 생태적 인과관계에 대한 연구들이 대부분이며 기후변화요소들이 축산의 생산성을 평가할 수 있는 생산변수에 어느 정도의 영향력을 지니고 있는지에 대한 연구는 이루어지고 있지 않다.

따라서 이러한 근거로 본 연구는 기후변화가 축산 생산성 변화에 미치는 영향 정도를 파악하기 위하여 기후변화 요소들 중 가장 큰 영향력을 지닌 변수들을 선행연구와 전문가 조사를 통해 알아보고, 현재 축산 농가들의 생산성 자료 등을 이용하여 이들과의 실질적 관계성에 대해서 알아보려 하였다.

2. 연구 범위

가축 등 농업 생산성 변화에 관한 기후 평가를 위해 국내에서 축종별(한우(거세우), 낙농, 양돈, 산란계, 육계) 등의 전국 대표 자료들을 조사하였다. 통계분석에 대한 신뢰도 향상을 위해 전국 시도 지역별 축종별 생산성 관련 정보 수집을 수

행하였으며 신뢰도와 정확도가 높은 기관, 지자체, 조합 및 관련기업 등 다양한 경로를 이용하여 정보수집의 양적·질적 확대에 집중하여 추진하였다. 또한 평가지표를 선정하고 분류하기 위하여 선행연구로서 기후변화 요인 변수선정 연구, 기후변화 요인 변수의 가중치 계산연구 등을 살펴보았다.

본 연구는 축산부문에 있어서 산학연 및 농민 등의 전문가를 활용하여 기후변화 취약성 평가지표에 대한 설문조사를 실시한 후 계층분석과정(AHP)을 이용하여 선정된 평가지표의 가중치를 산정하였다. 이에 평가지표의 타당성을 검증하기 위해 국내 기후, 강수량 및 일조시간의 변화를 조사하여 축산부문에서의 각 축종별 생산성에 영향을 주는지에 대해 조사된 축산분야 농가들의 생산성 데이터를 통해 관계성을 알아보았다. 관계성을 알아보기 위해 축종별 생산성을 대표할 수 있는 주요 생산지표(사료섭취량, 사료요구율, 사료비, 도체중, 육질, 유생산량, 유지율, MSY, 육성률, 산란율 등)들과 선행연구들을 통해 결정된 기후변화 변수(기상청의 지역별·월별자료)들 간의 상관관계 및 회귀 분석을 수행하였다.

3. 선행연구

기후변화가 농업에 미치는 영향과 관련하여 국내외 선행연구들을 살펴보면, 우선적으로 국내의 경우 농촌진흥청(2007)은 기후온난화에 따른 농업환경의 영향평가 및 적응대책과 관련 농작물 재배시대 변화, 월동환경변화에 따른 작물별 병해충 발생 진단, 농업의 생산성 변화 예측, 기후변화 적응품종 개발 등을 제시하였다. 심교문 등(2008)의 경우 기후변화에 따른 농업환경영향평가, 생물계절 및 농업기후자원의 변화와 농업환경변화 등에 대한 분석결과를 체계적으로 제시하였다. 김창길 등(2010)은 농산물 수량변동에 기상의 영향력을 파악하기 위해 미곡을 사례로 기술요인과 기

상요인을 고려하여 수량 변동을 분석하였고, 2002~2003년과 2006~2007년의 단순정체에는 기상요인이 크게 작용하였다는 결론을 도출해 내었다. 심교문 등(2010)은 온도상승에 따른 벼의 수량변화를 연구한 결과, 온도가 30년 평년 기후(1971~2000년)보다 2°C와 3°C 상승하는 조건에서는 전국적인 평균 벼 수량은 평년 기후에 의해 추정된 것보다 각각 4.5%와 8.2% 감소하는 것으로 전망하였고, CO₂ 배증에 따라 온도 상승을 가장 높게 예측하는 UKMO 전 지구 기후변화모형을 적용하여 전국적으로 벼 수량을 모의하였을 때는 평년기후에 적용하여 추정한 수량보다 전국 평균 14.9% 감소를 나타낸다고 하였다. 이상호(2012)는 기후변화에 따른 농업부문 적응능력의 다중속성을 분석하기 위하여 AHP기법을 적용하여 농업부문 적응능력별 주요 속성의 우선순위와 가중치를 도출해내었다. 김명현 등(2014)은 신기후변화 시나리오에 따른 지역별 농업부문의 취약성 평가 지표를 개발하고, 농업부문 전체, 벼, 사과, 한우우 등에 대해 시군별 자료를 바탕으로 취약성을 평가하고 농업부문 취약성 평가 프로그램을 개발하여 제시하였다.

기후변화가 우리나라 농산물 및 사료작물 생산에 미치는 영향을 분석한 선행연구들은 다음과 같다. 구희성(2009) 본 연구에서는 기후변화 모델(GCMs), GISS 모델을 이용하여 열 스트레스가 축산업에 미치는 영향을 연구하였다. 지은숙, 박규현(2015)은 기후변화가 축산, 특히 가축에 미치는 영향을 사료, 생산성, 건강, 생물다양성의 네 가지 부분으로 나누어 조사하고 그에 따른 대응방안에 대해 조사하였다. 기후변화에 의한 영향은 기후변화에 노출되는 횟수와 시간, 기후변화에 대한 민감성, 기후변화에 적응할 수 있는 능력, 기후변화를 완화시킬 수 있는 기술 등에 따라 달라진다고 하였다. 기후변화요인 선행연구로는 국립축산과학원(2014) THI를 이용한 기후변화 시나리오 RCP 8.5를 적용한 축산분야 기후변화 영향

예측 모델을 이용하였다. 젓소, 돼지, 가금의 기후변화 영향평가를 수행하여 예측 및 대응기술을 개발하고자 하였다. 신 시나리오를 적용한 기상조건 하에서의 열 취약 중소가축의 기후변화 영향평가연구를 수행하였으며, 가축의 심부 또는 무선 원격데이터 로깅시스템을 구축하고 활용하였다. 관련지수(THI)를 적용하여 최초의 축산분야 젓소용 온난화 영향 예측모델(전자기후도)을 개발하였다. 한국농촌경제연구원(2015) 스케일재조정과 Z-스코어 방법을 이용하여 도별, 시군별로 기후변화의 농업에 미치는 취약성을 평가하였다. 대리변수 간 가중치를 적용하기 위해 AHP 분석을 시도하였다. AHP 분석을 위해 기후노출, 민감도, 적응능력 등 3가지로 유형화하였고, 취약성 평가와 관련된 세부 요소를 총 24개로 구성하여 전문가들을 대상으로 설문조사를 하였다. AHP 분석 결과는 대리변수 간 가중치를 적용하는 데 이용되었다.

해외선행연구들을 살펴보면, 유엔환경계획(UNEP)은 취약성을 별도로 취급하지 않고, 기후변화의 영향 연구에서 영향, 취약성, 적응을 연계하여 설명하고 있으며, 기후변화 영향평가는 반드시 경제적 고려를 거치게 되는데, 경제적 분석은 농산물의 생산자와 소비자 모두를 고려해야 한다고 하였다. O'Brien 등(2004)은 인도의 농업부문 기후변화 취약성 평가를 위해 기후변화 노출을 고려한 민감도 지수와 적응능력 지수를 결합하여 취약성 프로파일을 작성하였다. 여기서는 농업생산성에 영향을 주는 적응능력 측정을 위한 생물·물리적 변수에는 토양조건(토양질과 깊이), 지하수 이용가능성, 사회경제적 변수는 인적, 사회적 자본수준과 대체 경제활동의 존재 유무가 포함되었으며, 기술적 요인은 관개면적 비율과 인프라 개발 지수에 의한 인프라의 질을 변수로 사용하였다.

해외에서는 열 환경이 가축의 생산성 및 건강성에 미치는 영향에 대한 연구가 지속적으로 수

행되고 있다(Berman, 2005; Jordan, 2003; Mader, 2003; Ravagnolo et al., 2000; West, 2003). 열, 추위, 습도, 사육밀도 등의 환경스트레스에 의해 돼지와 소의 면역력 감소를 보고하였으며(Salak-Johnson과 McGlone, 2007), 고온 노출 시 가금류의 총백혈구 수 감소, 항체생산 억제, 림프구 감소 등 면역기능 저하 등이 확인되었다(Mashaly 등, 2004). 열 스트레스를 평가하기 위한 전통적인 온습도지수(Temperature-Humidity Index, THI)와 함께 열부하지수(HLI)와 축적열부하(AHL) 등의 열 영향 평가 도구 등을 제시하였다(Gaughan 등, 2010).

국내외 선행연구들을 통해 기후변화가 농축산업에 미치는 영향이나, 기후변화 요인 등에 관한 연구가 많이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 하지만 기후변화가 축산업 즉 축산 생산성에 어느 정도의 영향력을 미치는지에 대한 실증적 연구는 아직 이루어지고 있지 않아, 본 연구를 통해 기후변화와 축산 생산성의 실증적 관계를 알아보하고자 한다.

II. 연구결과 및 고찰

1. 연구방법

본 연구에서는 산학연 및 농민 등의 전문가를 활용하여 기후변화 취약성 평가지표에 대한 설문조사를 실시한 후 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process ; AHP)을 이용하여 선정된 평가지표의 가중치를 산정하였으며 이에 평가지표의 타당성을 검증하기 위해 국내 기후, 강수량 및 일조시간의 변화를 조사하여 축산부문에서의 각 축종별 생산성에 영향을 주는지에 대해 조사된 실질적 데이터를 통해 관계성을 알아보았다. 축종별 생산성을 대표할 수 있는 주요 생산지표(사료섭취량, 사료요구율, 사료비, 도체중, 육질,

유생산량, 유지율, MSY, 육성율, 산란율 등)들과 선행연구들을 통해 결정된 기후변화 변수(기상청의 지역별·월별자료)들 간의 상관관계 및 회귀 분석을 수행하여, 실증적 관계를 살펴보았다.

가. AHP 분석 방법

축산 생산성에 영향을 미치는 다양한 기후변화 요인에 따른 영향력 비중을 알아보기 위해 전문가 조사를 통한 AHP 분석을 실행하였다. 다기준 분석((Multi-Criteria Analysis) 방법 중 여러 요인들을 고려하여 다차원 목적들을 충족하는 최적의 대안을 도출하는 기법으로 광범위하게 사용되는 방법이 AHP 분석법이다. AHP 분석법은 대량의 정성적인 요인 분석을 위해 사용되며 이는

KDI(한국개발연구원)의 정부사업 “예비 타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구”에서도 제시된바 있으며, 이 밖에도 사회적 중요도가 높은 주제 관련한 복합적 요인들에 대한 비중 평가로서 주요하게 활용되고 있다. 본 AHP분석에 사용된 설문지는 전문가들의 집단적 결정으로 제작되었으며, AHP 분석 공리(역수성, 동질성, 종속성, 기대성)에 준하였다. 마찬가지로 AHP 분석 과정은 평가의 개념화(Conceptualizing)→평가기준의 확정 및 계층구조 설정(Structuring)→평가기준 가중치 측정(Weighting)→대안 간 선호도 측정(Scoring)→종합점수 산정(Synthesizing)→환류과정(Feedback)→종합판단(Comprehensive Urteil)의 AHP 표준분석과정에 준하여 분석하였다.

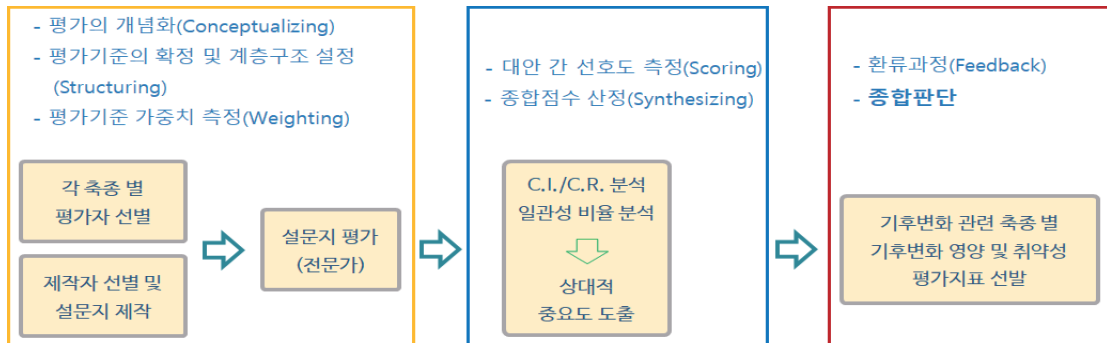


Fig. 1. AHP analysis procedures and step-by-step techniques

- 요인별 비교행렬식(가중치 산정)

$$a_{i,j} = \frac{w_i}{w_j} \text{ (for } i, j = 1, 2, \dots, n)$$

- 특성방정식(고유치 산정)

$$(A - nI)W = 0$$

- 일관성지수(일관성 추정 및 평가)

$$(CI) \text{ 는 } \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1}$$

나. 회귀분석 모형

본 연구에서는 축산(한우(거세우), 낙농, 양돈, 산란계, 육계)의 생산성에 미치는 요인을 알아보기 위해서, 다음과 같은 모형을 선정하여 분석하였다.

$$y = f(X, Z)$$

여기서, y =각 축종을 대표할 수 있는 생산성 지표를 사용하였으며, X =생산비(사료비, 치료비) 벡터, Z =기후변화변수 벡터를 이용하였다.

- 거세우의 경우 ;

y =도체중, Z =월 평균기온, 월 평균 습도

- 낙농의 경우 ;

y =유지율 3.4환산 산유량, X =젖소 두당 사료비, Z =6~9월 일 최고기온 27°C 이상인 날의 횟수, 7~9월 일 최저기온 17°C 이하인 날의 횟수, 9~10월 일 최저기온이 14°C 이하인 날의 횟수

- 양돈의 경우 ;

y =MSY, X =두당사료섭취량, Z =월별 평균기온, 월별 강수량

- 산란계의 경우 ;

y =산란율, X =사료요구율, Z =전월 평균기온, 전월 평균강수량

- 육계의 경우;

y =육성률, X =사료요구율, Z =전월 평균기온, 전월 평균습도

2. 축종별 연구결과

가. 한우 거세우

1) 한우 거세우 생산성에 미치는 영향도 평가를 위한 AHP분석결과

AHP 모형에서는 평가자들의 평가치를 종합하기 위하여 수치통합방법을 이용하였다. 평가자가 작성한 쌍대비교행렬의 각 원소에 대하여 전체 평가자의 평가치를 기하평균을 통합하여, 단일쌍대비교행렬을 구하였다.

한우 관련 전문가 17인을 대상으로 조사하였으며 우선순위 가중치 결과는 기후, 시설, 사양관리기술이 각각 0.14, 0.24, 0.62로 사양관리기술이 가장 높게 나타났다. 이 결과는 사양관리기술이 기후와 시설보다 한우 생산성에 미치는 영향력이 상대적으로 중요한 판단기준이 되고 있음을 시사하고 있다. 하지만 기후가 한우 생산성에 영향을 미치는 것은 사실이나 이것이 생산성 영향의 직

접적 사인으로 즉 중요한 요인으로 도출되지 않은 것은 한우 생산 사양관리기술의 발달로서 기후요인에 대한 대응이 가능함으로 인해 기후요인의 영향력이 낮게 조사된 것으로 판단된다.

Table 1. Relative evaluation result of bullocks

	Climate	Facility	Specification management technology
Climate	1.00	0.59	0.21
Facility	-	1.00	0.40
Specification management technology	-	-	1.00
Total weight	0.14	0.24	0.62

이 중 본 연구에서 살펴보고자 한 기후요소의 종합평가 결과는 고온일수, 최고기온, 일교차가 한우 생산성에 중요한 요소로 작용한다고 나타났다.

Table 2. Overall evaluation result of climate importance on bullocks productivity

	Weight	Priority
Average temperature	0.127	4
Maximum air temperature	0.152	2
High temperature days	0.154	1
Minimum air temperature	0.117	6
Amount of precipitation	0.089	7
Humidity	0.119	5
Duration of sunshine	0.094	8
Daily range	0.149	3

2) 거세우의 생산성(도체중)과 기후변화 변수와의 상관관계 및 회귀분석

전국 시·도 지역별 한우 생산성 관련 정보 수집을 수행하였으며 기관, 지자체, 조합 및 관련기업

등 다양한 경로를 통한 정보수집의 양·질적 확대에 집중하여 통계분석 신뢰도 향상을 추진하였다. 한우(거세우) 생산성 자료의 경우 농협중앙회 자료는 2011년부터 2016년 월별자료와 평창, 횡성 축협 자료의 경우 2014년부터 2016년 월별자료를 활용하였다. 수집된 구체적 데이터 사항은 일당증체량, 도체중, 등심단면적, 등지방두께, 근내지방도 등 이었다. 이 중 생산성 변수로는 도체중을 사용하였으며, 기후변화에 있어서는 선행연구와 사전분석을 통해 선별된 변수들로 월별기온과 습도에 어떠한 영향을 받는지의 영향도를 살펴보기 위해 월 평균기온, 월 최저기온, 월 최고기온, 월 평균습도를 변수를 이용하였으며 동계와 하계로 나누어 분석하였다. 여기서 기후변화 변수들은 조사된 지역의 해당년도 월별 자료에 맞게 기상청 통계 데이터를 검색하여 이용하였다.

동계(12월~2월)일 때 지역별 기후변화에 따라 거세우 도체중 생산성에 어느 정도의 영향을 미치는지 상관분석 한 결과, 한우 거세우 도체중은 기온변수와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 월 평균기온 0.307, 월 최저기온 0.285, 월 최고기온 0.320으로 상관관계가 있는 것으로 나왔으며, 습도 변수인 월 평균습도와는 20% 미만으로 상관도가 적은 것으로 도출되었다.

하계(6월~8월)일 때 지역별 기후변화에 따라 거세우 도체중 생산성에 어느 정도의 영향을 미치는지 상관분석 한 결과, 한우 거세우 도체중은 기온변수와 습도변수 전부 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

본 결과를 통해 등부호의 관계에서 어느 일정 온도까지의 증가는 도체중 생산성에 긍정적 영향을 줄 수 있으나 일정 온도 이상으로 상승하게 되면 오히려 도체중 생산성에 부정적 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

회귀분석에 있어서, 종속변수에는 한우 거세우의 생산성을 알아볼 수 있는 도체중을 사용하였으며, 독립변수에는 기온변수로 월 평균기온과 습

Table 3. Winter season, Results of correlation analysis between bullocks productivity and climate change variables

		Correlation
Temperature	Monthly mean temperature	0.307
	Monthly minimum temperature	0.285
	Monthly maximum temperature	0.320
Humidity	Monthly mean humidity	-0.031

Table 4. Summer season, Results of correlation analysis between bullocks productivity and climate change variables

		Correlation
Temperature	Monthly mean temperature	-0.013
	Monthly minimum temperature	0.028
	Monthly maximum temperature	-0.056
Humidity	Monthly mean humidity	0.153

도변수인 월 평균습도를 사용하였다. 동계(12월~2월)의 거세우 생산성 회귀분석 결과, 거세우 도체중 생산성에 월 평균기온이 1°C씩 상승할 경우 도체중이 2.736kg 증가하는 것으로 분석되었다. 하계(6월~8월)의 거세우 생산성 회귀분석 결과는 기온변수인 월 평균기온과 습도변수인 월 평균습도가 도체중에 큰 영향을 주지 않는 것으로 도출되었다.

- 동계의 경우 ;

$$Y = 456.617 + 2.736X_1 - 0.291X_2$$

(3.605) (1.033)

()는 t-통계량, R²=0.1024

(여기서, Y = 생산성변수, 도체중; X₁ = 기온변

수, 월 평균기온; X_2 = 습도변수, 월 평균습도)

동계의 경우, 추운 기온보다 따뜻한 기온에서 도체중이 증가하였으며, 동계에 있어서 거세우 도체중은 습도에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 하계(6월~8월)의 거세우 생산성 회귀분석 결과 기온변수인 월 평균기온과 습도변수인 월 평균습도가 도체중에 큰 영향을 주지 않는 것으로 분석되었으나, 일정 기온이나 일정 습도 이상 상승하면 도체중에 부정적 영향을 줄 수 있는 것으로 판단된다.

- 하계의 경우 :

$$Y = 385.261 - 1.068X_1 + 0.915X_2$$

(0.766) (1.814)

()는 t-통계량, $R^2=0.028$

(여기서, Y = 생산성변수, 도체중; X_1 = 기온변수, 월 평균기온; X_2 = 습도변수, 월 평균습도)

나. 낙농

1) 낙농 생산성에 미치는 영향도 평가를 위한 AHP분석결과

15명의 낙농 관련 전문가가 평가한 쌍대비교행렬을 기하평균으로 통합한 우선순위벡터(가중치는) 기후, 시설, 사양관리기술이 각각 0.22, 0.27, 0.51로 계측되었다. 이 결과는 사양관리기술이 기후와 시설보다 낙농 생산성에 미치는 영향력이 상대적으로 중요한 판단기준이 되고 있음을 시사하고 있다. 하지만 기후가 생산성 영향의 직접적 사인으로 즉 중요한 요인으로 도출되지 않은 것은 낙농 생산 사양관리기술의 발달로서 기후요인에 대한 대응이 가능함으로 인해 기후요인의 영향력이 낮게 조사된 것으로 한우와 같은 경우로 판단된다.

Table 5. Relative evaluation result of dairy

	Climate	Facility	Specification management technology
Climate	1.00	0.73	0.48
Facility	-	1.00	0.46
Specification management technology	-	-	1.00
Total weight	0.22	0.27	0.51

Table 6. Overall evaluation result of climate importance on dairy productivity

	Weight	Priority
Average temperature	0.128	5
Maximum air temperature	0.143	3
High temperature days	0.147	1
Minimum air temperature	0.123	6
Amount of precipitation	0.086	8
Humidity	0.139	4
Duration of sunshine	0.089	7
Daily range	0.145	2

기후요소에 대한 종합평가 결과를 살펴보면, 고온일수, 일교차, 최고기온이 낙농 생산성에 중요한 요소로 작용한다고 나타났다. 기후가 낙농 생산성에 중대한 영향을 미치는 것은 사실이나 이것이 생산성 영향의 직접적 사인으로 Fig.명되는 것으로 판단하기는 어렵다. 이는 현재, 낙농 생산 사양관리기술의 발달로 기후요인에 따른 대응이 가능하기 때문에 기후의 생산성 관련 부정적 요인을 사양관리기술 측면으로 관리하는 것이 더 유효하다는 결론을 도출해 낼 수 있다.

2) 낙농의 생산성(3.4환산 산유량)과 기후변화 변수와의 상관관계 및 회귀분석

젖소 생산성 자료 수집은 젖소 착유우를 대상으로 하였으며 강원, 경기, 경북, 전남, 충남, 충북

Table 7. Results of correlation analysis between dairy productivity and climate change variables

		Correlation
Feed cost per one		0.273
Temperature	Number of days when the maximum temperature of over 27 °C(Jun.~Sep.)	0.131
	Number of days when the minimum temperature of below 17 °C(Jul.~Sep.)	-0.097
	Number of days with the minimum temperature of below 14 °C(Sep.~Oct.)	-0.085
	Number of days with the minimum temperature of below -5°C(Dec.~Feb.)	0.056
Number of days with relative humidity of 72% or more	Jan.	0.025
	Feb.	0.141
	Mar.	-0.163
	Apr.	-0.050
	May.	0.088
	Jun.	-0.082
	Jul.	-0.027
	Aug.	-0.047
	Sep.	-0.062
	Oct.	0.006
	Nov.	-0.092
	Dec.	0.104

북 6개도의 시군자료를 대상으로 하였으며 조사 기간은 2010~2015년 및 2014년~2016년 월별자료를 수집하였다.

수집된 자료의 경우 사육현황을 알 수 있는 착유우 두수, 경산우 두수, 미경산우 두수, 축사면적(평), 생산현황을 알 수 있는 산유량(kg)과 유지율(%), 사육비관련 사료비, 치료비, 인건비, 노동인원, 수익성을 알아 볼 수 있는 월납유량(kg)과 월수입(원), 기타 도태사유 등을 자료를 수집할 수 있었다. 분석을 위해 종속변수(Y)에는 젖소의 생산성을 알아볼 수 있는 젖소의 3.4환산 산유량을 사용하였으며, 독립변수(X)에는 젖소 두당 사료비와 기후변화 변수로 기온변화변수, 습도변수를 사용하였다. 여기에서 기온변수로는 6-9월 일 최고기온 27°C 이상인 날의 횟수와 7-9월 일 최저기온 17°C 이하인 날의 횟수, 9~10월 일 최저기온이 14°C 이하인 날의 횟수, 12월~2월 일 최

저기온이 -5°C 이하인 날의 횟수를 사용하였으며, 습도변수로는 월별 상대습도 지수 72% 이상인 날의 횟수로 월별자료를 이용하였다. 기후변화 변수들의 경우 조사된 6개도의 시군에 해당하는 기상청 월별자료를 이용하여 우리가 원하는 변수로 분류하여 사용하였다.

분석결과 두당 사료비의 경우만 0.273으로 상관성이 있으며, 다른 기온변수나 습도 변수와는 20%미만으로 상관도가 적은 것으로 나타났다. 회귀분석 결과로는 젖소의 산유량 생산성에 있어서 조사된 기온변화 변수와 습도변수는 영향이 크지 않는 것으로 나타났다.

회귀분석에 있어 종속변수에는 젖소의 생산성을 알아볼 수 있는 3.4환산 산유량을 사용하였으며, 독립변수에는 선행연구와 사전분석을 통해 선별된 변수들로 두당 사료비, 기온변수로 6-9월 일 최고기온 27°C 이상인 날의 횟수와 7~9월 일

최저기온 17°C 이하인 날의 횟수, 9~10월 일 최저기온이 14°C 이하인 날의 횟수로 하였다.

$$Y = 13.2870 + 0.0118X_1 + 0.0804X_2 - 0.4186X_3 + 0.4456X_4$$

(1.767) (0.795) (0.840) (0.559)

()는 t-통계량, R²=0.123

(여기서, Y는 3.4 환산 산유량; X₁ = 젖소 두당 사료비; X₂ = 기온변수, 6~9월 일 최고기온 27°C 이상인 날의 횟수; X₃ = 기온변수, 7~9월 일 최저기온 17°C 이하인 날의 횟수; X₄ = 기온변수, 9~10월 일 최저기온이 14°C 이하인 날의 횟수)

다. 양돈

1) 양돈 생산성에 미치는 영향도 평가를 위한 AHP분석결과

36명의 양돈 관련 전문가가 평가한 쌍대비교행렬을 기하평균으로 통합한 우선순위벡터(가중치는) 기후, 시설, 사양관리기술이 각각 0.15, 0.52, 0.33으로 예측되었다. 이 결과는 시설 설비가 기후와 사양관리 기술보다 양돈 생산성에 미치는 영향력이 상대적으로 중요한 판단기준이 되고 있음을 알 수 있다.

Table 8. Relative evaluation result of pigs

	Climate	Facility	Specification management technology
Climate	1.00	0.31	0.45
Facility	-	1.00	1.70
Specification management technology	-	-	1.00
Total weight	0.15	0.52	0.33

Table 9. Overall evaluation result of climate importance on pigs productivity

	Weight	Priority
Average temperature	0.017	6
Maximum air temperature	0.023	3
High temperature days	0.023	1
Minimum air temperature	0.018	5
Amount of precipitation	0.014	7
Humidity	0.021	4
Duration of sunshine	0.014	7
Daily range	0.023	1

기후요소에 대한 종합평가 결과를 살펴보면 고온일수, 일교차, 최고기온이 양돈 생산성에 중요한 요소로 작용한다고 나타났다. 양돈 생산성에 미치는 영향도 지표로서 시설이 가장 중요한 지표로 조사되었으며, 이는 기후요인 대응 부문(온도관리 등)이 양돈 생산성에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 시사되며 결과적으로 기후요인 자체의 영향도를 낮추게 한 것으로 판단된다.

2) 양돈의 생산성(MSY)과 기후변화 변수와의 상관관계 및 회귀분석

양돈자료의 경우 일관농가(비육돈+번식돈)로 9개도 1,211개 한돈팜스 전산농가가 그 대상이 되었다. 조사기간은 2014년부터 2016년 월별 데이터로 수집되었다. 수집된 세부자료는 9개도의 시군별로 하여 모돈 두수, 총두수, 이육전육성율, PSY, MSY, 출하일령, 이유후육성율, 두당사료섭취량, 복동산자수, 복당이유두수 등이 수집되었다. 본 연구에서는 양돈의 생산성과 기후변화와의 상관정도를 알아보기 위해 종속변수(Y)에는 양돈의 생산성을 알아볼 수 있는 MSY(Marketed-

pigs per Sow per Year)을 사용하였으며, 독립 변수(X_i)에는 두당 사료비와 기후변화 변수에는 기온변화변수로 그 지역 월별 평균기온, 강수량 변수로 그 지역의 평균 강수량을 사용하였다. 여기서 기후변화 변수들은 조사된 지역의 해당년도 월별 자료에 맞게 기상청 통계 데이터를 검색하여 이용하였다.

Table 10. Results of correlation analysis between pigs productivity and climate change variables

		Correlation
Feed intake per one		0.1913
Temperature	Jan.	-0.0341
	Feb.	-0.0405
	Mar.	-0.0664
	Apr.	-0.0685
	May.	0.0136
	Jun.	-0.0089
	Jul.	-0.0277
	Aug.	-0.0202
	Sep.	-0.0408
	Out.	-0.0437
	Nov.	-0.0442
	Dec.	-0.0314
Amount of precipitation	Jan.	-0.0708
	Feb.	0.0018
	Mar.	0.0090
	Apr.	0.1027
	May.	0.0027
	Jun.	-0.0171
	Jul.	0.0592
	Aug.	-0.0258
	Sep.	0.0438
	Out.	-0.0807
	Nov.	-0.0356
	Dec.	0.0406

분석 결과 양돈의 생산성(MSY)과 기후변화 변수와의 상관정도가 20% 이하로 관계성이 적은 것으로 나타났다.

회귀분석을 위해 종속변수에는 양돈의 생산성을 알아볼 수 있는 MSY를 사용하였으며, 독립변수에는 두당 사료섭취량, 기온변수로는 월별 평균

기온을 사용하였다. 양돈생산성(MSY)과 기후변화 요소와의 회귀분석결과 두당 사료섭취량과 5월 기온이 긍정적인 영향을 준다고 판단된다.

$$Y = 7.0458 + 3.9283X_1 + 0.9254X_2 - 1.3453X_3 - 0.5900X_4 - 0.4106X_5 + 3.5826X_6 - 2.4925X_7 - 0.6114X_8 + 1.5800X_9 - 1.2029X_{10} + 0.3025X_{11} + 0.3591X_{12} - 0.3507X_{13}$$

(3.831) (1.411) (1.282) (0.692) (0.579) (3.137) (1.916) (0.778) (1.297) (1.288) (0.227) (0.397) (0.353)

()는 t-통계량, $R^2=0.09$

(여기서, Y는 양돈의 생산성, MSY, X_1 =두당 사료섭취량, X_2 ~ X_{13} =기온변수, 1월 평균기온~12월 평균기온)

라. 산란계

1) 산란계 생산성에 미치는 영향도 평가를 위한 AHP분석결과

16명의 산란계 관련 전문가가 평가한 쌍대비교 행렬을 기하평균으로 통합한 우선순위벡터(가중치는) 기후, 시설, 사양관리기술이 각각 0.22, 0.25, 0.53으로 계측되었다. 이 결과는 사양관리기술이 기후와 시설보다 산란계 생산성에 미치는 영향력이 상대적으로 중요한 판단기준이 되고 있음을 시사한다.

Table 11. Relative evaluation result of laying hens

	Climate	Facility	Specification management technology
Climate	1.00	0.68	0.54
Facility	-	1.00	0.37
Specification management technology	-	-	1.00
Total weight	0.22	0.25	0.53

Table 12. Overall evaluation result of climate importance on laying hens productivity

	Weight	Priority
Average temperature	0.136	5
Maximum air temperature	0.143	2
High temperature days	0.148	1
Minimum air temperature	0.129	6
Amount of precipitation	0.083	8
Humidity	0.139	4
Duration of sunshine	0.083	7
Daily range	0.139	3

기후요소에 대한 종합평가 결과를 살펴보면 고온일수, 최고기온, 일교차가 산란계 생산성에 중요한 요소로 작용한다고 나타났다. 기후가 산란계 생산성에 중대한 영향을 미치는 것은 사실이나 이것이 생산성 영향의 직접적 사인으로 표명되는 것이 아니다. 이는 현재, 산란계 생산 사양관리기술의 발달로 기후요인에 따른 대응이 가능하기 때문에 기후의 생산성 관련 부정적 요인을 사양관리기술 측면으로 관리하는 것이 더 유효하다는 결론을 도출할 수 있음을 시사한다.

2) 산란계의 생산성(산란율)과 기후변화 변수와의 회귀분석

산란계의 경우 경기와 충청 두 개 지역의 각 시군별 93개 농가를 대상으로 하여 2016년도 자료를 이용하였다. 사육현황으로 사육수수와 산란율, 평균난중, 산란수(1개월) 자료들을 조사하였다. 산란계 분석 자료는 종속변수에는 산란계의 생산성을 알 수 있는 산란율, 독립변수 데이터로 수당 사료요구율을 사용하였고, 산란율과 수당 사료섭취량은 월별자료로서 평균데이터를 활용하였다. 기온변수에는 전월 평균기온, 강수량변수로는 전월 평균 강수량을 사용하였다. 여기서 기후변화

변수들은 경기, 충청 지역의 2016년도 월별 자료에 맞게 기상청 통계 데이터를 검색하여 이용하였다.

회귀분석 결과 사료요구량과 전월 평균기온이 유의성이 있는 것으로 나타났으며, 이것은 적정온도가 산란계 생산성에 긍정적인 영향을 줄 수 있음으로 판단된다.

$$Y = 115.554 - 14.3135X_1 + 0.289X_2 - 0.00651X_3$$

(-7.890) (2.588) (-0.519)

()는 t-통계량, R²=0.08

(여기서, Y는 산란계의 생산성, 산란율, X₁=사료요구율, X₂=2016년 평균기온, X₃=2016년 평균 강수량)

마. 육계

1) 육계 생산성에 미치는 영향도 평가를 위한 AHP분석결과

15명의 육계 관련 전문가가 평가한 쌍대비교행렬을 기하평균으로 통합한 우선순위벡터(가중치는) 기후, 시설, 사양관리기술이 각각 0.13, 0.31, 0.56으로 계측되었다. 이 결과는 사양관리기술이 기후와 시설보다 육계 생산성에 미치는 영향력이 상대적으로 중요한 판단기준이 되고 있음을 알 수 있다.

Table 13. Relative evaluation result of broilers

	Climate	Facility	Specification management technology
Climate	1.00	0.41	0.24
Facility	-	1.00	0.55
Specification management technology	-	-	1.00
Total weight	0.13	0.31	0.56

기후요소에 대한 종합평가 결과를 살펴보면 고온일수, 일교차, 최고기온이 육계 생산성에 중요한 요소로 작용한다고 나타났다. 기후가 육계 생산성에 중대한 영향을 미치는 것은 사실이나 이것이 생산성 영향의 직접적 사인으로 표명되는 것은 아니다. 이는 현재, 육계 생산 사양관리기술의 발달로 기후요인에 따른 대응이 가능하기 때문에 기후의 생산성 관련 부정적 요인을 사양관리기술 측면으로 관리하는 것이 더 유효하다는 결론으로 받아들일 수 있다.

Table 14. Overall evaluation result of climate importance on broilers productivity

	Weight	Priority
Average temperature	0.119	5
Maximum air temperature	0.146	3
High temperature days	0.155	1
Minimum air temperature	0.108	6
Amount of precipitation	0.086	8
Humidity	0.139	4
Duration of sunshine	0.097	7
Daily range	0.151	2

2) 육계의 생산성(육성률)과 기후변화 변수와의 상관관계 및 회귀분석

육계 자료는 전남, 전북, 충남의 총 1,811개 시군을 대상으로 하였으며, 조사기간은 2010년부터 2016년까지의 월별자료를 이용하였다. 육계 사육 현황으로는 사육일수, 사료요구율, 사료섭취량을 생산현황으로는 육성률, 평균체중, 생산지수 데이터를 조사하였다. 기온변수에는 전월 평균기온, 강수량변수로는 전월 평균 강수량을 사용하였다. 여기서 기후변화 변수들은 전남, 전북, 충남 지역 시군의 2010~2016년도 월별 자료에 맞게 기상청 통계 데이터를 검색하여 이용하였다.

연차별·지역별 기후변화를 분석하여 이에 육계의 생산성에 영향을 미치는 정도를 알아보기 위해 상관분석 한 결과 기후변화 변수(기온, 습도)와의 상관정도가 20% 이하로 관계성이 적은 것으로 나타났다.

Table 15. Results of correlation analysis between broilers productivity and climate change variables

		Correlation
Feed conversion ration		- 0.645
Temperature	Previous month mean temperature	- 0.024
Humidity	Previous month mean humidity	0.070

회귀분석에 있어서 종속변수에는 육계의 생산성을 알아볼 수 있는 육성률을 사용하였으며, 독립변수에는 사료요구율, 기온변수로 전월 평균기온, 습도변수로는 전월 평균습도를 사용하였다. 회귀분석 결과 육계는 전월 평균기온이 상승할수록 육성률이 떨어지며 전월 습도가 상승할수록 육성률이 약간 올라가 기후변수와의 관련이 있는 것으로 판단된다.

$$Y=125.8188-18.7603X_1-0.02865X_2+0.0184X_3$$

(35.749) (3.590) (1.981)

()는 t-통계량, R²=0.420

(여기서, Y=생산성변수, 육성률, X₁=사료요구율, X₂=기온변수, 전월 평균기온, X₃=습도변수, 전월 평균습도)

육계의 육성률에 사료요구율이 높아질수록 육성률이 저하된다. 즉, 사료요구율이 적을 때 육성률이 좋았다. 회귀분석 결과 육계는 평균기온이 상승할수록 육성률이 떨어지며 습도가 상승할수록 육성률이 약간 올라가 기온변화와 습도변화에

따라 그 정도는 적지만 육성률에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 육계의 생산성을 높이기 위해 기온과 습도인 기후변화에 영향을 덜 받을 수 있는 계사시설을 갖추어야 할 것으로 판단된다.

Ⅲ. 결론

축산 생산성에 기후변화가 미치는 영향력 평가 AHP 분석 종합결과 사양관리기술, 시설, 기후 순으로 중요도가 나타났다. 이것은 시설, 기후에 대한 통제부분을 현재 축산분야에 있어서는 어느 정도 평균수준 이상으로 경영되고 있기 때문에 판단해 볼 수 있으며, 본 연구가 기후변화에 대한 영향도 연구이므로 기후요인만을 살펴볼 경우에 축산 생산성 관련 중요 기후요인은 모든 축종에서 최고기온, 고온일수 및 일교온도차로 조사되었고, 축종 별로 기후요인의 우선순위에는 차이가 있었다. 모든 축종에서 고온일수가 가장 영향력이 큰 요인으로 조사되었으며, 2순위로 최고기온과 일교차가 있었다. 2순위 최고기온은 거세우, 낙농, 양돈에서 영향력이 더 컸으며, 일교차는 산란계와 육계에서 더 중요한 요인으로 평가되었다.

기후요인이 축산물 생산성에 끼치는 영향은 지대하나 본 연구결과 유의적 변수들을 많이 도출되지 않은 것은 국내의 경우, 축산업 발달로 인한 사양 및 환경제어 기술력이 높아 기후요인의 부정적 요인의 적극적 제어가 가능함으로 인해, 기후요인의 간접 영향력이 높고 직접적 영향력은 낮았던 것으로 판단된다.

본 연구 결과에 있어서 회귀분석 R^2 값이 높지 못했다는 점과 유의성 있는 변수를 많이 도출해 내지 못했다는 점이 조금 아쉬운 부분이다. 하지만 신뢰도가 높은 통계분석을 위해 전국 시·도 지역별 축종별 생산성 관련 정보 수집에 있어서 신뢰도와 정확도가 높은 기관, 지자체, 조합 및 관

련기업 등의 다양한 경로를 통해 양적측면과 질적 측면 모두 확장하여 분석하였다는 점, 그리고 기후변화변수들 중 유의적 변수를 도출했다는 점 즉, 기후변화요인들이 축산 생산성에 영향을 미치고 있다는 관계성을 도출해 냈다는 점에서 본 연구는 높은 가치가 있다고 사료된다.

본 연구결과 기후변화요인들이 축산생산성에 영향을 미치고 있음을 도출, 관계성이 있다는 것을 알 수 있었고, 기후변화는 현재도 진행 중으로 지구온난화는 고온일수 빈도를 높이고 있으며 이것은 단순한 기온 상승이 아닌 재해형태의 영향력 및 빈도의 심각성도 내포하고 있다는 것을 의미한다.

따라서 축산환경에 있어 이러한 기후변화에 대응하는 적극적인 환경관리 및 제어기술을 사전에 확보할 필요가 있을 것이다.

또한 향후 축산 생산성 연구에 있어서 기후변화 요인들을 제어할 수 있는 사육환경과 사양시스템에 초점을 맞추어 이와 관련된 세분화된 연구들이 이루어져야 할 것이며, 국내의 경우 기후변화 조사 및 연구에 있어 보다 민감도를 높여 이루어질 필요가 있을 것이다.

Ⅳ. 적요

현재 전 세계적으로 기후변화가 농업에 미치는 영향도가 점차 커지고 있다. 본 연구는 기후변화가 축산 생산성 변화에 미치는 영향 정도를 파악하고자 하였다. 기후변화 요소들 중 가장 큰 영향력을 지닌 변수들을 선행연구와 전문가 조사를 통해 알아보았다. 그리고 현재 축산농가들의 실질적 생산성 자료를 이용하여 기후변화와의 관계성에 대해 알아보았다.

가축 등 농업 생산성 변화에 관한 기후 평가를 위해 국내에서 축종별(한우(거세우), 낙농, 양돈,

산란계, 육계) 등의 전국 대표 자료들을 조사하였다. 또한 평가지표를 선정하고 분류하기 위하여 선행연구로서 기후변화 요인 변수선정 연구, 기후변화 요인 변수의 가중치 계산연구 등을 살펴보았다.

본 연구는 축산부문에 있어서 산학연 및 농민 등이 전문가(한우17, 낙농15, 양돈36, 산란계16, 육계15명)를 활용하여 기후변화 취약성 평가지표에 대한 설문조사를 실시한 후 계층분석과정(AHP)을 이용하여 선정된 평가지표의 가중치를 산정하였다.

축산 생산성에 기후변화가 미치는 영향력 평가 AHP 분석 종합결과 사양관리기술, 시설, 기후 순으로 중요도가 나타났다. 이것은 시설, 기후에 대한 통제부분을 현재 축산분야에 있어서는 어느 정도 평균수준 이상으로 경영되고 있기 때문으로 판단해 볼 수 있으며, 본 연구가 기후변화에 대한 영향도 연구이므로 기후요인만을 살펴볼 경우에 축산 생산성 관련 중요 기후요인은 모든 축종에서 최고기온, 고온일수 및 일교온도차로 조사되었고, 축종 별로 기후요인의 우선순위에 차이를 있었다. 모든 축종에서 고온일수가 가장 영향력이 큰 요인으로 조사되었으며, 2순위로 최고기온과 일교차가 있었다. 2순위 최고기온은 거세우, 낙농, 양돈에서 영향력이 더 컸으며, 일교차는 산란계와 육계에서 더 중요한 요인으로 평가되었다.

이에 평가지표의 타당성을 검증하기 위해 국내 기후, 강수량 및 일조시간의 변화를 조사하여 축산부문에서의 각 축종별 생산성에 영향을 주는지에 대해 조사된 축산분야 농가들의 생산성 데이터를 통해 관계성을 알아보았다. 관계성을 알아보기 위해 축종별 생산성을 대표할 수 있는 주요 생산지표(사료섭취량, 사료요구율, 사료비, 도체중, 육질, 유생산량, 유지율, MSY, 육성율, 산란율 등)들과 선행연구들을 통해 결정된 기후변화 변수(기상청의 지역별·월별자료)들 간의 상관관계 및 회귀 분석을 수행하였다.

이와 같이 본 연구결과 기후변화요인들이 축산 생산성에 영향을 미치고 있음을 도출, 관계성이 있다는 것을 알 수 있었다. 기후변화는 현재도 진행 중으로 지구온난화는 고온일수 빈도를 높이고 있으며 이것은 단순한 기온 상승이 아닌 재해형태의 영향력 및 빈도의 심각성도 내포하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 축산환경에 있어 이러한 기후변화에 대응하는 적극적인 환경관리 및 제어기술을 사전에 확보할 필요가 있을 것이다.

또한 향후 축산 생산성 연구에 있어서 기후변화 요인들을 제어할 수 있는 사육환경과 사양시스템에 포커스를 맞추어 이와 관련된 세분화된 연구들이 이루어져야 할 것이며, 국내의 경우 기후변화 조사 및 연구에 있어 보다 민감도를 높여 이루어질 필요가 있을 것이다.

V. 참고문헌

1. 구희성. (2009). 기후변화가 축산업에 미치는 영향-해외 연구 동향 분석. 건국대학교.
2. 김명현. (2013). 기후변화 취약성평가를 위한 기후영향에 관한 DB구축 및 지표 개발: 신 기후변화 시나리오에 따른 지역별 농업부문 취약성 평가 지표 개발. 농촌진흥청 국립농업과학원.
3. 김창길, 정학균. (2010). 미국 생산의 기상영향 분석, 농업경영·정책연구, 37권 4호, pp. 621-642.
4. 심교문, 김건엽, 노기안, 정현철, 이덕배. (2008). 기후변화에 따른 농업기후지수의 평가, 한국농림기상학회지, 10권 4호, pp.113-120.
5. 심교문, 노기안, 소규호, 김건엽, 정현철, 이덕배. (2010). 지구온난화에 따른 벼 생육 및 생산성 변화 예측, 한국기후변화학회지, Vol. 1, No.2, pp.121-131.

6. 이상호. (2012). 기후변화에 따른 농업부문 적응능력의 다중속성 분석, 한국지역경제연구, 10권 2호, pp.107-121.
7. 지은숙, 박규현. (2015). 축산부문에 미치는 기후변화의 영향 및 대응방안 연구. 축산시설환경학회지. 21권 2호. pp.47-54.
8. 국립농업과학원. (2007). 기후변화가 농업생태계에 미치는 영양 예측 및 취약성 평가.
9. 국립축산과학원. (2012). 축사 내부 위치별 온도습도지수(THI) 차이를 활용한 젓소환경관리(영농활용).
10. 국립축산과학원. (2014). 가축에 대한 온난화 영향 예측 및 대응 연구.
11. 기상청. (2012). 한반도 미래기후변화 전망보고서.
12. 농촌진흥청. (2007). 기후변화 대응 농업환경 영향평가 및 적응대책. 68pp.
13. 한국농촌경제연구원. (2015). 농림수산물 기후변화 영향분석 및 영향평가 모델 구축. 농림축산식품부.
14. Berman. A. (2005). Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. J. Anim. Sci. 83: 1377-1384.
15. D'Allaire, S. (1996). Sow mortality associated with high ambient temperatures. Canadian veterinary journal, Vol.37 No.4, 237p.~246p.
16. Gaughan J. B., T. L. Mader, S. M. Holt, M. L. Sullivan and G. L. Hahn. (2010). Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. Int J Biometeorol 54:617-627.
17. Jordan E. R. (2003). Effects of Heat Stress on Reproduction. Journal of Dairy Science. 86:E104-E114.
18. Mader, T. L. (2003). Environmental stress in confined beef cattle. J Anim Sci. 81, E 110-119.
19. Mashaly, M. M., G. L. Hendricks, 3rd, M. A. Kalama, A. E. Gehad, A. O. Abbas and P. H. Patterson. (2004). Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. Poult Sci 83: 889-894.
20. O'Brien Karen, Leichenko Robin, Kelkar Ulka, Venema Henry, Aandahl Guro, Tompkins Heather, Javed Akram, Bhadwal Suruchi, Barg Stephan, Nygaard Lynn and West Jennifer. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India, Global Environmental Change. 14(4), 303p -313p
21. Ravagaolo, O. M., I. Isztal and G. Hoogenboom. (2000). Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. Dairy Sci., 83, 2120-2125.
22. Salak-Johnson. J. L. and J. J. McGlone. (2007). Making sense of apparently conflicting data: Stress and immunity in swine and cattle, Journal of Animal Science: leading source of new knowledge and perspectives in animal science, 85권 13호.
23. Thornton P. K., J. van de Steeg, A. Notenbaert and M. Herrero. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need know, Agricultural Systems 101. 113-127.

24. West, W. J. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. J Dairy Sci. 86:2131-2144.
25. <http://www.law.go.kr> 국가법령정보센터 법령>본문-농업·농촌 및 식품산업 기본법