

ORIGINAL ARTICLE

기상요소가 식량작물 생산량에 미치는 영향: 패널자료를 활용한 회귀분석

이중우 · 장영재 · 고광근 · 박종길^{1)*}

인제대학교 경영학부/산업경영연구원, ¹⁾인제대학교 환경공학과/대기환경정보연구센터

Effects of Meteorological Elements in the Production of Food Crops: Focused on Regression Analysis using Panel Data

Joong-Woo Lee, Young Jae Jang, Kwang-Kun Ko, Jong-Kil Park^{1)*}

Department of Management/IIMR, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

¹⁾Department of Environmental Engineering, Atmospheric Environment Information Research Center,
Inje University, Gimhae 621-749, Korea

Abstract

Recent climate change has led to fluctuations in agricultural production, and as a result national food supply has become an important strategic factor in economic policy. As such, in this study, panel data was collected to analyze the effects of seven meteorological elements and using the Lagrange multipliers method, the fixed-effects model for the production of five types of food crop and the seven meteorological elements were analyzed.

Results showed that the key factors effecting increases in production of rice grains were average temperature, average relative humidity and average ground surface temperature, while wheat and barley were found to have positive correlations with average temperature and average humidity.

The implications of this study are as follow. First, it was confirmed that the meteorological elements have profound effects on the production of food crops. Second, when compared to existing studies, the study was not limited to one food crop but encompassed all five types, and went beyond other studies that were limited to temperature and rainfall to include various meteorological elements.

Key words : Food crop, Panel data, Lagrange multiplier, One-way error component regression model

1. 서론

우리나라는 연간 1,400만 톤 이상의 곡물을 수입하는 세계 5위 곡물 수입국이다. 2012년 농림수산식품부(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)와 한국농어촌공사(Korea Rural Community Corporation)에 따르면, 우리나라의 식량자급률은 지난 2009년

29.6%에서 2010년 27.6%, 2011년에는 22.6%로 하락하였다. 특히 쌀을 제외한 주요 곡물의 90% 이상을 수입에 의존하고 있어 식량안보가 매우 위태로운 상황이다.

이러한 원인으로는 첫째, 소득 증가에 따른 식생활 패턴이 식물성 단백질에서 동물성 단백질 섭취로 변화되었기 때문이고, 둘째, 농경지 면적의 감소이다. 지난 10년 동안 19만 ha의 농경지가 산업단지, 주택단

Received 11 March, 2013; Revised 24 April, 2013;

Accepted 9 May, 2013

*Corresponding author : Jong-Kil Park, Department of Environmental Engineering, Inje University, Gimhae. 621-749, Korea
Phone: +82-55-320-3250
E-mail: envpjk@inje.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지, 도로 건설 등으로 전체 농경지 면적의 1%에 해당하는 2만 ha가 매년 없어지고 있다.

이러한 농작물의 생산량 감소는 우리나라만의 문제가 아니다. 2011년 초 세계적인 곡창지대인 미국 중서부의 극심한 가뭄과 고온으로 옥수수과 콩의 생산량이 감소한 것이 국제 곡물가격의 폭등으로 이어져 세계적인 애그플레이션을 초래하였다. 이에 따른 수입곡물가격의 큰 폭 상승으로 앵겔지수를 증가시켰으며, 환경과 식량을 하나의 문제로 인식하기 시작하였다. 또한, 현재 식량자급률은 식량안보를 위협하는 수준으로 식량문제의 심각성을 모르는 것이 문제일 정도로 심각하다.

또한, 우리나라의 농업은 Free Trade Agreement (FTA) 등으로 인한 수입시장 개방 확대와 국제 사료 값 및 유가 상승, 기상이변 등의 환경 변화로 어려움을 겪고 있다. 그러나 식량수출국들의 식량무기화에 따른 식량안보 문제의 대두, 녹색산업이자 생명산업으로서 농업의 재발견, 베이비붐 세대의 은퇴와 함께 본격화된 귀농·귀촌 현상 등 농업의 중요성과 가치가 커지고 있다.

특히 기후변화와 그에 따른 기상이변은 무엇보다 인류의 생존을 책임지는 농업에 즉각적인 타격을 주어 농산물 수급 불안정의 문제를 야기시켜 주요 곡물 가격 폭등으로 이어지고 있다. 2010년 세계적 밀 재배지인 러시아 서부에 폭염이 지속되면서 밀 수확량이 줄어들자 밀 가격은 급등했고 급기야 곡물 수출을 제한하고 중단하기 시작하면서 식량안보가 사회적 문제로 대두된 적이 있다. 이처럼 기후변화에 따른 이상기상이 가져올 수 있는 식량위기를 극복할 수 있는 대책이 시급한 상황이다.

특히 쌀을 주식으로 하는 우리나라의 경우, 물 부족은 벼 작황에 큰 타격을 미칠 수 있으므로 이에 대응한 벼 품종 개발이 절실하다. 무엇보다도 더 시급한 것은 농가가 기후변화에 선제대응 할 수 있도록 현장과 연계한 현장중심기상정보시스템 구축이 우선되어야 한다. 농가에 유용한 기상정보를 적시에, 정확하게 알려주어 농업인들이 기후 및 기상이변에 신속하게 대응하고 합리적으로 선택할 수 있도록 해야 기상재해를 최소화할 수 있을 것이다.

농업과 관련된 기상정보 가운데 식물의 생육을 지

배하는 기후는 시공간적 규모면에서 국지기후와 미기후로 분류된다. 이들 국지기후는 지형, 고도, 피복 등 지표 특성에 따라 크게 달라진다. 우리나라의 경우 작은 영농규모와 다양한 지표특성을 고려하면 기상청에서 생산 배포하는 조방적 기후 정보만으로는 국지적인 변화를 알 수 없으며 적절한 보정 없이는 농업분야 활용이 매우 제한적이다. 이에 만약 국지기후 정보를 담은 전자기후도가 전국적으로 제작된다면 국토의 효율적 활용과 보전계획 수립, 지구온난화에 대비한 작목의 재배치 등 농업의 하부 구조개혁에 크게 기여할 수 있을 것이다. 나아가 정밀 전자기후도를 이용한 작물의 작황, 병해충예측 등 농업기상예보는 기상 이변 시대의 에너지절감, 재해경감, 품질향상 등 농업의 친환경적 발전과 경영성과의 제고에 매우 유용한 의사결정 지원수단이 될 것이다.

본 연구에서는 식량작물 생산량과 기상요인간의 패널자료를 바탕으로 상관관계를 분석하고, 기상요인에 따라 농작물 생산량이 어떻게 변화되는지를 예측하기 위한 회귀분석을 실시하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 이론적 배경

2.1.1. 농업재해

우리나라는 매년 기상재해가 발생하고 있으며, 그로 인한 피해액도 매년 증가하고 있다(Park 등, 2005; 2008). 특히 농경지의 유실과 매몰, 침수로 인해 농작물에 대한 피해도 입고 있다. Fig.1에서 알 수 있듯이

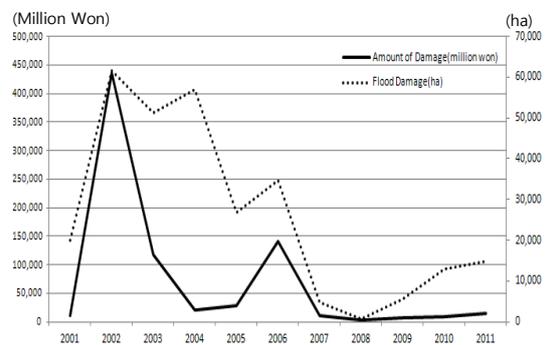


Fig. 1. A mount of damage and area of farmland flooding on annual.

통계적으로 2001년부터 2011년까지 농경지 침수 피해 면적은 평균적으로 연간 26,400 ha, 피해액은 727억 9200만원에 이르고 있다. 특히 2002년과 2003년에는 태풍 루사와 매미로 인해 농경지 침수피해가 크게 나타났다.

2.1.2. 농업과 기상간의 상관관계에 대한 선행연구

기후변화가 농업생산에 미치는 영향에 관한 연구들이 진행되고 있다. 우리나라에서는 2011년 국립농업과학원에서 벼 생육모델(ORYZA)을 이용한 작물 시뮬레이션을 실시한 결과 30년간 기후변화로 인해 평균적으로 10%이내의 생산성 손실이 발생할 것으로 예측하고 있다(Kwon 등, 2012). 그리고 미국 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)에서 1989년부터 1992년 사이 전 세계 지역을 대상으로 작물 모형을 연구한 결과를 도출하였다(Rosenzweig와 Iqbal, 1994).

이와 같은 농업생산에 대한 시뮬레이션 이외에도 국내에서는 농업생산과 기상요소와의 상관관계에 대한 연구들이 진행되었다.

Kwon과 Kim(2008)의 연구에서는 1976년부터 2007년까지 일반 벼의 생산량과 4월에서 10월까지의 평균 기온과 강수량 자료를 사용하여 커널 회귀분석과 부분선형모형을 적용하여 분석하였다. 그 결과 기온이 증가할수록 쌀 생산량은 증가하지만, 기온이 20°C 이상 시에는 그 효과가 미비하거나 감소하고, 강수량이 늘어날수록 쌀 생산량이 감소한다는 결과를 도출하였다.

Kim과 Lee(2011)의 연구에서는 기후변화가 고랭지농업지역의 토지피복에 미치는 영향을 파악하였다. 그 결과 기온이 상승할수록 재배면적이 증가하였다. 그러나 상대적으로 기온상승으로 높은 고도의 산지를 개간하여 이용한 것으로 분석하였다. 그리고 강수량의 증가는 토양침식 및 병충해에 악영향을 미친다는 결과를 도출하였다.

그리고 Lee 등(2008)의 연구에서는 나주지역의 대표 작물인 벼, 보리, 배추, 무 작물의 생육상태와 평균 기온, 일조시간, 강수일수 등에 따라 어떠한 변화를 나타냈는지 분석하였다. Roh 등(2012)의 연구에서는 강수량, 강수일수, 일조시간, 기온이 쌀 생산량에 미치는

영향을 분석하였다.

Lee 등(2012)의 연구에서는 지난 20년간 농작물별 생산량과 기상요소와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 농작물 생산량에 습도, 일사량, 풍속이 영향을 미치는 결과를 도출하였다. 하지만 기상요소의 지역별 편차를 반영하지 못하는 한계점이 있었다.

이상과 같이 농업과 기상요소간의 선행연구들에서 농작물의 생산량과 기상요소 간에는 밀접한 관련성이 있음을 확인할 수 있다. 그러나 쌀과 같은 하나의 농작물 생산량에 대해서만 연구되었다. 그리고 기상요소 가운데 최소 2개에서 최대 4가지의 요소만을 고려하였으며, 기상요소로 사용된 값들의 대표성이 명확히 확보되지 못한 한계점이 있다.

2.2. 연구방법

본 연구에서는 식량작물 생산량과 기상요인간의 상관관계를 분석하기 위해 통계청으로부터 2001년부터 2010년까지 시도별 식량작물 생산량과 재배면적 자료를 수집하였다. 식량작물 분석 자료는 통계청에서 분류하고 있는 농작물 생산조사의 카테고리를 기준으로 분류함에 따라 미곡, 맥류, 두류, 잡곡, 서류로 구분하였다.

기상자료는 기상청으로부터 2001년부터 2010년까지 각 지역의 기상요소별 자료를 수집하였는데, 해당 기상요소는 기온(air temperature, °C), 습도(relative humidity, %), 풍속(windspeed, m/s), 이슬점 온도(dew point temperature, °C), 일조시간(sunshine duration, hr), 지면온도(ground temperature, °C) 등의 평균값과 연간강수량(annual precipitation, mm)의 7개의 요소를 고려하였다. 그리고 생산량 자료가 시도 단위로 제공되므로 분석을 위해 사용된 기상자료는 시도별 대푯값을 산출하였다. 산출방법은 77개의 주요 기상관측지점을 시도별로 구분하여 각 지점별 연평균 기상요소 값을 평균하여 산출하였다(Table 1).

이상의 자료를 연도별, 시도별로 각각 구분하여 데이터를 패널자료로 구축하였다. 이를 기반으로 1차적으로 식량작물별 단위면적당 생산량과 기상요소간의 최소자승법(ordinary least square, OLS) 회귀분석을 실시하였다.

Table 1. Major city of each province

Major city	
Gwangwon-Do	Sokcho, Cheorwon, Daegwallyeong, Chuncheon, Gangneung, Donghae, Wonju, Yeongwol, Inje, Hongcheon, Taebaek
Gyeonggi-do	Dongducheon, Monsan, Suwon, Yangpyeong, Icheon
Gyeongnam	Masan, Tongyoung, Jinju, Geumsan, Geochang, Hapcheon, Miryang, Sancheong, Geoje, Namhae
Gyeongbuk	Ulleung, Uljin, Andong, Pohang, Bonghwa, Yeongju, Mungyeong, Yeongdeok, Uiseong, Gumi, Yeongcheon
Jeonnam	Mokpo, Yeosu, Heuksando, Wando, Jindo, Suncheon, Jangheung, Haenam, Goheung
Jeonbuk	Gunsan, Jeonju, Gosan, Buan, Imsil, Jeongeup, Namwon, Jangsu
Chungnam	Seosan, Cheonan, Boryeong, Buyeo
Chungbuk	Chungju, Cheongju, Chupungryong, Jecheon, Boeun

그리고 2차적으로 실시한 패널자료 분석은 시계열분석이나 횡단면 분석에서는 불가능한 개별특성효과(individual effect)와 시간특성효과(time effect)를 모두 통제할 수 있으므로 누락변수(unobservable omitted variable)에 대한 처리를 해주기 때문에 제반변수들에 대한 통제가 불가능한 부분을 반영할 수 있는 분석모형이다. 누락된 변수를 제어하기 위해 오차항에 대해 개인간에는 다르나 시간변동이 없는 변수, 시간변화에 따라 변동하나 개인 간에는 차이가 없는 변수, 개인 간에도 차이가 있고 시간변화에 따라서도 변동하는 확률적 교란 항으로 구분하여 다룬다. 이를 일반적인 선형모형으로 표현하면 아래와 같다.

$$Y = a + X\beta + \varepsilon$$

[if $\varepsilon = \mu_i + \lambda_t + \nu$,
 $i(\text{variable}) = 1, 2, \dots, N$, $t(\text{years}) = 1, 2, \dots, T$]

$$\mu_i = \text{unobserved individual effect}$$

$$\lambda_t = \text{unobserved time effect}$$

$$\nu = \text{stochastic disturbance}$$

그러므로 라그랑지 승수법(Lagrange Multiplier)을 사용하여 식량작물별 생산량에 기상요소가 미치는 영향을 분석하고자 추정된 회귀식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Production}(\text{Rice, Barley, Grain, Bean, Millet}) \\ &= \text{Temperature} + \text{Rainfall} + \text{Wind Speed} \\ &+ \text{Humidity} + \text{Dew Point} + \text{Sunshine} \\ &+ \text{Ground Temperature} + \text{Time} \\ &+ \mu_i + \lambda_t + \varepsilon \end{aligned}$$

라그랑지 승수법을 활용한 회귀분석에서는 식량작물별로 기상요소간 다중공선성이 존재하여 다중공선성이 높은 요소들은 배제하였다. 이에 따라 미곡은 모든 기상요소를 사용하였고, 맥류와 잡곡은 평균이슬점, 두류는 평균습도, 서류는 평균이슬점과 평균지면온도를 제외한 추정치를 도출하였다.

그리고 개별효과와 시간효과의 존재여부를 검정하기 위해 라그랑지 승수 검정인 G.H.M(Gourieroux, Holly and Monfort) test를 실시하였다. 이를 위한 가설은 아래와 같다.

$$H_0 : \mu_i = \lambda_t = 0$$

$$H_1 : \text{At least one of them is zero.}$$

G.H.M test의 결과에 기초하여 개별효과와 시간에 따른 Honda test를 각각 실시하였다. 각 테스트의 가설은 아래와 같다.

Honda test(individual effect) Hypothesis

$$H_0 : \mu_i = 0, H_1 : \mu_i \neq 0$$

Honda test(time effect) Hypothesis

$$H_0 : \lambda_t = 0, H_1 : \lambda_t \neq 0$$

최종적으로 오차항의 형태에 따라 랜덤효과모델(random effect model)과 고정효과모델(fixed effect model)로 구분된다. 이러한 모형은 오차항을 고려하는 방식에 따라 One-way error component regression model과 Two-way error component regression model로 나누어지며 오차항에 대한 가정에 따라 고정효과모델과 랜덤효과모델로 나누어진다. 이러한 모델 중 어느 모형을 사용할지는 하우스만 검정(Hausman test)

을 통해 어느 모형을 사용할지를 결정한다. 이를 위한 가설설정은 아래와 같다.

H_0 : Both random effect estimator and fixed effect estimator are consistent.

H_1 : Random effect estimator is not consistent.

이상의 방법론을 통해 본 연구에서는 종속변수인 식량작물 생산량과 독립변수 기상요소간의 상관관계가 있는지를 검증하고, 식량작물별 기상요소에 따른 생산량 추정치를 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 2에서 알 수 있듯이 식량작물의 기초통계량은 평균적으로 미국 생산량의 경우 1ha당 4.65톤이고, 표준편차는 0.62톤으로 나타났다. 그리고 맥류는 2.47, 잡곡은 2.87, 서류는 5.37, 두류는 1.45톤으로 평균생산량이 나타났다. 그리고 기상요소의 기초통계량은 2001년부터 2010년 동안 우리나라 전체의 평균기온은 13.19°C이고 표준오차는 1.38°C로 나타났으며, 연간강수량의 평균은 1392.82 mm, 평균습도는 65.91%, 평균이슬점은 6.3°C, 일조시간은 2118시간, 평균지면온도는 14.94°C로 나타났다.

Table 3에서 보는바와 같이 식량작물 생산량과 기상요소간의 회귀분석결과, 미곡의 경우 결정계수가 0.702로 미곡생산량과 기상요소간의 상관관계가 매우 높게 나타났다. 기상요소별로 살펴보면, 평균기온, 평균습도, 일조시간이 양의 상관관계를 강수량, 평균

풍속, 평균이슬점이 음의 상관관계를 나타내었다.

이는 쌀 재배시 기온, 습도, 일조시간이 증가할수록 생산량이 증가하고, 강수량이 많은 집중호우나 풍속이 강한 태풍에 의한 피해로 인해 생산량이 감소하는 경향이 통계적으로 유의하다고 볼 수 있다.

맥류의 경우 결정계수가 0.322로 다소 낮게 나타났는데, 기상요소별로 살펴보면, 평균기온, 평균습도, 일조시간은 양의 상관관계를 그리고 평균이슬점과 음의 상관관계를 나타냈다. 즉, 보리나 밀의 경우 주로 겨울철에 재배되는 작물로 겨울철의 평균기온이 높을수록 그리고 평균이슬점이 높을수록 생산량이 증가한다고 예측할 수 있다.

잡곡의 경우 결정계수가 0.493으로 식량작물 중 두 번째로 결정계수가 높게 나타났다. 잡곡의 경우 다른 작물과 다르게 평균기온, 일조시간, 평균지면온도에 음의 상관관계를 나타냈다. 이는 옥수수나 메밀과 같은 작물 등은 고온보다는 10°C내외의 서늘한 곳에서 주로 재배되기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 예상된다.

콩, 팥, 녹두, 강남콩, 땅콩 등이 속하는 두류의 경우, 결정계수 값이 0.238로 나타나, 강수량과의 상관계수 값이 의미를 가졌다. 고구마, 감자 등이 속하는 서류의 경우 결정계수가 0.104로 식량작물 중 제일 낮게 나타났으며, 습도와는 양의 상관관계, 그리고 평균이슬점과 일조시간은 음의 상관관계를 나타내었다.

그리고 시간이 지남에 따른 변동성이 생산량에 미치는 영향을 분석한 결과, 잡곡, 두류가 시간이 지남에 따라 생산량이 증가하고 서류는 감소하는 것으로 나

Table 2. Foundation statistic of meteorological factors and food crops production

		Average	Standard Deviation	Min	Max
Production	Rice	4.65	0.62	2.37	5.76
	Barley	2.47	0.92	.00	4.06
	Grain	2.87	1.14	.81	6.34
	Bean	1.45	0.27	.77	2.06
	Millet	5.37	0.73	3.66	7.26
	Temp	13.19	1.38	10.43	16.60
Meteorological factors	Rain	1392.82	312.95	761.40	2328.30
	Wind	2.29	0.72	1.35	4.43
	Hum	65.97	4.22	53.70	74.13
	Dow	6.30	1.56	2.95	11.38
	Sun	2118.77	217.34	1421.40	3062.45
	Ground	14.94	1.40	12.16	18.73

Table 3. OLS result between meteorological elements and food crops production

	Rice	Barley	Grain	Bean	Millet
(Intercept)	-11.542**	-42.637***	42.463***	1.637	-10.599
Temp(°C)	.621***	1.639***	-1.432***	-.079	.710
Rain(mm)	-.001***	.000	.000	.000***	.000
Wind(m/s)	-.303***	-.141	.104	.029	-.061
Humid(%)	.190***	.464***	-.352**	.003	.215*
Dew(°C)	-.777***	-1.360***	.951*	.048	-.849*
Sun(hr)	.000***	.001*	-.001**	.000	-.001**
Ground(°C)	.053	.065	-1.158**	.003	.010
Time	.019	-.045	.102***	.045***	-.095***
Multiple R	.838	.568	.702	.488	.322
R Square	.702	.322	.493	.238	.104
Adjust R Square	.688	.291	.469	.203	.062
Standard Error	.350	.776	.830	.244	.710
Observations	160	160	160	160	160
F	51.142***	10.356***	21.114***	6.791***	2.523**

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

타났다. 이는 잡곡이나 두류의 경우 품종개량이나 재배방법의 변화로 인해 생산량이 증가한 것으로 추측된다.

Table 4에서 보는 바와 같이 G.H.M test 결과, 모든 식량작물의 χ^2 값이 기각역에 속하므로 모든 식량작물은 개별효과 또는 시간효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고 모든 식량작물의 Honda test 결과를 살펴보면, 미곡, 맥류, 잡곡의 경우 개별효과에 대한 검정통계량 t 값이 18.73, 12.99, 7.08로 5% 유의수준에서 개별효과가 있는 것으로 나타났다. 두류는 시간 효과의 검정통계량 t 값이 10.52로 유의하게 나타났으며, 서류는 개별효과와 시간효과 모두가 있는 것으로 분석되었다.

Table 4. Result of Lagrange Multiplier Test

	G.H.M test		Honda test (individual effect)		Honda test (time effect)	
	χ^2	df	t		t	
Rice	350.91***	2	18.73***		-0.15	
Barley	169.46***	2	12.99***		0.73	
Grain	51.52***	2	7.08***		1.12	
Bean	112.58***	2	1.33		10.52***	
Millet	141.01***	2	11.26***		3.75***	

*** $p < 0.01$

그리고 회귀모형 분석을 위해 고정효과와 확률효과를 선택할지를 결정하기 위한 Hausman test의 결과, Table 5에서 보는 바와 같이 모든 식량작물의 p 값이 0.05 이상으로 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하였다. 즉 식량작물의 생산량을 추정하는 모형은 확률모형을 사용하여 추정할 수 있다.

Table 5. Result of Hausman test

	χ^2	df	p-value
Rice	11.03	8	0.199
Barley	6.54	7	0.477
Grain	12.923*	7	0.074
Bean	9.231	6	0.161
Millet	4.157	5	0.527

* $p < 0.1$

이상의 결과를 바탕으로 식량작물별 생산량과 기상요인간의 고정효과모형(LSDV, Least Square Dummy Variables) 분석을 한 결과는 Table 6과 같다.

그 결과를 살펴보면, 선형회귀분석의 결과와 유사하게 나타났다. 미곡의 경우 평균기온, 평균습도, 일조시간과는 양의 상관관계를 나타내었는데, 그 중 평균기온이 가장 높은 상관계수를 나타내었다. 그리고 평

균이슬점, 평균풍속, 강수량에 음의 상관관계를 나타냈다.

맥류의 경우도, 평균기온, 평균습도, 일조시간과는 양의 상관관계를 나타냈으며, 평균이슬점과는 음의 상관을 나타내었다.

잡곡은 평균이슬점과 양의 상관관계를 나타냈으며, 평균기온, 평균습도, 일조시간, 평균지면온도와는 음의 상관관계를 나타냈다. 특히 잡곡은 식량작물 중 유일하게 평균기온에 음의 상관관계를 나타내었다.

두류의 경우, 강수량에만 양의 상관관계가 통계적으로 유의한 의미를 나타내었으며, 서류의 경우, 평균이슬점, 일조시간에 음의 상관관계를, 평균습도와는 양의 상관관계를 나타내었다.

지역별로 상관계수의 조정을 위한 더미변수를 살펴보면, 미곡의 경우 서울, 인천, 충남이 양의 조절상수 값을 나타냈으며, 부산, 대구, 광주, 대전, 울산, 경남, 제주도는 음의 조절상수 값을 나타내었다. 맥류의 경우 서울을 제외한 모든 지역에서 양의 상수값을 나

Table 6. One way fixed effect LSDV(individual)

	Rice	Barley	Grain	Bean	Millet
(Intercept)	-11.542**	-42.637***	42.463***	1.637	-10.599
Temp(°C)	.621***	1.639***	-1.432***	-.079	.710
Rain(mm)	-.001***	.000	.000	.000***	.000
Wind(m/s)	-.303***	-.141	.104	.029	-.061
Humid(%)	.190***	.464***	-.352**	.003	.215*
Dew(°C)	-.777***	-1.360***	.951*	.048	-.849*
Sun(hr)	.000***	.001*	-.001**	.000	-.001**
Ground(°C)	.053	.065	-.158**	.003	.010
Time	.019	-.045	.102***	.045***	-.095***
Seoul	2.302**	-.555	-1.394	-2.015**	-1.022
Busan	-1.678*	2.804***	-1.130	-1.471	-2.715***
Daegu	-8.797***	6.732***	-3.760***	-4.037***	-4.157***
Inchon	2.069**	6.360***	-1.299	-.158	1.392
Gwangju	-3.695***	8.030***	-2.601**	-.036	3.797***
Daejeon	-2.149**	5.222***	-3.253***	-2.027**	1.266
Ulsan	-7.018***	5.739***	-2.875***	-2.173**	-.010
GyeongGi-Do	-.314	5.700***	-2.371**	.588	3.199***
Gangwon-Do	-1.434	7.397***	-1.099	.429	5.426***
Chungbuk	-.103	7.284***	-.340	.260	2.259**
Chungnam	2.132*	5.222***	-4.677***	.738	2.405**
Jeonbuk	.942	6.706***	-4.396***	.408	1.993**
Jeonnam	-.555	4.496***	-3.392***	.717	1.968*
Gyeongbuk	-.658	7.594***	-4.704***	.475	1.883*
Gyeongnam	-3.296***	6.633***	-3.663***	-.674	.100
Jeju	-7.139***	2.419**	-1.582	.084	-2.929***
Multiple R	0.841	0.579	0.730	0.610	0.433
R Square	0.707	0.335	0.533	0.372	0.187
Adjust R Square	0.691	0.300	0.508	0.339	0.144
Standard Error	0.347	0.772	0.799	0.222	0.679
Observations	160	160	160	160	160
F	45.459***	9.499***	21.556***	11.189***	4.350***

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

타냈으며, 그 중 광주, 강원도, 충북의 조절상수 값이 높게 나타났다. 그리고 잡곡의 경우 대구, 광주, 대전, 울산, 경기도, 충청남·북도, 전라남·북도, 경상남·북도에서 음의 조절상수 값을 나타냈다. 두류의 경우 서울, 대구, 대전, 울산에서 음의 조절상수 값만이 유의하게 나타났다. 마지막으로 서류의 경우, 부산, 대구에서는 음의 조절상수 값을 나타냈으며, 광주, 경기도, 강원도, 충청남·북도, 전라남·북도, 경상북도, 제주도에서 음의 조절상수 값을 나타내었다.

이상의 결과를 바탕으로 식량작물별 기상요소에 따른 추정치 산출을 위해 One way random effect model을 사용하여 식량작물의 생산량을 추정하였다 (Table 7).

그 결과 미곡의 경우, $\theta(\sigma_{\mu}^2/\sigma_{\epsilon}^2)$ 값이 0.863으로 개별 효과(지역)가 미곡생산량의 변화를 예측하는 설명력이 매우 높게 나타났다. 그리고 요소별로는 기온, 습도, 지면온도에 양의 상관계수를 나타냈으며, 강수량, 풍속, 이슬점 온도와는 음의 상관관계를 나타내었다. 즉, 기온이 1°C 상승할 때마다 미곡생산량은 1.21톤이 증가하고, 습도가 1% 높아질 때마다 0.28톤 증가할 것으로 예측된다.

맥류의 경우, 기온과 습도만 양의 상관관계가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 기온이 1°C 상승할 때마다 맥류의 생산량은 0.27톤씩 증가하고 습도가

1% 높아질 때마다 0.06톤이 증가할 것으로 예측된다.

잡곡의 경우, 기온, 습도, 지면온도와 음의 상관관계를 나타내어, 기온이 1°C 상승할 때마다 잡곡생산량은 0.328톤씩 감소하고, 지면온도가 1°C 상승할 때마다 0.125톤씩 감소하며, 습도가 1% 증가할 때마다 0.047톤씩 감소할 것으로 예측된다.

두류의 경우 지면온도와는 양의 상관관계를 나타내었으며, 기온과는 음의 상관관계를 나타내었다. 즉, 기온이 1°C 상승할 때마다 0.1톤씩 두류생산량이 감소하고, 지면온도가 1°C 상승할 때마다 생산량이 0.069톤씩 증가할 것으로 예측할 수 있다.

마지막으로 서류의 경우 습도, 일조시간과는 음의 상관관계를 나타내어, 습도가 1% 증가할 때 서류생산량은 0.04톤씩 감소하고, 일조시간이 1시간 증가할수록 생산량은 0.0006톤이 감소될 것으로 예측된다.

4. 결론

최근 기후변화로 인한 농작물 생산량의 증감의 폭이 점차적으로 커지고 있다. 이에 선진국들은 자국의 식량자급률을 높이기 위해 경제정책에 기상요소를 중요한 전략적 요소로 반영하고 있다. 이에 따라 본 연구는 우리나라 농작물 중 가장 소비가 많은 식량작물을 연구대상으로 하였다. 그리고 식량작물 생산량에 절대적 영향을 미치는 기상요소와의 상관관계를 규명하

Table 7. The result of Lagrange multiplier test

	Rice	Barley	Grain	Bean	Millet
(Intercept)	-22.40***	-4.68*	12.774***	2.201***	11.749***
Temp(°C)	1.21***	0.27**	-0.328***	-0.010***	-0.137
Rain(mm)	-5.01e-04***	-0.0002	-0.0003	-1.15e-04	-0.0001
Wind(m/s)	-0.28***	-0.07	-0.046	0.004	0.031
Humid(%)	0.28***	0.06**	-0.047*	-9.17e-06	-0.040*
Dew(°C)	-1.21***				
Sun(hr)	2.36e-04**	0.0001	-0.0001	0.012	-0.0006**
Ground(°C)	0.047**	-0.015	-0.125*	0.069***	
Time	0.001	-0.015	0.078***	0.042***	-0.064**
R-squared	0.73	0.085	0.248	0.264	0.072
F	51.54***	2.035***	7.194***	7.795***	2.000*
$\sigma_{\mu}^2/\sigma_{\epsilon}^2$	0.863	0.755	0.619	0.625	0.582

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

였다.

본 연구에서는 식량작물 생산량에 기상요소가 미치는 영향을 분석하기 위해 패널자료를 구축하고, 라그랑지 승수법을 통한 식량작물별 생산량과 기상요소간의 고정효과모형을 분석하였다.

그 결과 작물별로 생산량 증가에 영향을 미치는 요소로는 미곡은 평균기온, 평균습도, 평균지면온도, 맥류는 평균기온, 평균습도, 두류는 평균지면온도와 양의 상관관계를 나타냈다. 그리고 생산량 감소에 영향을 미치는 요소로는 미곡의 경우 강수량, 평균풍속, 평균이슬점, 잡곡은 평균기온, 평균습도, 두류는 평균기온, 서류는 평균습도, 일조시간과 음의 상관관계를 나타냈다.

이상의 결과들을 통해 본 연구가 줄 수 있는 시사점으로는 첫째, 식량작물 생산량에 기상요소가 미치는 영향이 매우 크다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 식량작물별로 생산량에 영향을 미치는 핵심기상요소가 다르다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 쌀과 같은 미곡에서는 기온, 습도, 지면온도가 높을수록 생산량이 증가하고 풍속, 강수량, 이슬점, 일조시간이 증가할수록 생산량이 감소할 것이 예측되므로 사전에 기상청으로부터 제공된 기상정보를 바탕으로 농작물의 피해를 막을 수 있는 대비활동을 펼쳐야 할 것이다.

둘째, 기존연구들과 비교하여 하나의 농작물에 국한하지 않고 식량작물 5종류를 모두 반영하였고, 기온, 강수량 등의 기상요소만을 고려하던 것을 보다 확장하여 다양한 기상요소를 반영하였다. 그리고 기상요소의 지역별 대푯값을 도출하여 식량작물 생산량과 기상요소간의 패널자료를 가지고 회귀분석을 실시한 것에 의의가 있다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 농업의 생산량에 직접적인 영향을 미치는 기상요소를 재배 농작물별로 구분하고, 기상정보 제공자는 지역별로 주요 재배 농작물을 조사하여, 지역 특화된 기상정보 서비스를 제공하는데 기초자료를 제공해줄 수 있다.

그러나 본 연구의 한계점으로는 식량작물 전체를 연구대상으로 하였지만, 10년간의 짧은 자료만을 연구에 활용하였기 때문에 데이터의 추가적인 확보를 통해 추정의 정확성을 높일 필요가 있다. 또한, 향후 본 연구를 기반으로 다른 농작물로 연구대상을 확대

하여 농작물 생산량과 기상요소간의 영향을 분석할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No. 2012-0008677).

참고 문헌

- Jeong, J. H., Kim, K. B., 2012, Analyzing the Economic Relevance of Climate Variables in the Agriculture of Gangwon-do, *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, 15(2), 192-205.
- Kim, S. Y., Lee, S. H., 2011, The Impact of Climate Changes on Highland Agriculture Region in Taebak Mountainous, *Journal of Climate Research*, 6(2), 100-109.
- Kwon, O. S., Kim, C. G., 2008, Climate change and rice productivity: Non-parametric and semi-parametric analysis, *Korean Journal of Agricultural Economics*, 49(4), 45-64.
- Kwon, O. S., Roh, J. S., Suh Y., 2012, An Input-Output and CGE Analysis of the Economic Impacts of Agricultural Production Losses due to Abnormal Weather in Korea, *Korean Journal of Agricultural Economics*, 53(2), 1-31.
- Lee, K. K., Ko, K. K., Lee, J. W., 2012, Correlation Analysis between Meteorological Factors and Crop Products, *Journal of the Environment Sciences*, 21(4), 461-470.
- Lee, S. H., Kim, S. Y., 2008, The Impact of Climate Changes on Highland Agriculture Region in Taebak Mountainous, 6(2), 100-109.
- Lee, S. H., Heo, I. H., Lee, K. M., Kim, S. Y., Lee, Y. S., Kwon, W. T., 2008, Impacts of Climate Change on Phenology and Growth of Crops: In the Case of Naju, *Journal of the Korean Geographical Society*, 46(1), 20-35.
- Park, J. K., Jang, E. S., Choi, H. J., 2005, An analysis of meteorological disasters occurred in the Korean peninsula, *J. of the Environmental Sciences*, 14(6), 613-619.

- Park, J. K., Jung, W. S., Choi, H. J., 2008, An analysis of the Korean peninsula damage vulnerabilities for a natural disaster mitigation : focus on public facilities damages, *J. of the Environmental Sciences*, 17(4), 413-422.
- Roh, J. S., Kwon, O. S., Cho. S. H., 2012, Causality Between Climate Variables and Rice Yields, *Korean Journal of Agricultural Economics*, 53(1), 21-39.
- Rosenzweig, C., Iqbal, A.(ed.), 1994, Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study, United States Environmental Protection Agency.