

ORIGINAL ARTICLE

우리나라 곡물류 생산량에 기상요소의 영향에 관한 연구

장영재 · 이종우 · 박종길¹⁾ · 박흥재^{2)*}

인제대학교 경영학부/산업경영연구원, ¹⁾인제대학교 환경공학과/대기환경정보연구센터, ²⁾인제대학교 환경공학과

Study on Effects of Meteorological Elements in the Grain Production of Korea

Young-Jae Chang, Joong-Woo Lee, Jong-Kil Park¹⁾, Heung Jai Park^{2)*}

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

²⁾Department of Environmental Engineering, 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 on the production of five types of grain with error component panel data regression method following the test results of LM tests, Hausman test.

The key factors affecting the production of rice were average temperature, average relative humidity and average ground surface temperature. The fluctuations in the other four grains types are not well explained by meteorological elements. For other grains and beans, only average temperature and time (year) affect the production of other grains while average temperature, ground surface temperature, and time (year) influence the production of beans. For barley and millet, only average temperature positively affects the production of barley while ground surface temperature and time (year) negatively influence the production of millet.

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

Key words : Meteorological elements, Grain production, Error component panel data regression

1. 서론

최근 기후변화는 세계적인 현상이며, 이로 인해 야기된 농산물 생산량 감소가 농산물 수급불안정 문제를 발

생시키고 있으며 곡물류 수급불안정의 문제는 국가안보 문제의 일환으로 인식되고 있다. 우리나라는 세계 5위 곡물 수입국으로 연간 1,400만 톤 이상의 곡물을 수입하고 있으며 식량자급률 또한 감소하고 있다. 농림수산물식품부

Received 1 December, 2014; Revised 3 February, 2015;

Accepted 23 February, 2015

*Corresponding author: Heung Jai Park, Department of Environmental Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

Phone: +82-55-320-3418

E-mail: phjenv@yahoo.co.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.

(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)에 따르면, 우리나라의 식량자급률은 지난 2009년 56.2%에서 2010년 54.1%, 2011년에는 45.2%, 2012년에는 45.4%로 하락하였다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2014). 쌀을 제외한 2012년 식량자급률을 보면 밀은 98.3%, 보리는 82.8%, 콩은 69.2% 등 주요곡물을 수입에 의존하고 있어 국가의 식량안보가 매우 위태로운 상황이다.

이러한 원인으로는 첫째, 기후 및 기상의 이변으로 국내 곡물류생산이 크게 영향을 받고 있다. 둘째, 소득 증가에 따른 식생활 패턴이 식물성 단백질에서 동물성 단백질 섭취로 변화되었기 때문이고, 셋째, 농경지 면적의 감소이다. 지난 10년 동안 연평균 19만 ha의 농경지가 산업단지, 주택단지, 도로 건설 등으로 전체 농경지 면적의 1%에 해당하는 2만 ha의 농경지가 매년 없어지고 있다.

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

기후변화와 그에 따른 기상이변은 무엇보다 인류의 생존에 필요한 농업에 즉각적인 파급효과를 주어 농산물 수급 불안정의 문제를 야기하고, 주요 곡물의 가격 폭등으로 이어지고 있다. 2010년 세계적 밀 재배지인 러시아 서부에 폭염이 지속되면서 밀 수확량이 줄어들자 밀 가격은 급등하였고 급기야 곡물 수출의 제한과 중단을 시작하면서 식량안보가 사회적 문제로 대두되었다. 2011년 초 세계적인 곡창지대인 미국 중서부의 극심한 가뭄과 고온으로 옥수수과 콩의 생산량이 감소한 것이 국제 곡물가격의 폭등으로 이어져 세계적인 애그플레이션을 초래하였다. 이에 따른 곡물수입에 대한 대외지출의 증가와 수입곡물가격의 대폭 상승으로 가계의 앵겔지수를 증가시켰으며, 이로 인한 기후 및 기상이변과 관련된 경제 환경과 식량을 하나의 문제로 인식하기 시작하였다. 이처럼 기후변화에 따른 이상기상이 가져올 수 있는 식량위기를 극복할 수 있는 대책이 시급한 상황이다.

따라서 본 연구는 우리나라 주요 다섯 가지 곡물의 단

위면적당 생산량과 기상요인들의 패널자료에 패널회귀 분석을 적용하여 주요 기상요인들이 이들 곡물류의 생산에 어떠한 영향을 주는가를 분석하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 농업과 기상간의 상관관계 이전연구

최근 기후변화가 농업생산에 미치는 영향에 관한 다수의 연구들이 진행되고 있는데, 김 등(2013)은 특별한 감축노력 없이 현재 추세로 온실기체가 배출되는 경우를 가정한 RCP8.5 기후변화 시나리오에서 우리나라 곡물 생산 전망은 벼의 경우 모든 품종에서 수량이 줄어들어 부정적인 영향이 강하며, 콩의 경우 큰 변동이 없는 것으로 전망하였고, 보리는 수량이 증가하는 것으로 전망하여 기후변화에 긍정적인 영향이 크게 나타난다고 하였다. 특히 우리나라에서 재배되는 보리는 가을에 파종하여 이듬해 초여름에 수확하는 작물로 수확량은 월동기간에 기온(양의 상관)과 일조시간(음의 상관), 분얼기간은 강수량(음의 상관), 등숙기간은 증발산위(양의 상관)와 상관을 보여, 기상요소의 영향이 크게 나타나는 작물이다 (Shim etc., 2002).

우리나라에서 벼 생육모델(ORYZA)을 이용한 작물 시뮬레이션을 실시한 2011년 국립농업과학원의 연구결과에서 30년간 기후변화로 인해 평균적으로 10%이내의 생산성 손실이 예측되었다(Kwon etc., 2012). 그리고 1989년부터 1992년 사이 전 세계 지역을 대상으로 작물 모형을 이용한 미국 환경청(Environmental Protection Agency, EPA)의 연구도 있다(Rosenzweig와 Iqbal, 1994).

한편 농업생산과 기상요소와의 상관관계에 대한 연구들이 국내에서 진행되었는데, 은 기상요소와 MODIS 위성의 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)를 이용한 결과 모형에 의해 산출된 예측량(Na etc., 2012)은 통계청의 예상량과 비슷한 추이를 나타내었으며, 농업지대별로는 경북 내륙지대가 가장 높게 예측되었고, 동해안지대가 가장 낮게 예측되어 기상요소와 NDVI가 논벼 생산량 변화 특성을 잘 반영하는 것으로 평가되었다.

충남지역을 대상으로 기상요소들이 벼의 생육과 수량에 미치는 영향을 벡터 자기회귀모형으로 분석(An & Cho,

2010)에서 벼의 수량과 수량구성요소에 가장 큰 영향을 미친 기상요소는 일조시수 이었으며, 그루벼를 포함한 14종이 기상변화에 예민한 품종이며, 계화벼를 포함한 66개종이 기상변화에 둔감한 품종이라 지적하였다.

1976-2007년 일반 벼의 연간 생산량과 벼의 생육시기인 4월에서 10월까지의 평균기온과 강수량 자료에 대해 커널 회귀분석 및 부분 선형모형으로 분석(Kwon & Kim, 2008)한 결과, 20℃에 이를 때까지 평균기온이 증가할수록 쌀 생산량은 증가하지만, 평균기온이 20℃ 이상 시에는 그 효과가 미비하거나 오히려 감소하고, 평균 강수량이 늘어날수록 쌀 수확량이 감소하는 것으로 나타났다.

기후변화가 고랭지농업지역의 토지피복에 미치는 영향을 연구(Kim & Lee, 2011)에서 기온이 상승할수록 고랭지의 재배면적이 증가하였는데, 기온상승에 따라 상대적으로 높은 고도의 산지를 개간하여 이용한 것으로 나타났다. 그리고 강수량의 증가는 토양침식 및 병충해를 야기하여 재배면적에 악영향을 끼치는 것으로 나타났다.

그리고 나주지역을 중심으로 대표 작물인 벼, 보리, 배추, 무 작물의 생육상태와 평균기온, 일조시간, 강수일수 등의 효과를 분석(Lee etc., 2008)하였고 강수량, 강수일수, 일조시간, 기온이 쌀 생산량에 끼치는 영향에 대해 분석(Roh etc., 2012)하였다.

그리고 지난 20년간 농작물별 생산량과 기상요소와의 단순 상관관계를 분석(Lee etc, 2012)하였다. 그 결과 농작물 생산량과 습도, 일사량, 풍속이 상관관계를 가지는 결과를 얻었다. 하지만 기상요소의 지역별 편차를 반영하지 못하는 한계점이 있었다. 식량작물 생산량에 기상요소가 미치는 영향을 분석하기 위해 패널자료를 구축하고 식량작물별 생산량과 기상요소간의 고정효과모형 분석을 곡물류별 생산량에 영향을 미치는 요소로 평균기온, 습도, 지면온도, 강수량, 풍속, 이슬점, 평균일조시간 등으로 하여 수행(Lee etc, 2013)하였으나 심각한 오류가 있었다.

이상과 같이 농업과 기상요소간의 이전 연구들에서 보는 바와 같이 농작물의 생산량과 기상요소 간에는 밀접한 관련성이 있음을 확인할 수 있다. 그러나 대부분의 연구는 쌀과 같은 하나의 농작물 생산량에 대해서만 연

구되었다. 그리고 Lee etc(2013)을 제외하고 기상요소 가운데 최소 2개에서 최대 4가지의 요소만을 고려하였으며, 기상요소로 사용된 값들의 대표성이 명확히 확보되지 못한 한계점이 있다.

본 연구는 주요 쌀을 포함한 주요곡물들의 단위면적당 생산량과 주요 기상요소들의 관계를 포괄적으로 분석함으로써 어떤 곡물이 기상요소에 의해 더 큰 영향을 받는가를 찾아내며, 기상요소 중에서도 어떤 기상요소가 곡물들의 단위당 생산량에 어떻게 영향을 끼치는가를 자료의 특성을 반영한 모형에 근거하여 분석하는 데 그 의의가 있다.

3. 연구방법)

본 연구에서는 주요 기상요인이 식량작물 생산량에 미치는 영향을 분석하기 위해 통계청으로부터 2001년부터 2010년까지 식량작물 생산량과 재배면적에 대한 시도별 자료를 수집하였다. 식량작물을 통계청의 농작물 생산조사의 분류체계에 따라 미곡, 맥류, 두류, 잡곡, 서류로 구분하였다.

기상자료는 기상청으로부터 2001년부터 2010년까지 각 지역의 기상요소별 자료를 수집하였는데, 해당 기상요소는 기온(air temperature, ℃), 습도(relative humidity, %), 풍속(wind speed, m/s), 이슬점 온도(dew point temperature, ℃), 일조시간(sunshine duration, hr), 지면온도(ground temperature, ℃) 등의 평균값과 연총강수량(annual total precipitation, mm)의 7개의 요소를 고려하였다. 이들 기상요소에 대한 기상자료는 77개의 주요 기상관측지점을 시도별로 구분하여 각 지점별 연평균 기상요소 값들을 평균하여 산출하였다(Table 1).

이상의 자료를 연도별, 시도별로 각각 구분하여 데이터를 패널자료로 구축하였다. 이를 기반으로 곡물의 단위면적당 생산량에 영향을 미치는 요인들을 검정하고 추정하기 위한 추정모형은 다음과 같다 (Baltagi, 1995).

$$y_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + \mu_i + \lambda_t + \nu_{it},$$

$$i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T$$

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

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

1) 참고문헌(Lee etc., 2013)의 내용과 같음

Table 1. Major city of each province(Lee etc, 2013)

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

미곡(Rice), 맥류(Barley), 잡곡(Other Grain), 두류(Bean), 서류(Millet) i 지역 t 기의 단위면적당 생산량 각각이 종속변수 y_{it} 가 된다. x_{it} 는 i 지역의 t 기에서의 연평균 기온, 연평균 강수량, 연평균 풍속, 연평균 습도, 연평균 이슬점 온도, 연평균 일조량, 연평균 지면온도와 연도(Time)으로 구성된 설명변수벡터이다. μ_i 는 지역간에는 다르지만 시기에 따라서는 변하지 않는 개별효과이며, λ_t 는 시기에 따라서는 변하지만 지역에 따라서는 변하지 않는 시간효과를 나타내며, ν_{it} 는 지역과 시기에 따라 변하는 확률교란항이다.

개별효과 및 시간효과 둘 다 존재하지 않는다면 위 모형은 횡단면-시계열 통합회귀모형(pooling cross-section and time series regression model)이 되며 이 경우에는 OLS(ordinary least squares)로 쉽게 추정될 수 있다. 그러나 개별효과나 시간효과 중 어느 하나라도 존재하면 OLS 추정량은 효율적인 추정량이 될 수 없다.

위의 모형에서 개별효과 혹은 시간효과의 존재여부를 검정하기 위해 라그랑지 승수 검정인 GHM (Grouieroux, Holly and Monfort, 1982) 검정을 실시하였다. GHM 검정의 가설은 아래와 같다.

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

$$H_1 : \text{at least one of them is not zero}$$

GHM의 검정에서 대립가설이 지지되는 경우에 개별효과와 시간효과 중 어떤 것이 존재하는가를 검정하기 위하여 Honda 검정(Honda, 1985)을 각각 실시하였다. 각 검정의 귀무가설과 대립가설은 아래와 같다.

Honda test (individual effect) Hypothesis

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

Honda test (time effect) Hypothesis

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

개별효과와 시간효과가 모두 존재하면 이원오차 패널 회귀모형을 사용하게 되고, 개별효과나 시간효과 중 어느 하나만 존재하면 일원오차 패널회귀모형을 사용하게 된다. 그런데 이러한 개별효과와 시간효과가 개별지역이나 시간에 고유한 고정된 값을 갖는 고정효과인가 아니면 확률적 분포를 하는 확률효과인가를 구분해야 한다.

하우스만 검정(Hausman test; Hausman, 1978)을 통해 이러한 효과들이 고정효과인지 확률효과인지를 구분할 수 있으며 하우스만 검정을 위한 가설은 아래와 같다.

$$H_0 : \text{both random effect estimator and fixed effect estimator are consistent}$$

$$H_1 : \text{random effect estimator is not consistent}$$

이상의 방법론을 통해 본 연구에서는 종속변수인 곡물류의 단위면적당 생산량을 독립변수인 기상요소들이 어떻게 설명할 수 있는가를 검정하고 추정하였다.

4. 결과 및 고찰²⁾

Table 2에 식량작물과 기상요소에 대한 평균, 표준편차, 최대값, 최소값 등의 기초통계량이 제시되어 있다. 2001년부터 2010년까지의 해당 기간 동안 1 ha당 평균

Table 2. Basic statistics of meteorological factors and grain production(Lee etc, 2013)

	Grain	Average	Standard Deviation	Min.	Max.
Production	Rice	4.65	0.62	2.37	5.76
	Barley	2.47	0.92	.00	4.06
	Other 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
	Humidity	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

생산량을 보면 미곡의 경우 4.65 톤, 맥류 2.47 톤, 잡곡 2.87 톤, 콩 1.45 톤, 기장 5.37 톤으로 나타났다. 해당기간에 대한 주요 기상요소들의 기초통계량을 보면, 평균 기온 13.19 °C, 연총강수량의 평균은 1392.82 mm, 평균 습도는 65.91%, 평균이슬점은 6.3 °C, 연간일조시간 평균은 2,118시간, 평균지면온도는 14.94 °C로 나타났다.

추정모형 중 어떤 모형으로 추정해야 하는가를 결정하기 위하여 개별효과 및 시간효과의 존재여부에 대한 GHM 검정결과와 Honda 검정결과가 Table 3에 정리되어 있다. Table 3에서 보는 바와 같이 GHM test 결과, 모든 식량작물의 χ^2 검정통계량 값이 1% 유의수준에서 개별효과 혹은 시간효과가 없다는 귀무가설을 기각하므로 개별효과 혹은 시간효과를 반영한 모형을 추정해야

한다. Honda test 결과를 살펴보면, 미곡, 맥류, 잡곡의 경우는 개별효과의 검정통계량 값들이 1% 유의수준에서 개별효과가 없다는 귀무가설을 기각하는 반면, 시간효과의 검정통계량 값들은 시간효과가 없다는 귀무가설을 기각하지 못한다고 나왔으므로 미곡, 맥류, 잡곡류 등은 개별효과가 있는 모형을 추정해야 한다.

두류의 경우는 개별효과에 대한 검정통계량 값은 개별효과가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없는 반면 시간효과에 대한 검정통계량 값은 시간효과가 없다는 귀무가설을 1% 유의수준에서 기각하므로 시간효과가 있는 모형을 추정해야 한다. 끝으로 기장류의 경우는 개별효과와 시간효과에 대한 Honda검정의 결과가 각각의 효과가 없다는 귀무가설들을 1% 유의수준에서 기각하

Table 3. Result of Lagrange Multiplier Test(Lee etc, 2013)

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

***p<0.01, degree of freedom for $\chi^2 = 2$

2) Table 4에 제시되어 있는 내용은 참고문헌(Lee etc., 2013)의 내용과 같음

로 개별효과와 시간효과 모두를 포함하는 모형을 추정해야 한다.

개별효과와 시간효과가 고정효과인지 확률효과인지를 결정하기 위한 Hausman test의 결과는 Table 4에 제시되어 있다. 모든 곡물에 대해 고정효과 모형의 추정량과 확률효과 모형의 추정량이 모두 일치추정량이라는 귀무가설을 5% 유의수준에서 기각하지 못하였다. 따라서 각 곡물에 대해 보다 효율적인 확률효과 모형으로 추정하는 것이 타당하다.

Table 4. Result of Hausman Test(Lee etc, 2013)

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

*p<0.1

Table 5에 미곡에 대한 추정결과가 정리되어 있다. 앞에서 모형설정에 대한 검정결과 미곡의 경우는 개별효과

가 있는 일원 확률효과 모형이 적합한 모형이다. 적합한 모형인 확률효과 모형의 추정결과를 보면 결정계수가 0.732로 단위면적당 미곡생산량 변동의 73.2% 정도가 기상요소들에 의해 설명될 수 있으며 F통계량으로 보아 모형전체도 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 가진다. 전체 추정된 회귀계수 값들은 Time을 제외하고는 5%와 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 가진다. 기온, 습도, 일조시간, 지면 온도 등의 회귀계수가 양의 값으로 추정되었고, 강수량, 풍속, 이슬점 등이 음수로 추정되었다. 이는 쌀 재배 시 기온, 습도, 지면 온도가 상승하거나 일조시간이 길어질수록 단위면적당 생산량이 증가하고, 강수량이 많은 집중호우나 풍속이 강한 태풍에 의한 피해로 생산량이 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

구체적으로는 기온이 1°C 상승할 때마다 미곡생산량은 1.214톤이 증가하고 습도가 1% 높아질 때마다 0.287톤 증가할 것으로 예측된다. 반면에 강수량이 1 mm이 증가할 때마다 미곡생산량은 0.0005톤 감소하고 풍속이 1 ms 강해질 때마다 0.284 톤 감소하며, 이슬점 온도가 1°C 상승할 때마다 1.211 톤 감소할 것으로 예측된다. 설명변수 연도(Time)의 추정치는 양수이기는 하나 통계적 유의성이 없으므로 연도의 경과에 따른 단위면적당

Table 5. The regression result for Rice

Coefficient	Pooled (OLS)		One-way fixed effect (individual effect)		One-way random effect (individual effect)	
	estimate	t	estimate	t	estimate	t
(Intercept)	-11.542**	-2.089			-22.440***	-5.957
Temp	.621***	2.658	1.213***	7.908	1.214***	7.882
Rain	-.001***	-5.060	-0.00048***	-8.507	-0.00050***	-8.790
Wind	-.303***	-5.559	-.186**	-2.202	-.284***	-3.940
Humid	.190***	3.177	.264***	6.294	.287***	6.955
Dew	-.777***	-3.349	-1.143***	-7.280	-1.211***	-7.799
Sun	0.00045***	2.722	0.00021***	2.005	0.00024***	2.288
G. Temp	.053***	1.587	.041***	2.310	.042***	2.298
Time	.019***	1.545	.003***	0.390	.002***	0.276
R ²	0.707		0.753		0.732	
Adj. R ²	0.667		0.64		0.691	
F	45.460***		51.825***		51.549***	
Obs.	160		160		160	
$\sigma_{\mu}^2 / (\sigma_{\mu}^2 + \sigma_{\epsilon}^2)$					0.841	

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

미국생산량의 변화를 확인할 수 없었다.

참고로 제공된 통합모형이나 일원 고정효과 모형의 경우 추정된 회귀계수의 값들이 차이가 날 뿐만 아니라 통계적 유의성도 달라질 수 있음을 확인할 수 있다. 개별 효과에 따른 분산의 크기가 교란항 전체의 분산에서 차지하는 비율이 84.1%로 개별효과를 고려하지 않은 통합 모형의 추정은 피해야 할 것이다. 일원고정효과 모형은 개별효과를 고려하지만 그 개별효과를 지역에 고정된 효과로 추정함으로써 비효율적인 추정결과를 제공하게 된다. 개별효과가 존재하는 고정효과 모형의 결과는 확률 효과 모형과 대부분의 경우 유사한 추정치를 제공하고 있지만 Wind의 회귀계수 추정치는 -0.186으로 확률 효과 모형의 추정치 -0.284와 상당한 차이가 나는 것을 알 수 있다. 통합자료 OLS 추정결과는 거의 대부분 변수들에서 추정결과가 상당히 다르다.

Table 6에 맥류, 잡곡, 콩류, 기장류에 대한 추정결과가 정리되어 있다. 앞에서 모형설정에 대한 검정결과 보리와 밀을 나타내는 맥류의 경우는 개별효과가 있는 일

원 확률효과 모형이 적합한 모형이다. 적합한 모형인 확률효과 모형의 추정결과를 보면 결정계수가 0.086으로 맥류생산량 변동의 약 8.6%만이 주요 기상요소에 의해 설명될 뿐이며 F 통계량으로 보면 모형전체는 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 가진다. 전체 추정된 회귀계수 값들은 Temp(기온)와 Humid(습도)만이 5% 유의수준에서 통계적 유의성을 가진다. 다른 설명변수들의 회귀계수 추정값들은 통계적 유의성을 가지지 못하는 것으로 나왔다.

모형설정에 대한 가설검정결과 옥수수와 메밀 등의 잡곡에 대해서는 개별효과가 있는 일원 확률효과 모형이 적합한 모형이었다. 개별효과가 있는 일원 확률효과모형의 추정결과를 보면 결정계수가 0.2489로 맥류생산량 변동의 약 25% 정도가 주요 기상요소에 의해 설명될 수 있으며 F 통계량으로 보아 모형전체로 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 가진다고 할 수 있다. 기온(Temp)과 연도(time)는 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 가지고 추정되었으며 습도(Humid)와 지면온도(G. Temp)는 10% 유

Table 6. The random effect regression result for grains

Grain model	Barley		Other Grain		Bean		Millet	
	One-way(individual) random effect		One-way(individual) random effect		One-way(time) random effect		Two-way random effect	
Coefficient	est.	t	est.	t	est.	t	est.	t
(Intercept)	-4.682*	-1.850	12.77***	4.723	2.201***	7.130	11.749***	5.077
Temp	0.278**	2.575	-0.328**	-2.861	-0.109***	-5.414	-0.137	-1.355
Rain	-0.000	-1.327	-0.000	-1.615	-0.000*	-1.692	-0.000	-0.736
Wind	-0.072	-0.377	-0.047	-0.244	0.005	0.165	0.032	0.185
Humid	0.062**	2.512	-0.048*	-1.834	-0.000	-0.100	-0.041*	-1.923
Sun	0.000	0.367	-0.000	-0.464	0.012	0.663	-	-
G. Temp	-0.015	-0.264	-0.125*	-1.787	0.070***	4.313	-0.001**	-2.401
Time	-0.016	-0.958	0.178***	3.881	0.043***	3.207	-0.650**	-2.054
R ²	0.0857		0.2489		0.2642		0.0727	
Adj. R ²	0.0814		0.2364		0.2510		0.0695	
F	2.0354*		7.19441***		7.79546***		2.00008*	
Obs.	160		160		160		160	
σ_{μ}^2 share	0.611		0.629		-		0.537	
σ_{λ}^2 share	-		-		0.277		0.123	
sum of variances	0.734		0.652		0.041		0.543	

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

의수준에서 통계적 유의성을 가지고 추정되었다. 연도변수의 회귀계수는 양의 값으로 추정되어 시간이 지날수록 잡곡의 헥타르 당 생산량이 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 시간변수의 추정결과는 품종개량이나 재배방법의 변화로 헥타르 당 잡곡생산량이 증가한 것으로 추측된다.

모형설정에 대한 가설검정결과 콩, 팥, 녹두, 강낭콩, 땅콩 등의 두류에 대해서는 시간효과가 있는 일원 확률효과 모형이 적합한 모형이었다. 시간효과가 있는 일원 확률효과모형의 추정결과를 보면 결정계수가 0.2642로 콩류생산량 변동의 약 26% 정도가 주요 기상요소에 의해 설명될 수 있으며 F 통계량으로 보아 모형전체로 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 가질 수 있다. 기온(Temp), 습도(Humid), 지면온도(G. Temp), 연도(time)는 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 가지고 추정되었으며 강수량(Rain)은 10% 유의수준에서 통계적 유의성을 가지고 추정되었다. 연도변수의 회귀계수는 양의 값으로 추정되어 시간이 지날수록 두류의 헥타르 당 생산량이 상승하는 것으로 나타났다. 두류의 경우도 품종개량이나 재배방법의 개선 등으로 단위면적당 생산량이 증가한 것으로 추측할 수 있다.

모형설정에 대한 가설검정결과 기장류의 경우는 개별효과와 시간효과가 모두 존재하는 이원 확률효과 모형이 적합한 모형이었다. 개별효과와 시간효과가 모두 존재하는 확률효과 모형의 추정결과를 보면 결정계수가 0.0727로 기장류 생산량 변동의 7.2% 정도만이 기상요소에 의해 설명되며 F 통계량으로 보아 모형전체로 10% 유의수준에서 통계적 유의성을 가질 수 있다. 지면온도(G. Temp)와 연도(time)는 5% 유의수준에서 통계적 유의성을 가지고 추정되었으며 습도(Humid)는 10% 유의수준에서 통계적 유의성을 가지고 추정되었다. 연도변수의 회귀계수는 음의 값으로 추정되어 시간이 지날수록 기장류의 헥타르 당 생산량이 감소하는 것으로 나타났다. 다른 곡류와 다르게 기장류의 경우는 품종개량이나 재배방법의 개선이 이루어지지 못하여 단위면적당 생산량이 시간이 지남에 따라 감소한 것으로 추측할 수 있다.

통계적 유의성을 가지는 기상요소를 중심으로 기상요소별로 보면 맥류의 경우는 온도(Temp)가 상승할수록 단위면적당 생산량이 증가하는 반면에 잡곡류(Other Grain)와 두류(Bean)의 경우는 기온이 상승할수록 단위

면적당 생산량이 감소하는 것을 알 수 있다. 습도(Humid)는 맥류의 경우에 습도가 높아질수록 단위면적당 생산량이 증가하나 잡곡류와 기장류의 경우는 습도가 높아질수록 단위면적당 생산량이 감소하는 것으로 나타났다.

지표온도(G. Temp)는 콩류(Bean)의 경우에 지표온도가 상승할수록 단위면적당 생산량이 증가하지만 잡곡류와 기장류의 경우에 지표온도가 상승할수록 단위면적당 생산량이 감소하는 것으로 나타났다. 강수량(Rain)의 경우는 두류(Bean)에 있어 강수량이 많을수록 단위면적당 생산량이 감소하나 감소하는 정도는 미미한 것으로 나타났다.

끝으로 연도(Time)가 지날수록 잡곡과 두류의 단위면적당 생산량은 증가하고 있으나 기장류의 경우는 감소하고 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

최근 기후기상변화로 인한 농작물 생산량의 증감의 폭이 점차 커지고 있다. 이에 선진국들은 자국의 식량자급률을 높이기 위해 경제정책에 기상요소를 중요한 전략적 요소로 반영하여 농작물 생산량 증가에 노력을 경주하고 있다. 이에 따라 본 연구는 우리나라 농작물 중 가장 소비가 많은 곡물류를 연구대상으로 하여 각 기상요소들이 곡물의 단위당 생산량에 미치는 효과를 회귀분석을 적용하여 분석하였다.

각 곡물의 헥타르 당 생산량이 각 기상요소에 의해 어떠한 영향을 받는가를 분석하기 위해 10년간에 걸친 시도지역의 패널자료를 구축하였고 적합한 모형의 설정을 위해 GHM 검정, Honda 검정, Hausman 검정을 실시하여 미곡, 맥류, 잡곡의 경우는 개별효과가 있는 일원 확률효과 모형, 두류의 경우는 시간효과가 있는 일원 확률효과 모형, 기장류의 경우는 개별효과와 시간효과 모두가 있는 이원 확률효과 모형이 최적 모형이라는 결과를 얻었다.

미곡에 대한 회귀모형 추정결과를 보면 모형전체의 설명력이 높았고, 모든 설명변수들의 추정 회귀값들이 통계적 유의성을 가지면서 평균 기온, 평균 풍속, 평균 습도, 평균 일조시간의 값이 클수록 헥타르 당 생산량이 증가하고 평균 강수량, 평균이슬점온도, 평균 지면온도는

값이 작을수록 헥타르 당 생산량이 증가하는 것으로 나타났다. 잡곡류, 두류에 대한 회귀모형 추정결과를 보면 모형전체의 설명력이 총변동의 25% 내외 정도를 설명변수들의 변동으로 설명할 수 있었고, 5% 유의수준에서 통계적 의미를 가지는 설명변수로는 잡곡류의 경우 평균 온도, 연도였으며 두류의 경우는 평균 온도, 평균 지면온도, 연도 등으로 주요 기상요소 중 한 두 가지만이 설명력이 있었다. 맥류와 기장류에 대한 회귀모형 추정결과를 보면 모형전체의 설명력이 총변동의 7.3~8.5% 정도가 기상요소 및 시간(연도)에 의해 설명될 수 있는 것으로 나타나 기상요소의 영향이 미미한 것으로 나타났다.

이상의 결과들을 통해 본 연구가 줄 수 있는 시사점으로는 첫째, 이전의 연구들과 같이 곡물류 중 미곡에 대한 기상요소의 영향이 매우 크다는 것을 확인할 수 있다. 다른 곡물류에 대한 기상요소의 영향은 제한적이거나 미미하다는 것을 확인할 수 있다. 또한 곡물별로 생산량에 영향을 미치는 핵심기상요소가 다르며 추정모형도 다르다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 사전에 기상청으로부터 제공된 기상정보나 기상정보의 예측치를 바탕으로 각 곡물의 헥타르 당 생산량이 변화를 예측하고 대비해야 할 것이다.

둘째, 대부분의 기존연구들과 달리 하나의 곡물에 국한하지 않고 주요 곡물류 5종류를 대상으로 다양한 기상요소를 반영하여 시도별로 분석하였다. 기상요소의 지역별 대표치를 구축하여 곡물류의 단위면적당 생산량과 기상요소간의 패널자료를 활용하여 회귀분석을 실시한 것에 의의가 있다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 농작물별로 농업의 생산량에 직접적인 영향을 미치는 기상요소 자료를 그 곡물류를 주로 생산하는 지역에 제공하는 지역 특화된 기상정보 서비스를 제공하는데 기초자료를 제공해 줄 수 있다.

그러나 본 연구의 한계점으로는 곡물류 전체를 연구 대상으로 하였지만 10년간의 짧은 기간 자료를 연구에 활용하였으므로 데이터를 추가 구축하여 추정해 볼 수 있을 것이다. 기상요소의 영향이 적은 곡물의 경우는 기상요소이외에 어떤 설명변수의 단위당 생산량에 영향을 미치는가를 추가적으로 연구해야 할 것이다. 토양의 상태나 생육환경에 따라 곡물의 수확량 변화를 반영하지 않았으며, 기능성 곡물의 경우는 재배지역에 따라 기능성 물질의 함량이 달라질 수 있으나 본연구의 시도단위

의 생산량 관계에서는 토양의 차이에 따른 미시적 자료를 반영할 수 없다. 또한, 향후 본 연구를 기반으로 토양의 상태나 생육환경을 고려한 연구로 발전시키거나 다른 농작물로 연구대상을 확대하여 농작물 생산량과 기후기상요소간의 영향을 분석할 필요가 있다.

REFERENCE

- An, J. B., Cho, J. W., 2010, Meteorological response against yield and yield component of rice in chungnam and daejeon area, *J. of Agricultural Science*, 37(2), 177-189.
- Baltagi, B. H., 1995, *Econometric analysis of panel data*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 270.
- Baltagi, B. H., Chang, Y. J., Li, Q., 1992, Monte carlo results on several new and existing tests for the error component model, *J. of Econometrics* 54, 95-120.
- Gourieroux, C., Holly, A., Monfort, A., 1982, Likelihood ratio test, wald test, and kuhn - tucker test in linear models with inequality constraints on the regression parameters, *Econometrica*, 50, 63-80.
- Hausman J. A., 1978, Specification tests in econometrics, *Econometrica*, 46, 1251-1271.
- Honda, Y., 1985, Testing the error components model with non - normal disturbances, *Review of Economic Studies*, 52, 681-690.
- Jeong, J. H., Kim, K. B., 2012, Analyzing the economic relevance of climate variables in the agriculture of gangwon-do, *J. of the Economic Geographical Society of Korea*, 15(2), 192-205.
- Kim, D. J., Kim, S. O., Moon, K. H., Yun, J. I., 2012, An outlook on cereal grains production in south korea based on crop growth simulation under the RCP8.5 climate condition, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 14(3), 132-141.
- Kim, S. Y., Lee, S. H., 2011, The impact of climate changes on highland agriculture region in taeback mountainous, *J. 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 J. 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 J. of Agricultural Economics*, 53(2), 1-31.
- Lee, J. W., Jang, Y.-J., Park, J. K., 2013, Effects of meteorological elements in the production of food crops : focused on regression analysis using panel data, *J. of the Environment Science International*, 22(9), 1171-1180.
- Lee, K. K., Ko, K. K., Lee, J. W., 2012, Correlation analysis between meteorological factors and crop products, *J. of the Environment Sciences*, 21(4), 461-470.
- 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, *J. of the Korean Geographical Society*, 46(1), 20-35.
- Lee, S. H., Kim, S. Y., 2008, The impact of climate changes on highland agriculture region in taebaek mountainous, 6(2), 100-109.
- 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 J. 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.
- Shim, K. M., Yun, S. H., Jung, Y. S., Lee, J. T., Hwang, K. H., 2002, Impact of recent weather variation on yield components and growth stages of winter barley in Korea, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 14(1), 38-48.
- Swamy P., Arora S., 1972, The exact finite sample properties of the estimators of coefficients in the error components regression models, *Econometrica*, 40, 261-275.
- Lee, J. W., Jang, Y. J., Ko, K. K., Park, J. K., 2013, Effects of meteorological elements in the production of food crops, *J. of the Environmental Sciences International*, 22(9), 1171-1180.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2014-11-27, Degree of Grain Self-Sufficiency, <http://ebook.mafra.go.kr/preview/viewer/main.php?site=2&menu no=2&previewno=6802&iframe=0&dlbt=>, Homepage of www.mafra.go.kr.