

가뭄과 생산기반 정비사업이 쌀 생산성에 미치는 영향

성재훈¹ · 채광석^{1*} · 김대의²

¹한국농촌경제연구원, ²농어촌연구원

(2017년 8월 30일 접수; 2017년 12월 11일 수정; 2017년 12월 22일 수락)

The Effects of Droughts and Public Investments in Irrigation Facilities on Rice Yields in Korea

Jae-hoon Sung¹, Kwang-seok Chae^{1*}, Dae-Eui KIM²

¹Korea Rural Economic Institute, Naju 58217, Korea

²Rural Research Institute, Ansan 15634, Korea

(Received August 30, 2017; Revised December 11, 2017; Accepted December 22, 2017)

ABSTRACT

The purpose of this study is to measure the effects of droughts and public investments in irrigation facilities on rice production. We estimated the effects of droughts and the fraction of irrigated paddy fields with irrigation facilities on rice yields through a panel regression model. The results showed that the effect of drought on rice yield was negative but modest. Also, we found that increases in the ratio of irrigated paddy fields to total paddy fields by 1% enhance rice yields by 0.025-0.035%. However, the ratio of irrigated paddy fields to total paddy fields has insignificant effects on reducing harmful droughts effects regardless of the conditions of irrigated paddy fields.

Key words: Droughts, Public investments, Agricultural land and water development project, Irrigated paddy fields

I. 서 언

지구온난화에 따른 기후변화로 대규모 기상재해가 빈번히 발생하고 있으며, 피해규모도 커지는 추세이다. 그 중 가뭄은 미국 해양기상청이 선정한 20세기 최대 자연재해 중 상위 5위 안에 매겨질 정도로 그 피해와 영향력이 막대하다(Bae *et al.*, 2015). 우리나라에서 농경이 시작된 이래로 기상이변으로 인한 농업 가뭄은 끊임없이 발생하였고, 최근에는 가뭄의 발생 빈도와 강도가 증가하고 있는 추세이다. 구체적으로 우리나라는 2011년~2016년 사이에 연속적으로 국지적인 가뭄이 발생하였고, 2017년에도 경기, 충남, 전남 지역을 중심으로 가뭄피해가 확산되고 있다.

가뭄의 피해를 최소화하고 안정적인 농업 생산을 유지하기 위한 노력은 지속적으로 이어져 왔다. 과거의 가뭄은 강수의 부족이 전적으로 가뭄으로 이어지는 형태였으나 근대적인 수리시설이 발달하면서 가뭄의 대응력도 향상되었다. 특히 우리나라는 주곡의 안정적 공급을 위하여 해방 이후 지금까지 꾸준히 농업용수개발과 같은 농업생산기반정비사업을 추진해왔다. 1960년대 이후 경제개발 5개년 계획의 수립과 더불어 수리시설의 확충이 급진전되었고 가뭄에 대비한 사전대책이나 응급대책이 체계화됨에 따라 그 피해는 크게 줄어들었다(MAFRA, 2015). 현재 우리나라 농경지 면적은 2015년 기준 1,679천ha이며, 그 중 논이 908천ha, 밭이 771천ha이다. 논 면적 중 농업용수개발에 의



* Corresponding Author : Kwang-seok Chae
(gschae@krei.re.kr)

하여 용수공급이 가능한 수리답 면적은 734천 ha(80.8%)이고, 비수리답 면적은 174천(19.2%)ha이다. 이와 같이 농업용수개발 결과, 어느 정도의 가뭄에 견딜 수 있는 안정적인 영농기반을 조성하였다. 실례로 1994년, 95년의 가뭄은 1967년, 68년 가뭄과 비슷하였으나 쌀 생산량은 평년작을 유지한 반면 1967년, 1968년에는 15~20% 수확이 감소된 사례에서 보듯이 1980년대 이후 농촌용수개발사업을 통하여 안정적 영농기반이 구축되어 쌀의 자급기반을 확보하는데 크게 기여하였다(MAFRA, 2015).

하지만, 최근 기후변화 등으로 인한 가뭄이 지역적으로 빈번하게 발생하고 있으며, 그 강도 또한 증가하고 있다. 농림축산식품부 발표자료에 따르면 2016년 가뭄피해 면적은 14천ha로 2001년 이후 피해 면적이 가장 큰 것으로 나타났다. 대부분의 학자들은 기후변화로 인하여 홍수와 가뭄이 과거보다 빈번하게 나타날 것으로 예측하고 있으며, 노후화된 농업수리시설은 농업용수 부족을 심화시킬 가능성이 크고, 결과적으로는 농업생산성이 저하되어 국가의 식량기반을 위협할 것으로 예측하고 있다(Choe, 2015).

수리답이란 평년수준의 한발에 견딜 수 있을 정도의 수리시설을 갖춘 논을 의미한다. 따라서 한발빈도를 어느 수준으로 잡느냐에 따라 내한능력에 큰 차이가 난다. 현재 용수수급분석 시 농촌용수는 10년 빈도 한발을 기준으로 하고 있다. 최근 기후변화, 강수일수에 따른 국지성 호우 등으로 설계기준 초과 강수에 따른 시설 피해가 빈발하는데, 10년 빈도 가뭄이나 강수에 대응할 수 있는 수리안전답은 전체 논의 60.5% 수준에 불과하다. 정부에서도 농업·농촌지역이 기후변화로 가뭄피해가 빈번해짐에 따라 농업용수를 보다 효율적으로 이용·관리하기 위한 「농업·농촌부문 가뭄대응 종합대책」을 발표하면서 10년 빈도 가뭄에도 용수공급이 가능한 수리안전답율을 80%까지 끌어 올릴 계획을 발표하였다.

지금까지 농업생산기반정비사업의 성과 분석은 주로 생산기반정비투자가 실증적으로 농업부가가치 생산액이나 쌀 생산비 절감에 어느 정도 효과를 주었는지를 중심으로 연구되었다(Kim *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2013). 이들 연구는 주로 총량적 관점에서 농업생산기반정비사업이 농업생산성 향상 및 비용 절감효과를 분석하였다. 하지만, 농업생산기반정비사업 중 농촌용수개발사업으로 인한 수리답 면적 확대가 기후변화 대응 효과 정도를 제시하지 못하였다는

한계가 있다.

본 연구는 우선 가뭄을 자연현상으로서의 기상학적 가뭄(혹은 수문학적 가뭄)과 농업적 가뭄으로 나누고 각각이 쌀 생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 농업생산기반정비사업, 그 중에서도 한발빈도별 수리답 면적 비율이 농업생산성에 미치는 영향 분석하였다. 단기적인 기상 조건이 농업생산성에 미치는 영향을 추정하기 위한 Dell *et al.*(2014)의 모형을 활용하였다. 본 연구는 가뭄과 한발대비 수리시설이 쌀 생산성에 미치는 영향을 분석하고, 한발빈도별 수리답 면적 비율이 갖는 정책적 시사점을 모색함으로써 기존 선행 연구들과 차별성을 갖고자 한다. 이를 통해 기후변화에 대응하여 농림축산식품부의 농업생산기반정비사업의 효과를 살펴봄으로써 우리나라 농업가뭄 대응 체계 수립에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

2.1. 분석모형

무작위적이고 예상치 못하게 발생하는 가뭄과 같은 기상 이변(weather shock)이 농업 생산성에 미치는 영향을 식별(identification)하기 위해 본 연구에서는 Dell *et al.*(2014)의 방법론을 이용하였다. Dell *et al.*(2014)의 장점은 다음과 같다. 우선, 축약형 모형(reduced-form)으로 결과의 해석이 직관적이다. 두 번째로는 외생적으로 발생하는 기상조건만으로 모형을 구성함으로써, 기상 변수의 영향이 중복되는 문제(over controlling problem) 역시 극복할 수 있다. 예를 들어, 단위 면적당 비료 사용량을 모형에 추가할 경우, 모형의 설명력을 높일 수 있다. 하지만 단위 면적당 비료 사용량 역시 기상조건에 영향을 받기 때문에 기상조건이 쌀 단수에 미치는 영향을 제대로 식별할 수 없다. 마지막으로, 패널 데이터의 구조를 이용함으로써, 모형에 포함되지 않은 시간불변의 변수들을 통제할 수 있다

$$\log(y_{ct}) = \sum_i \alpha_i f_i(W_{ict}) + \beta_d D_{ct} + \mu_c + t + \varepsilon_{ct} \quad (1)$$

$$\log(y_{ct}) = \sum_i \alpha_i f_i(W_{ict}) + \beta_d D_{ct} + \beta_{1d} D_{ct} I_{ct} + \beta_{1l} I_{ct} + \mu_c + \varepsilon_{ct} \quad (2)$$

식(1)은 가뭄 효과를 추정하기 위한 모형이며, 식(2)는 한발대비 수리시설이 쌀 단수에 미치는 효과를 추정하기 위한 모형이다. 식(1)과 식(2)의 y_{ct} 는 c 지역의 t 연도 쌀 단수, W_{ict} 는 기상 현상 i와 연관된 변수를

나타내며 본 연구에서는 기온, 강수량, 그리고 가뭄 변수(D_{ct})를 포함한다. 기상현상 i 가 생산성에 미치는 영향은 f_i 와 같은 함수 형태를 따른다고 가정하였다. α_i 는 기상변수 i 가 쌀 단수에 미치는 영향을 나타낸다. β_d 는 가뭄이 쌀 단수에 미치는 영향을 나타낸다. 기온과 강수량과 관련된 변수의 사용은 문헌마다 차이가 있다. 예를 들어, Kwon and Kim(2008)의 경우 4월~10월 평균기온과 평균 강수량을 이용하였으며, Cho *et al.*(2013)의 경우, 5월 평균기온, 7월 누적 일조시간, 8월 누적 일조시간, 그리고 9월 평균 기온을 사용하였다. 마지막으로 Cho and Kwon(2014)는 5월~9월 월별 평균기온과 누적 강수량, 7월 누적 일조시간, 8월 누적 일조시간, 8월 평균일교차, 그리고 9월 평균 일교차를 이용하였다. 본 논문에서는 Cho and Kwon(2014)을 바탕으로 월별 평균기온과 월별 누적 강수량을 이용하였으며, 기상현상과 연관된 함수형태로 1차 함수를 이용하였다. 식(2)의 I_{ct} 는 시군 단위 한발빈도별(평시, 3년, 5년, 7년, 10년) 수리답면적 비율을 의미한다. β_{1t} 는 한발빈도별 수리답면적 비율이 쌀 단수에 미치는 영향을 나타낸다. 한발빈도별 수리답면적 비율에 따라 가뭄이 쌀 생산성에 미치는 영향은 다를 수 있다. 본 연구에서는 이러한 한발빈도별 수리답면적의 가뭄 억제효과를 추정하기 위해 한발빈도별 수리답면적과 가뭄 변수 간의 교차항을 이용하였으며, β_{1d} 를 통해 한발빈도별 수리답면적 비율 증가에 따른 가뭄 효과의 변화를 추정하였다.

μ_c 는 c 지역의 고정 효과를 나타낸다. 이러한 고정 효과의 포함은 토질 등과 같은 지역의 특성을 제어할 수 있어, 기상 변수가 농업생산성에 미치는 영향을 효과적으로 식별할 수 있다. 구체적으로 Fig. 1은 2015년 표준강수지수(SPI6)가 -2.5이하인 일수와 물마름면적의 시군별 분포를 나타낸다.¹⁾ 2015년 표준강수지수(SPI6)가 -2.5이하인 일수는 경기도에 집중적으로 분포한 반면, 물마름면적은 인천지역을 포함한 경기도 지역뿐만 아니라 강원도와 충청북도 지역에도 발생한 것으로 나타났다. 이는 시군별로 가뭄에 대응하는 능력이 상이함을 반영하며, 이는 쌀 생산성에 대한 가뭄 효과를 식별하기 위해서는 시군별 특징을 적절히 통제해 주어야 함을 의미한다. 마지막으로 θ_t 는 기술변화를 통제하기 위한 추세항을 의미한다. 하지만 추세항

과 기상변수 만으로는 태풍, 병해충, 일조감소 등과 같은 연도별 특징을 통제하는 데에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 추세항뿐만 아니라 연도별 더미를 이용하여 결과치의 강건성을 검증하였다. 하지만 한발빈도별(평시, 3년, 5년, 7년, 10년) 수리답면적 비율은 연도별 더미와 추세항과 매우 강한 상관관계를 가질 수 밖에 없다. 예를 들어, 용도 변경이 일어나지 않은 시군의 수리안진답 면적은 정부의 생산기반정비사업으로 인해 지속적으로 증가할 것으로 예상할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 θ_t 를 제외한 모형과 θ_t 를 포함한 모형을 바탕으로, 한발빈도별 수리답면적 비율이 쌀 단수에 미치는 효과를 비교 분석하였다.

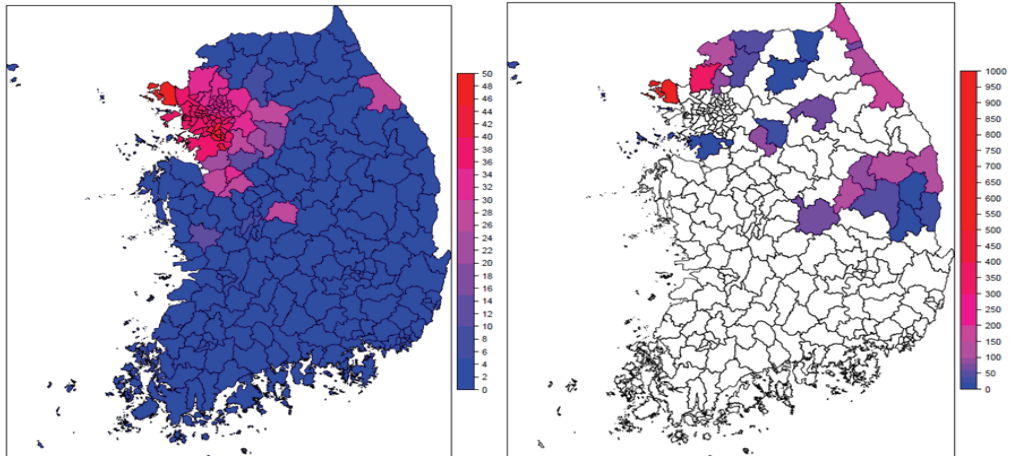
추정을 위해 패널 자료 분석에 사용되는 고정효과 모형을 사용하였다. 고정효과 모형은 시간 불변의 시군별 특징 μ_c 를 모수로 간주하고 그룹 내 변환(within transformation)을 통해 시간 불변의 시군별 특징이 쌀 단수에 미치는 영향을 통제한다. 예를 들어 식(1)을 $\log(Y_{ct}) = X'_{ct}\beta + \mu_c + \epsilon_{ct}$ 로 간략하게 나타낼 경우, 그룹 내 변환 이후 식은 $Y_{ct} - \bar{y}_c = (X_{ct} - \bar{X}_c)\beta + (\epsilon_{ct} - \bar{\epsilon}_c)$ 이 된다. 즉, 그룹 내 변환은 각 변수들의 시군별 평균으로 구성되어 있는 식을 추정식에서 빼줌으로써 μ_c 를 최종 추정식에서 제외시킨다. 따라서 그룹 내 변환 이후 추정식은 설명변수와 μ_c 간의 상관관계에 영향을 받지 않으며, 시간 불변의 시군별 특징을 통제할 수 있다. 본 연구에서 사용된 자료와 모든 추정은 R을 이용하였다.

2.2. 분석자료

본고는 통계청이 발표하는 2001~2015년 시군구별 논벼(정곡, 92.9%)의 10a당 생산량(kg) 자료를 종속변수로 사용하였다. 기상 변수는 APCC 기후센터가 제공한 Jeong and Eum(2015)의 한반도 고해상도 격자 기후자료를 이용하였다. 기후자료는 일별 최고 기온과 최저 기온 그리고 강수량 자료로 구성되어 있으며, 격자 크기는 3km×3km이다. 본 연구에서는 우선 각 격자별 평균온도를 계산한 다음, 시군 내 격자의 평균 온도와 누적 강수량을 단순 평균하여 시군별 기온 및 강수량을 구축하였다.

2012년 가뭄 백서는 가뭄을 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업가뭄, 그리고 사회경제적 가뭄으로 설정

1) SPI6(Standardized Precipitation Index 6)는 지점별로 시간단위 강수 부족량 6개월 단위로 계산하여 각각의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 나타내는 지수로서, -2.0 이하부터 심한 가뭄 상태를 의미한다.



Source: Information regarding SPI6 of 59 Automated Synoptic Observing system is used for the left figure. Korean Rural Community Corporation (KRCC) provides information about areas dried out due to droughts.

Fig. 1. # of days whose SPI6<-2.5(left) and areas dried out due to droughts(right, ha)

하였다. 기상학적 가뭄은 강수량 부족을 의미하며, 수문학적 가뭄은 강수량 부족으로 인해 저수량 등 사용 가능한 농업용수가 부족한 상황을 의미한다. 그리고 농업 가뭄은 관개용수의 부족으로 작물의 정상적인 생육에 지장을 초래하거나 영농활동에 어려움이 생기는 경우를 의미한다. 사회경제학적 가뭄은 생활·공업·농업용수 공급 부족으로 인해 생산에 피해가 발생한 경우를 의미한다. 본고에서는 농업 가뭄을 나타내는 변수로는 전체 논 면적 대비 물마름면적 비중을 이용하였으며, 표준강수지수(SPI6)가 -2.5보다 작은 일수, 그리고 표준강수지수(SPI6)가 -2.5보다 작으며 농업용저수지 저수율이 50%이하인 일수(농림축산식품부의 가뭄 단계별 예고지표 중 가뭄 확산 단계에 해당함)는 각각 기상학적 가뭄과 수문학적 가뭄을 나타내는 변수로 이용하였다. 단, 수문학적 가뭄 변수 구축 시, 저수율 자료가 없는 시군은 표준강수지수(SPI6)가 -2.5이하인 일수를 이용하였으며, 2001년 물마름 면적 자료는 현재 구축되어 있지 않아 물마름면적을 이용한 모형 추정 시 2002~2015년 자료만을 이용하였다.²⁾ 수문학적 가뭄을 나타내는 지표는 실제 가용 농업용수량이 부족한 매우 강한 가뭄 상황으로 간주할 수 있다. 저수율은, 특히 농업용수가 많이 필요한 모내기 철의 저수율은 재배기간 이전의 강수량에 크게 영향을 받는다. 따라서 비록 재배기간 중 표준강수지수(SPI6)가 -2.5

보다 적은 날이 발생하더라도, 저수율은 표준강수지수(SPI6)와는 무관하게 50%이상일 수 있다. 실제로 본 연구에 사용된 자료 분석 결과 저수율 50%이하 일수와 표준강수지수(SPI6)가 -2.5인 일수를 가지는 시군간에는 매우 약한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 5월 이후 저수율이 50%이하로 떨어지는 시군은 2001, 2014, 2015년에 강원과 충청 그리고 경기 지역에서만 나타났다. 이는 시군은 표준강수지수(SPI6)가 -2.5인 일수를 가지는 시군의 분포에 비해 시간적 그리고 공간적으로 매우 제한적인 것이다. 따라서 기상학적 가뭄과 더불어 쌀 재배기간 중의 저수량 부족은 농업인에게 또 하나의 생산 장애요인으로 작용할 수 있다.

표준강수지수(SPI6) 자료는 기상청이 제공하는 59개 종관기상관측지점 자료를 이용하였다. 시군별 자료 구축을 위해 역거리 가중방법을 이용하여 한반도 5km×5km 격자지도를 구축하였고, 기상변수와 같은 방법으로 시군별 표준강수지수(SPI6)를 구축하였다. 마지막으로 각 연도별 시군단위 전체 논 면적 대비 한밭빈도별(평시, 5년 이상, 7년 이상, 10년) 수리답면적 비중은 농업생산기반정비사업통계연보를 이용하였다. 단, 논 면적 대비 한밭빈도별 수리답면적 비중은 누적 개념으로 구축하였다.

2) 저수율자료가 없는 시군은 가평군, 고양시, 광명시, 구리시, 동두천시, 동해시 목포시, 부천시, 서울특별시, 속초시, 안산시, 영월군, 의정부시, 인제군, 정선군, 평창군, 하남시, 화천군이다.

Table 1. Summary Statistics.

Variables		Mean	Std.dev	Min	Max
Rice yield(kg/10a)		486.0	43.07	246.0	628.0
Drought index	Areas dried out due to droughts/ paddy field areas	0.09	0.90	0.00	19.70
	# of days whose SPI6 <-2.5	0.51	4.04	0.00	41.00
	# of days whose SPI6< -2.5 and rate of storage at Agricultural reservoir <50%	0.12	1.83	0.00	30.00
Proportion of irrigated areas by frequency of drought ^a to paddy field areas (%)	Normal year	78.60	18.65	70.70	100.00
	5 years	53.85	21.99	0.00	99.90
	7 years	49.50	22.70	0.00	99.90
	Over 10 years	46.60	23.25	0.00	99.90
Monthly mean of temperature(°C)	May	16.89	1.58	9.58	19.70
	June	21.07	1.99	11.88	24.71
	July	24.01	2.24	13.07	27.83
	August	24.54	2.23	13.72	28.52
	September	20.10	1.78	11.65	24.55
Monthly accumulated precipitation (mm)	May	99.60	52.07	6.65	448.40
	June	139.80	81.48	18.38	473.50
	July	336.60	178.42	58.93	1120.00
	August	268.00	155.69	30.19	1110.00
	September	142.00	113.88	7.10	677.10

Note: ^a Irrigated area by frequency of drought represent area which is supplied water by irrigation facilities stably in spite of drought by frequency.

III. 분석결과

우선 앞서 제시한 가뭄 변수들을 바탕으로 가뭄이 쌀 단수에 미치는 영향을 추정하였다(Table 2 참조).³⁾ 추정결과, 표준강수지수(SPI6)가 -2.5보다 작은 날이 하루 증가할 경우, 쌀 단수는 연도별 더미 유무에 따라 약 0.06~0.09% 감소하는 것으로 추정되었다. 또한 표준강수지수(SPI6)가 -2.5보다 작으며 저수율이 50%미만인 날이 하루 증가할 경우, 쌀의 단수는 0.08%~0.12% 감소하는 것으로 나타났다. 단, 연도별 더미를 사용할 경우, 표준강수지수(SPI6)가 -2.5보다 작으며 저수율이 50%미만인 날이 쌀 단수에 미치는 영향은 통계적으로 유의하지 않게 나타났다. 하지만 가뭄변수로서

물마름면적을 사용할 경우, 가뭄이 쌀 단수에 미치는 영향은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 추정되었다.

가뭄 변수 정의에 따른 추정결과는 농림축산식품부의 가뭄 대응 정책의 영향을 반영된 것이라 생각된다. 농림축산식품부는 저수량 부족, 강수량 감소 등을 예측하여 사전 예산 투입을 통해 가뭄 피해를 방지하고 있어 표준강수지수(SPI6) 감소나 저수율 부족이 생산성 저하와 같은 직접적인 가뭄피해로 이어지지 않을 수 있다. 따라서 표준강수지수(SPI6) 혹은 저수율을 바탕으로 한 가뭄지수가 쌀 단수에 미치는 영향은 자연현상으로서의 가뭄의 영향에서 농림축산식품부의 선제적 가뭄 대응 등과 같은 사회경제학적 영향을 차감한 것이라 할 수 있다. 물마름면적은 기상학적인 가

3) 월별 기온 및 강수량이 쌀 단수에 미치는 영향은 부표에 포함되어 있다. 분석 결과는 쌀 생산과 기상조건을 연구한 기존 연구 Kwon and Kim(2008), Cho and Kwon(2014), 그리고 Cho *et al.*(2013)와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 다만, Cho and Kwon(2014)은 5월 평균기온이 증가할수록 쌀의 생산성에 음의 영향을 주는 반면, 본 연구에서는 5월 평균기온이 증가할수록 쌀의 생산성이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 2. The effects of droughts on rice yields.

Variables	SPI6(<-2.5)		SPI6(<-2.5), Rate of Storage at Reservoir (<50%)		Areas dried out due to droughts	
	Model1	Model2	Model1	Model2	Model1	Model2
Drought index	-0.0009*** (0.0003)	-0.0007** (0.0003)	-0.0012* (0.0007)	-0.0008 (0.0006)	-0.0011 (0.0014)	0.00002 (0.0013)
Year dummies	No	Yes	No	Yes	No	Yes

Note: *** p<0.01 ** p<0.05, * p<0.1 () represents the standard deviation.

물 혹은 수문학적 가뭄이 아닌 농업 가뭄으로 해석할 수 있으며, 쌀 생산에 필요한 농업용수의 부족을 뜻한다. 따라서 물마름면적의 증가는 직접적으로 쌀 단수의 감소와 연결될 수 있다. 하지만 물마름면적은 기상학적 혹은 수문학적인 조건뿐만 아니라 농림축산식품부의 단기적 그리고 장기적 가뭄 대응 정책, 농민들의 영농형태, 그리고 종자 개량 등의 영향을 받는다. 따라서 전체 농지 대비 물마름면적 비율의 변동성은 매우 적을 뿐만 아니라 월별 강수량 그리고 추세향으로 표현되는 농업생산여건 변화 혹은 기술변화 등과 강한 상관관계를 가지고 있을 수 있어, 추정치가 유의성이 떨어진 것으로 생각된다. 또한 가뭄이 발생한 2001년 물마름면적에 대한 자료가 없는 것과 조사된 물마름면적의 정확성 역시 가뭄 변수 간의 추정결과 차이에 영향을 미친 것으로 생각된다.

Table 3은 가뭄에 대한 농림축산식품부의 장기 대응이라고 할 수 있는 농업용 저수지 설계한발빈도 변화가 쌀 생산성에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 본 연구에서는 가뭄지수로서 표준강수지수(SPI6)가 -2.5 보다 적은 날의 합계를 사용하였으며, 이는 물마름면적과 저수율은 농림축산식품부의 농업기반정비사업

에 영향을 받기 때문이다. [모형 1]은 한발 대비 수리 안전시설의 평균 효과를 보기 위한 것이며, [모형 2]는 한발 대비 수리안전시설이 가뭄 대응 효과를 추정하기 위해 [모형 1]에 가뭄지수와 전체 논면적 대비 한발 대비 수리안전담면적의 교차항을 추가하였다. [모형 1] 분석결과, 가뭄 대응 대비 설계한발빈도가 높을수록 쌀 생산성이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 가뭄이 없는 평상시에도 설계한발빈도가 높을수록 농업용수의 공급이 원활하고 이로 인해 안정적인 영농이 가능하기 때문이라 생각된다. 구체적으로 우선 전체 논 면적 중 수리담의 비중이 1% 증가할 경우, 쌀 단수는 0.025% 증가하는 것으로 추정되었다. 이는 역으로 수리불안전담면적이 1% 증가할 경우, 쌀 단수가 0.025% 감소하는 것을 의미한다. 또한 5년(7년) 한발 대비 수리담면적 비중이 1% 증가할 경우, 쌀 단수는 0.029%(0.033%) 증가하였으며, 마지막으로, 전체 논 면적 대비 수리안전담면적이 1% 증가할 경우, 쌀의 단수는 0.035% 증가하는 것으로 나타났다. 앞서 언급하였듯이 2001년에서 2015년까지 수리안전담 비중은 26%에서 61%까지 증가하였고, 이는 수리안전담면적 비중의 증가로 인해 동기간 동안 쌀 단수가 1.2% 증가

Table 3. The effects of irrigated areas by frequency of drought on rice yields.^a

Variables	Normal year		5 years		7 years		Over 10 years	
	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
Proportion of irrigated areas by frequency of drought	0.00025* (0.00013)	0.00026* (0.00013)	0.00029*** (0.00010)	0.00028*** (0.00010)	0.00033*** (0.00010)	0.00033*** (0.00010)	0.00035*** (0.00010)	0.00035*** (0.00010)
Drought index ^b × Proportion of irrigated areas by frequency of drought	-	-0.00001 (0.00001)	-	-0.00001 (0.00001)	-	-0.00001 (0.00001)	-	-0.00001 (0.00001)

Note 1) *** p<0.01 ** p<0.05, * p<0.1 () means the standard deviation of each estimates. ^a Irrigated area by frequency of drought represent area which is supplied water by irrigation facilities stably in spite of drought by frequency. ^b Drought index means # of days whose SPI6 <-2.5.

했음을 의미한다. 하지만 추세향과 연도별 더미를 추가한 결과 있는 농업용 저수지 설계한발빈도 변화가 쌀 생산성에 미치는 영향은 모두 통계적으로 유의하지 않게 분석되었다. 이는 농업용 저수지 설계한발빈도 변화와 추세향 간의 강한 상관관계를 가지고 있기 때문이다.

[모형 2] 추정 결과, 추세향과 연도별 더미와는 관계 없이 한발대비 수리안전담면적과 가뭄지수(물마름면적)와의 교차항은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 추정되었다. 또한 가뭄이 쌀 단수에 미치는 영향 또한 통계적으로 유의하지 않게 추정된 반면, 한발대비 수리담면적 비중의 추정치는 모형에 관계없이 동일하였다. 이는 우선 10년 한발에 대비한 수리안전담조차도 표준강수지수(SPI6)가 -2.5 이하로 떨어지는 심각한 가뭄을 대응하기에는 효과적이지 않음을 의미할 수 있다. 또한 앞서 언급한 가뭄 시 수리불안전담 비중이 높은 지역부터 우선적으로 지원함으로써 한발 대비 수리안전시설의 가뭄 대응 효과가 희석될 가능성도 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 가뭄과 농림축산식품부의 농업기반 정비사업 중 한발대비 수리시설이 쌀의 생산성에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 우선, 표준강수지수(SPI6)가 -2.5미만인 일수가 1일 증가할수록, 쌀의 단수는 0.09%감소하는 것으로 추정되었다. 또한 농림축산식품부의 가뭄 확산 단계(표준강수지수(SPI6)가 -2.5 미만, 저수율 50%미만)에 속하는 일수가 1일 증가할수록 쌀의 단수는 0.12% 감소하는 것으로 분석되었다. 하지만 농업적 가뭄으로 해석될 수 있는 물마름면적을 가뭄 변수로 사용할 경우, 가뭄이 쌀 생산성에 미치는 영향은 통계적으로 유의하지 않게 추정되었다. 한발대비 수리담 면적 비중은 쌀의 생산성에 정(+)의 영향력을 끼치는 것으로 추정되었다. 구체적으로 한발대비 수리담 면적 비중이 1% 증가할 경우, 쌀 단수는 0.025~0.035% 증가하는 것으로 추정되었으며, 추정치의 크기는 설계한발빈도에 비례하였다. 하지만 한발대비 수리담 면적 비중의 가뭄 대응 효과는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 추정되었다. 분석결과, 가뭄과 한발대비 수리담 면적 비중이 쌀 단수에 미치는 영향은 생각보다 미미한 것으로 추정되었다. 이는 농림축산식품부의 사전적 가뭄 대응 정책 등과 같은 사회경제학적 요소 때문이라 생각된다.

앞서 언급한 문제점을 해결하기 위한 앞으로의 연구 방향은 다음과 같다. 우선, 한발대비 수리담 비중의 가뭄 대응 효과와 기상학적 혹은 수문학적 가뭄의 영향을 규명하기 위해서는 농림축산식품부의 단기 가뭄 대응 효과를 감안한 추가적인 모형 구성이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 우리나라의 가뭄은 지역적으로 나타나며, 이러한 지역적 가뭄의 피해를 추정하기 위해서는 쌀 생산성의 감소뿐만 아니라 이로 인한 지역 간 경제적 파급효과를 추정할 필요가 있다. 그리고 10년 한발에 대비한 수리안전담조차도 표준강수지수(SPI6)가 -2.5 이하로 떨어지는 심각한 가뭄을 대응하기에는 효과적이지 않은 것으로 나타났다. 현재 우리나라 농업용 저수지의 경우 50년 이상 노후화된 시설이 전체 약 74%에 이르고 있어 향후 기후변화에 취약할 것으로 예상된다. 최근 기후변화로 인해 가뭄에 대한 재해위험도가 상대적으로 가중되고 있다. 농업용 저수지 설계빈도에 대해 기후 및 수문사상 변화를 반영하여 이수안전도의 재평가가 요구된다.

적 요

이 연구의 목적은 가뭄이 쌀 생산성에 미치는 효과를 추정하는데 있다. 가뭄 효과를 추정하기 위해서 우리는 기상변수와 수리담 비율 등이 쌀 생산성에 미치는 효과를 패널 회귀분석 모형을 통해 추정하였다. 분석결과 가뭄이 쌀 생산량에 미치는 영향은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 또한, 전체 논면적에서 수리담 면적 비율이 1% 확대될수록 쌀 생산량은 0.025~0.035%씩 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 한발대비 수리담 면적 비중의 교차항이 쌀 단수에 미치는 영향은 매우 작은 것으로 추정되었다. 이는 한발대비 수리담이 가뭄 피해를 줄이는 데에는 효과가 거의 없음을 의미한다. 또한 추세향과 연도별 더미를 추가하였을 경우, 한발대비 수리담 면적 비중이 쌀 단수에 미치는 영향과 한발대비 수리담의 가뭄 피해 억제 효과는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 추정되었다. 이는 수리안전담 조차도 표준강수지수(SPI6)가 -2.5 이하로 떨어지는 심각한 가뭄의 피해를 줄이는 데에는 큰 효과가 없음을 의미할 수 있다. 따라서 50년 이상 노후화된 시설이 전체 약 74%에 육박하는 농업용 수리시설의 경우, 기후변화로 인한 가뭄의 빈도와 강도 증가에 더욱 취약할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문은 2017년 한국농어촌공사 농어촌연구원 위탁연구과제 “농업기름 피해액 추정에 관한 연구” 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bae, D. H., J. M. So, and S. H. Kim, 2015: 2015 drought status analysis and counter measures. *Journal of Disaster Prevention* **17**(4), 14-22.
- Cho, H. K., E. B. Cho, O. S. Kwon, and J. S. Roh, 2013: Climate variables and rice productivity: A semi-parametric analysis using panel regional data. *Korean Journal of Agricultural Economic* **54**(3), 71-94.(in Korean with English abstract)
- Cho, H. K., and O. S. Kwon, 2014: Climate impacts on rice productivity and variability in Korea. *Korean Journal of Agricultural Economic* **55**(3), 115-140.(in Korean with English abstract)
- Choe, J. Y., 2015: Agriculture drought and countermeasures of climate change. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* **57**(2), 13-21.
- Dechênes, O., and M. Greenstone, 2007: The economic impacts of climate change: Evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *American Economic Review* **97**(1), 354-385.
- Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken, 2014: What do we learn from the weather? The new climate-economy literature. *Journal of Economic Literature* **52**(3), 749-798.
- Jeong, Y. M., and H. I. Eum, 2015: Application of a statistical interpolation method to correct extreme values in high-resolution gridded climate variables. *Journal of Climate Change research* **6**(4), 331-344. (in Korean with English abstract)
- Kim, M. B., H. S. Kim, and C. H. Kim, 2013: A study of performance analysis and evaluation index for the agricultural infrastructure projects. KREI. (In Korean)
- Kim, Y. T., S. J. Park, and E. S. Hwang, 1999: Efficiency improvement of the agricultural public investment. KREI. (In Korean)
- Kim, J. H., H. S. Kim, S. D. Park, J. P. Hong, and K. S. Kim, 2011: A study of scale for the agricultural infrastructure projects. KREI. (In Korean)
- KRC, 2012: White paper of drought. (In Korean)
- Kwon, O. S., and C. G. Kim, 2008: Climate change and rice productivity: nonparametric and semiparametric analysis. *Korean Journal of Agricultural Economic* **49**(4), 45-64.(in Korean with English abstract)
- MAFRA, 2015: 70 years of agriculture · rural community. (In Korean)

Appendix 1. The effects of droughts on rice yield(All estimates)

Variables		SPI6(<-2.5)		SPI6(<-2.5), Rate of Storage at Reservoir (<50%)		Areas dried out due to droughts	
		Estimates	(Std.dev)	Estimates	(Std.dev)	Estimates	(Std.dev)
Trend		0.00350***	(0.00033)	0.00342***	(0.00033)	0.00340***	(0.00033)
Monthly mean of temperature(°C)	May	-0.00122	(0.00250)	-0.00112	(0.00251)	-0.00073	(0.00252)
	June	-0.00101	(0.00217)	-0.00128	(0.00217)	-0.00141	(0.00217)
	July	0.00989***	(0.00197)	0.01050***	(0.00196)	0.01075***	(0.00196)
	August	-0.00673***	(0.00161)	-0.00692***	(0.00161)	-0.00691***	(0.00161)
	September	-0.00091	(0.00197)	-0.00126	(0.00197)	-0.00144	(0.00197)
Monthly accumulated precipitation (mm)	May	-0.00021***	(0.00004)	-0.00020***	(0.00004)	-0.00020***	(0.00004)
	June	-0.00002	(0.00002)	-0.00002	(0.00002)	-0.00002	(0.00002)
	July	-0.00009***	(0.00001)	-0.00008***	(0.00001)	-0.00008***	(0.00001)
	August	-0.00018***	(0.00001)	-0.00018***	(0.00001)	-0.00018***	(0.00001)
	September	-0.00019***	(0.00002)	-0.00018***	(0.00002)	-0.00018***	(0.00002)
Drought Index		-0.00090***	(0.00032)	-0.00115*	(0.00068)	-0.00108	(0.00140)

Note: *** p<0.01 ** p<0.05, * p<0.1

Appendix 2. The effects of droughts on rice yield with year dummies(All estimates)

Variables		SPI6(<-2.5)		SPI6(<-2.5), Rate of Storage at Reservoir (<50%)		Areas dried out due to droughts	
		Estimates	(Std.dev)	Estimates	(Std.dev)	Estimates	(Std.dev)
Trend		0.00305***	(0.00058)	0.00279***	(0.00056)	0.00854***	(0.00084)
Monthly mean of temperature(°C)	May	0.01023***	(0.00360)	0.01125***	(0.00355)	0.01215***	(0.00401)
	June	-0.01159***	(0.00290)	-0.01219***	(0.00288)	-0.01618***	(0.00340)
	July	0.00726**	(0.00332)	0.00668**	(0.00330)	0.01107***	(0.00398)
	August	-0.00812***	(0.00334)	-0.00817***	(0.00334)	-0.00591	(0.00408)
	September	0.00014	(0.00335)	-0.00061	(0.00333)	-0.00243	(0.00378)
Monthly accumulated precipitation (mm)	May	-0.00008*	(0.00005)	-0.00007	(0.00005)	-0.00005	(0.00005)
	June	-0.00008***	(0.00003)	-0.00008***	(0.00003)	-0.00007**	(0.00003)
	July	-0.00010***	(0.00001)	-0.00010***	(0.00001)	-0.00012***	(0.00001)
	August	-0.00007***	(0.00001)	-0.00007***	(0.00001)	-0.00008***	(0.00001)
	September	-0.00008***	(0.00002)	-0.00008***	(0.00002)	-0.00009***	(0.00002)
Drought Index		-0.00066**	(0.00032)	-0.00076	(0.00063)	0.00002	(0.00133)
Year dummies		Yes		Yes		Yes	

Note: *** p<0.01 ** p<0.05, * p<0.1

Appendix 3. The effects of irrigated areas by frequency of drought on rice yields.^a

Variables		Model1				Model2			
		Normal year	5 years	7 years	Over 10 years	Normal year	5 years	7 years	Over 10 years
Monthly mean of temperature (°C)	May	0.00180 (0.00255)	0.00148 (0.00255)	0.00135 (0.00255)	0.00134 (0.00255)	0.00178 (0.00255)	0.00145 (0.00255)	0.00130 (0.00255)	0.00128 (0.00255)
	Jun	0.00384* (0.00217)	0.00326 (0.00218)	0.00301 (0.00218)	0.00274 (0.00218)	0.00384c (0.00217)	0.00324 (0.00218)	0.00298 (0.00218)	0.00270 (0.00218)
	Jul	0.01302*** (0.00200)	0.01255 *** (0.00201)	0.01238*** (0.00201)	0.01221*** (0.00201)	0.01299*** (0.00200)	0.01249*** (0.00201)	0.01233*** (0.00201)	0.01215*** (0.00201)
	Aug	-0.00656*** (0.00165)	-0.00640 *** (0.00164)	-0.00637*** (0.00164)	-0.00637*** (0.00164)	-0.00654*** (0.00165)	-0.00637*** (0.00165)	-0.00633*** (0.00164)	-0.00633*** (0.00164)
	Sep	-0.00122 (0.00202)	-0.00112 (0.00202)	-0.00109 (0.00202)	-0.00109 (0.00202)	-0.00121 (0.00202)	-0.00110 (0.00202)	-0.00107 (0.00202)	-0.00106 (0.00202)
Monthly accumulated precipitation (mm)	May	-0.00020*** (0.00004)	-0.00020 *** (0.00004)	-0.00020*** (0.00004)	-0.00020*** (0.00004)	-0.00020*** (0.00004)	-0.00020*** (0.00004)	-0.00020*** (0.00004)	-0.00020*** (0.00004)
	Jun	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008 *** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)
	Jul	-0.00008*** (0.00001)	-0.00008 *** (0.00001)	-0.00008*** (0.00001)	-0.00008*** (0.00001)	-0.00008*** (0.00001)	-0.00008*** (0.00001)	-0.00008*** (0.00001)	-0.00008*** (0.00001)
	Aug	-0.00019*** (0.00001)	-0.00019 *** (0.00001)	-0.00019*** (0.00001)	-0.00019*** (0.00001)	-0.00019*** (0.00001)	-0.00019*** (0.00001)	-0.00019*** (0.00001)	-0.00019*** (0.00001)
	Sep	-0.00020*** (0.00002)	-0.00020 *** (0.00002)	-0.00020*** (0.00002)	-0.00020*** (0.00002)	-0.00020*** (0.00002)	-0.00020*** (0.00002)	-0.00020*** (0.00002)	-0.00020*** (0.00002)
Proportion of irrigated areas by frequency of drought	0.00025 *** (0.00013)	0.00028 *** (0.00010)	0.00032*** (0.00010)	0.00035*** (0.00010)	0.00026* (0.00013)	0.00028*** (0.00010)	0.00033*** (0.00010)	0.00035*** (0.00010)	
Drought index ^b	-0.00049 (0.00033)	-0.00054 * (0.00033)	-0.00057 * (0.00033)	-0.00058 * (0.00033)	-0.00006 (0.00081)	-0.00015 (0.00065)	-0.00014 (0.00063)	-0.00013 (0.00060)	
Drought index× Proportion of irrigated areas by frequency of drought					-0.00001 (0.00001)	-0.00001 (0.00001)	-0.00001 (0.00001)	-0.00001 (0.00001)	

Note 1) *** p<0.01 ** p<0.05, * p<0.1 () means the standard deviation of each estimates. ^a Irrigated area by frequency of drought represent area which is supplied water by irrigation facilities stably in spite of drought by frequency. ^b Drought index means # of days whose SPI6 <-2.5.

Appendix 4. The effects of irrigated areas by frequency of drought on rice yields with year dummies.^a

Variables		Model1				Model2			
		Normal year	5 years	7 years	Over 10 years	Normal year	5 years	7 years	Over 10 years
Monthly mean of temperature (°C)	May	0.01022*** (0.00360)	0.01020*** (0.00360)	0.01016*** (0.00360)	0.01013*** (0.00360)	0.01013*** (0.00360)	0.01016*** (0.00360)	0.01008*** (0.00360)	0.01003*** (0.00360)
	Jun	-0.01154*** (0.00291)	-0.01162*** (0.00290)	-0.01158*** (0.00290)	-0.01151*** (0.00290)	-0.01153*** (0.00291)	-0.01163*** (0.00290)	-0.01158*** (0.00290)	-0.01152*** (0.00290)
	Jul	0.00729** (0.00332)	0.00729** (0.00332)	0.00734** (0.00332)	0.00732** (0.00332)	0.00730** (0.00332)	0.00729** (0.00332)	0.00735** (0.00332)	0.00734** (0.00332)
	Aug	-0.00806** (0.00334)	-0.00822** (0.00334)	-0.00825** (0.00334)	-0.00826** (0.00334)	-0.00805** (0.00334)	-0.00821** (0.00334)	-0.00825** (0.00334)	-0.00827** (0.00334)
	Sep	-0.00014 (0.00336)	-0.00012 (0.00336)	-0.00017 (0.00335)	-0.00020 (0.00335)	-0.00019 (0.00336)	-0.00016 (0.00336)	-0.00022 (0.00336)	-0.00026 (0.00335)
Monthly accumulated precipitation (mm)	May	-0.00008* (0.00005)	-0.00008* (0.00005)	-0.00008* (0.00005)	-0.00008* (0.00005)	-0.00008* (0.00005)	-0.00008* (0.00005)	-0.00008* (0.00005)	-0.00008* (0.00005)
	Jun	-0.00008*** (0.00003)	-0.00008*** (0.00003)	-0.00008*** (0.00003)	-0.00008*** (0.00003)	-0.00008*** (0.00003)	-0.00008*** (0.00003)	-0.00008*** (0.00003)	-0.00008*** (0.00003)
	Jul	-0.00010*** (0.00001)	-0.00010*** (0.00001)	-0.00010*** (0.00001)	-0.00010*** (0.00001)	-0.00010*** (0.00001)	-0.00010*** (0.00001)	-0.00010*** (0.00001)	-0.00010*** (0.00001)
	Aug	-0.00007*** (0.00001)	-0.00007*** (0.00001)	-0.00007*** (0.00001)	-0.00007*** (0.00001)	-0.00007*** (0.00001)	-0.00007*** (0.00001)	-0.00007*** (0.00001)	-0.00007*** (0.00001)
	Sep	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)	-0.00008*** (0.00002)
Proportion of irrigated areas by frequency of drought	0.00005 (0.00012)	-0.00009 (0.00009)	-0.00012 (0.00010)	-0.00013 (0.00009)	0.00006 (0.00012)	-0.00009 (0.00009)	-0.00011 (0.00010)	-0.00013 (0.00009)	
Drought index ^b	-0.00066** (0.00032)	-0.00065** (0.00032)	-0.00065** (0.00032)	-0.00065** (0.00032)	-0.00013 (0.00071)	-0.00034 (0.00057)	-0.00031 (0.00056)	-0.00033 (0.00054)	
Drought index× Proportion of irrigated areas by frequency of drought					-0.00001 (0.00001)	-0.00001 (0.00001)	-0.00001 (0.00001)	-0.00001 (0.00001)	
Year dummies	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	

Note 1) *** p<0.01 ** p<0.05, * p<0.1 () means the standard deviation of each estimates. ^a Irrigated area by frequency of drought represent area which is supplied water by irrigation facilities stably in spite of drought by frequency. ^b Drought index means # of days whose SPI6 <-2.5.