

밭 공간분포와 개별·집단관정 이용을 고려한 밭용수 공급 경제성 분석*

장성주¹ · 박진석² · 신형진³ · 김형준⁴ · 홍록기⁴ · 송인홍^{5**}

Economic Analysis of Upland Crop Irrigation Between Individual and Collective Well Water Supply*

Seongju JANG¹ · Jinseok PARK² · Hyung-Jin SHIN³
Hyungjoon KIM⁴ · Rokgi HONG⁴ · Inhong SONG^{5**}

요 약

밭은 논에 비해 수익성이 높고 경작면적도 증가 추세에 있어 적절한 용수공급의 중요성이 커지는 데도, 밭 용수기반은 부족한 상황이다. 본 연구의 목적은 밭 재배지의 공간분포에 따른 개별관정과 집단관정에 의한 밭 용수공급의 경제성을 비교 평가하는데 있다. 노지 밭작물 중 고추, 배추, 사과, 콩 네 작물에 대해 충청권역에서 각 작물의 주요 생산지역인 청양군, 당진시, 예산군, 괴산군을 대상지역으로 선정하였다. 경제성 분석 결과, 고추, 배추, 사과 콩의 B/C ratio는 개별관정 시나리오에서 1.49, 1.36, 1.90, 0.71, 집단관정 시나리오에서 1.45, 1.20, 1.91, 0.65로 산정되어 콩을 제외한 고추, 배추, 사과는 밭 용수공급시설의 개발이 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났다. 특히 작물의 가치가 큰 사과와 고추재배의 경우 밭용수 공급의 효과가 커서 작물가치가 관정개발의 중요한 인자로 나타났다. 작물 총수입에 대하여 민감도 분석을 수행한 결과 작물의 총수입이 낮은 작물일수록 가격변동이 경제성에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 집단관정 개발을 위한 필지 수에 따라 경제성 분석을 수행한 결과 고추와 배추의 경우 밭의 공간분포가 밀집되지 않아 집단관정 개발 시 규모의 경제 효과가 나타나지 않았으며, 사과와 콩의 경우 20개 이상의 필

2020년 07월 08일 접수 Received on July 08, 2020 / 2020년 09월 07일 수정 Revised on September 07, 2020 / 2020년 09월 07일 심사완료 Accepted on September 07, 2020

* 본 연구는 농림축산식품부의 재원 농림식품기술기획평가원의 농업기반 및 재해 대응기술 개발사업의 지원으로 수행되었음(과제번호 : 320051-3).

1 서울대학교 지역시스템공학과 석사과정, Dept. of Landscape Architecture & Rural Systems Engineering, Seoul National University, MS Student

2 서울대학교 지역시스템공학과 석사과정, Dept. of Landscape Architecture & Rural Systems Engineering, Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University, MS Student

3 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임전임연구원, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Associate Researcher

4 서울대학교 지역시스템공학과 학부과정, Dept. of Landscape Architecture & Rural Systems Engineering, Seoul National University, Undergraduate Student

5 서울대학교 지역시스템공학과 부교수 Dept. of Landscape Architecture & Rural Systems Engineering, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University, Associate Professor

** Corresponding Author E-mail : inhongs@snu.ac.kr

지를 집단화한 경우 규모의 경제의 효과가 나타났다. 결론적으로, 관정을 이용한 용수개발은 작물 가치가 큰 사과나 고추 작물에 유리하고, 집단관정의 효과는 실제 작물 재배의 공간분포자료를 바탕으로 추가적인 분석이 요구된다.

주요어 : 발관개, 관정, 집단화, 경제성 분석

ABSTRACT

Profitability of upland crops is better than paddy crops and proportion of upland is increasing. However, there is a lack of infrastructures for upland irrigation. The object of this study were to develop water supply scenarios using individual and collective agricultural wells to evaluate economic feasibility to consider geographical analysis of upland farms and water supply facilities. Cheongyang, Dangjin, Yesan, and Goesan were selected as study areas where four different crops of red pepper, chinese cabbage, apple, and bean, respectively, were mainly produced in Chungcheong province. As a result, B/C ratio was estimated as 1.49, 1.36, 1.90, and 0.71 in using individual wells scenario, and 1.45, 1.20, 1.91, and 0.65 in using collective wells scenario for red pepper, chinese cabbage, apple, and bean. It turned out that change of price effected on economic feasibility a lot for crops with low production income. As a result of evaluating economic feasibility by number of plots for developing collective well, there was no effect of economy of scale for red pepper and chinese cabbage. In case of collectivizing more than 20 upland plots, effect of economy of scale appeared for apple and bean. In conclusion, development of water using high value crops including red pepper and apple, and effect of collective well requires additory analysis of .spatial distribution of farms.

KEYWORDS : *Upland irrigation, Underground Well, Collectivization, Economic analysis*

서론

통계청의 양곡소비량조사에 따르면 우리나라 1인 연간 쌀 소비량은 2010년 72.2kg에서 2019년 59.2kg으로 감소하였다. 이에 대응하여 농림축산식품부는 쌀 생산량을 조절하기 위해 논 타작물 재배 및 여러 쌀 수요 확대 등 쌀 수급안정 대책을 시행하고 있다(MAFRA, 2017). 그러나 쌀에 반해 밭작물의 경우 2018년 채소 및 과실의 생산금액은 약 16조원으로 미곡 생산금액인 약 8조 4천억 원에 비해 높은 수익성을 보이고 있고, 통계청 농업면적조사의 경지면적 중 논과 밭의 비율을 보았을 때 2010년

57% 대 43%에서 2019년 52% 대 48%로 밭의 비중이 증가하는 추세에 있다.

밭작물의 중요성이 증가하는 가운데, 2018년 발생한 가뭄으로 논 물마름 발생 면적 2,514ha 대비 밭 시듦 발생 면적 20,255ha로 밭작물 피해가 훨씬 크게 나타났다(MOIS, 2018). 이는 지금까지 농업생산기반정비 사업은 논농사를 중심으로 진행되어 쌀 생산의 기반시설은 어느 정도 개발된 것에 비해, 밭작물의 용수공급을 위한 기반시설의 개발이 부족하기 때문이다(Kim and Chae, 2014). 용수공급율의 측면에서 논과 밭을 비교하였을 때, 2015년 기준 전체 논 중 용수공급이 가능한 비율이 약 81%인 반면, 밭의 용수공급비율은 약 18%에 불과해 상대적

으로 가뭄에 취약한 상황이다(MAFRA, 2015). 또한 기후변화로 인해 가뭄발생의 빈도가 증가하고 있어 밭작물의 안정적인 생산을 위해서는 밭 용수공급을 위한 기반시설의 확충이 필요하다(MOLIT, 2017).

농림축산식품부는 밭기반 정비사업을 통해 밭작물 생산성 향상을 도모하고 있는데, 가뭄대응 종합대책으로 밭용수 공급율을 30%까지 높일 목표로 집단화된 밭의 용수공급을 포함하여 관정·양수 장비를 점검하고 있다(MAFRA, 2015). 이외에도 소규모 댐의 저수관리, 빗물 집수하고 관리하는 장치 등의 연구를 통해 밭관개용수의 확보를 위한 다양한 방안을 모색하고 있다(Kim *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2018).

일반적으로 밭용수는 농가 단위로 개별 소형관정을 설치하여 지하수를 양수하여 사용한다(Jung *et al.*, 2001). 그러나 소형관정은 심도가 얕아 지하수면의 변동에 민감하기 때문에 가뭄이 발생하여 지하수위가 내려간 경우에는 용수공급이 어려울 수 있다(ME, 2008). 이러한 문제를 해결하는 방안 중 하나로 암반지하수를 취수하는 암반관정을 개발하는 방법이 있다. 암반관정은 대부분 대형관정으로 집단화된 밭의 관개용수를 공급하기 위해 사용할 수 있고, 소형관정에 비해 심도가 깊어 안정적인 수량 확보가 가능한 반면 초기 설치비용이 크다(ME, 2008).

밭 용수공급시설의 효율적인 개발을 위해서는 밭작물 재배지의 공간적 분포를 바탕으로 적절한 위치를 선정해야 한다. 이를 위해 지리정보시스템(GIS : Geographic Information System)의 활용이 필요하다. 현재까지 GIS를 이용하여 밭 재배지역의 공간분포를 파악하고 관개시스템 개발을 위하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 밭의 위치정보를 확보하기 위하여 위성영상을 활용하여 고랭지 밭의 현황을 파악하거나 항공사진측량을 통해 채소주산단의 공간정보를 구축한 바 있다(Park *et al.*, 2017, Bae *et al.*, 2018). Park *et al.*(2007)은 관개시스템을 개발하기 위해 농촌용수 수요공급량 산정시스템과 하천 및 수리시설물의 위상자료를 연계하여 관

개 시스템 네트워크를 모의하였다. 지하수개발과 관련하여 농업용 지하수관정 개발사업의 설계를 지원하는 시스템이 Kim(2001)에 개발되었다. Shin *et al.*(2018)은 충청 지역 배추, 사과, 고추 주산지인 당진, 예산, 청양을 대상으로 밭관개 시설물의 취약성을 분석한 바 있다. 하지만 밭의 공간분포 특성과 지표수, 지하수 등 용수원을 고려한 밭 용수공급에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구는 지역별 밭용수 공급원으로 하천수와 지하수를 이용하여 소형관정과 대형관정을 개발하는데 따른 경제성을 평가는데 목적이 있다. 이를 위해 고추, 사과, 배추, 콩의 네 가지 밭작물에 대해 공간정보분석을 통해 개별 소형관정과 집단화된 대형관정을 설치하는 경우를 비교하여 경제성을 분석하였다.

연구방법

1. 대상작물 및 대상지역

본 연구에서는 대상작물로 대표적인 노지 밭작물들 중에서 고추, 배추, 사과, 콩을 선택하였다. 고추, 배추, 사과는 각각 우리나라 주요 조미채소, 엽채류, 과실류 중 하나로 2019년 농업면적조사에서 가장 넓은 면적에 재배되는 품목이며 콩은 식량작물 중 논벼 다음으로 널리 재배되고 있다. 대상지역은 충청지역에서 각 대상작물의 주산지인 청양군(고추), 당진시(배추), 예산군(사과), 괴산군(콩)을 선정하였다. 각 대상작물에 대한 관정개발 효과를 분석하기 위해서는 대상작물재배지의 밭 필지단위의 공간정보가 필요하나 가용한 자료가 없는 실정이다. 따라서 대상작물이 해당지역의 밭 필지에 무작위로 분포한다고 가정하고, 농림어업총조사(KOSTAT, 2015)의 해당 지역 및 작물에 대한 재배면적 통계를 반영하여 재배지의 공간분포를 결정하였다. 즉, 각 대상지역에 대해 환경부 토지피복지도 상의 밭 필지 단위로 임의의 번호를 부여하고, 필지번호를 임의로 추출하여 해당 필지를 재배지로 선정하였다. 임의선정은

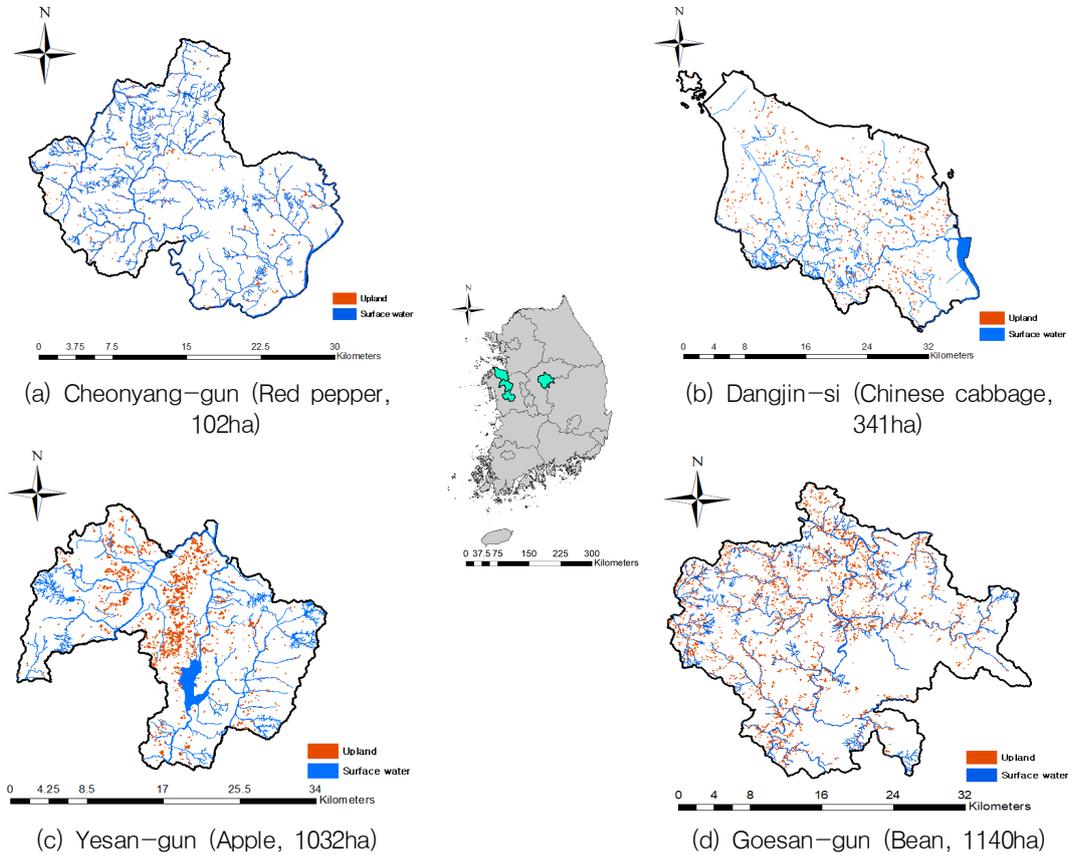


FIGURE 1. The study sites and the respective upland areas for different crops

선정필지의 누적면적이 해당작물의 재배면적 통계에 이를 때까지 수행하였고, 그 결과는 그림 1에 도시하였다.

2. 용수공급시설의 필요수량 결정

1) 10년 가뭄빈도 강우량

각 대상작물에 대해 작물재배 기간 동안 작물이 사용하는 총 물량 중 관개로 공급해야하는 양인 관개필요수량을 산정하고 이에 따른 용수 공급시설의 수를 결정하기 위해 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)에서 제공하는 1980년부터 2015년까지의 기상관측자료를 바탕으로 10년 가뭄빈도 강우량을 산정하였다. 10년 가뭄빈도 강우량은 국립재난안전연구원에서 제공하는 강

우분석 프로그램(FARD2006, Frequency Analysis of Rainfall Data Program 2006)을 이용하여 산정하였고, 확률분포함수의 추정 방법으로 확률가중모멘트법을, 확률분포형으로는 GUMBEL 분포를 사용하였다.

2) 발용수 공급 필요수량

10년 가뭄빈도 강우량 발생 시 관개수량을 산정하기 위해 10년 가뭄빈도 강수량과 비슷한 강수량이 발생한 해를 기준년도로 설정하였다. 그 후 발기반 농업용수 절약 모델 개발(RDA, 2017)에서 APEX(Agricultural Policy/Environmental eXtender) 모델을 이용하여 간단일수와 1회 관개수량을 달리하여 모의했을 때 생산량이 최대

TABLE 1. Reference year, precipitation, and irrigation of amount for 10 year drought frequency

Crops	Probable rainfall for 10 year drought frequency (mm)	Reference year	Precipitation (mm)	Irrigation requirement (mm)
Red pepper	965	2008	902.1	268.18
Chinese cabbage	918	2008	909.6	120.20
Apple	965	2008	902.1	27.01
Bean	910	2001	834.4	392.59

TABLE 2. Three different irrigation methods for respective upland crops

Crops	Irrigation method	Ratio (%)	Irrigation requirement (mm)	Number of irrigation (time)	Irrigation interval (day)	Application amount per irrigation event (mm)	Daily application amount per area (ton/day/ha)
Red pepper	Drop-watering	-	313.7	24	10	13.1	130.7
	Sprinkler	16	376.4			15.7	156.8
	Furrow irrigation	84	434.3			18.1	181.0
Chinese cabbage	Drop-watering	-	140.6	18	10	7.8	78.1
	Sprinkler	-	168.7			9.4	93.7
	Furrow irrigation	100	194.7			10.8	108.1
Apple	Drop-watering	80	31.6	22	7	1.5	14.7
	Sprinkler	20	37.9			1.8	17.7
	Furrow irrigation	-	43.7			2.0	20.4
Bean	Drop-watering	-	459.2	30	5	15.3	153.1
	Sprinkler	-	551.0			18.4	183.7
	Furrow irrigation	100	635.8			21.2	211.9

가 되는 간단일수를 적용하여 기준년도의 관개 수량을 작물별 필요 관개수량으로 적용하였다. 작물별 10년 가뭄빈도 강수량, 기준년도, 기준년도 강수량, 기준년도 관개수량은 표 1과 같다.

산정된 기준년도의 관개수량을 바탕으로 관개 방법에 따른 관개효율, 조용수량, 간단일수, 1회 조용수량, 단위용수량을 고려하여 대상지역별 단위용수량을 산정하였다. 관개효율은 수원으로부터 취수한 수량에 대해서 작물을 재배하는 토층에 저류되는 수량의 비율로 송수과정, 관개방법 등에 따라 달라진다. 조용수량은 관개효율을 고려하여 수원에서 취수해야 하는 수량을 의미한다. 밭작물 용수공급 시 관개방법으로는 점적 관개, 스프링클러 관개, 고랑 관개 등이 있다. 농촌진흥청의 농업기술포털 농사로(www.nongsaro.go.kr)에서 제공하는 작물별 재배관리 정보와 밭작물 주산지 선정 및 수급조절을 위한 GIS기

반 자원관리기술 개발 최종보고서(MAFRA, 2017)의 자료를 이용하여 작물별 관개방식 비율을 적용하였다. 관개 효율은(Howell, 2003)에 따라 점적관개 90%, 스프링클러 관개 75%, 고랑관개 65%를 적용하여 조용수량을 산정하였다.

간단일수는 1회 관개가 진행된 후 다음 관개가 진행될 때까지의 기간을 의미하며 관개효과에 영향을 준다. 작물별로 간단일수를 구하기 위하여 APEX모델에서 기준년도 관개수량을 산정할 때의 1회 관개수량과 간단일수를 적용하였다. 농사로에서 제공하는 작물별 파종시기와 수확시기 자료를 통해 총 영농일수를 산정하고 간단일수를 고려하여 영농기간 동안 관개가 행해지는 횟수를 산정하였다.

1회 조용수량은 1회 관개 시 수원으로부터 취수하는 수량을 의미한다면, 단위용수량은 단위면적당 1회 조용수량을 의미한다. 관정으로부

터 양수기를 이용하여 취수할 수 있는 지하수량은 한정되어 있다. 따라서 1회 조용수량을 산정하여 필요한 관정 및 양수기의 수를 계산하는 것이 필요하다. 산정된 조용수량을 관개 횟수로 나누어 1회 조용수량과 단위면적 당 조용수량을 산정하였다.

작물별 관개방법에 따른 이용 비율, 조용수량, 관개횟수, 간단일수, 1회 조용수량과 단위용수량은 표 2에 제시하였다.

3) 관정시설 필요량

농업용 관정 개발·이용 및 양수장비 관리지침(MAFRA, 2001)에서는 농업용 관정을 규모 및 채수량에 따라 소형관정과 대형관정으로 분류한다. 관정 시공 성공 시 1일 채수량의 기준은 소형관정의 경우 30-50m³, 대형관정의 경우 150m³ 이상으로 두고 있다. 본 연구에서는 관리지침에 따라 소형관정과 대형관정의 1일 채수량을 각각 30m³과 150m³으로 설정하였으며, 단위면적당 1회 관개 필요수량과 관개사이일수를 고려하여 단위면적 당 소형관정 및 대형관정의 최소 필요량을 산정하였다. 산정된 소형 및 대형관정의 필요량은 시나리오에 따른 관정 설치수량이 충분한 용수공급가능여부를 판단하는데 사용되었다.

3. 밭관개 용수공급 시나리오

작물별 용수공급시설의 집단화 여부에 따른 경제성을 분석하기 위해 두 종류의 용수공급 시나리오를 설정하였다. 현재 대상지역에서 이용되고 있는 관정이나 관개 시스템은 용수공급시설 개발 시나리오에 고려하지 않았다. 이에 전체 대상지역의 용수공급시설 설치에 소요되는

기간을 2년으로 설정하였다.

1) 개별관정 시나리오

개별관정 시나리오는 지표수와 소형관정을 이용하여 밭 용수공급을 하도록 설정하였다. 우선 하천, 호소 등의 지표수 인근의 밭에서는 지표수를 이용하고 그 외의 경작지는 필지마다 개별 소형관정을 개발하여 용수를 공급한다고 가정하였다. 지표수는 하천이나 호소의 인근 200m이 내의 필지에 공급하고, 개별관정은 관정을 중심으로 반경 300m까지 용수를 공급하는 것으로 가정하였다. 소형관정의 경우 가뭄발생시 용수공급의 안정성이 떨어지므로, 10년 빈도의 가뭄이 발생할 경우에 용수공급이 원활하게 진행되지 않아 작물 생산량의 감소가 발생할 것으로 보았다(Rhee *et al.*, 2010). 관개시설의 경우에는 작물별 관개방법에 따른 비율을 고려한 면적에 따라 설치 수를 결정하였다.

2) 집단관정 혼용 시나리오

집단관정 혼용 시나리오는 지표수와 소형관정에 더하여 대형관정을 밭 용수공급에 추가하였다. 지표수 이용은 개별관정 시나리오와 동일하게 적용하고, 지표수로부터 떨어진 경작지 중 5지점 이상 밀집되어 집단화된 밭들에 대해 대형 암반관정을 개발하여 용수를 공급하는 것으로 가정하였다. 그 외 지표수와 대형관정을 사용하기 어려운 위치의 경작지에서는 개별 소형관정을 개발하여 용수공급을 진행하였다. 지표수와 개별관정 사용 시 용수공급가능범위는 개별시나리오와 동일하게 가정하였고, 집단관정 사용 시 관정으로부터 반경 750m 범위의 밭에 용수를 공급하는 것으로 가정하였다. 집단관정을 이용하는 경작지의 경우 지표수나 개별관정을 이용

TABLE 3. Scenarios for upland crop irrigation for different water sources

	Surface water use	Individual well use	Collective well use
Scenario 1 ^a	X	0	X
Scenario 2 ^b	0	△	0

a Using individual wells scenario

b Using collective and individual wells scenario

하는 경우와 달리 대형관정의 심도가 깊어 10년 빈도 가뭄에도 안정적으로 용수공급이 가능한 것으로 가정하였다. 관개시설의 경우 개별관정 시나리오와 동일하게 적용하였다.

두 시나리오의 지표수 이용여부, 개별관정 이용여부, 집단관정 이용여부에 대한 차이는 표 3과 같다.

4. 시나리오별 비용·편익 분석

1) 평가지표 선정

사업계획 시 우선순위를 정하기 위해서 경제성, 정책성, 지역균형발전 등을 고려하여 예비타당성조사를 실시한다. 그 중 경제성 분석은 예산을 효율적으로 이용하기 위한 사업의 우선순위를 평가하는데 사용된다. 사업의 경제적 타당성을 평가하는 방법으로 비용과 편익을 분석하는 방법이 있다. 비용과 편익을 분석하여 총편익에서 총비용을 제외한 순편익이 양의 값을 가지게 되면 해당 사업은 타당성을 갖는다(KDI, 2008).

경제성 평가를 통해 최선의 대안을 선택하기 위해서 일반적으로 순현재가치(Net Present Value, NPV), 편익·비용 비율(Benefit-Cost ratio, B/C ratio), 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR) 등의 의사결정기준이 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 이 세 가지 의사결정기준을 적용하여 경제성 평가를 시행하였다(KDI, 2008).

순현재가치는 사업을 진행하는 기간 동안 발생하는 모든 순편익을 현재의 가치로 환산한 것이다. 편익·비용비율은 사업기간동안의 총편익과 총비용을 현재의 가치로 환산하여 그 비율을 나타내는 것이다. 내부수익률은 사업기간동안 발생하는 총편익의 현재가치와 총비용의 현재가치를 동일하게 만드는 할인율로 순현재가치를 0으로, 편익·비용비율이 1이 되도록 만드는 할인율을 의미한다. 순현재가치가 양의 값을 가질 때, 편익·비용비율이 1보다 클 때, 내부수익률이 일반적으로 적용되는 할인율보다 클 때 사업은 타당성을 가진다(KDI, 2008).

TABLE 4. Items for benefit and cost

Category	Item	Cost	
Benefit	Increase crop yield ^{a,b}	Red pepper	8,962 (1,000 won/ha)
		Chinese cabbage	6,528 (1,000 won/ha)
		Apple	13,925 (1,000 won/ha)
		Bean	1,848 (1,000 won/ha)
Cost	Drop-watering	Motor department	3,276 (1,000 won/ea)
		Watering department	1,371 (1,000 won/ea)
	Water supply facility development ^c	Sprinkler	Motor department 3,294 (1,000 won/ea) Watering department 2,397 (1,000 won/ea)
		Furrow irrigation	Motor department 3,276 (1,000 won/ea)
	Maintenance cost	Individual well	2,500 (1,000 won/ea)
		Colloective well	50,000 (1,000 won/ea)
		5% of Water supply facility development	
Opportunity cost ^d	Red pepper	26,885 (1,000 won/ha)	
	Chinese cabbage	19,584 (1,000 won/ha)	
	Apple	41,775 (1,000 won/ha)	
	Bean	5,545 (1,000 won/ha)	

a 25% of agricultural products income investigation(RDA) and agricultural product production cost investigation(KOSTAT) data(2014~2018)

b In using surface water and individual well, 59%, 46%, 72%, 64% of common benefit when 10 year frequency drought occur for respective crops

c Unit price of 'Project of support FTA fund high quality fruit production facility modernization' and 'Public notice on designation of disaster-resistant standard for horticultural and special crop facility'

d 75% of agricultural products income, applied for initial 2 years

2) 편익 및 비용

경제성 평가 지표를 산정하기 위해서 용수공급으로 예상되는 편익과 비용을 분석하는 것이 중요하다. 본 연구에서 관정개발을 통한 용수공급으로 발생하는 편익은 농업용수 공급편익으로, 농작물 예산 분석법을 통해 산정하였다(KDI, 2008). 농작물 예산 분석법은 사업 전후 작물의 생산 증가량과 작물의 가격의 곱에서 생산비용을 제외한 금액으로 편익을 산정한다(KDI, 2008). 농촌진흥청(2019)에 따르면 발용수공급에 따라 작물의 생산량에 25% 정도의 차이가 발생하였다. 이에 농진청의 농산물소득 조사와 통계청의 농축산물생산비조사의 최근 5년간 작물의 총수입의 평균의 25%를 편익으로 적용하였다. 농촌진흥청(1995)에서는 작물별 한밭 피해실태를 제공하고 있다. 이에 따라 소형관정 및 지표수 이용 시 10년빈도의 가뭄이 발생한 해에는 해당년도에 발생한 편익을 고추, 배추, 사과, 콩 각각 59%, 46%, 72%, 64%로 적용하였다(RDA, 1995).

비용에는 관정과 용수공급시설 설치비용, 시설의 유지관리비용을 고려하였다. 용수공급시설 설치비용으로 'FTA기금 과수고품질생산시설 현대화 지원사업' 과 '원예특작시설 내재해 기준 지정고시'의 시설별 단가를 적용하고, 유지관리비용은 시설개발비용의 5%로 설정하였다. 그리고 관개시설을 설치하는 1, 2년 동안 작물재배가 어려워 2년 동안의 작물재배소득을 기회비용으로 고려하였다. 기회비용은 발 용수

공급시설이 없을 때의 작물소득으로 평균적인 작물생산량보다 25% 적게 생산되었을 것으로 보아 작물총수입의 75%를 적용하였다(표 4).

3) 사업기간 및 할인율

경제성 평가를 위해 총 사업기간을 30년으로, 할인율은 예비타당성조사 수행 총괄지침에 따라 4.5%로 설정하였다. 관정의 내구연한은 30년, 관개시설의 내구연한은 10년으로 하여 1, 2년 차에는 관정시설과 관개시설을, 11, 12년차와 21, 22년차에 관개시설을 재설치하는 것으로 설정하여 초기 2년 동안 시설 설치비를 분할투자하고 3년차부터 편익 및 시설관리비 및 경영비용이 발생하는 것으로 적용하였다. 또한 10년 빈도의 가뭄 발생을 고려하여 사업기간 30년 동안 세 차례, 6년차, 16년차, 26년차에 가뭄이 발생하도록 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 시나리오별 관정 설치 수

1) 개별관정 시나리오

개별관정 시나리오에 따른 작물별 소형관정 설치 개수를 표 5에, 설치 위치를 그림 2에 제시하였다. 그림 2에서 소형관정의 위치로부터 반경 300m, 지표수로부터 200m 거리의 buffer를 주어 용수공급가능범위를 도출하고, 각 용수공급원의 용수공급가능범위 내의 밭 면적을 계산하였다. 작물별 지표수관개면적 비율은 고추, 콩, 배추, 사과의 순으로 나타났다. 네

TABLE 5. Water supply area by crops and water supply source (scenario 1)

Crops	Water source	Number of wells	Irrigation area (ha)	Irrigation area per well (ha/ea)	Total area (ha)
Red pepper	Surface water	-	72.1	-	102
	Individual well	112	29.9	0.27	
Chinese cabbage	Surface water	-	81.8	-	341
	Individual well	586	259.2	0.44	
Apple	Surface water	-	225.0	-	1,032
	Individual well	970	807.0	0.83	
Bean	Surface water	-	639.2	-	1,140
	Individual well	1292	500.8	0.39	

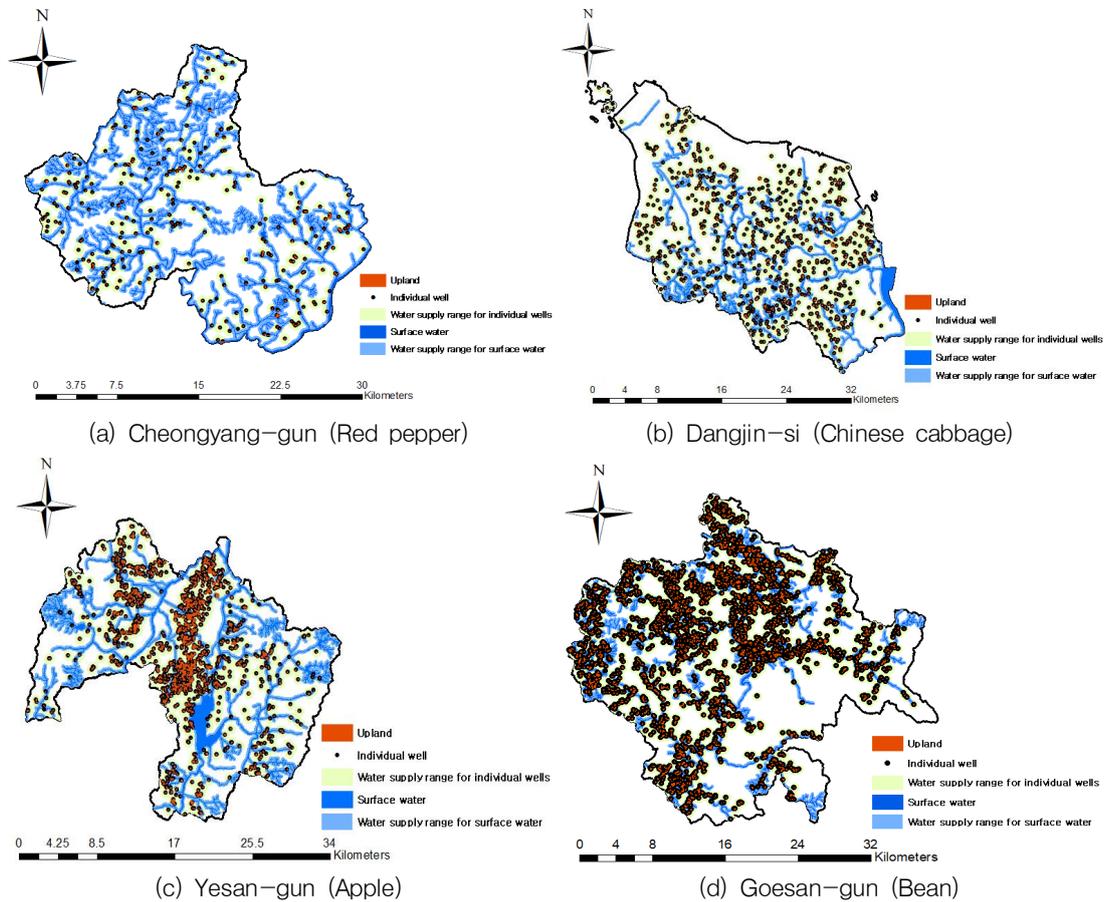


FIGURE 2. Distributes of individual wells for respective crops

지역 중 지표수 관개면적 비율로 보면 70.7%와 56.1%로 높은 청양(고추), 괴산(콩)과 24.0%와 21.8%로 낮은 당진(배추)과 예산(사과)을 구분할 수 있다. 산림청의 산림기본통계에 따르면 청양과 괴산은 산림율이 64.1%와 75.8%로, 당진과 예산의 31.6%와 43.2%에 비해 높다. 이는 산림이 많은 지역에서는 넓은 평야가 없어 하천 주변에 밭이 밀집되어 있고, 상대적으로 산림이 적은 지역은 하천으로부터 먼 위치까지 경작지가 있기 때문으로 보인다. 또한 배추와 사과를 작물의 특성 상 기후가 선선한 고지대에서 재배되기 때문에 하천수로 바로 이용하는데 한계가 있을 것으로 생각된다. 지표수를 이용하

는 밭의 비율이 높을수록 관정 설치 개소가 줄어들어 경제성에 유리할 것으로 예상된다.

소형관정을 이용하는 시나리오 1에 대해 지표수와 관정에서 용수를 공급하는 면적을 표 5에 나타내었다. 소형관정 한 개소 당 수혜면적은 사과, 배추, 콩, 고추의 순으로 나타났는데, 이는 작물별 필지 평균면적의 차이에 따른 것으로 생각된다. 개별 필지의 면적이 상대적으로 넓은 사과의 경우 상대적으로 관정의 수가 적어 경제적으로 유리한 것으로 보인다.

2) 집단관정 혼용 시나리오

집단관정 혼용 시나리오에 따른 작물별 소형

TABLE 6. Water supply area by crops and water supply source (scenario 2)

Crops	Water source	Number of wells	Irrigation area (ha)	Irrigation area per well (ha/ea)	Total area (ha)
Red pepper	Surface water	—	70.9	—	102
	Collective well	3	4.6	1.55	
	Individual well	99	26.4	0.27	
Chinese cabbage	Surface water	—	66.0	—	341
	Collective well	61	181.5	2.98	
	Individual well	244	93.5	0.38	
Apple	Surface water	—	153.0	—	1,032
	Collective well	68	806.7	11.86	
	Individual well	385	72.4	0.45	
Bean	Surface water	—	545.2	—	1,140
	Collective well	99	452.6	4.57	
	Individual well	385	144.0	0.37	

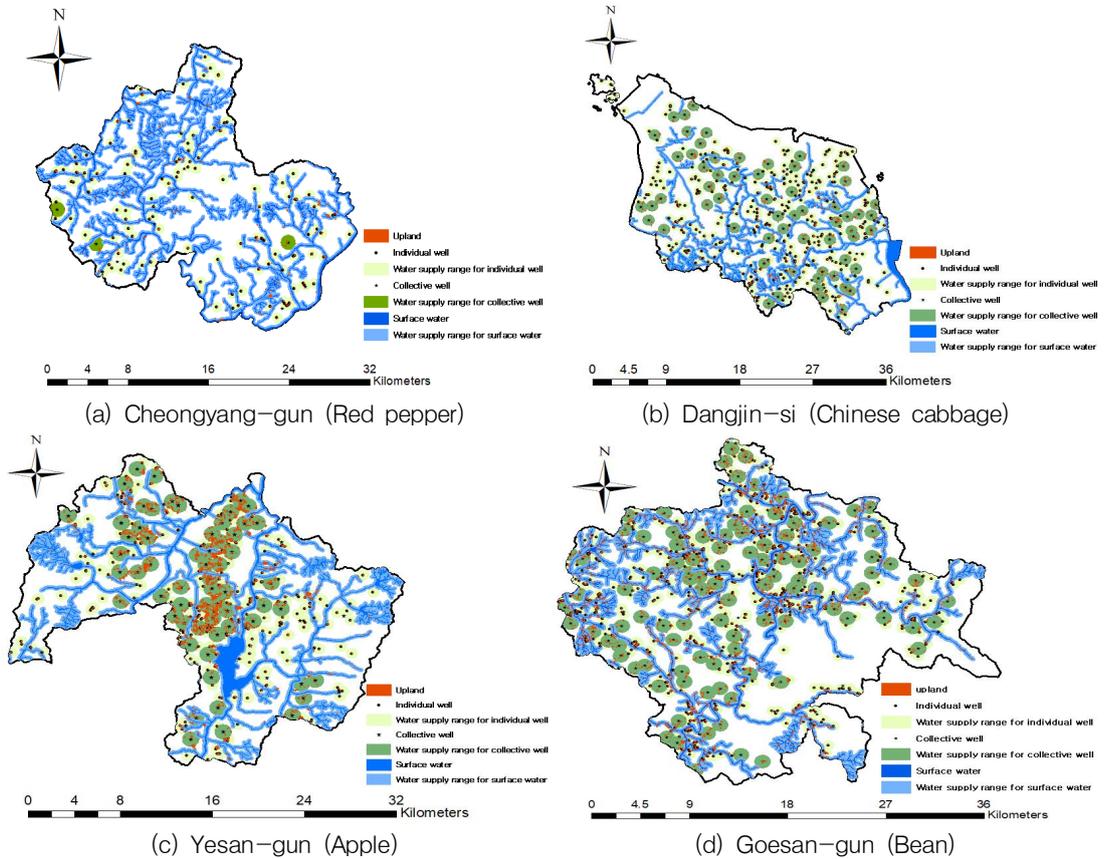


FIGURE 3. Distributes of combined individual-collective wells for respective crops

및 대형관정 설치 개수를 표 6에, 설치 위치를 그림 3에 제시하였다. 그림 3에서 소형관정은

반경 300m, 대형관정은 반경 750m, 지표수는 200m 거리의 buffer를 용수공급가능범위로 설

정하고, 각 용수공급원의 밭 관개 면적을 계산하였다. 대형관정은 반경 750m 내에 5개 필지 이상이 집단화된 경우만 설치하는 것으로 산림이 많아 하천에 인접하게 밭이 형성된 청양의 경우 집단관정의 적지가 상대적으로 적었다. 설치하는 대형관정 개소 당 수혜면적은 사과, 콩, 배추, 고추의 순으로 나타났다. 이는 밭의 집단화된 정도에 따른 차이로 판단되며, 집단관정의 수혜면적이 넓을수록 밭의 집단화된 정도가 높을 것으로 생각할 수 있다. 또한 집단화된 정도가 높을수록 집단관정 개발 시 경제성에 유리한 것으로 예상된다.

2. 경제성 분석

1) 경제성 지표 산정

편익·비용 및 경제성 지표 산정결과를 표 7에 제시하였다. 4가지의 작물에 대해 두 가지

시나리오를 적용하여 용수공급시설개발 사업의 경제성 지표를 비교하였다. 전반적으로 관정개발을 통한 용수공급의 경제적 효과는 작물의 가치가 큰 사과에 대해 높게, 가치가 낮은 콩은 낮게 나타났다. 또한 집단관정의 개발로 인한 경제성도 사과의 경우 소형관정에 비해 약간이나마 개선되는 것으로 보인 반면, 고추와 배추는 대형관정보다는 소형관정의 개발이 유리한 것으로 산정되었다.

작물에 따라 산정된 경제성 지표를 분석하였다. 고추, 배추, 사과의 경우 시나리오에 상관없이 NPV가 양의 값을 가지고, B/C ratio가 1보다 크며, IRR이 사회적 할인율인 4.5%보다 크게 산정되어 용수공급시설의 개발이 경제성이 있는 것으로 나타났다. 반면, 콩의 경우 두 시나리오 모두 경제성을 기대하기 어려울 것으로 나타났다. 이에 대한 원인으로 배추와 콩의 작물

TABLE 7. Economical index by water supply scenarios for respective crops

Crops	Scenario	Total cost (million won)	Total benefit (million won)	NPV (million won)	B/C Ratio	IRR (%)
Red pepper	1	8,846	13,152	4,306	1.49	7.69
	2	9,061	13,180	4,119	1.45	7.37
Chinese cabbage	1	23,156	31,550	8,395	1.36	6.41
	2	27,171	32,607	5,436	1.20	4.57
Apple	1	110,238	209,844	99,606	1.90	12.10
	2	112,763	215,039	102,277	1.91	12.19
Bean	1	43,101	30,490	-12,611	0.71	-0.79
	2	48,009	30,987	-17,021	0.65	-2.24

TABLE 8. B/C ratio, crop production income, benefited area of wells, proportion of surface water use for respective crops and scenarios

Crops	Scenario	B/C Ratio	Crop production income (1,000won/year/ha)	Proportion of surface water use (%)	Benefited area of wells ^a (ha/ea)
Red pepper	1	1.49	35,847	70.1	0.27
	2	1.45			1.55
Chinese cabbage	1	1.36	26,113	21.7	0.44
	2	1.20			2.98
Apple	1	1.90	55,700	18.3	0.83
	2	1.91			11.86
Bean	1	0.71	7,393	51.9	0.39
	2	0.65			4.57

a Benefited area of individual wells in scenario 1, benefited area of collective wells in scenario 2.

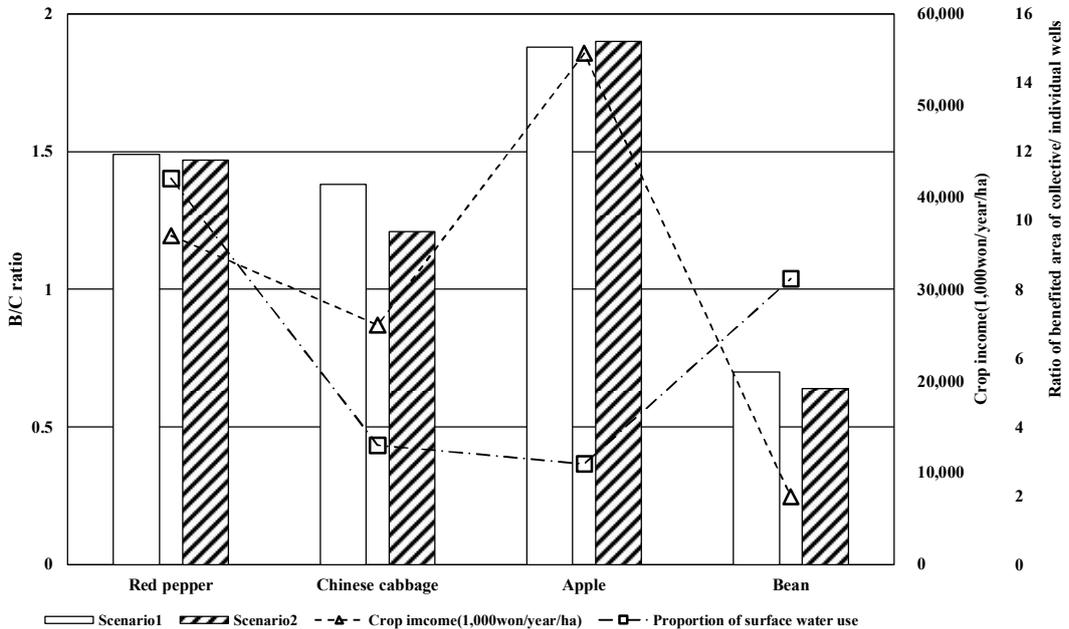


FIGURE 4. B/C ratio, crop production income and proportion of surface water use for repective crops and scenarios

재배소득이 적어 작물생산량증가에 의한 편익이 적은 까닭으로 판단된다.

작물별로 편익에서는 작물별 총수입에 의한, 비용에서는 지표수이용면적비율과 관정의 수혜면적에 의한 경제성 지표의 변화가 있을 것이라 생각되어 세 가지 요소를 비교하였다(표 8, 그림 4). 작물별 총수입과 B/C ratio를 보았을 때, 양의 상관성을 보여 작물의 총수입이 B/C ratio에 영향을 미친다는 점을 확인할 수 있었다. 그러나 관정의 수혜면적이나 지표수이용면적비율을 보았을 때, B/C ratio와 무관한 것으로 나타났다. 특히 관정의 수혜면적이 비슷한 배추와 콩의 경우 콩의 지표수이용면적이 배추보다 2배가량 높음에도 배추의 B/C ratio가 더 높게 나타났다.

다음으로 시나리오에 따라 경제성 지표를 분석하였다. B/C ratio를 기준으로 두 시나리오를 비교했을 때, 고추, 배추, 콩의 경우 개별시나리오에서, 사과, 배추, 콩의 경우 집단시나리오가 경제적으로 유리한 것으로 나타났다. 이는 사과, 배추의 분

포가 다른 작물 재배지에 비해 더 집단화되어 있는 까닭으로 판단되며 대형관정 한 기당 수혜 면적을 보았을 때, 사과의 경우 다른 작물보다 2.5~9.5배 넓은 면적을 가지고 있는 것으로 확인할 수 있다. 특히 배추의 경우 고추나 콩에 비해 집단시나리오에서 B/C ratio의 감소폭이 두드러지는데, 이는 지표수이용면적비율이 고추나 콩에 비해 낮아 작물재배면적에 비해 많은 대형관정을 개발하는 까닭으로 생각된다.

2) 민감도 분석

작물의 총수입과 대형관정 개발 기준이 되는 최소 필지 수에 대한 민감도 분석을 시행하였다. 작물 총수입의 경우 최근 5년 동안의 변동 범위가 평균 -14~21%로 나타나 작물 총수입이 10% 감소하거나 증가하는 경우를 가정하여 민감도를 분석하였다. 대형관정은 관정의 설치조건을 용수공급범위에 필지의 수를 5개, 10개, 15개, 20개 이상으로 구분하여 경제성에 미치

TABLE 9. B/C ratio depending on change of minimum of number of plots in collective well area and agricultural product income for respective crops

Crops		Number of individual wells	Number of collective wells	Rate of change of agricultural product income(%)			
				-10	0	10	
Red pepper	Using only individual well	112	-	1.424	1.487	1.542	
		5	99	3	1.392	1.455	1.511
	Number of plots	10	112	-	1.424	1.487	1.542
		15	112	-	1.424	1.487	1.542
		20	112	-	1.424	1.487	1.542
Chinese cabbage	Using only individual well	586	-	1.300	1.363	1.419	
		5	244	61	1.135	1.200	1.259
	Number of plots	10	576	1	1.298	1.361	1.417
		15	586	-	1.300	1.363	1.419
		20	586	-	1.300	1.363	1.419
Apple	Using only individual well	970	-	1.855	1.904	1.945	
		5	162	68	1.855	1.907	1.952
	Number of plots	10	237	54	1.868	1.919	1.963
		15	365	40	1.875	1.925	1.968
		20	585	20	1.877	1.926	1.968
Bean	Using only individual well	1292	-	0.655	0.707	0.756	
		5	385	99	0.596	0.645	0.692
	Number of plots	10	637	58	0.629	0.680	0.728
		15	955	22	0.652	0.704	0.753
		20	1191	5	0.657	0.709	0.758

는 영향을 분석하였다. 이는 대형관정 개발에 소요되는 비용이 소형관정에 비해 약 20배 더 큰 사실에 근거하여 필지 수를 결정하였다.

작물의 가격 변동에 대한 총수입 변화와 집단관정의 설치조건에 따른 대형관정의 설치 개소수의 변화가 경제성에 미치는 영향을 표 9에 제시하였다. 작물의 총수입의 변화율과 B/C ratio의 변화율의 비를 계산했을 때, 평균 0.51, 표준편차 0.18로 나타났다. 작물별 민감도 지수의 크기를 비교했을 때, 콩, 배추, 고추, 사과 순으로 작물의 총수입이 적을수록 민감도 지수가 크게 나타났다. 따라서 작물의 가격이 낮을수록 경제성 분석 시 가격변동의 영향이 클 것으로 예상된다.

대형관정 개발 최소 필지 수에 따른 B/C ratio를 비교했을 때, 전체적으로 최소 필지 수가 많아질수록 경제성이 개선되는 것으로 나타났다. 고추와 배추의 경우 해당지역의 작물 재

배지의 집단화된 정도가 사과나 콩에 비해 낮아 대형관정의 설치에 다소 불리한 것으로 나타났다. 최소 필지 수를 고추는 10개, 배추는 15개로 하였을 때 집단관정의 설치 수요가 사라져 소형관정개발에 비해 규모의 경제를 기대하기 어려운 것으로 나타났다. 사과의 경우 일반적으로 대형관정을 개발하기 위한 최소 필지 수가 증가할수록 B/C ratio가 증가하는 경향을 보여 대형관정에 따른 규모의 경제를 기대할 수 있는 유일한 작물로 평가되었다. 콩의 경우 집단관정 필지 수에 따라 경제성이 개선되는 경향이 있으나, 기본적으로 작물의 가치가 낮아 관정개발을 통한 경제성을 기대하기는 어려워 보인다.

결론

본 연구는 안정적인 밭 용수공급 방법으로 고추, 배추, 사과, 콩 네 가지 작물에 대해 개별 필지단위로 소형관정을 개발하는 시나리오와

여러 필지를 묶어 집단 대형관정을 이용하는 시나리오에 대해 경제성을 비교 분석하고, 작물의 가격변동 요소와 집단관정의 조건이 경제성에 미치는 민감도를 분석하였다.

첫째, 관정을 이용한 밭 용수의 경제성은 작물의 가치, 즉 작물 총수입이 중요한 요소로 나타났다는데, 상대적으로 작물 가치가 높은 고추, 배추, 사과는 용수공급의 경제적 효과가 있는 반면, 콩은 작물 총수입이 낮아 관정개발의 경제성을 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

둘째, 집단관정의 활용은 해당 작물 재배지의 공간적 특성에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 작물의 주산지 특성으로 산림 비율이 높고 하천 주변에 밭이 분포하는 고추(청양)와 배추(당진)의 경우 지표수와 개별관정 개발이 경제적이고, 사과(예산)는 지역 특성 상 하천에서 떨어진 고지대에 집단적으로 분포하여 집단관정을 통한 규모의 경제를 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구 결과는 실용적으로 충청지역의 주산 작물에 대해 관정개발을 통한 밭 용수공급을 계획하는데 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 다만, 작물의 필지단위 재배현황 자료가 없어 무작위로 작물 재배지를 선정하여 분석한 한계가 있고, 필지단위 실제 작물재배 현황을 바탕으로 추가적인 분석이 요구된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Bae, K.H., G.W. Ham and J.M. Lee. 2018. A study on estimating the vegetable cultivation complex area using aerial photogrammetry. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 21(4):108-118 (배경호, 함건우, 이정민. 2018. 항공사진측량을 이용한 채소 주산단지 재배면적 추정 연구. *한국지리정보학회지* 21(4):108-118).
- Choi, Y.H., Y.J. Kim, M.Y. Kim and J.G. Jeon. 2018. On-site evaluation of rainwater harvesting device for securing irrigation water in small fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(1):31-36 (최용훈, 김영진, 김민영, 전종길. 2018. 소규모 밭 관개용수 확보를 위한 소류천 빗물 집수장치의 현장평가. *한국농공학회논문집* 60(1):31-36).
- Howell, T.A. 2003. Irrigation Efficiency. *Encyclopedia of Water Science* 468pp.
- Jung, J.H., M.S. Hwang, S.K. Park and S.K. Lee. 2001. Characteristics of pumping in small tube wells for agricultural. *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference* pp.106-109 (정재훈, 황부석, 박승기, 이승기. 2001. 농업용 소형 관정의 양수 특성. *한국농공학회 학술대회 초록집* 106-109쪽).
- Kim, H.S. and G.S. Chae. 2014. Measures to expand the improvement of dry-field farming infrastructures. *Korea Rural Economic Institute* 127pp (김호상, 채광석. 2014. 밭농업 기반정비 확충 방안. *한국농촌경제연구원 정책연구보고서* 127쪽).
- Kim, M.K. 2001. The support system for groundwater development design using GIS. *The Journal of GIS Association of Korea* 9(2):207-225 (김만규. 2001. GIS를 이용한 지하수개발 설계지원 시스템. *한국 GIS학회지* 9(2):207-225).
- Kim, S.J., J.Y. Lee and P.S. Kim. 2005. Securement of upland irrigation water in small dams through periodical management of storage level. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47(2):3-12 (김선주, 이주용, 김필식. 2005. 기간별 저수 관리를 통한 소규모 댐의 밭 관개용수 확보. *한국농공학회논문집* 47(2):3-12).
- Korea Development Institute. 2008. A study

- of modification and supplement guideline for water resources business feasibility study 502pp (한국개발연구원. 2008. 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구. 502쪽).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2015. Comprehensive countermeasure against drought in agriculture and rural areas. <https://www.mafra.go.kr/mafra/293/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGbWFmcmElMkY2OCUyRjMxMjkwNyUyRmFydGNsVmllidy5kbyUzRg%3D%3D> (Accessed September 4, 2020).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2017. Development of GIS-based resource management technology for selection field crop main producing area and supply and demand adjustment 672pp (농림축산식품부. 2017. 발작물 주산지 선정 및 수급조절을 위한 GIS기반 자원관리기술 개발 최종보고서. 672쪽).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2017. Measure of stability of supply and demand of rice in harvest season. <https://www.mafra.go.kr/mafra/293/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGbWFmcmElMkY2OCUyRjMxNDc1MCUyRmFydGNsVmllidy5kbyUzRg%3D%3D> (Accessed September 4, 2020).
- Ministry of Environment. 2008. Preparation guideline for groundwater development and management utility facilities. p.192 (환경부. 2008. 지하수개발·이용시설관리요령마련, 192쪽).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2017. Development plan of groundwater resources secure and application technology based on surface water connection to deal with drought. 434pp (국토교통부. 2017. 가뭄 대응을 위한 지표수 연계 기반 지하수자원 확보 및 활용 기술 개발 기획, 434쪽).
- Ministry of the Interior and Safety. 2018. Guidelines for designation drought disaster zones 40pp (행정안전부. 2018. 상습가뭄재해지구 지정 가이드라인. 40쪽).
- Park, G.A., M.J. Park, J.S. Jang and S.J. Kim. 2008. Network modeling of paddy irrigation System using ArcHydro GIS - ANGO agricultural water district. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 10(1):73-83 (박근애, 박민지, 장중석, 김성준. 2007. ArcHydro를 이용한 GIS기반의 관개시스템 네트워크 모델링 - 안고농촌용수구역을 대상으로. 한국지리정보학회지 10(1):73-83).
- Park, M.J., Y.S. Choi, H.J. Shin, Y.J. Lee and S.J. Yu. 2017. Applying Terra MODIS satellite image to analysis of current state of upland field. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 20(3):1-11 (박민지, 최영순, 신형진, 이영준, 유순주. 2017. 고랭지밭 현황 파악을 위한 Terra MODIS 위성영상 적용. 한국지리정보학회지 20(3):1-11).
- Rhee, J., J. Im and G. J. Carbone. 2010. "Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using the multi-sensor remote sensing data". Remote Sensing of Environment, 114(12):2875-2887.
- Rural Development Administration. 1995. Analysis report of drought and high temperature injury in 1994 229pp (농촌진흥청. 1995. 1994 한발과 고온장해 분석 보고서 : 229쪽).
- Rural Development Administration. 2018. Development of water-saving model for

- field-based agricultural water(2nd) pp. 25-40 (농촌진흥청. 2018. 밭기반 농업용수 절약 모델 개발(2차년도) 25-40쪽).
- Rural Development Administration. 2019. Upland crop cultivation in drought by soil moisture management. http://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000757549 (Accessed September 4, 2020).
- Shin, H.J., H.J. Kwon, J.Y. Lee, J.H. Lee, and C.J. Park. 2018. Vulnerability evaluation for water supply of irrigation facilities: Focusing on Dangjin-si, Yesan-gun, Cheongyang-gun, South Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 60(6):33-42 (신형진, 권형중, 이재영, 이진형, 박찬기. 2018. 밭관개 시설물의 용수공급에 대한 취약성 평가 - 당진시, 예산군, 청양군을 대상으로-). **KAGIS**