

# 확률제약 계획모형법을 이용한 농업용수의 경제적 가치 평가

## Valuation of Irrigation Water: A Chance-Constrained Programming Approach

권 오 상\* / 이 태 호\*\* / 허 정 회\*\*\*

Kwon, Oh-Sang / Lee, Taeho / Heo, Jeonghoi

### Abstract

This study estimates the value of irrigation water in Korea using an economic programming model that is constructed with all the resource endowment constraints, technology restrictions and policy variables. The variability and uncertainty of water resource endowment are incorporated into the model through the chance-constrained technique. Solving the profit maximization problems with gradually reduced water endowments, we derive a series of shadow values of irrigation water. It has been found that uncertainty in water supply raises the damage from water loss, and the marginal damage increases in water loss.

**keywords** : Irrigation Water, Economic Value, Chance-Constrained Model

### 요 지

본고는 경제적 최적화모형인 확률제약 계획모형법을 이용하여, 농업용수 부족량 감소에 따른 농업이윤의 감소분을 계측하고 이를 통해 농업용수의 경제적 가치를 분석하고자 한다. 이를 위해 국가 전체 농업자원배분을 최적화 모형으로 구축하고, 농업용수를 포함하는 자원부존제약조건과, 각 상품의 가격이 형성되는 시장조건, 국제무역 및 관련 정책변수의 영향들을 반영하고, 용수의 경우 그 이용량이 연도별로 불안정할 수 있다는 것까지 반영한다. 농업용수 감소량이 농업부문 이윤에 미치는 영향을 시나리오를 주어 분석하면, 농업용수의 톤당 경제적 가치는 303~1,093원/m<sup>3</sup>의 분포를 가지는 것으로 나타난다. 동일한 양의 용수량이 줄어들더라도 용수의 공급이 불안정할수록 경제적 가치 손실이 크며, 아울러 많은 양의 용수손실이 발생할수록 경제적 손실이 커 용수감소의 한계피해는 용수감소량의 증가 함수인 것으로 파악된다.

**핵심용어** : 농업용수, 경제적 가치, 확률제약 계획모형법

### 1. 서 론

물은 생명을 유지하는 기초 자원으로 생명 산업인 농업의 근본이다. 농업은 그 생물학적인 특성상 필요

용수량이 확보되지 않고는 생산이 불가능하다. 우리 나라에서는 2001년 한해 231억m<sup>3</sup>의 물을 농업용수로 사용하여었는데, 이는 생활용수 및 공업용수를 포함한 전체 용수 이용량의 71%에 해당하는 많은 양이다. 농업용수

\* 교신저자, 서울대학교 농경제사회학부 교수 겸 농업생명과학연구원 겸무 연구원

Corresponding Author, Professor, Dept. of Ag. Economics & Rural Development, Seoul National Univ., Seoul 151-921, Korea (e-mail: kohsang@snu.ac.kr)

\*\* 서울대학교 농경제사회학부 교수 겸 농업생명과학연구원 겸무 연구원

Professor, Dept. of Ag. Economics & Rural Development, Seoul National Univ., Seoul 151-921, Korea

\*\*\* 한국농촌경제연구원 연구원

Researcher, Korea Rural Economic Institute, Seoul 130-710, Korea

가 전체 용수사용량에서 차지하는 비중이 크기 때문에 국가 전체 용수사용의 효율성을 높이기 위해서는 농업용수의 합리적 관리가 선행되어야 한다.

농업용수의 합리적 관리에 있어 필요한 분석절차의 하나는 농업용수가 사회에 대해 제공하는 경제적 가치가 어느 정도인지를 파악하는 것이다. 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 측정된 농업용수의 경제적 가치는 적절한 농업용수 관리방안이나 용수절약의 인센티브를 제공하는 데 있어 필요한 기초자료의 하나가 된다.

둘째, 농업용수의 가치를 경제적 평가방법에 의해 측정하는 것은 댐이나 여타 수리시설을 추가로 건립하는 것과 같은 이수사업의 경제성을 평가하고 사업의 타당성 여부를 판정하는 데 있어서 유용한 정보를 제공한다. 경제적 가치평가법은 수리시설의 편익을 추정하기 위해 주로 사용되는 대체비용법과 달리 농업용수를 포함하는 용수의 사용가치를 직접 평가할 수 있다는 장점을 가진다.

셋째, 농업용수의 경제적 가치평가는 부문별 용수배분원칙을 정하는 데 도움이 된다. 지역적 혹은 국가적으로 용수가 부족할 경우 부문간·용도간 용수를 배분할 수 밖에 없고 이 경우 적용될 수 있는 배분 기준은 안전성, 형평성, 효율성 등이다. 효율성을 반영하여 용수를 부문간에 분배하고자 한다면 당연히 부문별 용수사용의 가치를 추정하지 않을 수 없다.

농업용수의 경제적 가치를 평가하는 것이 이상과 같은 의미를 가지지만 실제로 농업용수의 가치를 도출하는 작업은 쉽지 않고, 한국의 경우 이에 대한 연구는 많지 않다. 가장 어려운 것은 농업생산자료와 용수사용량자료를 어떻게 일관성 있게 집목하여 농업용수가 생산에 대해 기여하는 바를 도출할 수 있을지가 불명확하다는 것이다. 그리고 대개의 경우 이용 가능한 자료도 농민들의 실제 경영자료가 아니라 시험포장수준에서 조사된 한정된 자료라는 한계를 가진다. 농업용수가 농업생산에 수량적으로 기여한 바를 추정할 수 있다고 하더라도 그 농산물의 진정한 사회적 가치를 어떻게 반영할 것인지도 문제가 된다. 농산물의 가격은 생산량의 변화와 더불어 변하며, 정부의 정책에 의해서도 영향받기 때문에 어떤 가격자료를 이용하여 농업용수의 경제적 기여도를 평가할지 불분명한 것이다. 대부분의 분석모형은 용수 가용량과 같은 여건이 변했을 때 생산자인 농민들이 행할 수 있는 반응의 여지를 매우 제한하는 일종의 부분균형(partial equilibrium)모형이다. 이용할 수 있는 용수량이 줄어들면 농민들은 용수를 비교적 적게 사용하는 품목으로 전환하는 등의 반응을 할 수가

있지만 대부분의 선행연구들은 이미 선택된 단일 품목이 그대로 생산된다고 가정하고 용수사용량 변화의 생산변화효과만을 주로 분석하는 한계를 가진다.

본고는 농업용수의 경제적 가치를 평가함에 있어 등장하는 이상의 문제점들을 감안하여 수자원 최적화모형으로 자주 사용되는 모형 가운데 하나인 확률제약하의 계획모형(chance-constrained programming)을 농업경제모형과 결합하는 방식을 적용하여 농업용수의 경제적 가치를 도출한다. 농업용수 부존량이 확률적으로 변할 수 있음을 감안하되, 한국 농업의 적정 생산행위를 용수 및 여타 부존자원의 제약하에서 도출하면서 용수부존량 변화가 농업부문 부가가치에 어떤 영향을 미치는지를 시나리오별로 분석한다.

본고는 국가전체의 용수부존량이 변하는 효과를 분석하되, 보다 신뢰성있는 모형 구축을 위해 각 도별로 구분된 생산 및 용수사용량 모형을 구축하고, 이어서 용수부존량이 변할 경우 국가전체의 농업이윤 혹은 부가가치가 어떻게 달라지는지를 도출하는 일종의 상향식(bottom-up) 분석법을 사용한다. 또한 용수부존량이 달라질 경우 각 지역별로 농업의 생산량 변화는 물론 작목선택까지도 변할 수 있는 여지를 주는 작목선택의 대체효과를 반영할 수 있는 일종의 일반균형(general equilibrium) 모형을 구축하고, 여기에 용수관련 시나리오에 따른 현재 및 향후의 농업관련 여건변화까지 가능한 한 현실에 근접한 제약조건을 부여하고자 한다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제2장은 국내외에 있어 농업용수의 경제적 가치를 평가하기 위해 사용된 분석 사례들을 소개한다. 제3장은 본고가 사용할 계획모형에 대해 설명하며, 제4장은 자료 및 모형의 구축방법에 대해 설명하고, 제5장은 분석결과를 보여준다. 마지막 제6장은 분석결과를 요약하고 결론을 내린다.

## 2. 선행연구 검토

농업용수는 생산과정에서 일종의 투입재로 사용된다. 따라서 그 경제적 가치는 산출물 생산에 기여하는 바를 화폐액으로 환산한 것이 되어야 한다. 즉 투입재인 농업용수를 한 단위 더 투입함으로써 인하여 늘어나는 생산물의 가치를 나타내는 한계생산가치(value of marginal product, VMP)가 바로 농업용수의 경제적 가치인 것이다.

농업용수의 경제적 가치를 이렇게 정의할 때 이를 도출할 수 있는 가장 자연스러운 방법은 농업용수를 투입재로 포함하는 작물생산함수(crop production function)를 추정하는 방법이다. 이 방법은 특히 미국에서 많이 사용되었는데, Young(2005)과 Gibbons(1986)

는 이들 사례들을 잘 정리하여 보여주고 있다.<sup>1)</sup> 이 가운데에서도 특히 잘 알려진 연구로 Yaron(1967), Hexem and Heady(1978), Ayer et al.(1983) 등의 연구가 있다. 한국의 경우 임재환(1986)이 용수사용량을 포함하여 쌀의 생산함수를 추정한 바 있고, 김원희 등(2003)은 농업생산에 있어 통상적인 투입요소와 농업용수 사이의 대체관계를 모수적 및 비모수적 방법을 이용하여 추정하고, 농업용수 사용이 여타 투입요소 사용량을 제약할 때 도출되는 농업용수의 잠재가격(shadow price)을 계산하였다. 생산함수 추정법은 용수의 한계생산가치를 직접적으로 분석하는 매우 유용한 방법이지만, 대부분의 방법이 시험포장에서의 실험을 통해 조사된 자료를 사용하기 때문에 용수를 제외한 다른 투입재 사용량 차이가 용수가격에 미치는 영향은 반영하지 않으며, 또한 특정 품목별 가치를 도출하기 때문에 용수사용량이 변할 경우 발생하는 작목선택효과 등은 반영할 수가 없다.

두 번째 방법으로서, 제한적이긴 하지만 실제로 용수를 임대차하거나 거래하는 과정에서 형성되는 가격을 관찰하는 방법이 있다. 이러한 분석은 Anderson(1961)이나 Bash and Young(1993)과 같이 실제로 물시장이 형성되어 있는 미국을 대상으로 하여 적용된 바 있지만, 한국에서는 적용가능하지가 않다.

세 번째 방법으로 농지의 특성가격모형(hedonic price model)을 분석하는 방법이 있다. 농지시장에서 농지가 거래될 때 그 가격은 농지와 그 주변환경이 가지는 특성에 의해 결정된다. 만약에 다른 조건은 서로 같지만 관개시설을 갖춘 농지와 그렇지 못한 농지가 관개시설의 유무 때문에 가격 차이를 보인다면 그 가격차이가 바로 공급되는 용수의 경제적 가치가 되는 것이다. 이 방법 역시 미국을 대상으로 적용된 사례가 대단히 많은데, Crouter(1987), Torell et al.(1990), Faux and Perry(1999) 등이 자주 인용된다. 권오상(2008a, b) 등 한국의 농지가격 결정요인을 분석한 연구에 의하면 한국의 농지가격은 농지의 생산요소로서의 특성보다는 농지가 위치한 지역의 개발가능성에 의해 주로 영향 받는 것으로 분석된 바가 있으므로 농지의 가격을 농업용수의 가치를 산출하는 데 이용하는 것은 무리가 있다. 또한 현실적으로 한국농촌공사 등에서 조사하는 농지가격 자료는 농지가 말인지 논인지, 개발제한대상지에 포함되는지 아닌지 등의 농지특성만 포함할 뿐 관개시설여부 등과 같은 생산요소로서의 특성은 포함하지 않기 때

문에 이런 종류의 분석을 시행하기도 어렵다.

마지막 방법으로서 본고가 사용하고자 하는 계획모형법이 있다. 이 방법은 용수를 포함하는 각종 투입요소를 최적으로 사용하여 여러 가지 작목을 동시에 생산하는 계획모형을 농가단위 혹은 지역단위로 구축하고, 사용가능한 용수사용량이 변할 때 최적의 농업이윤이나 부가가치가 어느 정도나 변하는지를 분석한다. 계획모형법을 사용하여 농업용수의 경제적 가치를 평가한 연구가 국내에는 아직 없으나, 외국의 경우 Hazell and Norton(1986), Kelso et al.(1973), Gouevsky and Maidment(1984), Hatchett et al.(1991), Hazell et al.(1983) 등의 많은 연구사례가 있다.

계획모형법은 일종의 최적화 모형으로 농업용수를 포함하는 생산요소의 부존량을 제약조건으로 하고, 각 산출물을 한 단위 생산하는데 소요되는 각 투입요소 사용량을 조사한 후, 자원 제약을 충족하면서 최적의 생산행위를 할 경우 투입요소로서의 용수가 가지는 경제적 가치를 도출할 수 있다. 아울러 분석과정에서 수자원 부존량의 불확실성을 반영할 수 있다는 장점도 있다. 본고에서는 불확실성을 반영한 분석모형을 구축하고 이를 한국농업에 대해 적용하기로 한다.

한편, 한국의 농업용수 가치평가를 위해 공급비용에 대한 분석을 시도한 연구들도 있는데, 김용택과 김홍상(1999)의 연구는 서비스 원가주의에 근거한 총괄원가방식 중 공정보수방식을 적용하여 농업용수 공급원가를 분석하였고, 최지현(1982)의 연구는 저수지지구와 양수지구의 조합비 부담력을 기준으로 적정 용수가격을 산출하고자 하였다.

### 3. 계획모형법

계획모형(programming model)은 개별 농가단위 혹은 수자원 유역단위의 자료를 이용하여 주어진 자원부존량, 가격조건, 기술조건 등을 감안할 때 최적의 자원 이용형태 및 작물생산형태를 도출하고, 그 결과에 기초하여 농업용수나 혹은 여타 부존자원의 경제적 가치를 도출하는 방법이다.  $m$ 가지 투입요소를 사용하여  $n$ 가지 작물을 생산하는 경제가 있다고 할 때, 계획모형의 가장 단순한 형태인 선형계획모형은 이러한 경제의 최적화행위를 다음과 같이 나타낸다.

$$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j X_j \quad (1a)$$

1) 이 두 문헌은 농업용수를 포함하는 다양한 용도별 용수의 경제적 가치평가법과 평가결과를 종합적으로 정리한 대표적인 연구들이다.

$$\text{s.t., } \sum_{j=1}^n a_{ij}X_j \leq b_i \text{ for all } i=1 \text{ to } m-1 \quad (1b)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{mj}X_j \leq \theta \quad (1c)$$

$$X_j \geq 0 \text{ all } j=1 \text{ to } n. \quad (1d)$$

단,  $X_j = j$ 번째 생산 활동(예: 쌀 식부면적),  $i=1, \dots, n$

$c_j = j$ 번째 활동의 수익(gross margin)<sup>2)</sup>

$a_{ij} = j$ 번째 활동 1단위에 필요한  $i$ 번째 (비용수)자원량,  $i=1, \dots, m-1$

$a_{mj} = j$ 번째 활동 1단위에 필요한 용수량

$b_i = i$ 번째 (비용수)자원부존량

$\theta =$  용수부존량.

용수의 경제적 가치는 위의 선형계획모형을 풀되, 용수부존량  $\theta$ 를 줄일 경우 그 목적함수값인 농업부분 총 수익 혹은 총소득이 변하는 정도, 즉  $\partial Z/\partial \theta$ 를 구하여 추정할 수 있다.

농업용수를 사용하는 농업생산행위는 다양한 종류의 불확실성이나 위험 하에 놓여 있으며, 농민이나 농업관련 의사결정자는 이러한 위험을 명시적으로 고려하여 의사결정을 한다. 위험을 반영하는 분석절차는 위험의 원인이 어디에 있는가에 따라 달라진다. 크게  $c_j$ , 즉 농가활동별 수익이 불안정하여 발생하는 위험과,  $a_{ij}$ 나  $b_j$  (혹은  $a_{mj}$ 나  $\theta$ )와 같이 기술조건이나 부존자원이 불안정하여 발생하는 위험으로 구분할 수 있다.

가격변수인  $c_j$ 의 값이 불안정하여 발생하는 위험을 반영하고자 한다면 가격의 불안정성은 목적함수인 이윤을 불안정하게 하므로 이윤의 기대값뿐 아니라 그 위험도까지도 목적함수에 반영해주는 방식으로 모형을 변경한다.<sup>3)</sup>

그러나 농업용수를 사용하여 생산행위를 할 때에는 수자원의 특성상  $c_j$ 와 같은 가격변수보다는 용수의 부존량이 불확실하여 발생하는 위험을 우선적으로 고려하여야 할 것이다. 따라서 본고는 가격변수보다는 수자원의 부존량이 불안정할 때 발생하는 효과를 반영하여 수자원의 가치를 분석하고자 한다. 본고는 이를 위해 확률제약 계획모형을 수립해 분석한다(Charnes and Cooper, 1959; Madansky, 1962; Maruyama, 1972; Kibzun and Kurbakovskiy, 1991; Kibzun and Kan,

1996).

수량변수의 불확실성은 각 농업활동 1단위가 필요로 하는 자원량  $a_{ij}$ 가 확률변수이거나, 아니면 자원부존량  $b_i$ (혹은  $\theta$ ) 자체가 불확실한 변수이어서 발생할 수 있다. 특히 농업용수의 경우 강수량 등에 따라 연간 이용 가능한 수자원의 양이 불확실하게 변할 수 있다. 본고는 용수부존량  $\theta$ 가 불확실할 경우를 분석에 반영한다.

자원부존량이 불확실하다면,  $\alpha$ 를 용수에 부여되는 어떤 확률값( $0 \leq \alpha \leq 1$ )이라 하고,  $\bar{\theta}$ 를  $\theta$ 의 평균,  $\sigma$ 를  $\theta$ 의 표준편차라 하며,  $\theta$ 가 정규분포를 따른다고 가정하자. 또한  $K$ 를 확률  $\alpha$ 에 대응하는 표준정규분포상의 확률변수 값이라 할 경우 확률제약 계획모형은 다음과 같은 선형계획모형으로 변형될 수 있다(Hazell and Norton, 1986).

$$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j X_j \quad (2a)$$

$$\text{s.t., } \sum_{j=1}^n a_{ij}X_j \leq b_i \text{ for all } i=1 \text{ to } m-1 \quad (2b)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{mj}X_j \leq \bar{\theta} - K\sigma \quad (2c)$$

$$X_j \geq 0 \text{ all } j=1 \text{ to } n. \quad (2d)$$

본고에서는 이상과 같은 부존량 불확실성을 농업용수에 적용하여 수자원의 부존량이 변할 때 발생하는 경제적 가치변화를 도출해내었다. 기상청이 보유한 1978~2007년의 30년간 전국 평균 강수량 측정자료를 보면 그 표준편차는 연평균 강수량의 약 20%에 달한다. 이를 그대로 활용하여 수자원 분포를 도출할 수도 있지만, 실제로 이용가능한 용수는 댐을 통한 수자원관리로 인해 강수량 편차보다는 적을 가능성이 크다. 따라서 본고는 이용가능한 수량의 표준편차가 평균치의 20%와 10%인 정규분포를 따르는 두 가지 경우를 가정하고 분석을 시행한다. 아울러 용수에 대한 수요가 공급을 상회할 확률에 대해서도 가정이 필요한데, 어느 경우를 용수부족 시기라 볼 것인지에 대해 통일된 기준을 찾기 어려운 문제가 있어 이 수치는 5%라고 임의로 가정한다.

이상에서 설명된 계획모형은 자원의 적절한 배분형태를 찾기 위해 광범위하게 사용되는 모형이지만, 본고의 분석목적에 위해서도 유용하게 사용될 수 있다. 쌀

2) 농가가 구입하는 투입요소가 있을 경우 이를 비용으로 처리하여야 하는데, 이는 부존자원 제약식을 적절히 변형할 경우 위의 목적함수 형태를 그대로 유지하면서도 가능하다.

3) 이를 실제로 시행하는 다양한 방법에 대해서는 Anderson et al.(1977), Hazell and Norton(1986)을 참조하기 바란다.

과 같은 단일 품목을 지속적으로 생산할 때를 가정하고, 시험포장에서의 자료 등을 이용해 용수사용량을 줄일 때 발생하는 벼 생산량 감소를 분석한 기존의 연구들은 용수사용량이 비교적 큰 폭으로 줄어들 경우 발생할 수 있는 품목전환효과 등을 반영할 수 없는 문제가 있다. 이러한 품목전환효과 등을 감안하기 위해서는 각 품목별 생산행위와 소비자들의 소비행위, 그리고 시장균형조건 등을 포함하는 일반균형모형을 구축하는 것이 원칙이지만, 용수량이 줄어들 경우 농산물 각 품목별 생산량이 어느 정도나 줄어들지를 예측할 수 있는 계량모형을 구축할 정도로 수량과 생산량간의 관계가 파악되지 않고 있는 실정이다. 하나의 대안으로서, 본고가 사용하는 계획모형은 비록 시장균형모형은 아니지만 자원을 사회적 기준으로 볼 때 가장 효과적으로 활용한다면 수량이 줄어들 때 각 품목별 생산량이 어느 정도나 변하고, 따라서 이로 인해 농업부문 이윤이나 부가가치가 어느 정도나 줄어드는지를 확인하여 수량변화의 경제적 효과를 파악할 수 있게 해준다. 또한 본고는 계획모형에 시장균형에서 가격이 결정되는 과정과 무역 및 국내 관련 정책의 효과를 제약조건에 반영하도록 하여 비록 계획모형이지만 일반균형효과를 최대한 반영할 수 있도록 하였다.

#### 4. 이용된 자료와 모형의 분석

본고의 모형에서는 각 도별로 주어진 제약조건을 만족하면서 국가 전체의 농업이윤이 극대화되도록 각 품목당 지역별 재배면적(농산물) 또는 사육두수(축산물)가 결정된다. 이때 농업용수 부존량을 증가 또는 감소 시킴에 따른 농업이윤의 변화를 구하고 이를 바탕으로 용수 한 단위가 농업이윤에 기여한 금액을 구하면 그것이 곧 농업용수의 경제적 가치가 된다. 본고의 목적함수와 목적함수를 극대화하기 위해 반영하여야 할 제약조건들의 구성체계는 Fig. 1과 같다.

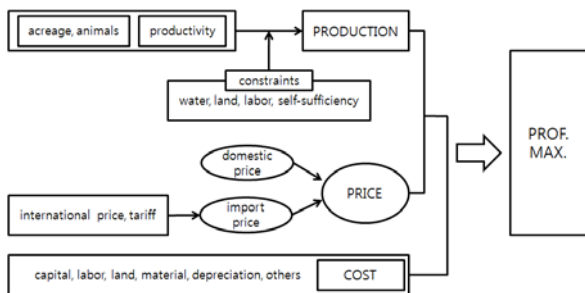


Fig. 1. Structure of the Model

먼저 본고의 모형이 극대화하고자 하는 농업이윤식

은 아래와 같다.

$$\max_{x_{kj}} \sum_k \sum_j x_{kj} (y_{kj} p_j - c_{kj}) : \text{농업이윤식} \quad (3)$$

$x$  = 재배면적 또는 두수,  $y$  = 단수(단위면적 또는 두당 생산량)

$c$  = 생산비용(단위면적 또는 두당),  $k$  = 지역(도),

$p$  = 시장가격,  $j$  = 품목

제약조건으로는 농업용수 제약조건과 함께 요소가격 함수, 면적당 또는 사육두당 생산비용, 식량자급률 유지를 위한 최소생산량 제약, 무역가능 품목에 대해서는 국제가격에 대한 제약, 무역 불가능한 품목에 대해서는 가격제약(농산물 가격함수), GIS 자료를 통한 재배 가능면적 제약, 작부체계에 따른 제약 등의 조건이 포함되었다. 제약조건은 다음 Eqs.. (4)~(11)이 나타내는 바와 같다.

농업용수 제약은 농업생산 활동에 이용되는 용수가 각 지역별로 이용가능한 농업용수 부존량을 넘지 않도록 Eq. (4)와 같이 설정하였다. 용수이용 가능량의 불확실성을 고려하여 확률제약형태로 제약식을 설정하였다.

$$\sum_j x_{kj} a_{kj} \leq \bar{\theta}_k - K\sigma : \text{농업용수 제약}, \quad (4)$$

$a_{ij}$  = 품목별 단위용수량

분석에 있어 필요한 각 품목별 생산비 자료는 토지(임차료), 노동, 광열동력비, 농약·비료비, 사료비, 기타 등의 항목으로 조사된 농촌진흥청의 『표준소득자료』에 기초하여 노동비용, 자본비용, 농지비용, 기타비용으로 재분류한 후 모형에 적용하였다.

요소가격, 예컨대, 노동( $w_l$ ) 요소가격은 Eq. (5)와 같이 지역별, 작목별 노동량을 모두 합한 다음 모형 내에서 추정된 파라미터에 의해 지역별 차이를 고려하여 계산하였으며 나머지 농지요소가격, 자본요소가격, 기타생산요소의 요소가격 또한 같은 방법으로 구해질 수 있다. 화폐액으로 측정되는 이상의 모든 자료들은 관련 자료의 기준시점이 2003년이기 때문에 2003년 가격으로 평가되었다. 이들 자료들의 구체적 내역은 Appendix 1에 수록되어 있다.

$$w_h = \alpha_h + \beta_h \sum_i \sum_j h_{ij}, \quad h = l, t, r, e$$

: 요소가격함수 (5)

각 지역별, 작목별 면적당 또는 두당 생산비용( $c_{kj}$ )은

지역별, 작목별 노동량( $l_{kj}$ ), 농지량( $t_{kj}$ ), 자본량( $r_{kj}$ ), 기타생산요소량( $e_{kj}$ )에 각각 노동요소가격( $w_l$ ), 농지요소가격( $w_t$ ), 자본요소가격( $w_r$ ), 기타 생산요소가격( $w_e$ )을 곱한 후 합하여 계산하였다.

$$c_{kj} = l_{kj}w_l + t_{kj}w_t + r_{kj}w_r + e_{kj}w_e$$

: 면적당 또는 두당 생산비용 (6)

아울러 모형의 현실성을 높이기 위해 식량자급률 유지를 위한 최소생산량은 정책적으로 유지할 것이라 보고 이를 Eq. (7)과 같이 제약조건에 반영하였다. 최소 식량자급률에 대한 제약조건은,  $h$ 를 영양소 종류별 지표라 할 때, 각 작목이 포함하는 영양소( $n_{hj}$ )의 총합이 우리나라 국민이 섭취해야할 최소 영양 요구량( $S_h$ )보다 커야한다고 설정하였다. 최소영양소 요구량은 통계청의 각 연령별 인구와 『식품수급표』 자료를 이용하여 계산하였다.

$$\sum_j n_{hj} \left( \sum_k x_{kj} y_{kj} \right) \geq S_h$$

: 식량자급을 위한 최소생산량 제약 (7)

한편, 농산물의 국제거래를 감안하기 위해 전체 분석 대상 품목을 무역 가능한 품목과 무역 불가능한 품목으로 분류하고 각 품목의 가격에 대한 상한선을 설정하였다. 즉 품목별 가격이 수입가격( $I_j$ )에 관세( $tariff_j$ )가 더해진 것보다 높지 않도록 하였다. 그리고 국내 가격은 전체 생산량과 모형 내에서 구해진 역수요함수(각 소비량과 가격 간의 관계를 나타내는 함수)에 의해 결정되도록 하였다. 수입가격과 관세는 관세청 자료를 이용하였다.

$$p_j \leq I_j + tariff_j$$

: 국제가격 제약 (8)

$$p_j = \gamma_j - \delta_j \sum_i x_{kj} y_{kj}$$

: 가격 제약 (농산물의 역수요함수) (9)

아울러, 작부체계의 특성상 하나의 작목을 선택하면 특정 작목을 자동으로 선택하거나 또 다른 작목은 버려야 하는 상황이 발생할 수 있으므로 이를 Eq. (10)과 같이 반영하였다.

$$\text{if } x_{kj} > 0 \text{ then } x_{kj} = \dots = x_{kg} \text{ and } x_{kf} = \dots = 0$$

(10)

: 작부체계 제약(한 지역의 생산물  $j$ 와 생산물  $g$ 의 재배면적은 같아야 하며,

생산물  $j$ 와 생산물  $f$ 는 동시에 재배될 수 없음.)

경작가능면적에 관한 제약을 적용하기 위해 『농업지리정보시스템』(Agricultural Geographical Information System, AGIS) 자료(지목, 지형, 경사, 토양조건, 등온선, 강우량)에 의거하여 작목별, 도별로 재배 가능지역과 불가능지역을 구분한 다음 작목별로 경작가능면적을 구하였다. 재배가능면적에 대한 제약조건은 본 모형을 통해 계산된 지역별 작목별 재배면적이 GIS 자료에 나타난 우리나라 작목별 경작 가능면적( $T_j$ )보다 클 수 없다는 제약으로, 2003년도 지역별, 작목별 생산면적은 『작물통계』 자료를 바탕으로 하였다.

$$\sum_k x_{kj} \leq T_j$$

: 총재배가능면적 제약 (11)

분석대상 품목으로는 각 농산물 간의 대체 및 보완 관계에 따라 식량작물 뿐만 아니라 원예작물 및 특용작물, 축산물까지도 포함하여 총 51품목을 분석대상에 포함하였다(Table 1). 이들 품목은 어패류, 종실류, 해조류를 포함하는 총 농수산물 칼로리 자급의 95%이상을 차지하며, 따라서 국내에서 생산되는 대부분의 농산물을 포함한다고 해도 과언이 아니다.

Table 1. Agricultural Products Included

	Products
Crops	rice, beer barley, unhulled barley, rye, wheat, soybean, corn, spring potato, fall potato, sweet potato
Vegetables	Chinese cabbage, radish, carrot, garlic, onion, green onion, ginger, red pepper, lettuce, pumpkin, cucumber, watermelon, melon, strawberry, greenhouse cabbage, green house radish, greenhouse lettuce, greenhouse red pepper, greenhouse pumpkin, greenhouse cucumber, greenhouse watermelon, greenhouse melon, greenhouse strawberry, greenhouse tomato
Fruits	apple, pear, peach, grapes, tangerine, sweet persimmon
Specialties	sesame, green perilla, peanut, tobacco, ginseng, green tea
Animal Products	beef, pork, chicken, egg, milk
Total	51 products

Table 2. Irrigation Water Allowed to Each Province

(unit: 1,000t/year)

Province	Irrigation Water Allowed	Province	Irrigation Water Allowed
Gyeonggi	1,279,718	Cheonnam	1,803,619
Gangwon	1,856,774	Cheonbuk	1,855,026
Chungnam	2,605,328	Gyeongnam	1,489,403
Chungbuk	1,424,434	Gyeongbuk	2,438,191
Jeju	312,400		

본 계획모형의 구성에 필요한 모든 농업 관련 데이터들이 행정구역을 단위로 조사되는데 반해, 용수관련 자료는 그 특성에 따라 행정구역보다는 각 하천 수계별로 조사되고 있으므로 이를 적절히 행정구역별 자료로 변환하는 작업이 필요하다. 따라서 각 하천 홍수통제소(국토해양부 산하)에서 관리하는 용수 허가량 자료를 토대로 행정구역별로 이용가능한 농업용수량을 재산출하였다. 하천별 용수 허가량 자료를 행정구역 자료로 전환하기 위해 우선 각 수계에 속한 행정구역의 면적을 조사한 뒤, 각 행정구역이 수계면적에서 차지하는 비중 에 따라 용수 허가량을 행정구역별 자료로 전환하는 방식을 택하였다. 행정구역간 용수의 교환은 없는 것으로 가정한다. 이러한 방식으로 산출된 행정구역별 농업용수 허가량은 Table 2와 같다.

한편, 작물별로 재배에 필요한 단위용수량 자료는 『수자원장기종합계획』의 일환으로 한국농촌공사가 산출한 작물별 단위용수량 자료를 이용하였다. 단, 모든 품목의 단위용수량을 계산하기에는 어려움이 있으므로 작물통계를 바탕으로 작부시기에 따라 각 작물을 유형별로 분류한 뒤 유형별 대표작물에 대해서 단위용수량을 산정하였다. 축산물에 대한 용수량은 일본 『초지개발사업계획』 설계기준을 참고하였다. 이들 단위용수량 자료는 Appendix 2에 정리되어 있다.

본고가 이상과 같이 수립한 모형이 실제로 어느 정도나 현실에 대한 설명을 가지는지를 확인하기 위해 일단 목적함수 (3)을 제약식 (4)~(11) 하에서 최적화한 뒤, 그 결과각 지역별, 품목별 최적 생산량이 실제로 기록된 생산량과 어떤 차이를 보이는지를 확인하였다. 현 수준에서의 제약을 반영하여 모형을 최적화한 결과는 국가전체의 이윤을 극대화한다는 최적화 행위를 풀어서 도출된 결과이기 때문에 각 개별농민이 실제로 행한 의사결정의 결과로 형성되는 실제 산출물 생산량 자료와는 상당한 차이를 보일 수가 있고, 두 가지 생산량 자료를 완전 일치시킬 수는 없다. 그러나 보다 의미있는 결과를 얻기 위해서는 최적화 결과도 실제 생산행위와 가능한 한 가까운 것이 바람직하기 때문에 두 결과가 가까워질 때까지 제약식에서의 파라미터 값을 조절

하는 과정을 거쳤다. Appendix 3은 2003년의 각 도별, 품목별 실제 생산량자료를 보여주고, Appendix 4는 용수의 표준편차가 평균의 10%라 가정할 때의 모형의 최초 분석에 따른 바람직한 수준의 도별, 품목별 생산량 자료이며, Appendix 5는 제약식의 파라미터 값을 조절해준 후의 도별, 품목별 생산량자료이다. Appendix 4 보다는 Appendix 5의 수치들이 Appendix 3의 실제 생산량 자료에 더 가깝다는 것을 확인할 수 있다.

### 5. 분석결과

농업용수 부족량을 증가 또는 감소시킴에 따른 농업이윤의 변화를 구하고 이를 바탕으로 용수 한 단위당 농업이윤에 기여한 금액을 구하면 그것이 곧 농업용수의 경제적 가치가 된다. 이렇게 계산된 농업용수 한 단위의 가치가 Table 3과 같다. Table 3은 용수공급량의 표준편차가 각각 평균의 10%일 때와 20%일 때에, 농업용수 가용량이 줄어드는 시나리오별로 2003년 대비 농업이윤의 감소와 농업용수의 가치를 제시하고 있다.

먼저 농업용수의 불안정성이 높을수록 즉 용수가용량의 표준편차가 클수록 용수가용량이 줄어들 때 경제적 손실이 더 큰 것으로 나타나, 직관과 부합되는 결과를 얻을 수가 있었다. 댐 등을 활용해 강우량 변화에 따른 용수가용량 변화폭을 줄여주지 않으면, 즉 강우량과 마찬가지로 용수가용량의 편차도 평균 이용량의 20%가 되도록 허용하면, 댐 등을 이용해 용수공급의 편차를 줄여줄 때에 비해 같은 양의 평균 이용량 감소에도 경제적 손실은 1.66~2.02배로 더 커지는 것으로 나타났다. 따라서 용수관리가 제대로 이루어지지 않을수록 농업용수의 희소성이나 경제적 가치는 더 커진다.

아울러 Table 3은 동일한 용수이용량의 위험도가 유지될 때에는 이용가능한 농업용수량이 줄어들수록 농업용수의 잠재가격은 올라가고, 따라서 용수부족의 한계피해(marginal damage)는 점차 증가하게 됨을 보여준다. 이 역시 논리적으로도 타당한 결과이다.

톤당 303~1,093원의 용수가치를 도출한 이상의 분석 결과를 선행연구의 결과와 비교하면, 쌀 시험포장의 자료를 활용한 김원희 등(2003)의 연구는 톤당 6.4원에서

Table 3. Value of Irrigation Water

(unit: won in 2003 value)

Reduction in Irrigation Water	S.E. is 10% of Mean			S.E. is 20% of Mean		
	Ag. Income (b. won)	Change (%)	Water Value (won/m <sup>3</sup> )	Ag. Income (b. won)	Change (%)	Water Value (won/m <sup>3</sup> )
0 %	25,498			24,172		
-10 %	25,131	-1.4	303	23,612	-2.3	612
-20 %	24,453	-4.1	431	22,904	-5.2	692
-30 %	23,753	-6.8	480	21,896	-9.4	828
-40 %	22,864	-10.3	544	20,782	-14.0	925
-50 %	21,499	-15.7	660	19,168	-20.7	1,093

301.8원의 잠재가격 분포를 도출했지만 실제로 경작이 되는 생산량 수준에서는 100원 미만의 잠재가격을 도출하여 본 연구에 비해서는 낮은 수준의 농업용수가치를 도출하였다. 그러나 김원희 등(2003)의 연구는 앞에서 언급한 바와 같이 다른 투입요소의 영향은 반영하지 않은 채 쌀 한 품목의 시험포장 자료만 이용하였고, 또한 현재의 용수사용량에서 아주 적은 양인 한 단위의 용수만을 줄일 경우 발생하는 작물생산손실을 감안했기 때문에 농민의 실제 경작행위를 모형화하고 비교적 큰 폭의 용수 감소를 전제로 분석한 본고의 결과와 직접 비교하기는 어렵다.

### 6. 요약 및 결론

본고는 경제적 최적화모형인 확률계약 계획모형법을 이용하여, 농업용수 부족량 감소에 따른 농업이윤의 감소분을 계측하고 이를 통해 농업용수의 경제적 가치를 분석하고자 하였다. 이를 위해 국가 전체 농업자원배분을 최적화 모형으로 구축하고, 농업용수를 포함하는 자원부존계약조건과, 각 상품의 가격이 형성되는 시장조건, 국제무역 및 관련 정책변수의 영향들을 반영하였고, 용수의 경우 그 이용량이 연도별로 불안정할 수 있다는 것까지 반영하였다.

농업용수 감소량이 농업부문 이윤에 미치는 영향을 시나리오를 주어 분석하면, 농업용수의 톤당 경제적 가치는 303~1,093원/m<sup>3</sup>의 분포를 가지는 것으로 나타났다. 동일한 양의 용수량이 줄어들더라도 용수의 공급이 불안정할수록 경제적 가치 손실이 크며, 아울러 많은 양의 용수손실이 발생할수록 경제적 손실이 커 용수감소의 한계피해는 용수감소량의 증가함수인 것으로 나타났다.

본고가 도출한 이상의 결과는 보다 다양한 자료와 분석모형을 거쳐 검증되어야 할 것이지만, 본고는 우리 농업용수의 가치를 도출하기 위해서 작목별 재배면적, 가격, 관세, 국제가격, 최소영양요구량, 작목별 수요함

수, 생산양식(생산요소의 결합방식), 다른 생산요소의 가격, 용수 가용량의 불확실성 등 생산자와 소비자의 경제적 행태를 반영하는 요소들을 광범위하게 사용하였다는 점에서 실험자료를 이용해 단일 품목을 유지할 때의 용수량 감소가 미치는 생산량 변화만을 분석한 기존 연구와는 차별화된다고 할 수 있다.

### 참고 문헌

권오상 (2008a). “농지가격의 결정요인: 다단계 특성이격모형.” *농업경제연구*, 한국농업경제학회, 제49권, 제1호, pp. 113-139.

권오상 (2008b). “농지가격의 지역별·농지유형별 변동형태 분석.” *농업경제연구*, 한국농업경제학회, 제49권, 제3호, pp. 53-76.

김용택, 김홍상 (1999). “농업용수이용료의 부과기준 설정과 공급원가 분석.” *농촌경제*, 한국농촌경제연구원, 제22권, 제4호, pp. 1-20.

김원희, 권오상, 안동환 (2003). “농업용수의 잠재가격 분석.” *농업경제연구*, 한국농업경제학회, 제44권, 제2호, pp. 153-174.

임재환 (1989). 미곡생산에 있어 최적자원배분에 관한 연구: 물과 비료를 중심으로, 박사학위논문, 서울대학교.

최지현 (1982). 농지개량조합비 결정에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.

Anderson, J.R., Dillon, J.L., and Hardaker, B. (1977). *Agricultural decision analysis*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Anderson, R.L. (1961). “The irrigation water rental market: a case study,” *Agricultural economics research* Vol 8, pp. 54-58.

Ayer, H.W., Prentzel, J., and Hoyt, P. (1983). “Estimation of substitution possibilities between water and other production inputs.” *American*



- journal of agricultural economics*, Vol. 64, No. 1, pp. 149-151.
- Bash, P.K., and Young, R.A. (1993). *The role of the South Platte Tributary Aquifer in northeastern Colorado irrigated agriculture: results of a survey*. Colorado Water Resources Research Institute, Fort Collins, Colorado.
- Charnes, A., and Copper, W.W. (1959). "Chance constrained programming." *Management science*. Vol. 6, No. 1, pp. 73-39.
- Crouter, J. (1987). "Hedonic estimation applied to a water rights market." *Land economics*, Vol. 63, No. 3, pp. 259-269.
- Faux, J., and Perry, G.M. (1999). "Estimating irrigation water value using hedonic price analysis: a case study in Malheur County, Oregon." *Land economics*, Vol. 75, pp. 440-452.
- Gibbons, D.C. (1986). *The economic value of water*. Resources for the Future, Washington D.C.
- Gouevsky, I. and Maidment, D.R. (1984). "Agricultural water demands," in J. Kindler and C. S. Russell eds., *Modeling water demands*, Academic Press, Orlando, Florida, pp. 101-148.
- Hatchett, S.A., Horner, G.L. and Howitt R.E., (1991). "A regional mathematical programming model to assess drainage control policies," in A. Dinar and D. Zilberman, eds., *The economics and management of water and drainage in agriculture*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, pp. 465-488.
- Hazell, P.B.R. (1971). "A linear alternative to quadratic and semivariance programming for farm planning under uncertainty." *American journal of agricultural economics*, Vol. 53, pp. 53-62.
- Hazell, P.B.R., and Norton, R.D. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*, MacMillan Publishing Company, New York, N.Y.
- Hazell, P.B.R., Norton, R.D., Parthasarathy, M., and Pomareda, C. (1983). "The importance of risk in agricultural planning models." in R. D. Norton and L. Solís, eds., *The book of CHAC: programming studies for Mexican agriculture*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, pp. 225-249.
- Hexem, R.W., and Heady, E.O. (1978). *Water production functions for irrigated agriculture*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Kelso, M.W., Martin, W.E., and Mack, L.E. (1973). *Water supplies and economic growth in an arid environment: an Arizona case study*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- Kibzun, A.I., and Kurbakovskiy, V.Y. (1991). "Guaranteeing approach to solving quantile optimization problems." *Annals of operations research*, Vol 30, pp. 81-94.
- Kibzun, A.I., and Kan, Y.S. (1996). *Stochastic programming problems with probability and quantile functions*. Wiley, New York, N.Y.
- Madansky, A. (1962). "Methods of solution of linear programs under uncertainty." *Operations research*, Vol. 10, No. 4, pp. 197-204.
- Maruyama, Y. (1972), "The truncated maximum approach to farm planning under uncertainty with discrete probability distributions." *American journal of agricultural economics*, Vol 54, pp. 192-200.
- Torell, A, Libbin, J., and Miller, M. (1990). "The market value of water in the Ogallala Aquifer." *Land economics*, Vol 66, No. 2, pp. 163-175.
- Yaron, D. (1967). "Empirical analysis of the demand for water by Israeli agriculture." *Journal of farm economics*, Vol 49, No. 2, pp. 461-473.
- Young, R.A. (2005), *Determining the economic value of water: concepts and methods*. Resources for the Future, Washington D.C.

(논문번호:08-104/접수:2008.10.31/심사완료:2009.03.09)

Appendix 1. Prices and Costs

unit: won/ton (in 2003 value)

	Price	Byproduct	Capital	Labor	Land	Material	Deprecia- -tion	Others
rice	2,009,440	44,644	55,214	259,222	515,851	196,548	126,994	3,796
beer barley	945,000	18,155	38,109	253,759	341,207	228,601	77,890	14,118
barley	1,307,969	37,667	66,566	219,329	570,175	217,272	211,320	0
soybean	9,283,750	0	269,191	3,899,481	812,500	1,244,863	735,513	80,413
corn	2,665,707	25,993	43,926	950,475	311,751	401,146	115,707	16,261
s. potato	503,265	129	9,416	165,419	52,448	144,286	27,409	4,307
f. potato	841,169	0	15,004	200,595	71,784	211,943	42,929	4,304
sweet potato	728,201	5,651	10,440	214,411	80,462	142,156	30,814	6,650
wheat	525,000	20,611	50,590	166,690	433,333	194,449	160,603	0
cabbage	196,837	124	3,513	62,717	18,646	31,030	10,708	1,605
radish	232,510	398	4,432	76,896	27,546	38,326	12,809	1,860
carrot	604,943	0	6,660	133,241	39,634	115,577	19,609	2,778
garlic	1,415,761	48,278	9,037	532,551	113,769	420,527	28,689	93
onion	303,098	535	1,347	86,540	21,936	51,047	4,275	28
green onion	795,679	0	11,814	284,527	40,289	99,863	35,111	9,145
ginger	2,074,052	0	19,177	426,867	97,622	581,115	51,353	6,901
red pepper	8,389,586	95,040	62,334	2,926,043	518,617	1,186,774	197,884	184
lettuce	773,000	0	13,370	460,314	39,828	202,423	40,156	790
pumpkin	492,000	2,211	7,700	197,397	46,662	119,154	23,837	7,493
cucumber	481,000	0	3,688	228,304	12,894	87,338	9,642	3,043
watermelon	517,093	0	8,705	196,174	47,584	141,601	24,789	3,795
melon	924,000	0	15,445	427,872	64,008	182,815	43,965	6,705
strawberry	1,750,000	0	14,435	939,401	111,397	471,265	45,825	14,840
cabbage(g)	284,000	0	9,217	79,764	15,668	60,028	29,099	2,776
radish(g)	364,000	3,563	10,768	99,605	20,482	74,781	34,159	3,186
spinach(g)	1,240,000	0	43,033	490,711	63,913	209,403	135,910	5,496
pepper(g)	2,693,869	1,764	94,259	676,417	25,293	885,910	297,155	19,493
lettuce(g)	1480000	0	35,655	614,700	28,641	241,117	113,190	8,039
pumpkin(g)	1,077,289	501	30,769	322,439	20,222	284,130	95,569	9,015
cucumber(g)	1,171,509	0	35,271	263,942	8,597	383,309	110,969	4,280
w. melon(g)	753,000	0	20,258	248,777	29,858	186,636	63,094	8,538
melon(g)	1,581,874	98	37,212	708,617	43,522	385,779	115,355	10,557
strawberry(g)	3,349,047	1,447	55,647	891,716	38,767	969,757	175,011	16,473
tomato(g)	1,541,558	0	43,861	317,535	16,053	441,905	139,241	9,251
sesame	12,779,503	33,101	125,677	5,101,365	2,452,830	947,340	398,975	591
green perilla	3,003,260	2,058	128,165	3,216,442	1,611,570	593,380	377,099	50,880
peanut	3,630,891	27,410	71,409	1,562,283	505,837	670,346	199,674	29,625
tobacco	6,571,000	0	109,552	3,287,173	509,804	1,049,576	326,761	67,439
ginseng	24,505,000	51,869	405,582	4,357,938	253,906	4,125,004	1,132,609	209,539

Note: g in the parentheses stands for greenhouse.

Appendix 1.(continued)

	Price	Byproduct	Capital	Labor	Land	Material	Deprecia -tion	Others
green tea	40,001,078	0	177,500	12,562,351	1,688,312	10,078,318	563,494	50,506
apple	1,619,402	1,424	33,280	422,948	58,532	295,793	103,570	53,361
pear	1,441,814	10,803	37,127	508,426	55,603	330,288	116,198	38,436
peach	1,783,601	147	32,130	634,098	78,000	314,905	101,390	57,182
grapes	1,694,863	8,351	26,704	635,746	67,897	301,114	83,344	61,384
tangerine	462,880	5,510	5,638	204,791	40,314	121,096	17,897	32,253
sweet persimmon	1,545,000	1,419	31,047	559,392	102,282	240,352	97,732	47,105
beef	7,582,560	41,210	49,057	470,087	0	4,525,675	155,736	23,851
pork	1,646,854	2,967	14,312	74,172	0	1,321,414	45,434	33,664
chicken	1,142,477	4,662	18,552	64,977	0	876,036	57,050	5,901
egg	1,816,964	89,821	55,610	99,464	0	1,371,250	55,893	20,179
milk	608,660	51,472	23,971	75,578	0	230,865	76,097	9,031

Note: g in the parentheses stands for greenhouse.

Appendix 2. Irrigation Water Required for Unit Production

unit: ton/ha, ton/head

Rice		Other Crops				Animal Products	
		Field		Greenhouse			
transplanting	12,185	barley	2,711	red pepper	7,977	dairy cattle	54.75
dry paddy	12,894	red pepper	3,461	potato	7,054	cow	21.9
direct seeding	14,543	corn	3,253	radish	3,579	swine	10.95
		garlic	3,093	cabbage	4,011	hen	0.365
		onion	3,237	tomato	4,740		
		sesame	2,955	watermelon	6,834		
		soybean	3,250	lettuce	4,758		
		potato	3,398	strawberry	5,198		
		sweet potato	3,054				
		radish	1,888				
		cabbage	2,318				
		tomato	2,824				
		watermelon	3,190				
		lettuce	2,673				
		strawberry	2,914				

Source: KARICO.

Appendix 3. Actual Production in Each Province (2003)

unit: ha, 1,000head

	Gyoung -gi	Gang -won	Chung -buk	Chung -nam	Chun -buk	Chun -nam	Gyoung -buk	Gyoung -nam	Jeju	Sum
rice	114,691	44,952	56,686	169,907	148,505	204,357	134,278	96,031	748	970,155
beer barley	0	0	0	0	0	20,837	0	4,357	3,269	28,463
barley	125	222	116	303	9,719	14,522	2,040	4,565	57	31,669
soybean	6,697	6,892	9,515	6,158	4,423	19,996	12,870	7,048	5,079	78,678
corn	1,360	6,854	2,822	611	552	2,150	1,431	752	16	16,548
s. potato	812	5,795	888	1,328	797	1,731	1,506	1,623	1,459	15,939
f. potato	7	18	1	14	410	170	16	65	1,976	2,677
sweet potato	3,166	354	821	1,612	1,971	2,687	1,182	1,686	92	13,571
wheat	0	12	0	6	716	856	85	963	0	2,638
cabbage	1,798	782	1,113	2,205	1,449	1,998	1,294	918	294	11,851
radish	1,906	418	422	1,425	3,020	1,724	777	529	378	10,599
carrot	22	396	12	85	48	56	154	420	2,032	3,225
garlic	663	357	602	2,580	589	14,055	3,937	5,649	4,203	32,635
onion	17	74	29	203	343	6,658	1,835	2,161	865	12,185
green onion	2,527	548	792	2,792	772	4,836	1,380	845	1,142	15,634
ginger	8	3	22	928	430	102	195	20	0	1,708
red pepper	4,242	3,736	8,120	6,099	7,167	8,863	15,269	2,590	20	56,106
lettuce	220	71	31	52	49	140	201	258	10	1,032
pumpkin	848	937	507	335	205	787	971	398	95	5,083
cucumber	310	296	246	69	88	93	144	24	6	1,276
watermelon	200	125	650	395	1,079	1,037	1,642	15	333	5,476
melon	173	15	23	41	22	22	9	1	40	346
strawberry	14	7	3	40	19	33	26	27	109	278
cabbage(g)	1,450	174	221	555	322	576	389	240	3	3,930
radish(g)	1,871	97	241	635	580	695	122	397	10	4,648
spinach(g)	1,984	30	102	167	80	420	178	20	0	2,981
pepper(g)	291	475	79	544	295	1,017	437	1,944	12	5,094
lettuce(g)	2,286	86	123	354	517	668	210	129	9	4,382
pumpkin(g)	553	156	339	418	217	283	208	883	0	3,057
cucumber(g)	806	848	133	919	242	941	584	297	16	4,786
w. melon(g)	147	31	1,147	4,116	1,950	1,327	1,633	6,791	1	17,143
melon(g)	137	7	15	16	275	137	5,986	717	0	7,290
strawberry(g)	29	1	167	2,122	563	1,002	750	2,370	0	7,004
tomato(g)	161	352	197	800	209	635	480	404	22	3,260
sesame	2,245	786	2,946	2,980	3,036	9,944	8,283	2,966	842	34,028
green perilla	4,612	4,208	4,663	5,992	3,493	1,989	1,692	1,157	1	27,807
peanut	356	90	277	718	711	133	1,174	244	285	3,988
tobacco	468	1,372	6,275	2,558	2,804	1,981	6,851	904	0	23,211
ginseng	1,167	459	2,288	2,745	1,506	194	541	38	3	8,941
green tea	0	0	0	0	54	1,345	0	699	197	2,295
apple	351	168	3,417	2,007	900	282	16,778	2,390	0	26,293
pear	4,104	562	1,863	4,515	1,237	4,284	3,858	1,617	16	22,056
peach	1,292	810	3,102	972	775	614	7,373	504	17	15,459

Appendix 3 (continued)

	Gyoung -gi	Gang -won	Chung -buk	Chung -nam	Chun -buk	Chun -nam	Gyoung -buk	Gyoung -nam	Jeju	Sum
grapes	3,384	249	3,671	2,784	1,475	464	10,763	528	0	23,318
tangerine	0	0	0	0	0	35	0	0	24,560	24,595
sweet persimmon	19	33	22	197	169	6,265	2,450	9,739	176	19,070
beef	147	104	114	187	140	226	307	183	19	1,425
pork	1,987	405	541	1,660	997	819	1,149	1,084	400	9,042
chicken	8,943	1,186	4,070	7,741	8,762	8,069	4,315	1,538	303	44,927
egg	14,664	2,641	2,293	6,293	2,888	3,975	10,937	3,848	925	48,464
milk	191	26	31	86	39	38	49	37	5	501

Appendix 4. Optimal Production in Each Province (10% S.E, without calibration)

unit: ha, 1,000head

	Gyoung -gi	Gang -won	Chung -buk	Chung -nam	Chun -buk	Chun -nam	Gyoung -buk	Gyoung -nam	Jeju	Sum
rice	61,182	51,500	32,570	145,884	105,767	62,258	96,784	67,082	310	623,336
beer barley	0	0	0	0	0	9,616	0	3,195	811	13,624
barley	0	0	0	125	3,850	4,624	0	2,241	4	10,845
soybean	1,530	1,750	2,512	1,562	1,058	4,633	3,357	1,736	823	18,961
corn	331	0	1,141	135	150	394	0	250	0	2,401
s. potato	1,512	19,562	2,404	2,939	2,037	3,985	4,134	4,302	1,562	42,437
f. potato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sweet potato	27,173	2,666	6,140	12,499	14,607	23,934	6,945	11,437	934	106,335
wheat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cabbage	5,643	2,403	6,032	17,948	13,180	17,043	5,215	8,151	901	76,516
radish	0	0	0	0	275	180	0	481	0	936
carrot	0	102	0	58	0	0	0	0	886	1,046
garlic	58	75	124	2,059	449	12,365	4,236	6,103	4,688	30,157
onion	0	483	377	1,403	3,370	69,676	22,207	24,442	9,143	131,102
green onion	23,122	3,538	5,601	17,934	6,082	45,686	10,094	6,909	7,804	126,772
ginger	3	5	9	337	289	48	225	2	0	917
red pepper	1,794	2,029	4,428	2,654	4,939	3,477	7,604	1,101	5	28,029
lettuce	580	258	86	65	155	503	685	853	22	3,207
pumpkin	2,646	4,942	1,417	1,046	182	776	3,018	512	33	14,571
cucumber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
watermelon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
melon	0	1	1	0	0	0	8	2	0	11
strawberry	0	6	3	0	0	0	0	0	0	10
cabbage(g)	0	0	0	0	0	0	2,355	0	0	2,355
radish(g)	0	0	0	0	0	0	0	2,544	0	2,544
spinach(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Appendix 4. (continued)

	Gyoun g -gi	Gang -won	Chung -buk	Chung -nam	Chun -buk	Chun -nam	Gyoun g -buk	Gyoun g -nam	Jeju	Sum
pepper(g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lettuce(g)	4,578	0	0	0	0	0	0	0	0	4,578
pumpkin(g)	0	0	0	0	0	0	1,185	0	1	1,185
cucumber(g)	0	4,959	0	0	0	0	0	0	0	4,959
w. melon(g)	0	0	0	0	0	0	0	17,098	2	17,099
melon(g)	0	0	0	0	0	0	8,569	0	1	8,570
strawberry(g)	0	2	0	0	0	0	0	0	1	2
tomato(g)	0	0	0	0	0	0	3,025	0	0	3,025
sesame	834	316	1,183	1,148	1,142	3,604	3,258	1,157	276	12,918
green perilla	528	1,528	687	762	583	295	324	225	0	4,932
peanut	67	27	80	191	142	31	274	69	0	881
tobacco	6	12	51	26	26	18	60	7	0	205
ginseng	1,448	568	1,881	1,948	1,693	217	505	43	1	8,304
green tea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
apple	292	185	5,107	3,526	238	49	21,359	2,171	0	32,926
pear	699	629	2,902	13,816	4,513	12,155	4,745	1,601	51	41,112
peach	1,123	351	2,383	883	476	419	4,906	555	0	11,095
grapes	7,534	321	6,516	5,470	2,589	926	22,449	1,244	0	47,049
tangerine	0	0	0	0	0	0	0	0	30,244	30,244
sweet persimmon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
beef	2,170	1,537	1,685	2,760	2,073	3,325	4,522	2,695	286	21,053
pork	25,296	5,167	6,899	21,128	12,694	10,434	14,631	13,802	5,098	115,149
chicken	12,574	1,669	5,723	10,885	12,320	11,346	6,068	2,164	428	63,177
egg	23,890	0	0	0	0	0	0	0	0	23,890
milk	0	504	0	0	0	0	0	0	0	504

Appendix 5. Optimal Production in Each Province (10% S.E, with calibration)

unit: ha, 1,000head

	Gyoung -gi	Gang -won	Chung -buk	Chung -nam	Chun -buk	Chun -nam	Gyoung -buk	Gyoung -nam	Jeju	Sum
rice	72,744	51,500	32,570	155,297	112,444	95,312	96,784	67,082	653	684,384
beer barley	0	0	0	0	0	10,763	0	3,195	2,726	16,686
barley	0	0	0	131	4,023	5,218	0	2,241	29	11,643
soybean	3,055	3,275	4,618	2,953	2,055	9,238	6,206	3,296	2,350	37,045
corn	731	13,595	5,372	144	395	72	2,397	890	12	23,607
s. potato	933	9,352	1,236	1,665	1,088	2,269	2,114	2,228	1,908	22,793
f. potato	0	15	0	0	0	0	0	0	0	15
sweet potato	4,903	508	1,174	2,359	2,815	4,258	1,501	2,293	167	19,978

## Appendix 5. (continued)

	Gyoung -gi	Gang -won	Chung -buk	Chung -nam	Chun -buk	Chun -nam	Gyoung -buk	Gyoung -nam	Jeju	Sum
wheat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cabbage	2,284	978	1,565	3,525	2,407	3,270	1,700	1,503	454	17,686
radish	1,683	405	432	1,593	3,552	2,053	854	661	568	11,802
carrot	15	314	10	72	35	40	100	297	2,004	2,888
garlic	329	180	302	1,427	324	7,900	2,260	3,245	2,604	18,570
onion	17	107	55	301	573	11,488	3,321	3,797	1,579	21,239
green onion	3,556	619	972	3,288	1,003	6,940	1,656	1,115	1,436	20,585
ginger	6	3	15	615	311	71	159	13	0	1,194
red pepper	3,187	3,220	7,015	4,639	5,375	6,422	12,468	1,926	14	44,267
lettuce	205	80	30	48	47	148	202	253	10	1,022
pumpkin	934	1,414	514	367	237	939	1,044	486	125	6,061
cucumber	0	990	0	0	0	0	0	0	0	990
watermelon	0	0	0	0	3,120	0	0	0	0	3,120
melon	282	0	0	0	0	0	0	2	0	284
strawberry	12	6	3	0	16	0	0	0	154	191
pumpkin(g)	0	0	0	0	0	0	0	2,766	1	2,767
cucumber(g)	0	0	0	0	0	3,935	0	0	0	3,935
w. melon(g)	0	0	0	0	0	0	0	18,340	2	18,342
melon(g)	0	0	0	0	0	0	8,865	0	1	8,866
strawberry(g)	0	2	0	6,284	0	0	0	0	1	6,287
tomato(g)	0	0	0	3,627	0	0	0	0	0	3,627
sesame	1,021	564	2,095	1,730	1,472	3,825	5,225	1,772	498	18,204
green perilla	1,013	2,020	2,243	1,953	938	275	797	576	1	9,817
peanut	258	73	223	570	517	104	877	195	181	2,997
tobacco	6	12	52	27	27	18	62	7	0	212
ginseng	1,629	636	2,221	2,369	1,923	248	585	49	2	9,662
green tea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
apple	289	145	3,216	2,015	634	197	15,047	1,970	0	23,515
pear	699	468	1,712	5,545	1,664	5,110	3,291	1,302	22	19,814
peach	985	537	2,264	745	548	448	5,228	402	7	11,165
grapes	3,529	211	3,451	2,748	1,392	465	10,787	558	0	23,142
tangerine	0	0	0	0	0	0	0	0	38,552	38,552
sweet persimmon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
beef	270	191	210	344	258	414	563	336	36	2,622
pork	3,245	663	885	2,711	1,629	1,339	1,877	1,771	654	14,773
chicken	12,574	1,669	5,723	10,885	12,320	11,346	6,068	2,164	428	63,177
egg	23,890	0	0	0	0	0	0	0	0	23,890
milk	0	504	0	0	0	0	0	0	0	504