

# Estimating the economic value of agricultural water using the virtual water concept

Gyumin Lee<sup>1</sup>, Yoon Hyung Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Korea

<sup>2</sup>Department of Agricultural Economics, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

\*Corresponding author: yonhk@jnu.ac.kr

## Abstract

Water is an essential resource for human survival. According to the OECD Environmental Outlook to 2050, rapid industrialization and a global population increase by approximately two billion will likely increase global water use by 55% in 2050. However, water depletion has been getting worse than before and has been happening more quickly, as Earth's water resources are limited. The present study proposes water management measures by using the virtual water theory which enables water consumption measurement and the confirmation and recognition of water scarcity problems, and will support the development of counter-measures. As a method for estimating the value of agricultural water, virtual water theory was used to calculate the amount of agricultural water input for domestic rice and to apply prices of agricultural water in the United States and China to Korean water prices. When the Chinese price was applied to Korean water prices, the value of agricultural water represented 0.3% of the Korean rice producer's price. When the US price was applied to Korean water prices, the value of agricultural water represented 1.6% of the domestic rice producer's price. The study exposes the percentage of the value of agricultural water in agricultural product prices, as well as how this scarce resource may affect future prices. In the future, if there are water charges to effectively manage agricultural water, this study, which uses the virtual water theory, can be used as a preliminary research.

**Keywords:** agricultural water pricing, virtual water



## OPEN ACCESS

**Citation:** Lee G, Kim YH. 2017. Estimating the economic value of agricultural water using the virtual water concept. Korean Journal of Agricultural Science 44:636-641.

**DOI:** <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170049>

**Editor:** Soungun Kim, Chungnam National University, Korea

**Received:** July 5, 2017

**Revised:** September 6, 2017

**Accepted:** September 7, 2017

**Copyright:** © 2017 Korean Journal of Agricultural Science.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

물은 인간생활 및 생태계에 없어서는 안 되는 필수자원이지만 급격한 산업화와 인구증가에 따른 물 사용량 증가로 인해 자원갈문제가 갈수록 가속화될 것으로 전망되며 세계 경제의 규모가 4배, 인구는 20억 명이 증가함에 따른 물의 추가 수요가 55%수준이 될 것이라고 했다 (OECD, 2010). 하지만 앞으로도 지구 전체의 수자원량은 거의 변함이 없을 것으로 보여 1인당 사용 가능한 물의 양적 감소는 갈수록 가속화될 것이다. 최근 수소 및 바이오에탄올 등 대체에너지 생산을 위한 물이용의 증가가 더욱 커지고 있어 우리나라와 같이 식량 및 에너지 등을 외국에 크게 의존하는 국가의 경우 물 부족이 더욱 심화될 가능성이 높다. OECD 환경전망 2050

보고서(OECD, 2010)에 따르면 가용 수자원 대비 물 수요의 비율이 40%를 넘는 경우 물 스트레스 국가로 분류하는데, 한국은 40% 이상으로 OECD국가 중에서 유일하게 심각한 스트레스 국가로 평가되었다. 전 세계적으로 물 수요증가에도 불구하고 지표수 취수는 1980년대 이후로도 변하지 않아 앞으로도 새로운 정책이 시행되지 않는다면 전 세계적으로 물 수요는 더욱 증가할 수밖에 없을 것이다(OECD, 2010). 현재 우리나라의 물 수급 전망(Ministry of Land, 2016)에 따르면 과거 최대 가뭄 시 4억 톤의 물이 부족할 것이라고 전망하고 있지만 이에 대한 정부의 물 관리 정책은 지표수 또는 지하수 소비량을 의미하는 청색물(blue water)에 대해 관심이 집중되어 있기 때문에 자연 상태에서 공급되며 식물의 생장에 필수적인 녹색물(green water)에 대한 관리를 통한 물 위기 대책이 시급한 상황이다. 특히, 농업용수는 농촌지역의 생활수준의 향상으로 인해 농업 이외의 용수수요가 증가하고 있고 작부체계 전환으로 인한 농촌용수 사용량의 증가가 예상되어짐에 따라 이에 대한 대책을 필요로 하고 있다. 이러한 농업용수 사용량 증가로 인한 대책으로 가상수 개념의 도입을 통한 물 관리 정책마련이 새로운 대안으로 떠오르고 있는데 기존 공급 중심의 물 관리 정책에서 실제 농산물 생산에 사용되는 물의 양을 파악하는 것으로 가상수 개념의 도입이 필요하다. 또한 가상수 개념은 향후 작부체계 전환과 물 이용료 부담 등과 연계한 농업용수 스트레스(water stress), 생물다양성(biodiversity) 등의 다른 지표들과 연계를 통해 다양한 환경평가 및 농업용수 정책 등에 활용될 수 있으며 물 부족에 대한 문제인식을 확대시켜 보다 거시적이고 통합적인 관점에서 농업용수의 효율적인 관리에 대한 정책의 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

가상수(virtual water)이론은 1990년대 초반 영국 런던대학 토니 앨런 교수에 의해 처음 제안된 것(Allan, 2003)으로 농산물, 축산물, 공산품 등의 서비스 제공에 필요한 물의 양으로 일정량의 농산물 또는 공산품을 수입 또는 직접 생산하여 수출 및 재수출 하는 것은 실질적으로 물을 교역하는 것과 같고 우리가 생산 및 수출입하는 많은 농축산물은 사실상 그 농축산물을 생산하기 위하여 소비된 물을 수출입한 것과 같은 효과가 있다는 것이다. 가상수 개념은 탄소발자국 이후 전 세계적인 환경정책의 큰 흐름이 될 것이라는 인식을 바탕으로 정부 및 대학주도의 연구가 활발히 진행되어지고 있는데 국내 연구 동향을 살펴보면 Kim et al. (2012)은 최근에 국내외에서 연구되고 있는 가상수 및 물발자국 개념의 국내 농업 부문 도입 및 활용을 위한 기초 연구로서 가상수 및 물발자국 이론의 검토, 국내외 활용 사례를 제시하고 국내 가상수 및 물발자국 개념도입에 따른 기초자료 및 시사점을 제시하였다. Yoo et al. (2009)은 1991년부터 2007년까지의 연간 농업 가상수 사용량과 작물 1 ton을 생산하기 위하여 필요한 가상수량을 산정하는 데 목적을 두고, 가상수 사용량을 산정하기 위하여 44가지 작물에 대해 17년간의 작물 생산량과 재배 면적 데이터를 수집하고, FAO Penman-Monteith식을 이용하여 작물소비수량을 산정하였다. 농업 가상수 사용량은 151억 $m^3$ 로, 작물 중 논벼가 가장 많은 양의 농업 가상수를 사용하였고, 전체 농업 가상수 사용량 중 75%에 해당하는 연간 101억  $m^3$ 을 사용하였으며, 논벼를 1 ton을 생산하기 위해 필요한 가상수량은 1600.1  $m^3$ /ton으로 분석하였다. Ahn et al. (2010)은 Chapagain and Hoekstra (2004)이 제시한 농축산물 및 공산품의 단위 가상수량 산정방법을 분석 및 적용하여 1998년부터 2007년까지 우리나라의 가상수 수출입량을 산정하였고, 가상수 수출입을 국가간 정량화하는 방법으로 물발자국이론을 이용하였다. 또한 2006년 우리나라 농작물 생산량에 단위 가상수량을 적용하여 자원장기종합계획의 농업용수 수요량과 비교함으로써 단위 가상수 사용의 적절성을 분석하였다. 이를 통하여 현재 우리나라는 연평균 320억  $m^3$ 의 가상수를 농축산물 및 공산품의 무역을 통하여 순수입하고 있으며 그 양은 지속적으로 증가추세를 보이고 있고, 생산되는 농작물의 가상수량과 농업용수 수요량의 차이는 약 6억  $m^3$ 으로서 전체 수요량이 약 160억  $m^3$ 인 점을 감안한다면 상대적으로 근소한 차이로 단위 가상수량 산정방법이 타당함을 분석하였다. Lee et al. (2010)은 우리나라와 세계 국가들 간의 커피무역을 통하여 순수입 되는 가상수의 양과 이를 통하여 절약되는 가상수의 양을 분석하였는데, 이를 위하여 농수산물유통공사에서 제공하는 2005 - 2009년의 커피 수출입 자료와 Chapagain and Hoekstra (2004)의 국가별 커피 생산을 위한 단위 가상수량과 생산비 자료를 활용하였다. 국가별 순수입 가상수량을 산정한 결과 베트남·브라질로부터 각각 196 M  $m^3$ /년과 195 M  $m^3$ /년의 가상수를 수입한 것으로 나타났으며, 브라질, 콜롬비아, 페루의 남아메리카 국가들로부터 전체 가상수 수입량의 약 45%

를 수입하고 있는 것으로 나타났고, 커피무역을 통하여 베트남으로부터의 커피 수입을 통하여 국내적으로는 683  $Mm^3$ /년의 물이 절약될 수 있으며, 총 커피 무역으로부터 1,601  $Mm^3$ /년의 물이 절약되는 것으로 분석하였다. 현재 우리나라 농업용수 및 수리시설의 관리 체계는 농어촌공사관리구역과 지방자치단체관리구역으로 이원화되어 있으며, 농어촌공사관리구역에서는 농업용수이용료가 면제되어 있으며 형평성 문제로 인해 지자체관리구역에서도 적절한 농업용수 이용료 부담이 이루어지고 있지 않다. 그 동안 농업 부분에서는 농업경영에 대한 연구(Seo and Kim, 2016)와 개별 품목에 대한 연구(Lee and Hong, 2016)는 수행되었지만, 주요한 농업투입재인 농업용수 가치산정에 대한 연구는 전무하다고 할 수 있다. 향후 농업용수의 지속적인 이용을 위해서는 합리적인 수준에서의 경제적 시스템을 구축할 필요가 있으며, 이를 위해서는 우선 농업용수의 가치 산정에 대한 기초적인 연구가 필요하다. 향후 물 부족문제와 맞물려 가격부과에 대한 요구가 점차 늘어날 것으로 예상되지만 가격부과에 대한 기준이 존재하지 않아 국내 농업용수에 가격을 부과하는 데에 어려움이 존재한다. 따라서 해외에서 농업용수에 대한 가격을 부과하고 있는 국가를 기준으로 해당국가의 농업용수 가격을 기준으로 삼고 가상수 개념을 이용하여 국내 농업용수에 대한 가격이 부과되었을 때 농산물가격에서 차지하는 비중을 통해 농산물가격에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 본 연구는 현재 농업용수에 대해 가격을 부과하고 있는 국가들로 미국과 중국의 사례를 찾아 한국, 미국, 중국의 작물 별 가상수량을 산정을 통한 국내 농업용수 가치 산정을 통해 향후 농업용수의 효율적인 관리를 위한 정책의 기초자료를 제공하는데 그 의의가 있다.

## Materials and Methods

### 가상수 산정

Chapagain and Hoekstra (2004)가 제안한 가상수량 산정방법을 살펴보면, 가상수량(virtual water content, VWC)은 작물 1 ton 생산을 위해 사용된 물의 양( $m^3/ton$ )으로, 작물을 생산하기 위한 물 사용량과 전체 작물 생산량의 비로 아래 식과 같이 나타낸다.

$$VWC[c] = \frac{CWU[c]}{production[c]}$$

이와 같이 가상수량을 산정하기 위해서 선행적으로 작물생산을 위해 사용되는 물 CWU (crop water use,  $m^3/yr$ )를 산정해야 하는데 CWU는 작물 필요수량과 작물의 전체 생산량, 단위면적 당 작물의 생산량을 활용하여 구할 수 있다.

$$CWU = CWR \times \frac{production}{yield}$$

CWR (crop water requirement,  $m^3/ha$ )은 필지 단위의 작물 필요수량이며, production은 작물의 전체 생산량 ( $ton/yr$ ), yield ( $ton/ha$ )는 단위면적당 작물의 생산량을 의미한다.

$$CWR = \sum_{d=1}^{lp} ET_c[d]$$

CWR은 작물 생육기간(length of growing period in days, lp) 동안의 일별 작물증발산량(crop evapotranspiration,  $ET_c$ )을 누적한 값으로 계산된다. 논 벼의 경우, 답수재배를 하기 때문에 작물 필요수량을 산정하기 위해서는 작물 증발산량과 침투량을 고려해야 한다. 침투량은 토양 종류 및 지하수위에 따라 달라질 수 있으며 Chapagain and

Hoekstra (2004)의 연구에서는 전체 작물생육기간 동안 300 mm로 가정하였고, 증발산량의 경우 Chapagain and Hoekstra (2004)는 국제식량농업기구에서 1998년에 추천한 FAO Penman-Monteith 공식을 이용하여 기준작물증발산량을 산정하였다.

## 해외 가상수 산정

앞에서 언급한 것과 같이 현재 우리나라의 농업용수는 전체용수 사용량의 절반을 차지하고 있지만 그 가치가 부과되지 않았다. 하지만 최근 지적되어 온 물 부족문제와 맞물려 가격부과에 대한 요구가 점차 늘어날 것으로 예상된다. 하지만 가격부과에 대한 기준이 존재하지 않아 국내 농업용수에 가치를 부과하는 데에 어려움이 존재한다. 따라서 해외에서 농업용수에 대한 가격을 부과하고 있는 국가를 기준으로 해당국가의 농업용수 가격을 기준으로 삼고 가상수 개념을 이용하여 국내 농업용수에 대한 가격이 부과되었을 때 농산물가격에서 차지하는 비중을 통해 농산물가격에 미치는 영향을 파악할 수 있으며 해외의 사례를 이용하여 효율적인 농업용수 관리의 방안으로 농업용수에 대한 가격부과에 대해서 생각해볼 수 있을 것이다. 현재 농업용수에 대해 가격을 부과하고 있는 국가들로 미국과 중국의 사례를 찾아 한국, 미국, 중국의 쌀을 중심으로 가상수량을 산정하고 비교하여 보았다.

농산물의 가격에서 농업용수가 차지하는 비중을 확인하기 위해서는 유통 및 소비 등의 단계에서 발생하는 비용이 포함되지 않은 Table 2와 같은 생산자 가격을 이용해야 농산물 생산에 들어가는 물의 양을 측정할 수 있기 때문에 한국을 포함한 3개국의 작물별 생산자 가격을 조사하였다. Table 1과 Table 2의 작물별 가상수량 및 생산자가격을 이용하여 국내 농업용수 사용량과 사용된 농업용수에 대한 가격을 부과하여 농산물 가격에 어느 정도의 변화가 있는지 살펴볼 수 있을 것이다.

**Table 1.** Comparison of virtual water content between countries (Unit: m<sup>3</sup>/ton).

Item	Water footprint	South Korea	United States	China
Rice	Green	712	422	549
	Blue	116	847	246
	Gray	101	185	215
Poultry	Green	2,834	2,212	2,212
	Blue	206	220	209
	Gray	459	387	666

**Table 2.** Comparison of agricultural producer price between countries (Unit: USD/ton).

Item	South Korea	United States	China
Rice	1,634	353	492
Poultry	1,675	1,321	2,448

## Results and Discussion

### 중국의 농업용수 가격 적용

KOTRA 해외시장 정보(KOTRA, 2017)에 따르면 중국은 13대 물 부족국가 중 하나이며 수자원 보유량이 전 세계 평균의 25%에 그치고 있으며 농업용수량은 전국 수자원 이용 총량의 61%로 유럽 선진국의 38%에 비해 상당히 높은 비율을 보이고 있다. 이에 대한 중국의 물 부족의 대안들 중 하나로 사용비중이 가장 큰 농업용수에 대한 가격 부과가 정책으로 활용되고 있는데 중국거시경제정책연구소의 보고서에 따르면 m<sup>3</sup>당 농업용수 가격은 약 0.03위

안을 징수하는 것으로 나타났다. 우선 중국의 쌀에 투입되는 가상수량과 생산자가격, 중국의 농업용수가격 등을 활용해 중국 농산물가격에서 농업용수의 비중을 확인해보면 쌀 1톤을 생산할 때 가상수량 1,010 m<sup>3</sup>이며, m<sup>3</sup>당 0.03위안을 징수하기 때문에 달러로 환산 시 4.71달러만큼의 농업용수에 대한 비용이 들어간다. 이는 쌀 1톤의 생산자가격 492달러 중 1%를 차지하는 것으로 중국에서 쌀 1톤 가격의 1%가 농업용수에 대한 비용임을 나타내는 것이다. Table 3은 중국 농업용수 가격을 한국의 쌀 가상수 투입량 929 m<sup>3</sup>에 적용해 보았을 때 톤당 4.33달러만큼의 비용이 농업용수가격으로 나오는 것을 알 수 있고 이것은 생산자가격 1,634달러에서 차지하는 비율이 0.3%로 농업용수 사용에 대한 비용징수가 한국에서 발생 할 때 0.3%만큼의 가격상승이 발생할 수 있음을 나타낸다.

**Table 3.** Percentage of water cost in South Korea's rice producer price in case of China's water price.

Classification	China	South Korea
Virtual water (m <sup>3</sup> /ton)	1,010	929
Producer price (USD/ton)	492	1,634
Agricultural water price (USD/ton)	4.71	4.33
Percentage of water cost (%)	1	0.3

### 미국의 농업용수 가격 적용

OECD의 Agricultural water pricing: United States 보고서에 따르면 미국의 경우 각 주별로 농업용수의 가격을 다르게 부과하고 있어 미국 전체 평균에 대한 가격을 확인할 수 있는 자료가 없기 때문에 캘리포니아주의 농업용수 가격을 기준으로 삼아 국내에 적용하였다.

미국 캘리포니아주의 경우 농업용수를 m<sup>3</sup>당 0.028 달러를 징수하고 있으며 이를 Table 4와 같이 생산자가격, 작물 당 투입되는 가상수량 등을 이용하여 농산물 가격에 포함되어있는 농업용수의 가격을 알아보고 국내와 비교하였다. 그 결과 미국의 쌀 생산 시 가상수 투입량은 1,454 m<sup>3</sup>/ton이며 쌀 1톤당 생산자 가격은 353달러로 조사되었는데 이를 가상수 투입량에 곱하여 적용해 본 결과 톤당 41.16달러가 쌀 1톤 생산 시 포함된 농업용수의 가격으로 계산되었고 생산자가격 353달러의 11.5% 수준임을 확인할 수 있었다. 중국과 같은 방식으로 미국의 농업용수 가격을 국내 농업용수가격에 반영해 보았는데 그 결과 한국의 쌀 1톤 생산 시 가상수 투입량 929 m<sup>3</sup>/ton에 0.028달러를 적용하였고 26달러가 쌀 1톤 생산에 들어가는 농업용수의 가격이고 한국 쌀 생산자가격 1,634달러에서 1.6%를 차지하는 것으로 계산되었다.

**Table 4.** Percentage of water cost in South Korea's rice producer price in case of Unites States' water price.

Classification	United States	South Korea
Virtual water (m <sup>3</sup> /ton)	1,454	929
Producer price (USD/ton)	353	1,634
Agricultural water price (USD/ton)	40.7	26.0
Percentage of water cost (%)	11.5	1.6

### Conclusion

전 세계적으로 물 자원 고갈에 대한 문제인식이 점차 확대되어가고 있는 상황이고 국내에서도 수자원 고갈문제에 대한 대책마련의 목소리가 커져가고 있는 상황이지만 구체적인 대안이나 대책에 대한 연구는 부족한 현실이다. 특히 국내 용수사용의 50% 수준을 차지하고 있는 농업용수는 식량자급률 목표 상승과 물 보유량의 고갈문제 등이

맞물려있고, 생산에 들어가는 물의 사용량 증가와 그에 따라 발생하는 문제들에 대한 대책 및 대안 마련에 대한 요구가 점차 확산될 것으로 예상된다. 하지만 농업용수는 그 사용량에 대한 파악이 쉽지 않기 때문에 가상수 이론을 이용하여 농산물 별 농업용수 투입량을 산정하였고 이를 통해 농업용수의 가치를 산정하기 위한 방법으로 미국과 중국의 농업용수 가격을 국내 용수의 가격으로 적용시켜보았다. 중국의 가격을 적용해 보았을 때 한국의 쌀 생산자 가격의 0.3%의 비중을 보이고 미국의 농업용수 가격을 적용할 경우 농업용수 가치가 국내 쌀 생산자 가격에서 차지하는 비중은 1.6%로 나타났다. 위의 결과를 통해 농산물 가격과 농산물가격에서 농업용수의 가치가 차지하는 비중에 대해서 확인해 볼 수 있고 농산물 가격에 어떤 영향이 있는지를 예상해 볼 수 있었다. 이를 통해 추후 농업용수에 효율적인 관리 방안으로 가격부과에 대한 요구가 있을 때 가상수이론 등을 이용한 기초연구로 활용할 수 있을 것이다. 최근 OECD 가입 국가들은 농산물에 물 가격을 받지 않는 국가들을 대상으로 물 값을 받아야 물이 절약되고 국제 농산물시장이 왜곡되지 않는다고 주장하는 목소리들이 나오고 있는 상황에서 한국 또한 물 자원의 고갈과 농업용수 소비량의 증가로 결국 관개수로정비 및 농업용수 가격부과 같은 대책을 마련해야 하는 상황이다. 이러한 주장에 대한 대책으로 대규모 농업국인 미국, 중국의 가격을 반영하여 나온 물의 가치를 적절하게 활용할 수 있다면 농업용수로 인한 가격왜곡주장은 줄어들고 합리적이고 효율적인 물 소비에 도움이 될 수 있을 것이다. 특히 기존의 농업용수에 대한 비용은 물의 사용량에 대한 것 보다는 물을 사용할 때 들어가는 비용을 기준으로 했던 것인데 가상수 개념을 통해 물이 사용된 것만큼의 비용을 계산해 볼 수 있어 의미가 있을 것이다. 그렇지만 아직까지 가상수는 교역량과 국가 수자원 수요 및 공급량과의 단순 비교 및 대체는 불가능한 상황으로 가상수를 직접 국가 수자원 계획에 활용하기 위해서는 보다 심도 있고 체계적인 가상수에 대한 연구와 검토를 통해 좀 더 구체적이고 효율적인 물 관리에 대한 방안을 마련할 수 있을 것이다.

## References

- Ahn JH, Lee JG, Lee SH, Hong IP. 2010. Evaluation of virtual water calculation method in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association* 43:583-595. [in Korean]
- Allan JA. 2003. Virtual water - the water, food and trade nexus, useful concept or misleading metaphor? *Water International* 28:4-11.
- Chapagain AK, Hoekstra AY. 2004. Water footprints of nations, Value of water research report series No. 16, UNESCO-IHE.
- Kim YH, Kim HS, Kim JS. 2012. A Study on the introduction and utilization of virtual water to agriculture. Korea Rural Economic Institute. [in Korean]
- KOTRA. 2017. Korea trade-investment promotion agency overseas market news, China water poverty country. Accessed in <http://news.kotra.or.kr/user/globalAllBbs/kotranews/> on 8 Sep 2017. [in Korean]
- Lee EK, Hong SJ. 2016. Analysis of the relationship between garlic and onion acreage response. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:136-143. [in Korean]
- Lee SH, Choi JY, Yoo, SH. 2010. International virtual-water flows related to coffee trade in Korea. *The KCID Journal* 17:62-73. [in Korean]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2016. Water vision 2020. [in Korean]
- OECD. 2010. OECD environmental outlook to 2050, OECD Publishing.
- Seo JW, Kim YH. 2016. An analysis of the relationship between farming capability of farmers and farm household income. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:127-135. [in Korean]
- Yoo SH, Choi JY, Kim T, Im JB, Chun C. 2009. Estimation of crop virtual water in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association* 42:911-920. [in Korean]