



쌀 생산 및 소비에 따른 지역 간 청색 가상수 흐름 추정을 통한 지역 수자원의 기여도 분석

Analyzing the Contribution of Regional Water Resource through the Regional Blue Water Flows of Rice Products

이상현* · 최진용** · 유승환***,† · 김윤형****

Lee, Sang-Hyun · Choi, Jin-Yong · Yoo, Seung-Hwan · Kim, Yoon Hyung

Abstract

The aim of this study is to analyze the contribution of regional water resources through the gap between water used for rice production and water used for consumption. The blue water use for rice production and for consumption was quantified and the regional blue water flows were estimated using the virtual water concept from 1995 to 2010. About 1134.4 Mm³/yr of blue water flowed among the provinces and metropolises of Korea, and about 28.5 % of total blue water flows came from Jeonnam province. In addition, blue water usage for rice was classified into three categories: water for production, internal consumption, and overproduction in each region. In Jeonnam, 633.8 Mm³/yr of blue water totally used for rice production, and 50.9 % and 15.5 % were used for external and internal rice consumption, respectively. The other 33.6 % was used for over production of rice for food security. This study assumed the blue water flows depended on the gap between virtual water use for rice production and consumption. However, the analysis of regional blue water usage and flows might show the importance of other region's water resources, and make policy decision-makers aware of the integrated water management among the regions.

Keywords: Regional virtual water flow; water footprint; water contribution; blue water

1. 서 론

우리나라의 경우 쌀에 대한 자급률이 2010년도에 104.5 %에 도달하였고(MIFAFF, 2010) 전체 수자원의 47 %를 농업용수 공급을 위하여 사용되고 있다. 따라서 대도시 지역보다는 주요 작물 생산지역인 농촌지역의 농업수자원 시설을 중심으로 수자원 관리에 관한 연구가 집중적으로 수행되어 왔다. 그러나 국내의 경우 작물의 생산지와 소비지가 극명하게 구분되는 구조로서, 대도시의 작물 소비는 타 지역의 농촌에서 생산된 작물을 통하여 이루어지게 된다. 특히, 지난 30년

동안 국내의 인구는 대도시로 집중화 되는 현상을 보이고 있으며 이에 따라 상당량의 쌀 소비가 대도시에서 발생하고 있다. 이에 따라 쌀 소비자 역시 가상적인 수자원 이용자로 고려될 수 있다. 이러한 현상을 가상수(virtual water)라는 관점에서 살펴본다면 농촌지역의 수자원이 대도시의 작물 소비를 위하여 사용되고 있는 것으로 간주할 수 있다.

가상수는 작물의 단위 생산량 당 사용되는 물의 양을 의미하므로 작물 생산 뿐 아니라 작물 소비 측면에서 가상수의 사용량 추정이 가능하다(Allan, 1996; Hoekstra, 2003;). 현재까지 가상수에 관한 다양한 국내외 연구가 수행되어 오고 있으며 최근에 가상수의 개념을 확장한 물발자국(water footprint)의 개념이 제시되었고, 수자원의 공급원에 따라 녹색과 청색 물발자국으로 구분되고 있다(Hoekstra and Chapagain, 2008). 특히, 청색 물발자국은 인위적으로 작물에 공급되는 관개수량을 의미하기 때문에 수자원의 활용과 보다 직접적인 관계가 있다고 볼 수 있다(Schmitz et al., 2013).

현재까지 국내에서는 작물별 가상수의 정량화에 집중하여 연구가 수행되어 왔고(Yoo et al., 2014a; Yoo et al., 2014b; Lee et al., 2015b), 최근에는 Yoo et al. (2015)과 Lee et al. (2015a)에 의해서 식량의 소비와 가상수의 개념을 적용하여 식량 자급률 등의 소비 정책에 따른 가상수 사용량을 정량적

* Department of Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M University

** Department of Rural Systems Engineering, and Research Institute for Agriculture & Life Sciences, Seoul National University

*** Department of Rural and Bio-Systems Engineering, Chonnam National University

**** Department of Agricultural Economics, Chonnam National University

† Corresponding author

Tel.: +82-62-530-5182 Fax: +82-530-2159

E-mail: yoosh15@jnu.ac.kr

Received: December 10, 2015

Revised: January 19, 2016

Accepted: January 25, 2016

으로 산정한 연구가 수행된 바 있다. 국외에서는 이미 다양한 작물 및 식품, 공산품에 대한 가상수 산정 연구가 수행된 바 있고 (Chapagain and Hoekstra, 2003; Chapagain and Hoekstra, 2004; Mekonnen and Hoekstra, 2010), 식량 생산 및 소비 정책과 가상수를 연계하여 효율적이고 지속가능한 수자원 관리 정책을 제시하기 위한 연구도 수행된 바 있다 (Liu and Savenije, 2008; Schyns and Hoekstra, 2014).

가상수의 개념을 활용할 경우 작물간의 교역은 작물 생산을 위해 사용된 가상수의 교역으로 전환하여 고려될 수 있으며 이를 통하여 가상적인 수자원의 흐름을 추정할 수 있다 (Hoekstra, 2003; Aldaya et al., 2010). 따라서 가상수의 개념을 국내의 지역별 쌀 생산량 및 소비량과 적용할 경우, 쌀 생산지로부터 소비지로 이동되는 가상적인 수자원의 흐름 추정이 가능할 것으로 판단된다. 또한 추정된 가상수의 지역 간 흐름을 통하여 해당지역의 수자원이 타 지역에 기여하는 정도를 정량적으로 분석할 수 있으며, 이와 같은 관점의 수자원 기여도는 전통적인 지역단위 수자원 관리 정책에서는 간과했던 부분이다.

전 세계적으로 작물 교역과 가상수 개념을 접목하여 가상수 교역의 정량화 및 특징을 분석하는 연구가 수행된 바 있고 (Hoekstra and Hung, 2005; Hanasaki et al., 2010; Konar et al., 2013), 특히 관개용수가 직접적인 관련이 있는 청색 가상수 교역의 중요성에 대한 연구 역시 수행된 바 있다 (Biewald et al., 2014). 국내에서도 Yoo et al. (2012)은 우리나라의 곡류 수입을 중심으로 가상수 흐름을 정량화 한 바 있으며, Lee et al. (2013)은 네트워크 분석을 이용하여 전 세계 가상수 교역의 취약성을 평가한 바 있다. 그러나 가상수 흐름 및 교역에 관한 연구는 주로 국가단위로 이루어져 오고 있으며 지역단위의 가상수 흐름은 자료의 부족으로 인하여 추정하는데 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 국내의 주요 식품인 쌀 생산과 소비의 차이에 따른 청색 가상수의 지역별 사용량을 산정하고, 이를 토대로 청색 가상수 자급률을 산정하고자 하였다. 지역별 청색 가상수 자급률의 차이를 적용하여 지역 간 가상적인 청색수의 흐름을 추정하고, 최종적으로 지역별 농업수자원의 타 지역에 대한 기여도를 분석하고자 하였다.

II. 쌀 생산 및 소비에 따른 지역별 청색 가상수 자급률 분석

1. 지역별 쌀 생산 및 소비에 따른 가상수 사용량 산정

쌀의 물발자국은 생육기간동안의 작물의 필요수량과 생산

량을 적용하여 단위 생산량당 소비되는 용수량을 산정하고 이를 인위적으로 공급되는 관개수량과 자연상태에서 공급되는 유효수량을 구분하여 청색과 녹색 물발자국으로 정의한다. Yoo et al. (2014a)은 시기 및 지역별 기상조건 등에 따른 쌀의 필요수량을 산정하고, 생산량을 적용하여 시기 및 지역별 쌀의 물발자국을 산정하였다 (Table 1).

본 연구에서는 쌀의 물발자국과 지역별 생산량을 적용하여 지역별 쌀 생산을 위한 가상수 사용량을 산정하였고, 1인당 쌀 소비량과 지역별 인구를 적용하여 쌀 소비에 의한 가상수 사용량을 산정하였다 (Table 2). 즉, Table 1에 명시된 청색 물발자국 (blue water footprint, m^3/ton)은 쌀의 단위 생산량당 사용되는 관개수량을 의미하며 Table 2에 산정된 청색 가상수 사용량 (blue water use, m^3/yr)은 연간 쌀의 총 생산 및 소비에 따라 사용되는 각각의 청색 가상수의 총 사용량을 의미한다. 따라서 청색 가상수 사용량 산정방법은 아래 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 VWU_{production} (m^3) &= WF_{rice} (m^3/ton) \times production_{rice} (ton) \\
 VWU_{consumption} (m^3) &= WF_{rice} (m^3/ton) \times consumption_{rice} (ton/capita) \\
 &\quad \times population
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 VWU (virtual water use)는 가상수 사용량, WF (Water Footprint)는 지역별 쌀의 물발자국을 의미한다. $production$ 은 쌀 총 생산량, $consumption$ 은 1인당 쌀 소비량, $population$ 은 인구수를 의미한다.

Fig. 1은 1995년과 2010년의 쌀 생산량과 1인당 쌀 소비량, 인구증가에 따라 쌀 생산과 소비를 위한 청색 가상수 사용량의 차이를 보여주고 있다. 전체적으로 쌀 생산량의 감소와 1인당 쌀 소비량의 감소로 1995년 대비 2010년의 청색 가상수 사용량이 감소한 것을 알 수 있다. 그러나 여전히 쌀의 생산과 소비의 지역별 차이에 따라 청색 가상수의 사용량이 양분화되는 구조를 볼 수 있다. 특히, 경기도의 경우 2010년 인구증가에 따라 쌀 소비를 위한 청색 가상수의 소비가 증가하였고, 이에 따라 타 지역의 가상수에 의존적일 수밖에 없다. 이는 결국 쌀의 주 생산지역의 수자원이 쌀 소비 지역을 위해 기여되고 있는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 주 생산지역의 수자원 관리하는 해당 지역 뿐 아니라 주 소비지역에게도 영향을 미칠 수 있다.

시기 및 지역별 쌀 생산 및 소비에 따른 청색 가상수의 사용

Table 1 Green and blue water footprint of rice in Korea (Yoo et al., 2014a)

Regions		Green water footprint (m ³ /ton)				Blue water footprint (m ³ /ton)			
		1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
Province	Gangwon	496.2	285.0	416.5	374.1	693.1	638.1	597.1	644.5
	Gyeonggi	480.1	275.2	492.8	483.3	690.8	679.6	547.5	584.2
	Gyeongnam	324.4	508.0	455.2	460.0	840.4	469.0	603.1	591.3
	Gyeongbuk	301.6	323.7	390.7	339.3	829.5	568.3	637.1	643.1
	Jeonnam	314.4	494.2	415.2	478.7	844.6	494.2	682.5	592.6
	Jeonbuk	312.0	470.3	438.7	430.6	717.3	371.6	559.6	521.7
	Chungnam	414.2	348.8	478.5	354.0	749.7	517.1	478.6	565.3
	Chungbuk	391.3	307.4	519.9	456.2	787.1	591.2	482.2	564.1
	Jeju	430.2	416.4	603.3	917.0	991.9	1083.0	1810.4	1179.1
Metropolises	Gwangju	321.8	608.7	486.0	475.4	928.3	486.3	644.0	623.5
	Daegu	340.8	465.7	385.7	460.3	1027.4	657.0	765.4	710.1
	Daejeon	378.4	528.5	523.9	497.9	798.9	503.3	428.1	500.5
	Busan	404.9	480.1	434.8	438.5	937.0	629.8	745.5	866.2
	Seoul	545.5	312.2	454.3	574.2	764.2	679.0	601.8	579.6
	Ulsan	—	435.4	378.3	350.2	—	713.0	857.2	879.0
	Incheon	437.2	237.5	375.6	440.5	739.2	723.7	622.1	648.6

Table 2 Blue water use for rice production and consumption

Regions		Blue water use for rice production (Mm ³ /yr)				Blue water use for rice consumption (Mm ³ /yr)			
		1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
Province	Gangwon	139.2	153.8	133.2	119.2	87.9	72.5	56.8	60.1
	Gyeonggi	405.4	418.6	298.5	257.7	456.6	465.1	368.8	416.9
	Gyeongnam	467.9	236.5	275.7	249.5	279.4	106.7	119.5	117.6
	Gyeongbuk	544.1	408.3	425.7	403.2	191.9	118.2	107.7	105.6
	Jeonnam	776.6	559.0	668.6	530.9	151.0	75.5	80.7	65.3
	Jeonbuk	580.7	315.3	422.7	380.1	118.0	53.7	64.9	58.7
	Chungnam	584.0	512.1	437.8	477.5	114.5	72.9	58.6	72.1
	Chungbuk	224.1	195.4	131.3	133.7	95.1	66.2	45.7	53.8
	Jeju	0.6	0.9	5.9	3.8	43.4	42.5	62.6	39.7
Metropolises	Gwangju	40.2	21.6	23.4	18.9	101.0	50.3	59.3	58.3
	Daegu	27.3	18.8	18.3	11.6	217.4	124.5	122.5	110.1
	Daejeon	11.7	7.6	5.1	4.2	87.9	52.6	40.1	47.5
	Busan	25.5	17.2	16.9	15.3	308.9	176.3	170.6	187.4
	Seoul	2.3	2.3	1.4	0.7	675.7	512.3	382.7	355.8
	Ulsan	—	30.8	30.4	26.3	—	55.3	58.3	60.0
	Incheon	67.1	63.8	52.1	37.9	147.4	136.7	102.0	108.8

량을 산정하여 Table 1에 나타내었다. 쌀 생산을 위하여 가장 많은 청색 가상수를 사용하는 곳은 전라남도 지역으로 나타났고, 2010년에는 약 530.9 Mm³의 청색 가상수가 쌀 생산을 위하여 사용된 것으로 추정되었다. 다음으로 충청남도(477.5

Mm³), 경상북도(403.2 Mm³) 순으로 청색 가상수의 사용이 높은 것으로 나타났다. 쌀 소비에 따른 청색 가상수 사용량은 인구가 많이 분포하는 도시지역에서 높게 나타나기 때문에 2010년 기준으로 경기도 지역(416.9 Mm³)과 서울(355.8

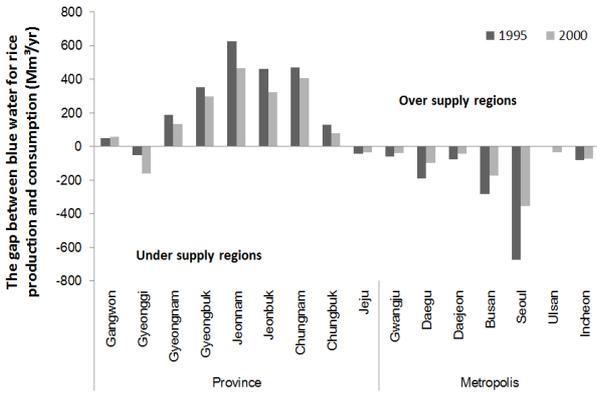


Fig. 1 The regional gap between blue water use for rice production and consumption in 1995 and 2010

Mm³이 상당량의 청색 가상수 소비지역으로 분류되었다. 반면에 쌀 생산을 위해 가장 많은 청색 가상수를 사용한 전라남도의 경우 2010년 쌀 소비에 의해서 약 65.3 Mm³의 청색 가상수를 사용하는 것으로 추정되었다. 충청남도과 경상북도 는 쌀 소비에 의해 72.1 Mm³, 105.6 Mm³의 청색 가상수가 사용되는 것으로 추정되었다.

국내의 경우 쌀이 주 식품임에도 불구하고 생산지와 소비지가 뚜렷하게 구분되는 구조이므로, 쌀의 생산 및 소비에 따른 가상수 사용량의 차이가 농촌지역과 도시지역이 뚜렷하게 양분화 되는 것을 볼 수 있다. 이러한 지역별 가상수 사용의 차이를 적용하여 지역별 가상수 자급률을 분석하고, 자급률 차이에 따른 지역 간 가상수 흐름 및 가상수 기여도를 추정 및 분석하였다.

2. 지역별 청색 가상수 자급률 분석

가상수 자급률은 쌀 생산을 위해 사용되는 가상수와 쌀 소비에 따른 가상수 사용량의 차이를 비율로 나타낸 것으로 자급률이 100 %가 넘는 지역은 타 지역의 쌀 소비를 위하여 가상수가 사용되는 것으로 간주하였다. 또한 본 연구에서는 수 자원 이용에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 관개용수 즉, 청색 가상수의 사용량을 중심으로 지역별 청색 가상수의 자급률을 산정하였고, 이를 Table 3에 나타내었다. 산정된 지역별 가상수 자급률은 지역 간 가상수의 흐름을 추정하는데 적용되었고, 지역 간 수자원 기여도를 평가할 때 활용되었다. 가상수 자급률 산정 방법은 아래 식 (2)와 같다.

$$SSR_{blue\ water} = \frac{BWU_{production}}{BWU_{consumption}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서 $SSR_{blue\ water}$ (Self-sufficiency ratio of blue water)는 해

Table 3 Blue water self-sufficiency for rice production and consumption

Regions		Blue water self-sufficiency (%)			
		1995	2000	2005	2010
Oversupply regions	Gangwon	158.4	212.1	234.4	198.2
	Gyeongnam	167.5	221.7	230.7	212.2
	Gyeongbuk	283.6	345.4	395.3	381.9
	Jeonnam	514.2	740.8	828.5	812.9
	Jeonbuk	492.2	587.1	651.7	647.2
	Chungnam	510.0	702.7	747.1	662.5
	Chungbuk	235.8	295.1	287.5	248.5
	Jeju	1.4	2.0	9.4	9.5
Undersupply regions	Gyeonggi	88.8	90.0	80.9	61.8
	Gwangju	39.8	42.9	39.4	32.4
	Daegu	12.5	15.1	15.0	10.6
	Daejeon	13.3	14.5	12.8	8.8
	Busan	8.3	9.7	9.9	8.2
	Seoul	0.3	0.5	0.4	0.2
	Ulsan	-	55.8	52.1	43.8
	Incheon	45.5	46.7	51.1	34.9
	Jeju	1.4	2.0	9.4	9.5

당지역 의 총 생산을 위한 청색 가상수 사용량 ($BWU_{production}$: Blue water use for production) 대비 해당지역의 쌀 소비에 따른 청색 가상수 사용량 ($BWU_{consumption}$: Blue water use for consumption)의 비율을 의미한다.

경기도를 제외한 도 지역 (province)의 경우 쌀 생산을 위한 청색 가상수 사용량이 쌀 소비에 따른 사용량보다 많은 것으로 나타났고, 제주특별자치도를 포함한 도시지역 (metropolis)의 경우 쌀 소비에 의한 청색 가상수 사용량이 쌀 생산을 위한 사용량 보다 많은 것으로 나타났다. 특히 대표적인 쌀 생산지역인 전라남도의 경우, 2010년 가상수 자급률이 최대 812 %까지 산정되었고, 상당량의 청색 가상수가 타 지역의 쌀 소비를 위하여 사용되는 것으로 판단할 수 있다. 충청남도 역시 가상수 자급률이 662 %로 나타났고, 쌀 소비를 위한 가상수 사용량의 6배가 넘는 양이 쌀 생산을 위해서 사용되는 것을 의미한다. 반면에 도시지역의 경우 경기도 지역을 제외하고 2010년 가상수 자급률이 60 % 이하로 나타났고, 특히 서울의 경우 가상수 자급률이 0.2 %로 매우 낮게 나타났다. 또한 대전 (8.8 %)과 부산 (8.2 %) 역시 10 % 이하의 상당히 낮은 청색 가상수 자급률을 보이고 있다.

이러한 결과는 대부분의 쌀 소비가 타 지역에서 생산된 쌀을 통하여 이루어지는 것을 의미하며, 가상수의 개념으로 접근할 경우 타 지역의 수자원을 해당지역의 쌀 소비를 위하여 사용하는 것으로 생각해 볼 수 있다. 특히, 도시지역의 가상수

자급률은 1995년부터 2010년까지 지속적으로 감소하는 추세이므로 쌀 생산지역의 수자원의 관리에 더욱 관심을 가질 필요가 있다.

III. 지역 간 가상수 흐름 추정에 따른 지역별 가상수 기여도 분석

쌀의 생산량과 소비량의 지역 간 차이에 따라 쌀의 생산을 위해 사용된 가상수의 이동이 발생하게 된다. 쌀의 생산을 위한 가상수 자급률이 100%를 초과하는 지역의 가상수는 최종적으로 자급률이 100% 미만인 지역으로 이동된다고 볼 수 있다. 즉, 가상수 과잉지역의 수자원이 가상수 부족지역으로 이동되는 것으로 간주할 수 있고, 가상수 부족지역은 과잉지역의 수자원에도 관심을 가질 필요가 있다. 그러나 지역 간의 쌀의 이동량에 대한 자료가 구축되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 가상수 과잉량과 부족량을 이용하여 흐름량을 추정하였다.

먼저 쌀의 주 생산지역들의 총 가상수 과잉량에 대한 개별 생산지역의 과잉률을 산정하였다. 다음으로 가상수 과잉지역은 동일한 비율로 부족지역들에 가상수를 공급한다는 가정 하에 과잉률과 쌀 주 소비지역의 가상수 부족량을 곱하여 개별 과잉, 부족지역 간의 가상수 흐름량을 추정하였다. 가상수 부족지역을 기준으로 산정되기 때문에 총 부족량과 같은 값이 지역별로 이동되는 것을 가정하고 있으며 지역 간 가상수 흐름량은 아래 식 (3)에 따라 추정되었고, 1995년부터 2010년까지 지역 간 가상수 흐름 추정 결과를 Table 4에 나타내었다.

$$BWF_{ij} = US_j \times \frac{OS_i}{\sum_{i=1}^n OS_i} \quad (3)$$

여기서 BWF_{ij} (blue water flow)은 가상수 과잉지역 (i)과 가상수 부족지역 (j) 간의 청색 가상수 흐름량을 의미하고, US (undersupply)는 가상수 부족량, OS (oversupply)는 가상수 과잉량을 나타낸다.

이와 같이 추정된 청색 가상수 흐름량을 적용하여 가상수 과잉 사용지역의 타 지역들에 대한 총 청색 가상수 기여도를 분석하였다. 가상수 기여도는 해당 지역의 총 생산을 위하여 사용된 가상수 중 타 지역의 쌀 소비를 위하여 사용된 가상수의 비율을 의미하고, 산정 방법은 아래 식 (4)와 같다.

$$BWC_i = \frac{\sum_j BWF_{ij}}{\sum_i \sum_j BWF_{ij}} \times 100(\%) \quad (4)$$

여기서 BWC_i (Blue water contribution)은 해당지역 (i) 청색 가상수의 타 지역들에 대한 총 기여도를 의미하고, BWF_{ij} 는 i 지역과 j 지역 j 간의 가상수 흐름 추정량을 의미한다.

지역 간의 가상수 흐름 추정 결과를 sankey 다이어그램 (<http://www.e-sankey.com/en/>)을 이용하여 Fig. 2와 같이 나타내었고, 보다 세부적인 흐름 결과는 Table 4에 나타내었는데 연평균 1,134.4 Mm³/yr의 청색 가상수가 가상수 공급 과잉지역으로부터 부족지역으로 이동하는 것으로 나타났다. 가장 많은 청색 가상수의 이동을 보이는 지역은 전라남도로서 연평균 322.8 Mm³/yr의 청색 가상수가 경기, 서울, 부산 등의 지역으로 이동되는 것으로 추정되었다. 특히 전라남도와 서울 간의 청색 가상수 이동량은 약 144.5 Mm³/yr으로 나타났고, 이는 서울지역의 총 가상수 유입량의 약 28%를 차지하는 양이다. 다음으로 충청남도의 가상수 이동량이 크게 나타났고, 연평균 245.8 Mm³/yr의 청색 가상수가 타 지역으로 이동되는 것으로 나타났다. 청색 가상수의 유입 지역에서는 서

Table 4 Regional flows of blue water through rice production and consumption from 1995 to 2010 (Mm³/yr)

Regions		Blue water flow to									
		Gyeonggi	Gwangju	Daegu	Daejeon	Busan	Seoul	Ulsan	Incheon	Jeju	Total
Blue water flow from	Gangwon	3.9	1.5	3.4	2.1	5.2	15.9	0.7	2.2	0.8	35.6
	Gyeongnam	9.9	3.2	7.9	4.6	12.4	37.5	1.1	5.3	1.8	83.6
	Gyeongbuk	21.9	7.3	17.6	10.5	27.5	83.5	3.0	11.7	3.9	186.9
	Jeonnam	37.8	12.4	30.4	18.1	47.6	144.5	5.0	20.2	6.8	322.8
	Jeonbuk	24.5	7.7	18.9	11.2	29.7	89.9	2.9	12.7	4.2	201.7
	Chungnam	27.8	9.6	23.3	13.8	36.4	110.3	4.0	15.4	5.2	245.6
	Chungbuk	5.7	2.3	5.6	3.3	8.9	26.8	0.9	3.7	1.3	58.3
	Total	131.5	43.8	107.1	63.6	167.6	508.4	17.5	71.2	23.8	1134.4

울이 가장 많은 508.4 Mm³/yr의 청색 가상수를 유입하고 있는 것으로 나타났고, 다음으로 부산이 167.6 Mm³/yr의 유입량을 보이고 있다. 서울과 부산 등의 대도시 지역은 쌀 소비를 위하여 전라남도, 충청남도 등의 수자원을 가상적으로 사용하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 본 연구 결과는 직접적인 물의 이동을 의미하는 것이 아니라 쌀의 생산과 소비 차이에 의한 가상적인 물의 이동을 고려한 것이므로 실제 수자원의 이동을 표현하기에는 한계가 있다. 그러나 쌀 생산량과 소비량에 따른 지역 간의 가상적인 물의 이동을 유추해봄으로써 농업 지역의 수자원이 타 지역을 위해 상당량을 사용하고 있음을 알 수 있으며, 지역별 수자원 관리 정책이 대도시의 쌀 소비패턴 등에도 영향을 받을 수 있음을 제시하는데 본 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 지역 간 청색 가상수의 이동량 추정으로부터 1995년부터 2010년까지 주 생산지역 수자원의 타 지역 기여도를 추정하였고, Table 5에 결과를 나타내었다.

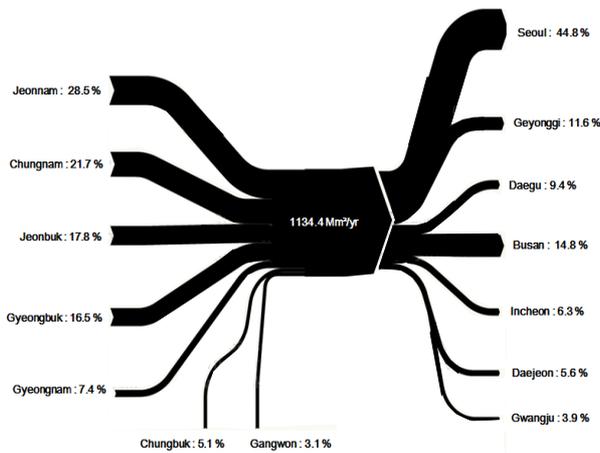


Fig. 2 Regional blue water flows through rice production and consumption from 1995 to 2010

Table 5 Blue water contribution by regional virtual water flows of rice

Oversupply region	Blue water contribution to undersupply regions (%)				
	1995	2000	2005	2010	Average
Gangwon	1,6	4,9	3,6	3,4	3,1
Gyeongnam	8,7	5,7	7,4	6,9	7,4
Gyeongbuk	15,8	16,5	16,6	17,3	16,5
Jeonnam	28,1	27,3	31,5	27,0	28,5
Jeonbuk	19,9	13,3	18,4	18,0	17,8
Chungnam	20,5	24,9	19,0	23,2	21,7
Chungbuk	5,6	7,4	3,5	4,1	5,1
Total	100	100	100	100	100

2005년 전라남도의 청색 가상수 기여도의 증가가 가장 눈에 띄게 나타났다. 2005년 전라남도의 청색 가상수 기여도는 31.5%로 나타났고, 전라남도의 농업용수 관리가 타 지역의 쌀 수급에 중요한 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 2010년에는 전라남도의 기여도가 줄어든 반면 충청남도의 청색 가상수 기여도가 23.2%로 증가하는 것을 볼 수 있다. 전체적으로 1995년과 비교하였을 때 2010년에는 경상북도와 충청남도의 청색 가상수 기여도가 증가함을 볼 수 있고, 전라남도과 전라북도 역시 높은 청색 가상수 기여도를 보이고 있다. 따라서 청색 가상수의 기여도가 높은 지역에 가뭄등의 자연재해가 발생하여 수자원 이용률이 제한될 경우 청색 가상수 유입지역 역시 심각한 문제가 발생할 수 있음을 나타낸다.

IV. 가상수 주 공급지역의 청색 가상수 사용내역 분석

쌀 생산과 소비에 따른 청색 가상수의 사용량 산정결과 및 가상수 공급 과잉지역과 부족지역 간의 가상수 흐름량을 바탕으로 주요 쌀 생산지역의 과잉 생산에 따른 청색 가상수의 사용량을 분석하였다 (Table 6).

전국적으로 청색 가상수의 기여도가 높은 곳은 전라남도의 경우, 총 청색 가상수 사용량의 50.7%를 타 지역의 쌀 소비를 위하여 사용된 것으로 분석되었다. 특히, 총 청색 가상수 사용량의 15.6% 만을 전라남도의 소비를 위해서 사용한 것으로 나타났다. 그러나 총 생산을 위한 가상수 사용량의 일부는 쌀의 과잉생산에 의해 사용되는 것으로 추정되었다. 즉, 생산을 위해 사용된 총 가상수에서 해당 지역 및 타 지역의 쌀 소비를 위한 가상수를 제외한 양은 생산지역의 쌀 비축을 위하여 사용되는 것으로 간주하였다. 청색 가상수의 기여도가 가

Table 6 Blue water use in overproduction regions from 1995 to 2010

Region	Blue water use for			
	Production (Mm ³ /yr)	Consumption (Mm ³ /yr)	Over-production (Mm ³ /yr)	Other regions (Mm ³ /yr)
Gangwon	136,4	75,6	25,5	35,6
Gyeongnam	307,4	170,7	53,3	83,6
Gyeongbuk	445,3	136,1	123,2	186,9
Jeonnam	633,8	99,1	213,2	322,8
Jeonbuk	424,7	94,8	129,0	201,7
Chungnam	502,9	95,5	162,8	245,6
Chungbuk	171,1	74,3	38,8	58,3

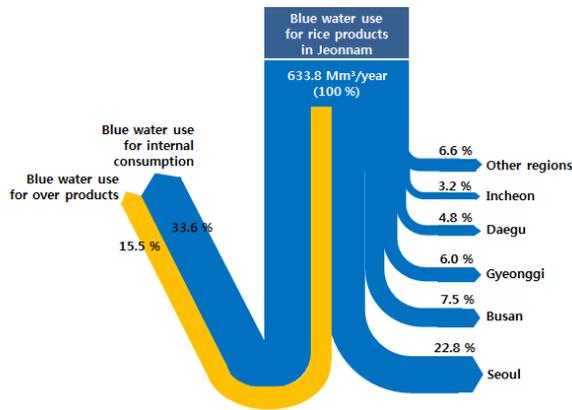


Fig. 3 The blue water flows through rice production and consumption in Jeonnam from 1995 to 2010

장 높은 전라남도의 경우 총 쌀 생산을 위해 사용된 가상수 중 33.6%는 쌀의 과잉생산에 따른 비축을 위해 사용되고 있는 것으로 추정되었다 (Fig. 3). 충청남도와 전라북도의 경우 총 청색 가상수 사용량의 약 48.6%와 47.3%를 타 지역을 위해서 사용하는 것으로 나타났고, 청색 가상수 사용량의 30% 이상을 쌀의 과잉생산에 사용하는 것으로 나타났다.

국내의 식량안보를 위한 쌀 자급률을 위해 쌀 생산량의 비축이 중요한 의미를 가지고 있지만 농업수자원의 효율적인 관리를 위해서는 청색 가상수의 총 사용량과 타 지역에 대한 기여도, 쌀의 과잉생산에 따른 청색 가상수 과잉 사용량 등을 복합적으로 고려할 필요가 있다. 본 연구결과는 이를 위한 기초자료로서 활용 가능할 것으로 기대된다.

V. 요약 및 결론

과거 30년 동안 국내의 인구는 대도시에 집중화 되는 현상을 보이고 있으며 이에 따라 주 식품의 소비가 대도시에서 발생하고 있다. 그러나 대부분의 식품은 대도시가 아닌 농촌지역에 생산되고 있다. 식품은 생산을 위해 사용된 수자원이 내재되어 있으며 이에 따라 식품 소비자 역시 가상적인 수자원 이용자로 고려될 수 있다. 또한 식품의 생산과 소비지역의 차이는 지역 간 가상적인 수자원의 흐름으로 전환시킬 수 있으며, 이러한 가상적인 수자원의 흐름을 통하여 농촌지역의 농업수자원이 대도시의 소비자들에게 기여하는 정도를 정량적으로 분석할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내의 주요 식품인 쌀 생산과 소비의 차이에 따른 수자원 자급률을 산정하고, 지역별 자급률 차이에 따른 가상적인 수자원의 흐름을 분석하여, 최종적으로 농촌지역의 농업수자원의 대도시 지역 기여도를 분석하고자 하였다.

먼저 쌀 생산과 소비를 위해 사용되는 청색 가상수 사용량의 차이를 산정하여 지역별 청색 가상수 자급률을 분석하였다. 전라남도과 충청남도의 경우 600%가 넘는 자급률을 보이는 반면 대부분의 대도시의 경우 청색 가상수 자급률은 10-30%로 나타났다. 이러한 지역 간의 청색 가상수 자급률 차이로 인하여 연평균 약 1,134.4 Mm³/yr의 청색 가상수의 지역간 흐름이 발생하는 것으로 판단되었다. 특히, 총 청색 가상수의 지역간 흐름량 중에서 전라남도는 약 28.5%의 기여를 하는 것으로 나타났고, 서울의 경우 총 가상수 이동량의 약 44.8%를 유입하고 있는 것으로 나타났다.

또한 주요 쌀 생산지역의 청색 가상수 사용 결과를 자세히 살펴보면, 전라남도의 경우 총 청색 가상수 사용량의 50.7%를 타 지역의 쌀 소비를 위하여 사용하였고, 15.6%만을 전라남도의 소비를 위해서 사용한 것으로 나타났다. 따라서 총 쌀 생산을 위해 사용된 가상수 중 33.6%는 쌀의 과잉생산에 따른 비축을 위해 사용되고 있는 것으로 추정되었다.

그러나 쌀의 지역 간 이동에 관한 실제 자료를 존재하지 않기 때문에 생산과 소비의 차이에 따른 쌀의 이동을 가정하였다는 점에 연구의 한계가 존재한다. 또한 본 연구에서는 실제 수자원 이용가능량의 정량적 분석보다는 쌀의 생산과 소비를 동시에 고려한 수자원의 사용량을 정량화하고자 하였기 때문에 수자원의 기초단위인 유역 중심이 아닌 도 지역 및 광역시의 행정 단위를 기준으로 가상수 사용량이 분석되었다.

그러나 국내의 수자원 이용가능수량 337억 m³ 중 47%인 160억 m³의 농업수자원이 해당 농촌지역 뿐 아니라 대도시의 식량 공급을 위하여 사용되고 있으며 가상수라는 개념을 적용하여 쌀 생산, 소비에 따른 수자원 사용량을 정량화 하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다. 또한 쌀의 생산과 소비의 지역 간 차이를 고려하여 수자원의 가상적인 흐름을 살펴보고, 농업수자원의 지역별 기여도를 분석하여 지역 연계형 농업수자원 관리의 중요성을 제시한 것에 의의가 있다. 결론적으로 농촌지역의 수자원 개발 및 관리는 해당지역의 생산뿐 아니라 주 소비지역인 대도시의 인구변화 또는 소비변화 등을 고려할 필요가 있으며, 따라서 본 연구의 결과는 농촌-대도시 통합형 수자원 관리를 위한 기초자료로서 활용될 수 있다.

REFERENCES

1. Aldaya, M. M., J. A. Allan, and A.Y. Hoekstra, 2010. Strategic importance of green water in international crop trade, *Ecological Economics* 69: 887-894.
2. Allan, J. A., 1996. Water use and development in arid regions: Environment, economic development and water resource politics

- and policy. *Review of European Community and International Environmental Law* 5(2): 107-115.
3. Biewald, A., S. Rolinski, H. Camoen, C. Schmitz, and J. Dietrich, 2014, Valuing the impact of trade on local blue water, *Ecological Economics* 101: 43-53.
 4. Chapagain, A. K., and A. Y. Hoekstra, 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products, Value of Water Research Report Series No. 13, UNESCO-IHE.
 5. Chapagain, A. K., and A. Y. Hoekstra, 2004. Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE.
 6. Hanasaki, N., T. Inuzuka, S. Kanae, and T. Oki, 2010. An estimation of global virtual water flow and sources of water withdraw for major crops and livestock products using a global hydrological model. *Journal of Hydrology* 384: 232-244.
 7. Hoekstra, A. Y., and P. Q. Hung, 2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environment Change* 15: 45-56.
 8. Hoekstra, A. Y., 2003. Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE.
 9. Hoekstra, A. Y., and A. K. Chapagain, 2008. Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources, Blackwell Publ., Oxford, U.K., 224.
 10. Konar, M., Z. Hussein, N. Hanasaki, D. L. Mauzerall, I. Rodriguez-Iturbe, 2013. Virtual water trade flows and savings under climate change. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 3219-3234.
 11. Lee, S. H., 2013. Potential vulnerabilities of crops virtual water trade using crops water requirement and network analysis, Seoul National University Ph. D Thesis (in Korean).
 12. Lee, S. H., J. Y. Choi, and S. H. Yoo. 2015a. Estimation of the virtual water consumption for food consumption and calorie supply, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(3): 77-86 (in Korean).
 13. Lee, S. H., J. Y. Choi, S. H. Yoo, Y. D. Kim, and A. Shin, 2015b. Estimation of water footprint for livestock products in Korea, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(2): 85-92 (in Korean).
 14. Liu, J., and H. H. G. Savenije, 2008. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China, *Hydrology and Earth System Sciences* 12(3): 887-898.
 15. Mekonnen, M. M., and A. Y. Hoekstra, 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE.
 16. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), 2010. A study on conceptualization of food self-sufficiency rate and reestablishing its target in Korea (in Korean).
 17. Schmitz, C., H. Lotze-Campen, D. Gerten, J. P. Dietrich, B. Bodirsky, A. Biewald, and A. Popp, 2013. Blue water scarcity and the economic impacts of future agricultural trade and demand, *Water Resour. Res.* 49: 3601-3617.
 18. Schyns, J. F., and Hoekstra, A. Y., 2014. The added value of water footprint assessment for national water policy: A case study for Morocco, *PLoS ONE* 9(6): e99705.
 19. Yoo, S. H., T. Kim, J. B. Im, and J. Y. Choi, 2012. Estimation of the international virtual water flow of grain crop products in Korea. *Paddy and Water Environment* 10(2): 83-93.
 20. Yoo, S. H., J. Y. Choi, S. H. Lee, and T. G. Kim, 2014a. Estimating water footprint of paddy rice in Korea. *Paddy and Water Environment* 12(1): 43-54.
 21. Yoo, S. H., S. H. Lee, and J. Y. Choi, 2014b. Estimating water footprint for upland crop production in Korea, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(3): 65-74 (in Korean).
 22. Yoo, S. H., S. H. Lee, J. Y. Choi, and J. B. Im, 2015. Estimation of potential water requirements using water footprint for the target of food self-sufficiency in South Korea. *Paddy and Water Environment* DOI 10.1007/s10333-015-0495-x.