

## 벼에 대한 지역별 물 생산성 및 잠재 물 소비량 평가

허승오\* · 최순군\*\* · 엽소진\*\* · 홍성창\*\* · 최동호\*\*\*

\*국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과 연구관 · \*\*국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과 연구사 ·  
\*\*\*전라남도 환경산업진흥원 연구개발사업부 주임연구원

## Assessment of Water Productivity & Potential Water Consumption of Rice by Each Province

Hur Seung-Oh\* · Choi Soonkun\*\* · Yeop Sojin\*\* · Hong Seong-Chang\*\* · Choi Dong-Ho\*\*\*

*\*Senior Researcher, Climate Change & Agroecology Division,  
Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences*

*\*\*Junior Researcher, Climate Change & Agroecology Division,  
Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences*

*\*\*\*Researcher, Division of Research and Development Business,  
Jeollanam-do Environmental Industries Promotion Institute*

**ABSTRACT** : Agricultural water for crops are faced with the need to improve the use efficiency due to the impact of climate change. Water productivity (WP) is known as a good indicator for assessing resources efficiency. This study was conducted to assess WP of rice and potential water consumption (PWC) as new indicator for water use efficiency assessment. The average of WP was 0.7 kg/m<sup>3</sup>, and Jeonbuk had the highest WP as 0.83 kg/m<sup>3</sup>. Kangwon and Kyungbuk had the lowest WP as 0.59 kg/m<sup>3</sup>. PWC showed the same trend because of rice consumption per capita, but Total PWC considering population living in each province showed the different trend with PWC. Every year, the changing patterns of WP was increasing little by little, and the patterns of PWC was decreasing greatly than WP. These results mean that WP has been slowly improved through breed development and irrigation techniques, and PWC was affected by reduced rice consumption and WP increasing. PWC could also be useful as an indicator to compare the water use efficiency between provinces or nations.

**Key words** : Water Productivity, Potential Water Consumption, Rice, Province

### I. 서 론

물은 작물이 생육하는데 중요한 요소의 하나로서 일반적으로 과하게 공급되거나 부족하게 공급되면 작물 생육에 불리하므로 자원낭비를 막고 환경영향을 최소화하도록 하는 적정 공급과 사용을 추구하는 효율성이 중요해진다. 이러한 효율성을 판별하기 위해서 생산함수(Park

& Ahn, 2002; Hur et al., 2019), 물발자국(Son et al. 2013; Yoo et al., 2014; Oh et al., 2017; Hur et al., 2019), 가상수(Lee et al., 2015; Lee et al., 2016), 물 생산성(WP, Water Productivity)과 같은 다양한 지표들이 사용되고 있다. 그 중 물 생산성은 작물생육에 소요되는 물의 생산 효율성을 나타내는 지표로 많이 활용되고 있다(Jiang et al., 2015; Djaman et al., 2018; Omaid et al., 2018). 생산성은 투입되는 자원과 생산되는 자원의 비율을 나타내므로 물 생산성은 공급되는 물의 양에 대한 생산물의 양에 중점을 두고 있다.

벼는 전 세계 경지면적의 약 11%를 차지하며 그 중

Corresponding author : Hur, Seung-Oh  
Tel : 063-238-2500  
E-mail : soilssohur@korea.kr

90%는 아시아에서 재배되고 있고, 전 세계에서 관개되는 농업용수의 약 80%를 소비하고 있다(Boumman & Toung, 2001; Khush, 2005). 또한 밭에서 재배되는 다른 작물과 달리 상시담수 상태로 재배해도 작물생육에 문제가 없으므로 농업인들은 상시담수, 흘러대기 등의 물 소비량이 많은 관행적 농법을 사용하고 있는 현실이다. 이러한 물 소비 특성은 기후변화 상시화가 이루어지고 있는 현재에 와서는 물 사용의 효율성을 높여 물 생산성을 높이고 환경영향을 최소화하도록 하는 요구에 직면하게 되었으며 연구자들은 이러한 문제를 해결하고자 간단관개, 녹비작물 등 다양한 방법을 통해 온실가스 감축이나 물 사용량을 줄이는 노력을 기울여왔다(Jeon et al., 2011; Lee et al., 2012; Hong et al., 2014). 그러나 이러한 연구들은 물 관리에만 초점이 있어 물 사용의 효율성을 판단할 수 있는 물 생산성 연구로 확대되지 못했다. 따라서, 본 연구는 관개되는 농업용수와 그로 인한 벼 생산의 효율성을 검토해볼 수 있도록 벼 생산에 대한 물 생산성을 산정하고, 그로부터 우리나라 국민이 벼 생산에 얼마만큼의 물을 소비하는지에 대한 기여도를 평가하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 물 생산성 (WP) 산정

물 생산성은 작물생육에 소요되는 물 소비량 당 작물의 생산량 또는 경제적 이득으로 정의된다(Omaid et al., 2018). 이는 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$WP = \frac{\text{Production (kg or \$)}}{\text{Water consumption (m}^3 \text{ or mm)}} \quad \dots(1)$$

식 (1)에서 생산량(Production)은 작물의 생산량 또는 경제적 이득을 나타내며, 물 소비량(Water consumption)은 관개량이나 작물이 증발산을 포함해 실제로 소비하는 소비량을 나타낸다. 본 연구에서는 논에 투입된 관개량을 기준으로 하였다. 또한 물 소비량의 단위는  $m^3$  또는 mm를 사용할 수 있는데, 이는  $m^3$ 는 단위면적당(10 a) 생산량과 물 소비량을 고려하면 mm로 단위로 환산할 수 있기 때문이다. 분석지역은 벼 재배면적이 많지 않은 특·광역시와 제주도는 생략한 지역을 대상으로 하였다.

### 2. 잠재 물 소비량 (PWC) 산정

Lee 등(2016)은 물발자국을 활용한 청색 가상수로 지역

별 수자원의 기여도를 제시하였고, Yoo 등(2016)은 물발자국을 활용하여 한국에서 식량자급을 달성을 위해 잠재적인 물 요구량을 산정하였다. 그러나, Wichelns(2015)은 물 부족과 수질은 지역적 문제이기에 물발자국 비교로 해결할 수 있는 문제가 아니라고 하였으며, 물발자국은 물 사용의 지속가능성, 경제적 효율성에 대한 통찰력을 제공할 수 없다고 하였다. 물의 기회비용, 생산기술의 가치나 가용성이 지역·지방·국가마다 달라 강 유역이나 국가 간 비교는 의미가 없으며, 매개변수의 경험적 가치가 유사한 강 유역이나 관개지역 내에서의 물발자국도 물 사용이나 작물생산의 효율성을 평가할 수 있는 정보 전달이 어렵다고 하였다. WP도 동일한 맥락에서 해석될 수 있으므로 이러한 관점에서 작물생산 중심의 물 사용을 최종 사용자인 소비자 중심의 물 사용을 평가하는 지표로서 1인당 잠재 물 소비량(PWC, Potential Water Consumption)을 제안한다.

1인당 잠재 물 소비량은 1인당 양곡소비량을 기준으로 물 생산성을 감안하여 1인당 쌀 생산을 위해 관개나 소비된 물의 양을 평가한다. 이는 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$PWC(\frac{m^3}{capita}) = \frac{\text{Rice Consumption(kg/capita)}}{WP(kg/m^3)} \quad \dots (2)$$

식 (2)에서 WP는 (1)에서 산정된 물 생산성을 나타내고, 분모는 1인당 양곡소비량을 나타낸다. 결과적으로 PWC의 단위는 1인당 잠재 물 소비량을 나타내므로 이는 벼 외에도 다양한 작물의 1인당 잠재 물 소비량에 활용할 수 있으며, 지역이나 국가의 총 인구를 곱하게 되면 그 지역이나 국가의 총 잠재 물 소비량(Total PWC)을 산정할 수 있다.

### 3. 통계자료 구축

분석에 이용된 벼 생산을 위한 농업용수 관개량 자료는 국토교통부의 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하고 있는 농업용수량 중에서 논에 공급된 농업용수 관개량 정보를 대상으로 하였다(Table 1). 벼 생산량 자료는 통계청의 국가통계포털(KOSIS, Korean Statistical Information Service)에서 제공하고 있는 1980년부터 2011년까지의 10 a당 벼 생산량(조곡) 자료(Table 2)를 사용하였으며, 1인당 잠재 물소비량 산정에 활용된 1인당 양곡소비량 자료(Table 2)는 통계청의 KOSIS 자료를 활용하였으며, 지역별 통계자료가 없어 전국단위 통계자료를 활용하였다. 마찬가지로 지역별 거주인구는 통계청의 KOSIS 자료를 활용하였다.

벼에 대한 지역별 물 생산성 및 잠재 물 소비량 평가

Table 1. Water consumption of paddy rice by each province

(unit : ton/ha)

Province Year	Gyunggi	Kangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Kyungbuk	Kyungnam
1980	6,584	9,171	6,799	6,569	6,628	6,797	6,945	5,119
1981	7,990	9,643	9,319	8,547	7,344	8,459	10,569	7,908
1982	10,751	12,570	12,368	12,298	11,930	11,239	14,139	10,402
1983	8,306	10,123	9,686	8,307	8,822	10,225	9,697	7,676
1984	8,761	10,318	9,435	9,190	8,743	7,872	9,684	6,700
1985	8,897	11,453	9,690	9,660	7,008	8,345	9,882	8,075
1986	7,485	10,003	9,348	8,050	8,072	7,694	10,607	8,701
1987	4,665	6,862	6,120	5,306	6,453	6,951	8,508	6,475
1988	10,242	11,438	12,261	12,091	12,418	12,270	11,874	10,238
1989	8,497	10,228	9,780	9,725	6,954	6,506	9,388	5,827
1990	5,820	7,684	8,922	7,729	7,939	8,986	9,896	8,296
1991	8,541	10,231	9,755	9,415	8,087	8,831	9,159	6,845
1992	9,259	11,064	12,886	11,745	11,000	13,014	12,976	11,550
1993	7,923	9,191	9,262	8,684	6,147	8,326	8,201	6,083
1994	9,732	12,741	14,215	12,273	12,650	14,885	16,714	14,945
1995	9,338	9,547	12,098	11,130	10,574	13,429	13,977	11,745
1996	9,697	10,416	11,589	10,788	9,434	9,527	13,039	10,455
1997	10,218	10,523	11,391	11,414	10,174	11,352	11,950	9,975
1998	7,797	7,997	8,965	7,522	8,075	9,746	9,299	8,394
1999	10,291	10,720	10,868	10,457	8,556	7,531	9,321	6,416
2000	9,977	10,134	8,722	9,378	6,940	6,936	9,841	7,197
2001	10,463	11,439	11,988	11,918	11,075	11,596	13,506	10,846
2002	9,790	10,288	10,938	9,765	9,134	8,340	11,398	9,199
2003	6,655	7,791	6,207	5,742	5,061	5,383	6,317	5,654
2004	9,886	11,146	10,625	8,888	8,248	9,897	10,341	10,062
2005	8,895	10,310	9,294	7,712	8,180	10,655	11,457	10,232
2006	9,243	9,772	9,219	9,506	7,306	7,939	11,937	9,342
2007	7,953	9,655	6,725	6,672	5,799	7,983	9,630	9,027
2008	7,772	9,411	10,984	9,717	9,807	11,699	12,713	12,612
2009	10,383	11,126	11,854	10,845	9,856	10,323	12,984	10,766
2010	7,580	9,913	9,333	7,587	7,416	7,930	12,052	9,722
2011	8,083	9,509	8,103	7,856	8,463	9,607	12,123	10,107

III. 결과분석

1. 지역별 벼 물생산성(WP)

Molden 등(2010)은 벼를 생산하는 나라들의 WP는 0.15-1.6 kg/m<sup>3</sup> 범위에 있다고 하였으며, 이러한 폭넓은 범위는 기후조건, 품종, 병충해, 토양 및 양분상태 등의 다양한 영농방법에 따라 달라지기 때문이라고 하였다.

우리나라의 벼에 대한 물 생산성은 위와 같은 이유로 지역별로, 연도별로 다양한 값을 보여주고 있다(Table 2). 전체적으로 WP는 0.31-1.24 kg/m<sup>3</sup> 범위에서 평균적으로는 0.70 kg/m<sup>3</sup>를 보여주고 있어 Molden 등(2010)의 결과 범위 내에 있다. 지역별로 경기도는 평균 0.72 kg/m<sup>3</sup>, 범위는 0.56-1.20 kg/m<sup>3</sup>를, 강원도는 평균 0.59 kg/m<sup>3</sup>, 범위는 0.31-0.85 kg/m<sup>3</sup>를 나타내고 있고, 충청북도는 평균 0.66 kg/m<sup>3</sup>, 범위는 0.42-1.06 kg/m<sup>3</sup>를, 충청남도는 평균 0.76 kg/m<sup>3</sup>, 범위는 0.53-1.18 kg/m<sup>3</sup>를 나타내고 있다. 전

Table 2. Annual yield of paddy rice by each province & rice consumption per capita

Year	Annual yield of paddy rice (kg/10a)								Rice consumption per capita (kg)	
	Province	Gyunggi	Kangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Kyungbuk		Kyungnam
1980		480	285	366	511	535	496	288	370	132.4
1981		555	526	560	608	655	588	577	572	131.4
1982		602	555	627	664	681	630	598	542	130.0
1983		567	533	638	666	669	639	622	585	129.5
1984		608	584	650	695	690	675	636	608	130.1
1985		577	587	658	688	685	668	626	568	128.1
1986		611	576	642	673	706	635	631	585	127.7
1987		562	580	650	624	668	587	615	548	126.2
1988		608	549	659	700	728	701	621	604	122.2
1989		637	634	640	689	707	625	640	588	121.4
1990		541	537	592	661	687	649	624	606	119.6
1991		577	568	589	652	670	607	581	558	116.3
1992		628	588	611	659	698	613	617	577	112.9
1993		605	418	571	631	667	568	460	482	110.2
1994		601	585	604	651	672	615	615	585	108.3
1995		571	530	605	610	653	615	620	601	106.5
1996		657	623	663	706	715	690	666	663	104.9
1997		670	653	682	750	718	721	680	649	102.4
1998		637	606	638	689	680	657	595	605	99.2
1999		667	639	689	737	713	638	644	603	96.9
2000		647	652	704	748	704	676	657	620	93.6
2001		656	667	704	742	730	679	689	672	88.9
2002		649	606	661	697	663	599	645	584	87.0
2003		611	606	605	661	626	602	583	564	83.2
2004		654	632	663	723	722	659	675	659	82.0
2005		645	650	651	705	671	640	669	639	80.7
2006		643	613	645	711	702	635	668	645	78.8
2007		617	611	615	677	654	588	641	618	76.9
2008		673	650	681	734	726	654	707	696	75.8
2009		669	692	695	751	767	653	730	682	74.0
2010		588	609	647	690	694	628	687	642	72.8
2011		582	630	656	697	697	635	691	657	71.2

라북도는 평균 0.83 kg/m<sup>2</sup>, 범위는 0.53-1.24 kg/m<sup>2</sup>를, 전라남도는 평균 0.71 kg/m<sup>2</sup>, 범위는 0.41-1.12 kg/m<sup>2</sup>를 보여주고 있으며, 경상북도는 평균 0.59 kg/m<sup>2</sup>, 범위는 0.37-0.92 kg/m<sup>2</sup>를, 경상남도는 평균 0.70 kg/m<sup>2</sup>, 범위는 0.39-1.01 kg/m<sup>2</sup>를 나타내고 있다. 도별비교를 해보면 전라북도가 가장 WP가 좋았던 반면 강원도와 경상북도가 가장 작은 값을 보여주고 있다. 이는 강원도와 경상북도의 생산량이 전체 평균보다 각각 7%, 1% 낮은 반면 관

개량은 평균보다 6%, 15% 많았기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 강원도와 경상북도는 WP를 개선시키기 위해서 생산량을 향상시키거나 관개관리 개선을 통해 물 사용 효율성을 향상시켜야 할 것이다.

Table 3. Water productivity of rice by each province (unit : kg/m<sup>3</sup>)

Province	Gyung gi	Kang won	Chung buk	Chung nam	Jeon buk	Jeon nam	Kyung buk	Kyung nam
Average	0.72	0.59	0.66	0.76	0.83	0.71	0.59	0.70
Maximum	1.20	0.85	1.06	1.18	1.24	1.12	0.92	1.01
Minimum	0.56	0.31	0.42	0.53	0.53	0.41	0.37	0.39
STD*	0.12	0.10	0.14	0.16	0.17	0.15	0.11	0.14

\* STD : Standard Deviation

## 2. 지역별 1인당 잠재 물 소비량(PWC) 및 총 잠재 물 소비량(TPWC)

지역별 1인당 PWC는 양곡소비량에 대한 분석 자료가 지역자료가 아닌 전국자료를 기준으로 하였기에 WP와 동일한 경향을 나타냈다. 전북의 PWC가 가장 작은 값을 보였고, 강원과 경북이 가장 높은 PWC를 나타내고 있다. 평균적으로는 쌀 생산에 소비된 1인당 PWC는 157.8 m<sup>3</sup>/capita이었으며, 지역별로는 경기도가 146.9, 강원이 185.4, 충북이 165.6, 충남이 142.7, 전북이 130.4, 전남이 153.8, 경북이 184.1, 경남이 153.9 m<sup>3</sup>/capita의 물을 잠재적으로 사용하고 있었다(Table 4).

그러나 지역별 인구를 감안하면 1인당 PWC와는 다른 결과를 보여주고 있다. 인구를 감안한 TPWC는 경기도가 약 12억 m<sup>3</sup>으로 잠재적으로 가장 많은 물 소비를 하였으며, 경남 약 4.9억 m<sup>3</sup>, 경북 약 4.5억 m<sup>3</sup> 순으로 높은 값을 나타냈다. 그 다음으로 전남이 약 3억 m<sup>3</sup>, 충남이 2.4억 m<sup>3</sup>, 강원이 2.3억 m<sup>3</sup>, 전북이 2.2억 m<sup>3</sup>을 보였으며, 충북이 2.1억 m<sup>3</sup>으로 가장 작은 값을 보여주고 있다. 평균적으로는 약 4.2억 m<sup>3</sup>이 잠재적으로 소비된 것으로

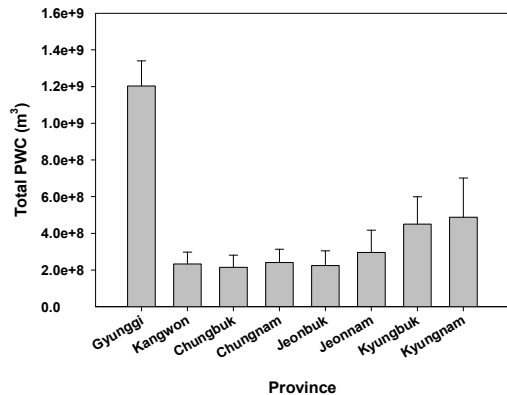


Figure 1. Total PWC in consideration of total capita living in each province

Table 4. Potential water consumption per capita of rice by each province (unit : m<sup>3</sup>/capita)

Province	Gyung gi	Kang won	Chung buk	Chung nam	Jeon buk	Jeon nam	Kyung buk	Kyung nam
Average	146.9	185.4	165.6	142.7	130.4	153.8	184.1	153.9
Maximum	232.2	426.1	256.4	240.8	227.7	262.1	319.3	276.7
Minimum	87.5	107.0	84.1	72.3	67.3	74.4	90.2	83.4
STD*	37.6	68.4	50.8	44.5	41.0	46.8	56.3	44.6

\* STD : Standard Deviation

나타났다(Fig. 1). WP나 1인당 PWC와는 다른 이러한 결과는 각 지역에 거주하는 인구를 반영하였기에 최종적으로 소비자가 소비하는 물의 양을 나타낼 수 있어 지역간·국가간 비교에 유의미하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 3. 벼에 대한 물생산성(WP)과 1인당 잠재 물 소비량(PWC) 경향분석

연도별 평균값을 이용한 WP와 PWC의 변화는 서로 다른 양상을 나타내고 있다. WP는 통계적으로 유의하지는 않지만 조금씩 상승하는 경향을 보여주고 있으나, 반대로 PWC는 통계적으로 유의하게(p < 0.001) 하락하는 경향을 보여주고 있다. WP는 품종 개량이나 관개기술의 발달로 조금씩 개선이 되고 있다고 생각할 수 있으나 통계적으로 유의하지 않기에 결론을 내리기는 어렵다. 반면에 PWC는 WP의 개선과 1인당 양곡소비량의 감소가 복합적으로 작용해 양곡소비량의 감소보다 더 급격하게 감소하는 것으로 여겨지며, 양곡소비량과 인구감소가 이루어지는 지역은 더욱 급격하게 감소될 것으로 생각된다.

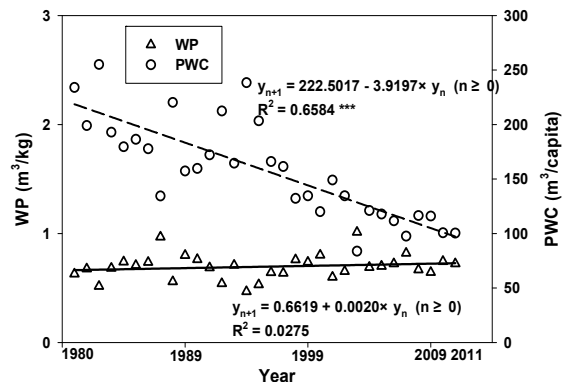


Figure 2. Trend analysis on WP & PWC per capita for rice

## IV. 고 찰

OECD는 2000년대에 국가별 농업용수의 효율적 사용을 비교하기 위하여 농업용수 사용지표를 설정하고 국가별 자료를 제시하였었다(2003). 농업용수 사용지표는 기술적 사용지표와 경제적 사용지표로 구분이 되었었고 이는 결과적으로 물 생산성(WP) 산정과 동일한 수식과 의미를 지닌다. WP는 벼보다는 밭작물이 크게 나타나는 것이 일반적이기 때문에 작목별 비교는 유의미하지 않지만, 동일한 작물 내에서는 물 사용의 효율성이나 지속성을 살펴볼 수단으로서 의미를 살펴볼 필요가 있다. 본 연구는 벼 생산에 대한 관개용수와 효율성을 검토해볼 수 있도록 물 생산성을 산정하고, 그로부터 우리나라 국민이 벼 생산에 얼마만큼의 물을 소비하는지에 대한 기여도를 평가하고자 하였다.

우리나라에서 생산되는 벼의 평균 WP는 0.70 kg/m<sup>3</sup>로서 물 1톤을 투입해서 벼 0.7kg을 생산한다는 의미이며, 이는 Cai와 Rosegrant(2003)의 2021-2025년 미래 전망에 따른 선진국의 WP인 0.57-0.63 kg/m<sup>3</sup>보다 높은 결과로 벼 재배 국가 중 물 생산성이 선진국 수준이라고 판단할 수 있다. 1인당 잠재 물 소비량(PWC)은 작물 중심의 물 사용을 사용자 중심의 물 사용 평가지표로 도입하고자 제안하였으며 쌀을 소비함으로써 발생하는 잠재적인 물 소비량을 나타낸다. 본 연구에서의 평가 결과 우리나라에서 쌀에 대한 1인당 PWC는 157.8 m<sup>3</sup>/capita로서 국민 1인이 쌀을 소비함으로써 157.8톤의 물을 소비하고 있음을 나타내고 있다. 여기에 인구수를 감안하면 지역이나 국가별 총 잠재 물 소비량(TPWC)을 산정할 수 있어, 지역·국가 규모에 따른 작목별 총 물 소비량을 비교할 수 있는 지표가 될 수 있다. 또한, WP와 PWC의 변화는 상반된 경향을 나타내고 있는데, WP는 관개기술과 품종·재배기술의 개선으로 미약하게나마 증가하는 경향인 반면, PWC는 쌀 소비량의 급격한 감소로 뚜렷이 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이러한 변화는 물이용 효율성 측면에서는 바람직하다고 할 수 있으나 농업의 지속성 측면에서 쌀 소비량의 지속적 감소는 벼농사 유지에 바람직하지 않으므로 적절한 수준에서 수렴하는 것이 필요하다고 여겨진다.

본 연구는 Wichelns(2015)이 말했던 기회비용이나 경험적 가치 등을 반영할 수 없었던 한계가 있기는 하나, 지역별로 WP를 비교함으로써 지역별로 효율적 물관리나 시설 개발·개선이 필요한 지역을 파악할 수 있고, PWC와 TPWC로 최종 소비측면에서의 지역별 물 사용 기여도를 판별할 수 있다는 점에서 연구의 의의가 있으며,

광역적으로는 TWPC를 통해 국가별 작목별 물 소비량을 비교 분석하는 기반자료로 활용 될 수 있을 것이다.

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ01343501)에 의해 이루어진 것임

## References

1. Bouman, B.A.M., & Toung, T.P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*, 49(1), 11-30.
2. Cai, X., & Rosegrant, M. (2003). World water productivity: Current situation and future options. In: Kinje, J.W., Barker, R., and Molden, D. (Eds.) *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI, Wallingford, 163-178.
3. Djaman, K., O'Neill, M., Owenel, C. K., Smea, D., Koudahe, K., West, M., Allen, S., Lombard, K., & Irmak, S. (2018). Crop evapotranspiration, irrigation water requirement and water productivity of maize from meteorological data under semiarid climate. *Water*, 10, 405.
4. Hong, E.M., Nam, W.H., Choi, J.Y., & Kim, J.T. (2014). Evaluation of water supply adequacy using real-time water level monitoring system in paddy irrigation canals. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 56(4), 1-8.
5. Hur, S.O., Choi, S.K., Yeop, S.J., Hong, S.C., & Choi, D.H. (2019). Relationship assessment on amount of irrigation water & productivity of rice by production function. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 38(3), 133-138.
6. Hur, S.O., Choi, S.K., & Hong, S.C. (2019). Assessment & estimation of water footprint on soybean and Chinese cabbage by APEX model. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 38(3), 159-165.
7. Jeon, W.T., Hur, S.O., Seong, K.Y., Kim, M.T., & Kanf, U.G. (2011). Effect of green manure hairy vetch on rice growth and saving of irrigation water. *Korean Journal of Soil Science & Fertilizer*, 44(2), 181-186.
8. Jiang, Y., Xu, X., Huang, Q., Huo, Z., & Huang, G. (2015). Assessment of irrigation performance and water

- productivity in irrigated areas of the middle Heihe River basin using distributed agro-hydrological model. *Agricultural Water Management*, 147, 67-81.
9. Khush, G.S. (2005). What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. *Plant Molecular Biology*, 59, 1-6.
  10. Lee, D.B., Jung, S.C., So, K.H., Jeong, J.W., Jung, H.C., Kim, G.Y., & Shim, G.M. (2012). Evaluation of mitigation technologies and footprint of carbon in unhulled rice production. *Climate Change Research*, 3(2), 12-142.
  11. Lee, S.H., Choi, J.Y., & Yoo, S.H. (2015). Estimation of the virtual water consumption for food consumption and calorie supply. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 57(3), 77-86.
  12. Lee, S.H., Choi, J.Y., Yoo, S.H., & Kim, Y.H. (2016). Analyzing the contribution of regional water resources through the regional blue water flows of rice products. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 58(1), 73-80.
  13. Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A., & Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4), 528-535.
  14. OECD. (2003). *Agricultural water quality and water use : Developing indicators for policy analyses*. OECD Expert Meeting Gyeongju, National Institute of Agricultural Science and Technology. The Republic of Korea.
  15. Oh, B.Y., Lee, S.H., & Choi, J.Y. (2017). Analysis of paddy rice water footprint under climate change using AquaCrop. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 59(1), 45-55.
  16. Omaid, N., Golam, R., Abid, H., David, M., Shahriar, W., & Bijan, D. (2018). Low water productivity for rice in Bihar India – A critical analysis. *Water*, 10, 1082.
  17. Park, J.E., & Ahn, I.C. (2002). Stochastic frontier production function analysis on the technical efficiency of Korean rice farming. *Journal of Chungbuk Development Review*, 13(2), 123-143.
  18. Son M.J., Kim I., & Cha K.H. (2013). Water footprint assessment on major agricultural products – A case of water footprint assessment on cabbages. *The Korean Society of Life Cycle Assessment* 14(2), 98-109.
  19. Wichelns, D. (2015). Virtual water and water footprints: Overreaching into the discourse on sustainability, efficiency and equity. *Water Alternatives*, 8(3), 396-414.
  20. Yoo, S.H., Choi, J.Y., Lee, S.H., & Kim, T.G. (2014). Estimating water footprint of paddy rice in Korea. *Paddy and Water Environment*, 12(1), 43-54.
  21. Yoo, S.H., Lee, S.H., Choi, J.Y., & Im, J.B. (2016). Estimation of potential water requirements using water footprint for the target of food self-sufficiency in South Korea. *Paddy and Water Environment*, 14(1), 259-269.
- 
- Received 28 October 2019
  - First Revised 11 November 2019
  - Finally Revised 15 November 2019
  - Accepted 15 November 2019