

## 우리나라 가상수량 산정방법의 적용성 평가

## Evaluation of Virtual Water Calculation Method in Korea

안재현\* / 이재근\*\* / 이승호\*\*\* / 홍일표\*\*\*\*

Ahn, Jae Hyun / Lee, Jae Geun / Lee, Seung Ho / Hong, Il Pyo

## Abstract

Virtual water is defined as the volume of water to produce commodities and provide services, which has been developed by Tony Allan since the early 1990s. This research aims to evaluate a volume of virtual water trade in Korea from 1998 to 2007 by applying the evaluation method of unit virtual water volume to agricultural, live stock and industrial products, which is developed by Chapagain and Hoekstra (2004). Also, the concept of water footprint is deployed to quantify the volume of virtual water trade between countries. The study attempts to assess the appropriateness of the evaluation method of unit virtual water volume by employing the method to calculate the total amount of agricultural products in Korea and comparing this with the amount of agricultural water demand in the Korea Water Vision 2006. The research outcome shows that Korea has a net virtual water import of 32 billion  $m^3$  on average in the form of agricultural, live stock and industrial commodities whose volume gradually increases. The gap between the volume of virtual water import of agricultural and live stock commodities and the total volume of agricultural water use reaches approximately 600 million  $m^3$ . This figure can be negligible considering the total volume of water demand in Korea, around 16 billion  $m^3$ , which demonstrates the validity of the evaluation method in terms of analyzing water balance.

**Keywords** : virtual water, water trade, water footprint, water budget

## 요 지

가상수(假想水, Virtual Water)란 일정량의 농산물, 축산물, 공산품과 같은 생상품 혹은 서비스 제공에 필요한 물의 양을 뜻하는 것으로 1990년대 초반 Tony Allan 교수가 처음 제시하였다. 본 연구는 Chapagain and Hoekstra (2004)이 제시한 농축산물 및 공산품의 단위 가상수량 산정방법을 분석 및 적용하여 1998년부터 2007년까지 우리나라의 가상수 수출입량을 산정하였다. 또한 가상수 수출입을 국가간 정량화하는 방법론으로 물발자국(Water Footprint) 이론을 이용하였다. 그리고 2006년 우리나라 농작물 생산량에 단위 가상수량을 적용하여 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)의 농업용수 수요량과 비교함으로써 단위 가상수 사용의 적절성을 검토하였다. 연구결과 현재 우리나라는 연평균 320억  $m^3$ 의 가상수를 농축산물 및 공산품의 무역을 통하여 순수입하고 있으며 그 양은 지속적으로 증가추세를 보이고 있다. 생산되는 농작물의 가상수량과 농업용수 수요량의 차이는 약 6억  $m^3$ 으로서 전체 수요량이 약 160억  $m^3$ 인 점을 감안한다면

\* 서경대학교 토목공학과 조교수

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Seokyeong University (e-mail: wr@skuniv.ac.kr)

\*\* 서경대학교 도시환경시스템공학과 석사과정

Graduate Student, Department of Civil Engineering, Seokyeong University (e-mail: sepilove@hanmail.net)

\*\*\* 교신저자, 고려대학교 국제대학원 조교수

Corresponding Author, Assistant Professor, Graduate School of International Studies, Korea University (e-mail: seungholee@korea.ac.kr)

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원

Research Fellow, Water Resources Research Department, Korea Institute of Construction Technology (e-mail: iphong@kict.re.kr)

상대적으로 근소한 차이로서 본 연구에서 적용한 단위 가상수량 산정방법이 타당함을 입증하였다.

**핵심용어** : 가상수, 가상수 수출입량, 물발자국, 물 수지

## 1. 서 론

가상수(Virtual Water) 이론은 1990년대 초반 영국의 Tony Allan 교수에 의해 창시된 것으로 일정량의 농산물, 축산물, 공산품과 같은 생산품 혹은 서비스 제공에 필요한 물의 양을 뜻한다(Allan, 2003). 이 이론이 최근 주목을 받는 이유는 기존의 물 부족 해소를 위한 접근방법이 한 국가 혹은 지역에 국한하여 해결책을 제시하고자 했다면 가상수 이론은 국제무역을 통한 물의 이동을 개념화하여 물 부족 해소방안을 정치경제학적 관점에서 풀고자하는 새로운 해결방식을 제시하였기 때문이다.

가상수는 거시적인 면에서 한 국가의 보다 정확한 물 수지 계산뿐만 아니라 이를 근거로 국가수자원계획을 수립할 수 있는 유용한 논거를 제시한다. 예를 들어 물이 부족한 국가는 많은 가상수량이 필요한 농작물 생산을 지양하여 농업용수량으로의 물 배분을 줄이고 가상수량이 적게 소요되는 공산품으로의 물 분배를 늘림으로써 높은 부가가치를 창출, 국제 농산물 시장에서 저렴한 가격으로 부족한 식량을 보충할 수 있다. 전 세계 물 부족에 대해 이와 같은 국제무역을 중심으로 한 해결책 제시는 궁극적으로는 물, 식량 부족 문제를 정치적인 충돌이나 이해 상충 없이 유연하게 처리할 수 있는 좋은 정책근거가 된다.

가상수량의 계산은 여러 가정과 다양한 데이터를 이용한 분석을 통해 이루어지며 그 계산과정에 대한 신뢰성은 지속적인 논란의 여지를 가지고 있다. Chapagain and Hoekstra (2004)는 단위가상수량 산정방법을 제시하고 이에 따른 국가 가상수 흐름을 나타냈다. 이 방법은 나름대로의 기준과 절차가 타당한 것으로 인정받고 있으며, 그 신뢰성도 높은 상황이다. Hoekstra and Hung (2005)은 농작물 무역을 통한 국제적인 가상수 흐름 분석을 통하여 전 세계 수자원 현황을 검토하였다. Hoekstra and Chapagain (2007a)는 이 방법을 이용하여 모로코와 네덜란드사이 물 흐름을 분석하였는데 특히 커피와 차의 교역에 의한 물 흐름을 분석하였다.

Chapagain and Hoekstra (2004)은 전 세계 주요 국가별로 농축산물 품목별 가상수 소비량을 산정한 후, 국가별 전체 가상수량을 계산하였다. 국가별 가상수량의 계산을 위해서는 해당 국가의 농축산물 품목별 가상수 소비량의 산정이 매우 중요하며, 전체 가상수량은 이들 값의 변화에 전적으로 의존하게 된다.

우리나라에서는 유승환 등 (2009)이 연간 농업 가상수 사용량 및 작물 1 ton을 생산하는데 필요한 가상수량을 산정한 바 있다. 44가지 작물에 대한 생산량 및 재배면적 자료와 작물별 소비수량을 계산하였으며, 이를 통해 논벼의 가상수량이 연구결과 전체 농업용수 가상수량은 75% 정도 차지함을 보였다.

본 연구에서는 물발자국 산정방식을 논의하고 Chapagain and Hoekstra (2004)이 농축산물별 가상수 소비량을 결정한 절차를 살펴보았다. 또한 산정된 우리나라의 단위 가상수량을 이용하여 전체 가상수 수출입량을 산정하고 품목별 소비량을 살펴보고 평가하였다. 이를 통해 쌀, 밀 등의 농산물, 소고기, 돼지고기 등 축산물 등에 소요된 가상수의 양 및 각종 공산품에 소요된 가상수의 양을 분석하여 우리나라의 가상수 이용현황을 파악하고 이에 따른 국내 산업구조와 국제무역으로 인한 가상수량 변화를 검토하였다. 또한 국내의 용수수요량 산정결과와의 비교분석을 위해 2006년 우리나라 농작물 생산량에 단위 가상수량을 적용, 수자원장기종합계획에서 산정한 농업용수 수요량과 비교하고 단위 가상수 사용의 적절성을 판단하였다.

## 2. 이 론

### 2.1 물발자국 산정 방법

가상수 이론의 큰 의미 중 하나는 한 국가의 가상수 수출, 수입량을 파악함으로써 단순히 기존 물 수지 계산방법으로 파악된 수자원의 양에 따른 수자원배분계획의 문제점을 바로 잡는다는 점이다. 따라서 이 이론을 통해 그 국가 내의 수자원부존량과 이용량뿐만 아니라 타 지역의 물 사용량까지 파악하게 되고 해당 국가의 실질적인 물 소비량을 파악할 수 있기 때문에 이를 확대하면 전 세계의 물 부족을 국제무역을 통해 완화할 방안을 모색할 수 있는 것이다.

물 발자국 이론은 한 국가 내의 수자원 총량 산출시 국제 무역을 통해 수출입 되는 가상수의 양까지 고려하여 해당 국가의 물 수지를 계산한 것으로 기존의 물 수지 계산에서 쓰인 직접적인 물 사용(해당 국가에서 가용한 각종 수자원)과 함께 간접적인 물 사용(타국에서 수입한 물품 생산에 소요된 타국가의 수자원)을 종합적으로 고려한 것이다.

가상수가 이동하는 현황을 파악하기 위해서는 가상수

이론과 함께 물발자국 (Water Footprint) 이론의 이해가 필요하다. 물발자국 개념은 가상수를 수출, 수입하는 국가의 수자원 상태를 고려하여 정량화시키는 방법의 제시를 통해 가상수 이론의 적용성을 향상시켰다 (Hoekstra and Hung, 2002). 물발자국 개념은 1990년대 중반 제시된 생태발자국 (Ecological Footprint) 개념과 유사하다. 생태발자국은 경제활동에 필요한 에너지 및 물질의 소비, 쓰레기 배출이 모두 일정 면적의 땅이나 물의 생산 또는 흡수 능력을 요구한다고 가정하고 자연에 대한 총 부하를 토지 면적으로 환산한다. 그런데 물발자국은 개인이나 지역, 집단 등이 소비하는 재화와 서비스를 생산하는 필요한 물의 총량을 뜻한다 (Hoekstra and Chapagain, 2008).

물발자국 이론은 기본적으로 한 국가에서 소비되는 농축산물, 공산품을 해당 국가에서 모두 생산할 수 없다는 가정 하에 어떤 한 국가의 수자원 총량은 해당 국가의 국민이 소비하는 모든 물품 생산에 필요한 물의 양이라는 점을 설명한다. 이것은 해당 국가의 부존 수자원 총량뿐만 아니라 수입하는 물품 생산에 투입된 수자원 총량을 포함하는 것이기도 하다.

Hoekstra and Chapagain (2007b)에 의하면 물발자국 계산은 내부 물 발자국 (Internal Water Footprint)와 외부 물발자국 (External Water Footprint)의 합으로 구성된다. 우선, 내부 물발자국 산정 공식은 다음과 같다.

$$IWFP = AWU + IWW + DWW - VWE_{dom} \quad (1)$$

여기서 IWFP는 Internal Water Footprint (내부 물발자국)을 뜻하고 AWU는 Agricultural Water Use (농업용수량), IWW는 Industrial Water Withdrawals (산업용수량), DWW는 Domestic Water Withdrawals (생활용수량), VWE<sub>dom</sub>은 Virtual Water Export (가상수 수출량)인데 해당 국가의 부존 수자원을 이용한 것만을 포함한다. 외부 물발자국을 산정하는 공식은 다음과 같다.

$$EWFP = VWI - VWE_{re-export} \quad (2)$$

여기서 EWFP는 External Water Footprint (외부 물발자국)을 뜻하고 VWI는 Virtual Water Import (가상수 수입량), VWE<sub>re-export</sub>는 가상수 수출량 중에서 외국의 수입물품을 이용해 만든 물품의 수출량을 말한다 (Hoekstra and Chapagain, 2007b).

## 2.2 농작물의 단위가상수량 산정 방법

한 국가의 작물 생산을 위한 총 물 사용량 (AWU, m<sup>3</sup>/yr)은 Eq. (3)과 같이 계산된다.

$$AWU = \sum_{c=1}^{n_c} CWU[c] \quad (3)$$

여기서, CWU (crop water use)는 특정한 작물을 생산하기 위하여 사용되는 물의 총 양이며 Eq. (4)와 같이 계산된다.

$$CWU[c] = CWR[c] \times \frac{Production}{Yield[c]} \quad (4)$$

여기서, CWR (crop water requirement)은 경작지별 측정된 작물의 물 필요량이고, Production은 작물 c의 연간 총 생산량, Yield는 경작지의 단위 넓이 당 수확량 (ton/ha)이다.

CWR은 증발산에 사용된 물의 총 양으로 정의된다. 적절한 양의 토양수분이 강우와 관계에 의해 유지되는 경우 주어진 작물을 추수하는데 있어서 특정한 기후상황은 작물의 성장과 수확량을 제한하지 않는다 (Allen et al., 1998). 위의 상황에서 작물이 아무런 물의 공급부족 없이 재배되는 경우 작물의 증발산량은 CWR과 같게 된다. 그러므로 실제 작물 물 사용량 (CWU)의 지표로서 CWR을 사용한 가정은 성립한다. 하지만 이것은 작물의 물 사용량의 과대산정을 이끈다. 그러나 한편으로 본 연구에서는 작물재배를 하는 동안 물 필요량인 관개손실과 배수장치에서의 손실을 과소산정 하여 오차를 줄였다. 작물 물 필요량은 작물이 완전하게 자라는 기간 동안 일별 작물 증발산량 ET<sub>c</sub>의 합으로 Eq. (5)와 같이 산정된다.

$$CWR[c] = 10 \times \sum_{d=1}^{lp} ET_c[c, d] \quad (5)$$

10은 mm단위를 m<sup>3</sup>/ha로 적용시키기 위한 변환계수이고 Eq. (5)는 재배의 시작 날로부터 재배가 끝나는 마지막 날 (lp=일별로 작물이 자라는 기간을 의미)까지의 합으로 계산된다. 일별 작물 증발산량은 ‘기준 작물 증발산량 (reference crop evapotranspiration) ET<sub>o</sub>와 작물 매개변수 K<sub>c</sub>의 곱으로 다음과 같이 나타낸다.

$$ET_c[c] = K_c[c] \times ET_o \quad (6)$$

기준 작물 증발산량은 토양수를 충분히 이용할 수 있는 특성의 성장 조건하에서의 잔디 (grass)의 증발산량을 말한다. ET<sub>o</sub>에 영향을 주는 유일한 요소는 기후 매개변수이다. ET<sub>o</sub>는 작물의 유형이나 토질 특성과는 상관없이 특정 지역과 시간에 따른 대기권의 증발력을 나타낸다. 실제 증발산량은 기준 작물 증발산량과 명백히 다르다. 일반적인 풀 종류로부터 경작물을 분리하는 특성의 영향은 작물계수 K<sub>c</sub>를 통해 나타낸다. K<sub>c</sub>를 결정하는 중요 요

소는 작물의 종류 및 기후 그리고 성장 시기이다. 예를 들어 강한 바람이 불고 건조한 기후라면  $K_c$ 의 값은 더 높게 나타나고 바람이 적게 불고 습한 기후라면  $K_c$ 의 값은 더 적을 것이다.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \quad (7)$$

여기서,  $ET_o$ =기준증발산량 (mm/day),  $R_n$ =순방사 (MJ/m<sup>2</sup>/day),  $G$ =토양열 유동밀도 (MJ/m<sup>2</sup>/day),  $T$ =2m 높이에서 일평균기온,  $U_2$ =2m 높이에서 풍속 (m/sec),  $e_s$ =포화증기압 (kPa),  $e_a$ =실제증기압 (kPa),  $(e_s - e_a)$ =대기의 포화증기압 부족량 (kPa),  $\Delta$ =포화증기압과 온도곡선의 기울기 (kPa/°C),  $\gamma$ =psychrometric constant이다.

각 국가별로 단위 가상수량의 차이가 나는 이유 중에 증발산량이 각 지역별 기후 특성에 따라 달라지기 때문인데 세계식량농업기구 (FAO)에서는 각 국가별로 산정된 증발산량을 제시한다. 우리나라를 포함한 주요 국가의 증발산량은 Table 1과 같다.

위의 과정을 거쳐서 국가별  $c$ 라는 작물의 단위 가상수량 (m<sup>3</sup>/ton)은 대상 지역의 전체 작물  $c$ 의 연간 생산량 (ton/yr)에 대한 작물  $c$ 를 생산하기 위해 소요된 연간 물 사용량 (m<sup>3</sup>/yr)의 비로 정의 된다. 작물  $c$ 의 단위 가상수량은 다음과 같다.

$$VWC[c] = \frac{CWU[c]}{Production[c]} \quad (8)$$

여기서,  $CWU[c]$ 는 국가에서  $c$ 라는 작물을 생산하기 위해 사용되는 총 물의 양이고,  $Production[c]$ 는 국가에서 작물  $c$ 를 연간 생산하는 총양이다.

## 2.2 축산물의 단위 가상수량

축산물의 가상수량은 동물이 먹는 사료가 재배되고 가공될 때 사용되는 물의 총양과 동물에게 제공되는 음용수

그리고 농장을 치우거나 동물을 씻기는데 등 여러 가지 서비스 물의 총양으로 정의 된다. 축산물의 가상수량은 동물의 유형과 농장 운영 시스템, 사료의 소비형태 및 소비량 그리고 사료가 재배되는 지역의 기후 조건에 의해 결정된다. 따라서 축산물  $a$ 의 단위 가상수량은 다음과 같이 세 부분으로 구성된다.

$$VWC[a] = VWC_{feed}^a[a] + VWC_{drink}^a[a] + VWC_{serv}^a[a] \quad (9)$$

여기서,  $VWC_{feed}^a[a]$ ,  $VWC_{drink}^a[a]$ ,  $VWC_{serv}^a[a]$ 는 각각 축산물  $a$ 에 해당하는 사료의 가상수량, 동물에게 제공되는 음용수량 그리고 서비스 되는 물의 총 양을 나타낸다.

축산동물이 일생동안 사용하는 사료의 가상수량은 두 부분이 있다. 첫 번째는 사료를 혼합하는 과정에서 요구되는 실질적인 물의 양이고 두 번째는 사용된 사료의 구성 성분의 가상수량으로서 다음의 식과 같이 산정된다.

$$VWC_{feed}^a[a] = \frac{\int_{출생}^{도축} \left\{ q_{mixing}^a[a] + \sum_{c=1}^n VWC[c] \times Feed[a,c] \right\} dt}{W[a]} \quad (10)$$

$q_{mixing}^a[a]$ 는 사료를 혼합하는데 요구되는 물의 양 (m<sup>3</sup>/day)이다.  $Feed[a,c]$ 는 축산물에 의해 소비되는 사료의 양 (ton/day)이고  $W[a]$ 는 축산물이 도축되기 직전의 체중이다.

축산동물의 일생동안 제공되는 음용수의 양은 축산물이 마신 가상수의 총 양과 정확히 일치하지는 않지만 차이가 크지 않으며 다음과 같이 산정된다.

$$VWC_{drink}^a[a] = \frac{\int_{출생}^{도축} q_d^a[a] dt}{W[a]} \quad (11)$$

축산물 서비스에 사용된 물의 양은 농장을 치우기 위해 사용된 물과 동물을 씻기 위해 사용된 물 그리고 다른 여러 필요한 환경을 유지 및 관리하기 위해 사용된 물의 합과 같고 다음과 같이 산정된다.

Table 1. Reference Evapotranspiration per Country (mm/day)

Country	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	$ET_o$
Korea	0.90	1.19	1.90	2.93	3.64	3.55	3.43	3.70	3.02	2.37	1.50	1.02	2.43
Australia	5.96	5.79	4.53	2.15	1.97	2.36	2.64	3.15	4.11	4.87	4.68	5.62	3.99
Canada	0.01	0.06	0.24	0.79	1.60	2.36	2.70	2.28	1.41	0.69	0.19	0.05	1.03
France	0.44	0.76	1.36	2.12	2.77	3.44	4.02	3.40	2.42	1.36	0.73	0.47	1.94
German	0.24	0.52	1.11	1.95	2.82	3.32	3.42	3.11	1.99	1.11	0.53	0.27	1.70
Japan	0.84	0.99	1.42	2.20	2.81	2.80	3.05	3.34	2.68	2.04	1.34	0.93	2.04
UK	0.36	0.57	0.98	1.52	2.11	2.47	2.51	2.21	1.50	0.89	0.49	0.34	1.33
USA	0.46	0.74	1.33	2.18	3.00	3.79	4.01	3.52	2.67	1.66	0.84	0.47	2.06

$$VWC_{serv}[a] = \frac{\int_{\text{출생}}^{\text{도축}} q_{serv}[a] dt}{W[a]} \quad (12)$$

$q_d[a]$ 와  $q_{serv}[a]$ 는 각각 축산물의 일별 음용수 필요량과 서비스 물 필요량 ( $m^3/day$ )이다.

### 2.3 가공된 농축산물의 단위 가상수량

가공된 농축산물의 가상수량은 원상태 농축산물의 가상수량에 의해 결정된다. 농축산물의 가상수량은 특정 농축산물로부터 각각의 제품으로 분배된다. 각각의 개별적인 농축산물 제품  $p$ 는 오직 하나의 특정 농산물  $c$ 나 축산물  $a$ 로부터 온다고 가정하였다. 추후 과정의 간소화를 위하여 특정국가  $e$ 에서 수출되는 제품  $p$ 는 오직 그 국가의 국내 수자원을 사용함으로써 생산되어진 농산물  $c$ 나 축산물  $a$ 로부터 생산된다고 가정하였다.

Chapagain and Hoekstra (2004)는 가상수량의 체계적인 분석을 위해 생산의 수준 (level of production)을 제시하였다. 원상태의 농축산물로부터 직접 분리되는 제품은 1차 제품으로 선정 하였다. 예를 들어 소의 경우 우유와, 시체, 가죽은 그것들의 1차 제품이다. 또한 벼로부터 탈곡을 거쳐서 1차 농산품인 쌀을 얻고, 콩으로부터 1차 농산품으로서 콩기름 원유를 얻는다. 우유로부터 만들어진 치즈나 버터 또는 동물의 시체로부터 가공된 육류, 소시지와 같은 제품은 2차 제품으로 선정한다.

원상태의 농축산물로부터 가공되어진 제품의 가상수량은 원상태의 농축산물의 가상수량과 가공시 필요로 하는 물의 양의 합으로 정의된다. 가공용수는 다음과 같이 계산된다.

$$PWR[c \text{ or } a] = \frac{Q_{proc}[c \text{ or } a]}{W[c \text{ or } a]} \quad (13)$$

여기서,  $PWR[c \text{ or } a]$ 는 1차 제품을 생산하기 위하여 농산물  $c$ 나 축산물  $a$ 의 ton당 가공시 필요한 물의 양 ( $m^3/ton$ )이다.  $Q_{proc}[c \text{ or } a]$ 는 농산물  $c$ 나 축산물  $a$ 를 가공할 경우 필요로 하는 물의 총양 ( $m^3$ )이고  $W[c \text{ or } a]$ 는 주요 농축산물의 총 무게 (ton)이다.

가공용수 ( $PWR$ )와 원상태의 농산물의 가상수량 ( $VWC_c$ ) 또는 원상태의 축산물의 가상수량 ( $VWC_a$ )의 합계는 생산부분과 가격부분으로 분류하여 가공된 제품에 적용된다.

제품  $p$ 의 생산부분  $pf[p]$ 는 주요 농축산물로부터 단위 ton당 얻어진 1차 제품의 무게로 정의 된다 (Chapagain and Hoekstra, 2003). 예를 들어 1 ton의 버가 가공을 거쳐 0.62 ton의 쌀로 나온다면 쌀의 생산부분은 0.62이다. 농축산물의 생산부분  $pf$ 는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$pf[p] = \frac{W_p[p]}{W[c]}, \quad pf[p] = \frac{W_p[p]}{W[a]} \quad (14)$$

$W_p[p]$ 는 주요 농산물  $W[c]$  또는 축산물  $W[a]$ 을 가공할 경우 ton당 얻어지는 1차 제품  $p$ 의 무게이다. 일반적으로 제품은 농축산물의 단지 한 부분에서 생산되므로 생산부분은 하나 이하이다. 그러나 우유나 달걀과 같이 축산동물의 일생 중 얻어지는 경우 생산부분은 하나 이상일 수 있다.

Chapagain and Hoekstra (2003)는 원상태의 농축산물을 가공하는데 있어서 두 개 이상의 제품을 얻는다면 원상태의 농축산물의 가상수량을 기초로 하여 가격부분과 생산부분에 분배하여야 한다고 제시하였다. 원상태의 농축산물로부터 얻어지는 모든 제품의 시장가격의 총 합에 대한 그 제품의 시장가격의 비로서 가격부분  $vf[p]$ 는 다음과 같다.

$$vf[p] = \frac{v[p] \times pf[p]}{\sum (v[p] \times pf[p])} \quad (15)$$

분모는 원상태의 농산물  $c$ 나 축산물  $a$ 로부터 얻어진 1차 제품에 대한 합이며 변동하기 쉬운  $v[p]$ 는 제품  $p$ 의 시장가격 (US\$/ton)이다. 1차 제품  $p$ 의 가상수량 ( $VWC$ ,  $m^3/ton$ )은 다음과 같이 산정된다.

$$VWC[p] = (VWC[c \text{ or } a] + PWR[c \text{ or } a]) \times \frac{vf[p]}{pf[p]} \quad (16)$$

같은 방법으로 2차와 3차 제품의 가상수량이 산정된다. 첫 번째 단계로 원 (root)제품과 그것을 가공할 때 필요로 하는 물의 가상수량을 먼저 확인한다. 이 두 부분을 합한 가상수량은 그들의 생산부분과 가격부분에 근거하여 다양한 발생 (output)제품으로 분배된다.

### 2.4 공산품의 단위 가상수량

산업용품의 단위 가상수량은 위에 소개한 농축산물의 단위 가상수량계산 방법과 비슷하지만 수많은 항목과 광범위한 범위 그리고 국가적으로 산업용품 생산과 소비가 연관되어 있기 때문에 상세한 표준 통계치 산정에 어려움이 있다. 세계적으로 산업분야에서 소비되는 물의 양은 연간 716 Gm<sup>3</sup>으로 세계 총 물 사용량의 10% 미만이다 (Chapagain and Hoekstra, 2004). 공산품은 농축산품목에 비해 그 영향성이 낮으므로 산업분야의 국가별 단위 달러당 가상수량 ( $VWC$ ,  $m^3/US\$$ )을 적용하여 다음과 같이 산정된다.

$$VWC[e] = IWW[e] / GDP_i[e] \quad (17)$$

$IWW$ 는 국가의 연간 산업용수 소비량 ( $m^3/yr$ )이고  $GDP_i$ 는 한 국가의 국내총생산 ( $GDP$ )의 한 부분인 산업

분야에서의 생산 금액이다. 산업용품의 세계 평균 가상수량( $VWC_g$ )는 다음과 같이 정의되며, 이는 단위 금액 당 가상수량을 의미한다.

$$VWC_g = \sum_{e=1}^n IWW[e] / \sum_{e=1}^n GDP_i[e] \quad (18)$$

산업용품의 수출로서 발생하는  $e$ 라는 국가에서 수출되는 총 가상수량( $VWE$ )는 산업용품의 수출가격과 그 제품의 달러당 가상수량( $VWC$ )의 곱으로 다음과 같이 산정된다.

$$VWE[e] = VWC[e] \times \text{Export Value of Industrial Products}[e] \quad (19)$$

산업용품의 수입과 관련하여 가상수 수입량( $VWI$ )는 산업분야의 세계 평균 가상수량( $VWC_g$ )를 사용하여 계산된다.

$$VWI[e] = VWC_g \times \text{Import Value of Industrial Products}[e] \quad (20)$$

## 2.5 국가 전체 가상수량 및 가상수 흐름

같은 기간 동안 가상수 총 수입량과 총 수출량의 차이는 그 국가의 가상수 수지를 나타낸다. 본 연구에서는 국가에 수입 수출되는 가상수량의 다양한 계산 과정을 도식화 하여 Fig. 1과 같이 나타내었다.

무역과 관련하여 국제적인 가상수 흐름은 무역량과 그

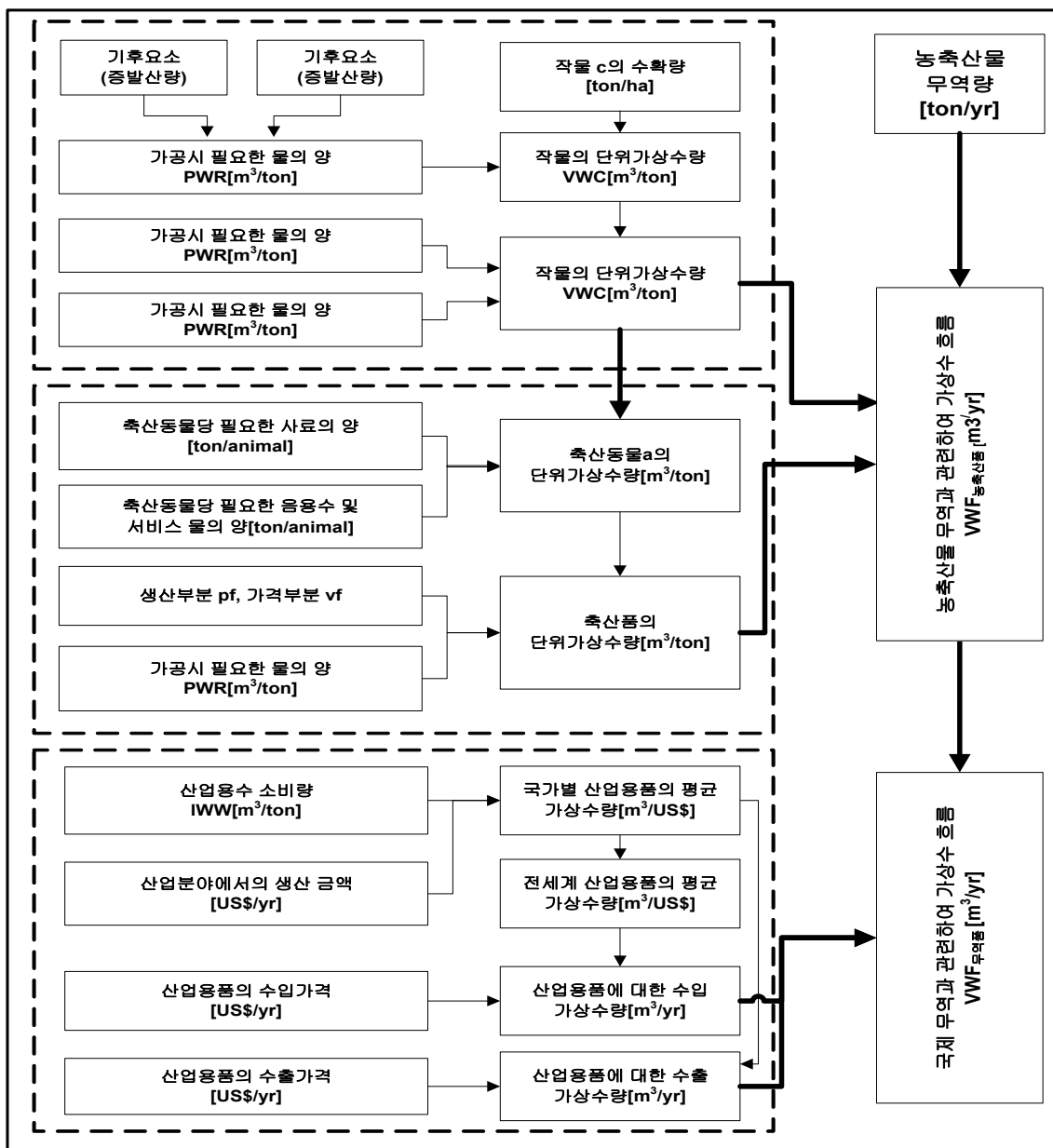


Fig. 1. Step in the Calculation of Virtual Water Flows of a Country

각각의 품목의 가상수량의 곱으로 계산된다. 예를 들어 어떠한 제품  $p$ 의 수출결과로서 수출국  $e$ 로부터 수입국  $i$ 로의 가상수 흐름  $VWF$  ( $m^3/yr$ )는 다음과 같이 계산된다.

$$VWF[e, i, p] = PT[e, i, p] \times VWC[e, p] \quad (21)$$

$PT$ 는 수출국  $e$ 로부터 수입국  $i$ 로의 연간 거래량 ( $ton/yr$ )이다.  $VWC$ 는 수출국의 제품  $p$ 의 단위 가상수량 ( $m^3/ton$ )이다.

### 3. 우리나라 농축산품 및 공산품의 단위가상수량

#### 3.1 주요 농축산품의 단위가상수량

위에서 소개한 방법으로 결정된 주요 농작물의 가상수량을 Table 2에 나타내었다. 특히 주요 선진국들과 우리나라의 비교를 위해 총 8개국의 현황을 함께 표시하였다. 우리나라에서 가장 높은 단위 가상수량이 소요되는 것은 홉으로서 11,390 ( $m^3/ton$ )이었고 밤 (5,016  $m^3/ton$ )과 콩/

Table 2. Virtual Water Content of Primary Crop per Country ( $m^3/ton$ )

Crop	Virtual Water ( $m^3/ton$ )							
	Korea	Australia	Canada	France	German	Japan	UK	USA
Wheat	988	1,588	1,491	895	757	734	501	849
Rice, Paddy	1,301	1,022	-	1,553	-	1,221	-	1,275
Barley	825	1,425	1,120	886	826	697	650	702
Maize	1,042	744	353	482	442	1,493	-	489
Rye	662	6,513	1,588	492	352	-	686	332
Millet	3,070	1,951	-	-	-	3,100	-	2,143
Sorghum	2,312	1,081	-	494	-	-	-	782
Buckwheat	2,555	-	1,782	1,107	-	3,450	-	2,850
Potatoes	170	150	106	112	97	113	74	106
Sweet Potatoes	232	365	-	-	-	170	-	286
Beans	2,541	2,791	950	1,036	-	1,422	-	1,480
Chestnuts	5,016	-	-	2,982	-	6,733	-	-
Soybeans	3,848	2,106	1,203	1,756	2,072	2,326	-	1,869
Cabbages	226	225	147	191	73	99	101	195
Lettuce	147	196	61	109	118	115	87	87
Spinach	132	329	148	92	97	126	-	103
Tomatoes	82	94	39	44	33	71	8	70
Pumpkins	110	313	122	66	-	188	-	340
Cucumbers	68	385	59	31	79	68	6	237
Eggplants	250	-	-	110	-	105	-	139
Peppers	904	379	120	131	-	90	14	151
Onions	150	-	-	117	-	198	311	-
Garlic	491	-	-	244	-	-	-	259
Carrots	99	157	16	105	87	86	23	54
Apples	491	735	169	212	184	317	255	252
Pears	622	572	287	323	362	296	346	196
Peaches	614	1,678	288	330	2,183	404	-	372
Plums	683	1,634	614	588	899	936	518	498
Strawberries	178	332	362	247	283	146	229	90
Watermelons	146	287	128	96	-	78	-	126
Melons	240	187	17	159	-	110	-	128
Hops	11,390	1,604	-	2,448	2,460	1,913	2,076	2,223
Ginger	2,457	-	-	-	-	-	-	88
Tobacco Leaves	1,468	1,002	912	1261	1,297	1,158	-	1,514

대두 (3,848 m<sup>3</sup>/ton)가 그 뒤를 잇고 있다. 우리나라에서 연간 수입량이 가장 많은 옥수수의 경우에는 1,042 m<sup>3</sup>/ton으로 10번째로 많은 단위 가상수량이 필요하다.

다른 나라들의 경우를 살펴보면 호주는 호밀이 6,513 m<sup>3</sup>/ton으로 가장 큰 가상수량이 필요하고, 캐나다는 메밀 (1,782 m<sup>3</sup>/ton), 프랑스는 밤 (2,982 m<sup>3</sup>/ton) 등이다. 독일은 우리나라와 유사하게 홉 (2,460 m<sup>3</sup>/ton)이 가장 많은 단위 가상수량을 필요로 하는 작물로 보고되었으나 상대적 인 값은 우리나라의 1/5 정도에 불과하였다. 독일 홉의 단

위 가상수량이 작은 이유는 독일은 맥주 제조를 위한 홉의 생산이 많은 나라이고 관련 물 공급 체계 및 시스템이 선진화되어 단위 물소비량이 작기 때문인 것으로 판단되며, 이는 우리나라에 시사하는 바가 크다. 나라별 농작물의 품목별 가상수량 차이는 각 나라의 기후, 토양, 관련 생산 규모, 물 공급 시스템의 효율 등에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

Table 3에서는 주요 국가별 축산물의 가상수량을 비교하였다. 모든 국가에서 소 정액이 가장 높은 값을 보여주

**Table 3. Virtual Water Content of Livestock per Country (m<sup>3</sup>/ton)**

Livestock	Virtual Water (m <sup>3</sup> /ton)							
	Korea	Australia	Canada	France	German	Japan	UK	USA
Horses	5,408	6,251	5,567	4,689	4,672	5,549	4,659	5,874
Mules and Hinnies	5,408	6,251	5,567	4,689	4,672	5,549	4,659	5,874
Bovine	10,586	11,730	9,636	7,744	7,768	9,535	7,759	10,063
Swine	2,802	6,126	3,276	1,936	2,110	4,082	2,106	3,374
Sheep	4,710	4,852	4,225	3,841	3,858	4,286	3,893	4,281
Fowls and Poultry	1,849	2,373	1,358	795	877	2,044	784	1,304
Other Animals (Live)	10,586	11,730	9,636	7,744	7,768	9,535	7,759	10,063
Beef	17,091	18,936	15,559	12,506	12,545	15,395	12,531	16,248
Pork	3,163	6,766	3,631	2,152	2,345	4,550	2,333	3,732
Mutton	8,279	9,146	8,130	7,509	7,535	8,135	7,587	8,203
Horse and Hinny Meat	7,805	9,014	8,032	6,772	6,748	8,006	6,729	8,473
Hare Meat	2,383	3,056	1,753	1,031	1,138	2,633	1,018	1,684
Poultry Meat	2,383	3,056	1,753	1,031	1,138	2,633	1,018	1,684
Frog Legs	2,383	3,056	1,753	1,031	1,138	2,633	1,018	1,684
Other Meat	8,698	21,588	17,738	14,258	14,302	17,551	14,286	18,523
Fish Meal	1,849	2,373	1,358	795	877	2,044	784	1,304
Milk and Cream	1,815	1,580	1,072	884	927	1,427	926	1,074
Milk Powder	6,303	5,488	3,724	3,070	3,222	4,956	3,216	3,732
Condensed Milk	2,302	2,005	1,361	1,123	1,178	1,810	1,176	1,364
Yogurt	1,576	1,372	931	767	805	1,239	804	933
Whey Powder	790	688	467	385	404	621	403	468
Cheese	6,697	5,832	3,962	3,268	3,429	5,269	3,423	3,970
Bird's Eggs	2,384	2,294	1,312	769	849	1,975	759	1,261
Yolk's Eggs	4,490	4,319	2,476	1,455	1,605	3,721	1,436	2,378
Other Animal Products	9,978	11,055	9,083	7,301	7,324	8,987	7,315	9,485
Hair and Waste	9,864	18,157	11,070	7,404	7,801	12,947	7,783	11,485
Intestines of Animal	9,978	11,055	9,083	7,301	7,324	8,987	7,315	9,485
Semen Bovine	416,090	461,009	378,799	304,470	305,418	374,803	305,076	395,563
Sausage and Others	9,978	11,055	9,083	7,301	7,324	8,987	7,315	9,485
Homogenized Meat	14,485	16,048	13,187	10,599	10,632	13,048	10,620	13,770
Lives of Animal	6,973	7,725	6,348	5,102	5,118	6,281	5,112	6,629
Meat Offal or Blood	9,978	11,055	9,083	7,301	7,324	8,987	7,315	9,485
Extracts of Meat, Fish	1,849	2,373	1,358	795	877	2,044	784	1,304
Bovine Skins	12,439	14,088	11,577	9,307	9,336	11,456	9,326	12,089
Skins of Horse, Others	11,051	12,244	10,061	8,087	8,112	9,955	8,103	10,506
Sheep Skins	8,608	9,161	8,057	7,381	7,410	8,119	7,470	8,147
Shark Skin and Others	11,051	12,244	10,061	8,087	8,112	9,955	8,103	10,506



었으며, 이 항목을 제외하면 우리나라의 경우 주요 수입 축산물인 소고기가 10,586 (m<sup>3</sup>/ton)으로 가장 높게 나타났다. 다른 나라들도 대부분 소고기가 소 정액을 제외하고는 가장 많은 가상수량을 나타낸다. 축산물의 경우 농산물에 비해 국가별 편차가 아주 크지 않았는데 이는 축산물이 상대적으로 기후 등의 영향을 크게 받지 않으며 일정한 물이 지속적으로 공급되어야 어느 정도 이상 성장하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 공산품의 단위 가상수량

위의 2.4절에 설명한 과정에 따라 Table 4와 같이 1997~2001년까지 주요 국가의 공산품 단위 금액당 가상수량을 산정하였다. 우리나라의 경우 1997~2001년 공산품의 단위 금액 당 가상수량은 0.016 m<sup>3</sup>/US\$이었다 (Chapagain and Hoekster, 2004).

## 4. 우리나라 수출입 가상수량 산정 및 평가

본 연구에서는 농작물, 축산물, 공산품 3가지 분류로 나누어서 각각의 수출입량을 국내 무역 사이트 한국무역협회 (2009)의 무역정보네트워크와 농수산물유통공사 (2009)의 무역통계정보를 이용하여 조사하였다. 모든 자료의 조사기간은 1992년부터 2007년까지로 통일하였으며, 각각의 항목별 단위 가상수량은 앞에서 소개한 Tables 1 and 2에 나타낸 값을 이용하였다.

가상수 수출입량은 수출입량에 항목별 단위 가상수량을 곱하여 계산하였지만 모든 수출입 품목에 대한 단위 가상수량을 알 수 없으므로 총 가상수량을 산정하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 수출입에 대한 평균 가상수량을 적용하여 총 가상수 수출입량을 산정하였다.

평균 가상수량은 가상수량을 알고 있는 모든 품목의 연평균 수출입량을 확인한 후 그 값을 가중치로 적용하여 평균가상수량을 산정하였다. 항목별로 단위 가상수량이 차이가 많이 나고 또한 항목별로 수출입 되는 양의 차이

도 엄청나기 때문에 주로 수출입 되는 품목에 대하여 가중치를 적용하였다.

### 4.1 농작물 무역을 통한 가상수 수출입량

본 연구에서는 농작물 가상수 수출입량을 산정하기 위하여 농수산물유통공사를 통하여 조사한 1992~2007년까지의 우리나라 농작물 연도별 수입량을 대상으로 수출입 가상수량을 산정하였다. 대상 기간 동안 연평균 농작물 수입량은 약 2,200만 ton으로 나타났다. 현재 우리나라의 무역개방으로 인하여 농작물의 수입이 해마다 증가하는 추세이고 2007년도에는 약 2,600만 ton의 농작물을 수입하였다.

세부 항목을 보면 옥수수가 800만 ton으로 가장 많고 밀 (300만 ton)과 콩/대두 (100만 ton)가 그 뒤를 잇고 있다. 이 세 항목이 전체 수입량의 약 50%를 차지하고 있으며 이것은 우리나라 총 가상수 수입량의 상당 부분을 이런 품목들이 차지하고 있음을 보여준다. 농작물의 연평균 수출량은 100만 ton으로 수입량의 1/20 정도를 차지하였

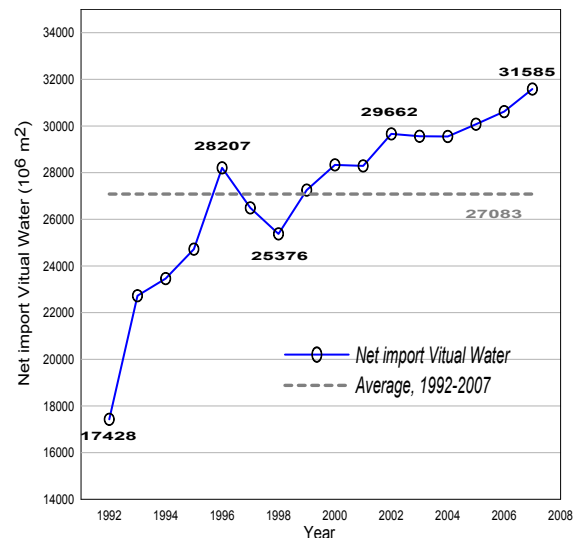


Fig. 2. Net Import Virtual Water of Crop (Korea, 1992-2007)

Table 4. Virtual Water Content of Industrial Products per Unit Added Value

Country	Population	Water Withdrawal per Unit Added Value (m <sup>3</sup> /US\$)					
		1997	1998	1999	2000	2001	Average
South Africa	42,387,403	0.033	0.035	0.037	0.038	0.043	0.037
Korea	46,813,750	0.014	0.020	0.016	0.014	0.016	0.016
Germany	82,169,250	0.049	0.047	0.049	0.056	0.057	0.051
Japan	126,741,225	0.011	0.012	0.011	0.010	0.012	0.011
USA	280,343,325	0.107	0.099	0.095	0.090	0.093	0.097
China	1,257,521,250	0.285	0.273	0.260	0.235	0.219	0.252
World	5,975,559,251	0.082	0.082	0.080	0.078	0.081	0.081

는데 이 사실은 현재 우리나라가 농작물을 통해 상당한 양의 가상수를 순수입하고 있음을 의미한다.

1992~2007년 기간 동안 농산물 가상수 수출입 산정 결과 현재 우리나라는 농작물을 통해서 연평균 288억 m<sup>3</sup>의 가상수를 수입하고 있으며 17억 m<sup>3</sup>의 가상수를 수출하고 있다. 수입량과 수출량 모두 증가하는 추세이지만 수입에 비해 수출량은 미미하게 나타났다. 현재 우리나라 무역상 황상 농작물의 수입은 계속하여 증가할 것으로 판단되고 이에 따라 가상수 순수입 또한 늘어날 것으로 예상된다. 연평균 가상수 순 수입량은 271억 m<sup>3</sup>이며, 최근 그 양은 지속적으로 증가하고 있다. 가장 최근인 2007년도에는 연 평균보다 많은 316억 m<sup>3</sup>의 가상수가 수입되었다.

#### 4.2 축산물 무역을 통한 가상수 수출입 량

본 연구에서는 축산물 가상수 수출입량을 산정하기 위해 농수산물유통공사를 통하여 1992년부터 2007년까지 연도별 수출입량을 조사하였다. 축산물의 경우 연평균 수입량은 68만 ton으로서 농작물의 2200만 ton에 비해 상당히 적은 양이지만 단위 가상수량은 훨씬 크게 나타나는 특징이 있다. 매년 축산물의 수입량은 증가하는 추세이고 2007년에는 100만 ton이 수입되었다.

그 중 가장 많이 수입된 품목은 돼지고기로서 37만 ton 이고 최고기가 24만 ton으로 그 뒤를 잇고 있다. 이 두 항목이 전체 수입량의 50% 이상을 차지하여 우리나라의 주요 축산물 수입품목이라 할 수 있다. 연평균 수출량의 경우 농작물과는 다르게 1999년에 17만 ton으로 가장 많았고 점차 줄어들어 2007년도 수출량은 9만 ton을 기록하였다. 주요 수출 품목으로는 수입과 마찬가지로 돼지고기가 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

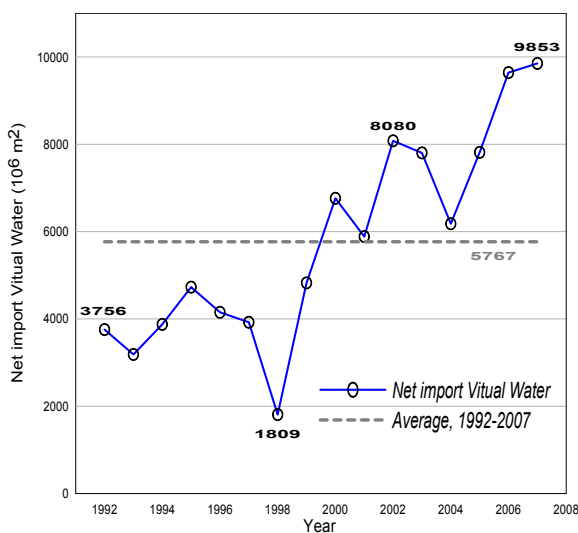


Fig. 3. Net Import Virtual Water of Livestock (Korea, 1992-2007)

축산물 가상수 수출입량 산정 결과 현재 우리나라는 축산물을 통해서 연평균 67억 m<sup>3</sup>의 가상수를 수입하고 있으며 9억 m<sup>3</sup>의 가상수를 수출하고 있다. 축산물의 경우 FTA를 통한 최고기뿐만 아니라 다른 여러 나라에 대한 무역개방으로 수입량을 지속적으로 증가 할 것으로 판단 되고 이에 따라 가상수 순 수입 또한 늘어날 것으로 예상된다. 연평균 가상수 순 수입량은 57억 m<sup>3</sup>으로 지속적으로 증가하고 있고 최근 2007년도에는 98억 m<sup>3</sup>상당한 양의 가상수가 축산물 수출입을 통하여 순 수입되고 있다.

#### 4.3 공산품 무역을 통한 가상수 수출입 량

공산품의 경우 단위 가상수량이 단위 금액 (US\$)으로 산정되었기 때문에 농축산물과는 다르게 한국무역협회의 무역정보네트워크 자료를 이용하여 1992년부터 2007년까지의 공산품 수출입 금액을 조사하였다. 현재 우리나라는 연평균 1,500억 달러의 공산품을 수출하고 있고 연평균 1,000억 달러의 공산품을 수입하고 있다. 2007년 최근에는 3,500억 달러를 공산품을 통해 수출하고 2,500억 달러의 공산품을 수입하였다.

공산품을 통한 가상수 수출입량 산정결과 우리나라 공산품의 경우 무역흑자를 기록하는 상황이기 때문에 오히려 가상수 수출량이 많은 것으로 나타났다. 현재 우리나라는 공산품을 통해서 연평균 27억 m<sup>3</sup>의 가상수를 수출하고 있고 19억 m<sup>3</sup>의 가상수를 수입하고 있어 2002년도 부터 수출량이 더욱 증가하여 2007년에는 17억 m<sup>3</sup>의 가상수 순수출을 기록하였다. 그러나 이 수치는 농산물 315억 m<sup>3</sup>이나 축산물 98억 m<sup>3</sup>에 비해 그 양은 미미한 정도이다. 또한 이 사실은 1차 산업인 농축산물 생산에 필요한

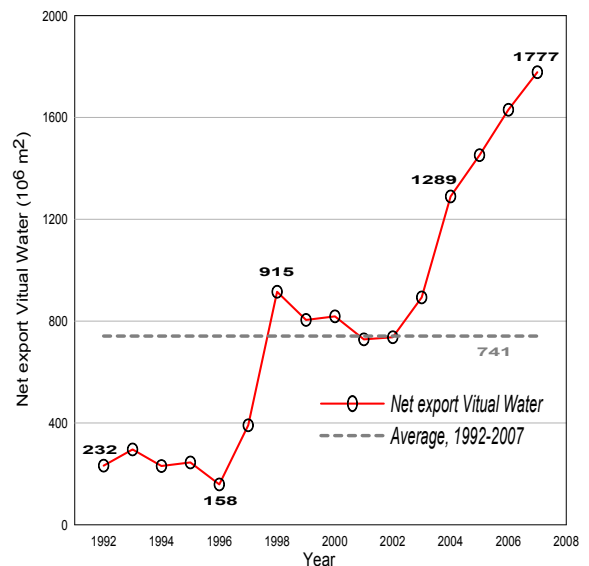


Fig. 4. Net Export Virtual Water of Industrial Products (Korea, 1992-2007)

물의 양이 2차 산업인 공산품 생산에 필요한 물의 양보다 훨씬 많다는 것을 의미한다.

#### 4.4 우리나라의 총 가상수 수출입 량

Table 5는 위의 절에서 계산된 농축산품 및 공산품의 총 수출입 가상수량을 나타낸 표이다. 우리나라 가상수 수출입량 산정 결과 1992~2007년 기간 동안 연평균 가상수 수입량은 320억 m<sup>3</sup>이었으며, 가장 최근인 2007년에는 약 400억 m<sup>3</sup> 정도가 가상수로 수입되었다. 특히 2000년대 이후에 가상수의 수입량이 지속적으로 증가하고 있고 이러한 가상수 수입량은 우리나라의 2006년 연평균 물 수요량이 약 345억 m<sup>3</sup> 정도인 것을 감안하면 매우 큰 값이다.

만약 이 수치를 토대로 우리나라 수자원정책을 수립하고자 한다면 부문별, 지역별 물 공급뿐만 아니라 수자원 정책의 전반적인 재검토가 이뤄져야 할 것이다. 특히 다른 분야보다도 많은 가상수 수입량이 많은 농축산업 분야

에 대한 물 공급 및 배분 정책에 대한 면밀한 검토가 이뤄져 분야별 용수공급량에 대한 많은 변화가 있을 수 있다. 이에 단위 가상수량 사용에 형평성을 판단하기 위하여 적절성 검토를 수행하였다.

#### 5. 가상수량 산정의 적절성 검토

본 연구에서는 우리나라에 수출입 되는 가상수량 산정을 위해 사용된 단위 가상수량의 적절성을 검토하기 위하여 2006년 건설교통부에서 실시한 수자원장기종합계획(2006~2020)의 2003년과 2006년도 시도별 농업용수 수요량 산정결과와 2003년과 2006년도 우리나라에서 생산된 농작물에 단위 가상수량을 적용하여 산정된 값을 비교하였다. 2003년도와 2006년도의 수요량은 약 160억 m<sup>3</sup>으로서 비슷하게 나타났으며 수요량은 논 용수, 밭 용수 그리고 축산 용수의 합으로 산정되었다.

Table 5. Virtual Water Flow of Korea

Item	1992~2007 (108 ton/yr)			2007 (108 ton/yr)		
	Import	Export	Net Import	Import	Export	Net Import
Crop	287.6	16.8	270.8	337.4	21.6	315.8
Livestock	66.7	9.1	57.6	107.5	8.9	98.6
Industrial products	19.6	27.4	-7.8	40.8	58.5	-17.7
Total	373.9	53.3	320.6	485.7	89	396.7

Table 6. Regional Crop Yields in Korea (10<sup>3</sup> ton)

Region	Food		Cash Crops		Fruit		Vegetable	
	2003	2006	2003	2006	2003	2006	2003	2006
Seoul	3	3	0	0	2	1	22	24
Busan	18	20	0	0	2	4	146	121
Daegu	22	26	0	0	18	21	93	91
Incheon	83	74	0	0	6	5	96	71
Gwangju	39	36	0	0	8	8	147	113
Daejeon	12	11	0	0	12	11	41	26
Ulsan	31	35	0	0	9	24	28	36
Gyeonggi-do	553	544	5	6	145	153	788	826
Gangwon-do	276	272	4	4	20	20	762	768
Chungcheonbuk-do	291	300	5	5	173	186	511	465
Chungcheonnam-do	836	900	7	7	178	161	1,025	1,047
Jeollabuk-do	726	809	5	6	82	85	820	808
Jeollanam-do	1,044	1,049	5	7	181	230	2,098	2,123
Gyeongsangbuk-do	597	679	6	6	652	710	1,005	1,185
Gyeongsangnam-do	439	495	2	3	149	253	1,016	1,131
Jeju-do	34	46	1	2	640	632	594	611
Total	5,004	5,300	41	47	2,275	2,504	9,191	9,445

축산물의 단위 가상수량의 경우 축산물의 도축 직전까지 사용된 물의 총 양(사료의 물의 양, 음용수, 서비스 용수)에 대한 무게의 비로서 산정되기 때문에 정확한 무게에 따른 각 항목의 수출입량 데이터가 있는 경우 정확한 가상수량을 산정할 수 있지만 연도별 축산용수 같은 경우는 가축이 먹는 사료의 양은 고려하지 않고 주로 서비스 용수부분만 고려하여 산정하기 때문에 무게 또는 마리 수에 따른 가상수량을 적용하기에는 어려움이 있다. 하지만 축산용수 같은 경우 전체 농업용수 수요량에 차지하는 비율이 1.4%(약 2억 m<sup>3</sup>) 정도로 매우 낮으므로 농작물의 가상수량을 계산하여 농업용수 수요량과 비교하는데 큰 문제가 없다고 판단된다.

본 연구에서는 시도별로 산정되어진 농업용수 수요량 결과와 비교하기 위하여 시도별 농작물 형태에 따른 2003년과 2006년도 생산량을 통계청(2009) 국가통계포털 사이트(<http://www.kosis.kr>) 자료를 이용해서 조사하였다. 2003년과 2006년도의 전체 생산량은 각각 16,511 ton, 17,297 ton이고 종류별로는 채소류가 약 9,000 ton으로 가

장 큰 비율을 차지하고 식량작물 약 5,000 ton, 과실류 약 2,000 ton, 특용작물 약 40 ton 순으로 나타났다.

시도별 농작물 생산량은 식량작물, 특용작물, 과실류, 채소류 4가지로 구분되어 있어서 농작물의 항목별 단위 가상수량을 위의 4가지 항목으로 구분하여 각 항목별로 평균 단위 가상수량을 산정하여 적용하였다.

산정된 종류별 평균 단위 가상수량을 시도별 농작물 생산량에 적용하여 총 가상수량을 산정하고 기존 수요량과의 비교를 Table 8에 나타내었다. 2003년도 같은 경우 계산된 가상수량과 실제 수요량은 약 14억 m<sup>3</sup> 정도 차이가 있었고 2006년도 같은 경우는 6억 m<sup>3</sup> 정도의 차이를 보였다. 실제 총 수요량이 160억 m<sup>3</sup> 정도인 점을 감안한다면 상대적으로 근소한 차이이며, 본 연구에서 사용한 단위 가상수량이 합리적인 값이라고 판단된다.

## 6. 결 론

가상수 개념은 현재 전 세계 많은 지역에서 겪고 있는

Table 7. Average Virtual Water Content of Crop per (m<sup>3</sup>/ton) in 2003 and 2006

Item	Food	Cash Crops	Fruit	Vegetable
Average Virtual Water	1889.38	1468.5	602.5	400.86

Table 8. Comparison between Virtual Water and Water Demand

Region	2003년 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		2006년 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
	Water Demand	Virtual Water	Water Demand	Virtual Water
Seoul	18	15	19	15
Busan	99	94	101	89
Daegu	121	89	123	99
Incheon	205	200	201	172
Gwangju	152	137	156	119
Daejeon	46	46	46	38
Ulsan	129	76	128	94
Gyeonggido	1,659	1,456	1,650	1,461
Gangwondo	723	845	724	841
Chungcheonbukdo	1,003	867	994	873
Chungcheonnamdo	2,412	2,108	2,395	2,226
Jeollabukdo	2,008	1,756	2,024	1,912
Jeollanamdo	3,029	2,929	3,047	2,983
Gyeongsangbukdo	2,581	1,933	2,572	2,195
Gyeongsangnamdo	1,564	1,329	1,560	1,545
Jejudo	218	690	237	715
Total	15,965	14,570 (△1,395)	15,977	15,378 (△599)

물부족 문제를 해소하고 보다 지속가능한 물관리를 실현하기 위한 새로운 접근방법으로 주목을 받고 있다. 또한 기존의 국내 물수지를 산정하여 물관리 계획을 세우고 정책을 시행하는 한계에서 벗어나 전 지구적 관점에서 물을 얼마나 효율적으로 이용하고 절약할 수 있는지를 고민할 수 있는 효율성으로 인해 많은 국가에서 물관리 계획 수립 및 정책 시행에 적극적 도입을 검토하고 있다.

본 연구에서는 단위 가상수량 산정방법을 검토하고 물발자국을 이용하여 연구방법론으로 삼았다. 그리고 이 방법론을 우리나라 농·축산품 및 공산품에 수출입량에 적용하여 전체 가상수 수출입량을 산정하였다. 또한 농작물 생산량에 단위 가상수량을 적용하여 농작물 생산에 사용되는 가상수량을 산정하였고 이 산정된 값을 수자원장기 종합계획의 농업용수 수요량과 비교하여 단위 가상수량 사용에 적절성을 판단하였다. 적절성 판단 결과 실제 수요량과 산정된 가상수량은 근소한 차이를 나타냈으며 단위 가상수량을 사용함에 있어 상당한 형평성을 나타내었다.

향후 국내 물수지를 산정하고 물관리 계획을 세우는데 가상수 개념을 적용한다면 수자원 정책에 큰 변화가 있을 것은 분명하다. 그러나 아직까지 가상수와 물발자국을 적용한 국내 연구가 부족한 상황이기 때문에 선부론 이론의 적용은 바람직하지 않다. 가상수와 물발자국 이론을 효과적으로 국내 수자원정책에 적용하기 위해서는 초기 연구를 바탕으로 국내 상황에 적합한 가상수 산정 방식을 개발하고 가상수 수출입 산정을 위한 적절한 자료의 수집과 분석이 선행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

건설교통부 (2006). 수자원장기종합계획 (2006-2020).  
 농수산물유통공사 (2009). 무역통계정보, <http://www.at.or.kr>, Accessed 2009. 10. 21.  
 유승환, 최진용, 김태곤, 임정민, 전창후 (2009). “한국의 농산물 가상수 산정”. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, Vol. 42, No. 11, pp. 911-920.  
 통계청 (2009). 농업통계정보 (작물생산량), <http://www.kosis.kr>, Accessed 2009. 10. 21.  
 한국무역협회 (2009). 무역통계정보, <http://www.kita.net>, Accessed 2009. 10. 21.  
 Allan, J.A. (2003). “Virtual Water—the water, food and

trade nexus, useful concept or misleading metaphor?” *Water International*, Vol. 28, No. 1, pp. 4-11.  
 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements—FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.  
 Chapagain, A.K., and Hoekstra, A.Y. (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.  
 Chapagain, A.K., and Hoekstra, A.Y. (2004). *Water Footprints of Nations*, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE.  
 Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q. (2002). “Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International crop trade.” Value of Water Research Report Series, No. 11, UNESCO-IHE.  
 Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q. (2005). “Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade.” *Global Environmental Change*, Vol. 15, pp. 45-56.  
 Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. (2007a). “The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities.” *Ecological Economics*, Vol. 64, pp. 143-151.  
 Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. (2007b). “Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern.” *Water Resources Management*, Vol. 21, pp. 35-48.  
 Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*, Oxford: Blackwell, p. 11

논문번호: 10-013	접수: 2010.02.04
수정일자: 2010.04.01/05.03	심사완료: 2010.05.03