

# 가상수 이론을 이용한 물수지 분석 연구

## Study of Water Balance Analysis using Virtual Water Theory

이재근\*, 이승호\*\*, 홍일표\*\*\*, 안재현\*\*\*\*

Jae Geun Lee, Seung ho Lee, Il Pyo Hong, Jae Hyun Ahn

### 요 지

가상수(假想水, Virtual Water)란 일정량의 농산물, 축산물, 공산품과 같은 생산품 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 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 Allan교수에 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 국가 수자원계획을 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

\* 정회원 · 서경대학교 도시환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : sepilove@hanmail.net  
\*\* 정회원 · 고려대학교 국제대학원 조교수 · E-mail : seungholee@korea.ac.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국건설기술 수자원연구부 책임연구원 · E-mail : iphong@kict.re.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 서경대학교 토목공학과 조교수 · E-mail : wrr@skuniv.ac.kr

한 해결책 제시는 궁극적으로는 물, 식량 부족 문제를 정치적인 충돌이나 이해 상충 없이 유연하게 처리할 수 있는 좋은 정책근거가 된다.

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. 이론

### 2.1 물발자국 이론

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 방법을 제시하여 가상수 이론의 적용성을 향상시켰다(Hoekstra & Hung, 2002). 물발자국 개념은 1990년대 중반 제시된 생태발자국(Ecological Footprint) 개념과 유사하다.

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.

### 2.2 국가 전체 가상수량 및 가상수 흐름

같은 기간 동안 가상수 총 수입량과 총 수출량의 차이는 그 국가의 가상수 수지를 나타낸다. 수지가 플러스이면 가상수가 순 수입되는 것이고 마이너스이면 가상수가 순 수출되는 것이다. 본 연구에서는 국가에 수입 수출되

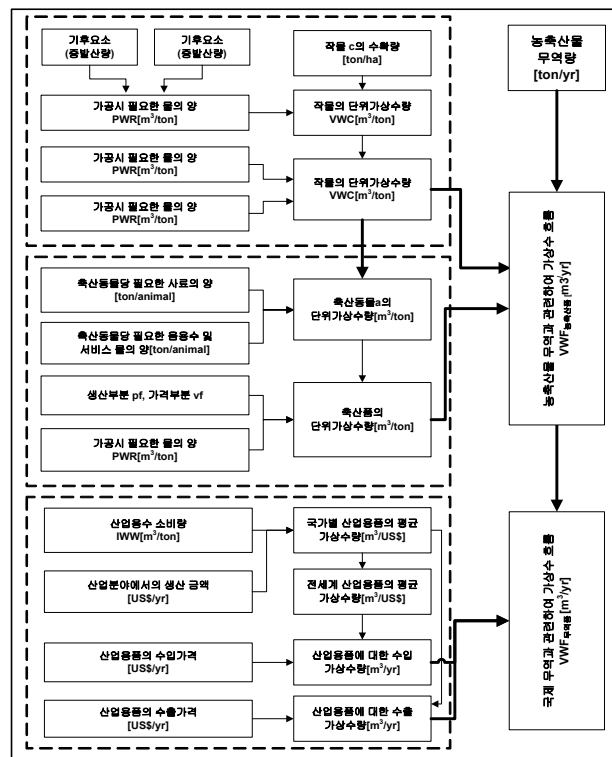


Fig.1. Step in the calculation of virtual water flows of a country

는 가상수량의 다양한 계산 과정을 도식화 하여 Fig. 1과 같이 나타내었다.

무역과 관련하여 국제적인 가상수 흐름은 무역량과 그 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.

$$VWF[e, i, p] = PT[e, i, p] \times VWC[e, p] \quad (1)$$

$PT$ 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 수출입 가상수량 산정 및 평가

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 차이도 엄청나기 때문에 주로 수출입 되는 품목에 대하여 가중치를 적용하였다.

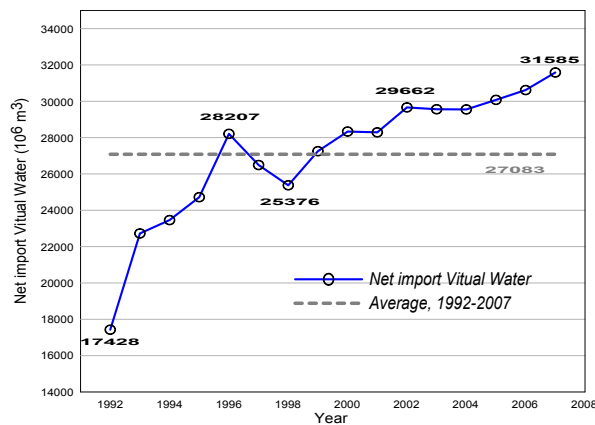


Fig 2 Net import Virtual Water of Crop in Korea (1992-2007)

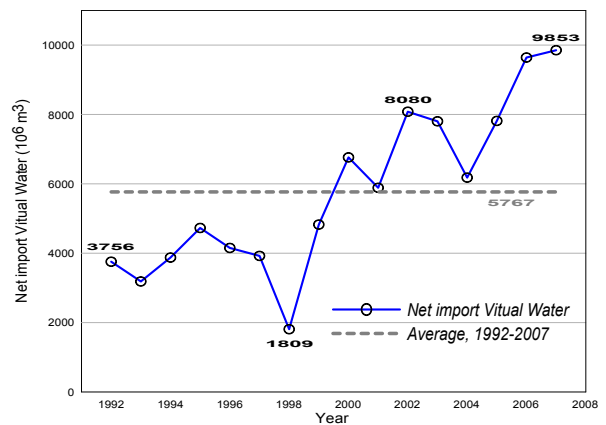


Fig. 3. Net import Virtual Water of Livestock in Korea (1992-2007)

우리나라 가상수 수출입량 산정 결과 1992-2007년 기간 동안 연평균 가상수 수입량은 320억  $m^3$ 이었으며, 가장 최근인 2007년에는 약 400억  $m^3$  정도가 가상수로 수입되었다. 특히 2000년대 이후에 가상수의 수입량이 지속적으로 증가하고 있고 이러한 가상수 수입량은 우리나라의 2006년 연평균 물 수요량이 약 345억  $m^3$  정도인 것을 감안하면 매우 큰 값이다.

공산품을 통한 가상수 수출입량을 계산한 결과 우리나라 공산품의 경우 무역흑자를 기록하는 상황이기 때문에 농산품이나 축산품과 달리 가상수가 순 수출되고 있다. 현재 우리나라는 공산품을 통해서 연평균 27억 $m^3$ 의 가상수를 수출하고 있고 19억 $m^3$ 의 가상수를 수입하고 있어 2002년도

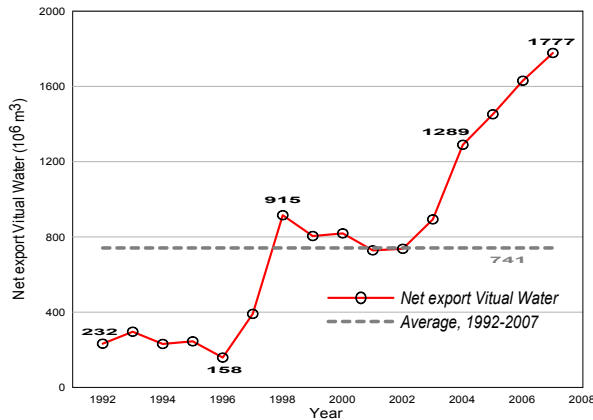


Fig. 4. Net export Virtual Water of industrial products in Korea (1992-2007)

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

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

토가 이뤄져 분야별 용수공급량에 대한 많은 변화가 있을 수 있다. 이에 단위 가상수량 사용에 형평성을 판단하기 위하여 적절성 검토를 수행하였다.

Table 1. Virtual water flow of Korea

	1992-2007 (10 <sup>8</sup> ton/yr)			2007(10 <sup>8</sup> 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 Pdc.	19.6	27.4	-7.8	40.8	58.5	-17.7
Total	373.9	53.3	320.6	485.7	89	396.7

#### 4. 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 2003년 2006년도 시도별 농업용수 수요량 산정결과와 2003년 2006년도 우리나라에서 생산된 농작물에 단위 가상수량을 적용하여 산정된 값을 비교하였다.

Table 2. Comparison between virtual water and water demand

2003년 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )		2006년 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	
Water Demand	Virtual Water	Water Demand	Virtual Water
159.7	145.7(△14.0)	159.8	153.8(△6.0)

산정된 종류별 평균 단위 가상수량을 시도별 농작물 생산량에 적용하여 총 가상수량을 산정하고 기존 수요량과의 비교를 Table 2에 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.

## 5. 결론

가상수 개념은 현재 전 세계 많은 지역에서 겪고 있는 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 있느냐를 고민할 수 있는 효용성으로 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·축산물 및 공산품에 수출입량에 적용하여 전체 가상수 수출입량을 산정하였다. 또한 농작물 생산량에 단위 가상수량을 적용하여 농작물 생산에 사용되는 가상수량을 산정하였고 이 산정된 값을 수자원장기종합계획의 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 선부른 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

1. 건설교통부 (2006). 수자원장기종합계획(2006-2020).
2. 농수산물 유통공사(<http://www.at.or.kr>)
3. 한국무역협회 무역정보네트워크(<http://www.kita.net>)
4. Allan, J.A. (2003). "Virtual Water - the water, food and trade nexus, useful concept or misleading metaphor?." *Water International* Vol. 28(1), pp. 4-11.
5. 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*. FAO.
6. Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2003). *Virtual Water Flows Between Nations In Relation To Trade In Livestock And Livestock Products*. UNESCO-IHE Research Report Series No. 13.
7. Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004). *Water Footprints of Nations*. UNESCO-IHE Research Report Series No. 16, Vol. 1-2.
8. Hoekstra, A.Y. and Hung, P. Q. (2005). "Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade." *Global Environmental Change*, Vol. 15, pp. 45-56.