



가상수에서 물발자국까지(1/2)

(From virtual water, to water footprint)



이 성 희 |
한국농어촌공사 농어촌연구원
sain@ekr.or.kr



김 영 득 |
한국농어촌공사 농어촌연구원
youngkim@ekr.or.kr



윤 동 균 |
한국농어촌공사 농어촌연구원
ydkibm@ekr.or.kr

기사내용을 통해 “가상수”는 수자원 전문가와 일반 국민들에게 알려지게 되었다.

최근에는 “가상수”와 함께 “물발자국”이라는 용어가 같이 소개되면서, 생태발자국, 탄소발자국과 같은 범주의 하나로 인식되고 있다. 아직 국내에서는 “가상수”, “물발자국”에 대한 연구가 초기단계이고, 산정방법에 대한 논의(연구) 뿐만 아니라 산정결과에 대한 물관리 정책의 활용도에 대한 논의(연구)가 이제 시작되고 있다.²⁾

이에 반하여 1998년 앨런교수가 가상수의 이론을 처음 제시한 이후, 국제적으로는 2002년부터 UNESCO-IHE, WFN(water Footprint Network)를 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있을 뿐만 아니라, 2003년 제 3차(일본) 세계물포럼에서 부터 2012년 제 6차(프랑스) 세계물포럼 까지 가상수를 주제로 한 논의가 지속적으로 이루어지고 있고, 국제표준화 기구(ISO)에서는 2009년 물발자국 표준화작업을 착수하였다.³⁾ 또한 농업용수관리에 대한 가장 큰 국제기구인 국제관개배수위원회(ICID)에서는 2012년 6월 개최되는 호주대회에서 가상수를 중요한 논의주제로 선정하였다.

따라서 본고에서는 “가상수”이론에서부터 “물발자국”에 이르기까지의 개념발전과 연구역사, 주요쟁점과 발전방안에 대하여 논함으로써 일반 수자원전문가들과 향후 관련 연구를 수행하고자 하는 분들의 이해를 돕고자 한다.

1. 서론

국내에서 “가상수(Virtual Water)”라는 용어가 처음 소개 된 것은 2008년 “가상수”이론을 처음 착안하였던 런던대학교의 토니 앨런교수가 수자원분야의 노벨상이라고 불리는 스톡홀름 물재단의 water prize 수상자로 선정되었다는 언론보도¹⁾ 이후 각종 매체를 통해 “커피 1잔(125ml)에 140리터, 햄버거 1개에 2,400리터의 물이 들어간다”는 매우 흥미로운

1) 연합뉴스 2008.3.19일자 언론보도
2) 2009년 국토해양부에서 처음 시작하여, 2011, 2012년 환경부를 거쳐 2012년부터는 농림수산식품부(농촌진흥청, 한국농촌경제연구원, 한국농어촌공사)에서 활발한 연구가 시작되고 있고 관련내용은 본문에서 언급함
3) 주상언, 2010, 산업연관표를 이용한 산업간 물 발자국 산정에 대한 연구, 수원대학교 석사학위 논문 p18

2. 가상수

2.1 가상수 이론의 배경

가상수는, 중동 및 북아프리카 지역전문가였던 영국 런던대학 토니 앨런(Allan, J. A) 교수가 1998년 Ground Water에 발표한 “Virtual water: A strategic resource global solution to regional deficits”에서 처음 소개되었다.⁴⁾ 앨런 교수는 1980년대 말 이스라엘 학자 기돈 피셀슨의 연구에서 사막이 많아 물 부족이 극심한 이스라엘이 농업용수를 많이 사용하는 농산물(오렌지)을 생산하여 수출하기 때문에 물 부족이 심화되고 있다고 비판한 점에서 가상수 이론을 착안하였다고 한다.⁵⁾

앨런 교수는 1970년 이후 20여년 동안 물 부족이 심한 이집트, 이스라엘 등 중동과 아프리카 지역의 수자원문제를 집중적으로 연구하면서 이들 국가들의 물 부족 극복과정과 정치, 경제, 사회 발전 과정을 분석하였다. 앨런 교수는 2차 세계대전 이후 이집트가 급속한 산업화, 도시화, 인구증가 속에서 나일강에 의존한 관개농업만으로 식량문제를 해결할 수 밖에 없음에도 물부족 혹은 식량난이 발생하지 않는 것은 미국 등 외국으로부터 식량을 수입하기 때문이라는 사실에 주목하고 이 현상과 물 부족 문제를 접목시켰다. 즉, 이집트는 물 부족 문제에 대한 해결책을 대규모 댐, 운하 등과 같은 구조적인 방법이 아닌 국제 농산물 교역을 통하여 자국 식량문제를 해결해 왔고 농산물 수입은 그 농산물을 재배할 때 필요한 “물이 농산물에 포함되고 있다는 가상수” 이론을 탄생시켰다.⁶⁾

이후 가상수의 이론은 2003년 일본에서 개최된 제 3차 세계물포럼의 주제로 선정되어 국제적인 조명을 받기 시작하였고, 앨런 교수는 가상수 이론 연구를 통하여 2006년 물분야의 노벨상으로 일컬어지는 스

톡홀름 Water Prize를 수상하였다.

2.2 가상수의 개념

가상수의 개념은 앨런 교수가 1998년 처음에 제시하였던 협의의 개념에서 2002년 물발자국의 개념을 처음 도입한 샤페가인과 호엑스트라(Chapagain & Hoekstra)에 의하여 가상수의 개념이 물발자국으로 확장되었다.

□ 가상수의 초기개념(농산물)

초창기 앨런 교수의 이론에 의한 가상수는 “농산물 생산에 사용된 물의 총량(m^3/kg)”으로서 수자원이 부족한 국가가 자국에서 생산하는 농산물을 생산하지 않고 수입을 하면, 농산물 생산에 사용되는 물을 다른 목적(생활, 공업 등)의 용수로 사용하게 될 경우 결국 농산물에 생산되는 물을 눈에 보이지는 않지만 물을 수입하는 효과가 발생한다는 개념이었다. 다시 말해 쌀 1톤을 생산하는데 물이 $1,301m^3$ 이 사용된다면, 쌀 1톤을 외국에서 수입할 경우 결국 쌀 1톤을 생산하는데 필요로 했던 물 $1,301m^3$ 을 가상으로 수입한 효과가 발생하고, 절약된 $1,301m^3$ 의 농업용수를 타 용수(생활, 공업)로 전환해서 활용할 수 있다는 것이다.

가상수의 이론은 농축산품, 공산품이 교역이 된다는 전제하에서 의미 있는 개념이고, 만약 국제적(지역적)인 교역이 없이 자국(지역)내에서 소비되어 진다고 하면 가상수의 개념은 이론적으로는 무의미하다. 다만, 점차 자유무역이 확대되고 국제교역이 증가되고 있는 상황에서 가상수의 이론은 많은 국가, 산업 분야에서 관심이 높아지고 있다.

□ 가상수 개념의 확장(축산물과 공산품)

앨런 교수는 축산물과 일반 공산품에 필요한 수량

4) 앨런교수가 1997년 세미나에서 발표를 하였지만, 1998년 논문을 통해서 공식적으로 발표함

5) 고재경 외, 2009, 가상수 개념과 물관리 정책, 물정책경제, p45

6) 홍일표 외, 2009, 가상수와 수자원 정책방향, 한국농어촌공사 농업용수관리 심포지엄, p1~2

을 측정하려면 복잡한 생산 및 사업 환경 등을 고려해야 하고 국가, 지역간 차이가 크기 때문에 이론의 과도한 적용을 피하고자 하였으나, 가상수에 대한 논의가 전 세계적으로 확산되면서 “가상수 이론이 농산물 뿐만 아니라 축산물 및 공산품 분야로 확대”되었다.⁷⁾ 네덜란드의 UNESCO-IHE의 Chapagain & Hoekstra는 국제 가상 물 교역에 초점을 맞춰 연구를 진행하였고, 이들은 2004년 연구발표를 통하여 밀, 쌀과 같은 농산물 뿐만 아니라 소고기, 닭고기 등 축산물, 그리고 공산품까지 가상수의 개념을 확대시켰다.

2.3 가상수 산정

가상수 산정방법은 국가간 교역에 의한 가상수 흐름을 고려하여 수출국에서 수입국으로의 연간 재화 교역량에 수출국에서 재화를 생산하는데 필요한(사용한) 물의 양인 가상수를 곱한 값으로 나타낸다.⁸⁾

표 1. 가상수 적용산식

$$VWF(ne, ni, c) = CT(ne, ni, c) \times VWC(ne, c)$$

- VWF : c 재화의 교역을 통해서 수출국(ne)에서 수입국(ni)으로의 가상수 흐름(m³/yr)
- CT : 수출국에서 수입국으로의 재화 교역(ton/yr)
- VWC : 수출국에서 재화를 생산하는데 필요한 물의 양(재화의 가상수량)

Chapagain & Hoekstra(2004)은 1997~2001년 동안 200개 국가의 285개 농산물, 123개 축산물, 공산품이 국제 교역을 통해 이동한 가상수를 분석하였고, 국제 교역을 통한 가상수의 수입, 수출 개념으로 확대시켜 순수수입국, 순수수출국을 나타내었다.⁹⁾ 이 연구에 따르면 전 세계 물 사용량은 7조 5천억m³이고 그중 16%인 1조 2천억m³이 자국의 수출용 제품을 통

표 2. 분야별 가상수 현황

1997~2001년		가상수량(10억m ³ /년)		
		농산물	축산물	공산품
총 물 사용량		농산물 6,391	산업,기타 1,060	7,451
가상수량	자국내 수출용제품			
	가상수 수출량	농산물 957	240	1,197
	수입제품 재수출관련			
	가상수 수출량	농산물 306	122	428
계		987	276	1,625

표 3. 품목별 가상수 현황

구분	품목별 가상수량					인당 평균 (m ³)
	쌀 (m ³ /ton)	밀 (m ³ /ton)	보리 (m ³ /ton)	소고기 (m ³ /kg)	돼지고기 (m ³ /kg)	
세계평균	2,291	1,334	1,388	15,497	4,856	1,240
한국	1,301	988	825	14,250	4,065	1,179

하여 가상수로 수출되고 있으며, 수입제품 재수출관련 가상수 수출량 4천억m³을 포함하면 전체 가상수량은 전 세계 물 사용량의 22%인 1조 6천억m³이다. 전체 가상수에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 농산물로서 전 세계 물 사용량의 86%, 전체 가상수량의 78%(농산물 61%, 축산물 17%)를 차지하고 있어 가상수에 있어 농축산물의 영향이 가장 크고, 국제적으로도 농축산물의 수출입에 따른 가상수의 수출입에 가장 큰 관심을 가지고 있다.

한국은 가상수 수입이 393억m³, 수출은 72억m³으로 가상수 순 수입이 321억m³으로써 세계에서 5번째로 가상수의 순 수입이 많은 나라로 나타났다. 이는 국내에서 자급이 가능한 쌀을 제외하고, 밀, 옥수수, 콩, 과일 등 농산물과 소고기, 돼지고기 등 농축산물을 많이 수입하기 때문이다.

반면, 가상수 순 수출량이 상위에 기록된 호주, 미국, 브라질, 아르헨티나 등은 전 세계적으로 농축산물(옥수수, 소고기, 돼지고기 등)의 주요 생산(수출) 국가이다.¹⁰⁾

7) 홍일표 외, 2009, 가상수와 수자원 정책방향, 한국농어촌공사 농업용수관리 심포지엄, p16

8) 고재경 외, 2009, 가상수 개념과 물관리 정책, 물정책경제, p48~49

9) Chapagain, Hoekstra. 2004, Water footprints of nations(UNESCO-IHE report No16 - Vol 1 main report, Vol 2 appendices)

10) 농림수산식품부, 2011 농수산식품 주요통계지표 p55~56

표 4. 국가별 가상수 수입, 수출현황

순위	순 수출국가						순 수입국가		
	국가명	가상수(10억m³/년)			국가명	가상수(10억m³/년)			
		수출	수입	순수출		수입	수출	순수입	
1	호 주	73	9	64	일 본	98	7	92	
2	캐 나 다	95	35	60	이탈리아	89	38	51	
3	미 국	229	176	53	영 국	64	18	47	
4	아르헨티나	51	6	45	독 일	106	70	35	
5	브 라 질	68	23	45	한 국	39	7	32	

표 5. 국가별 주요 농축산물 생산량 현황(2008)

순위	육수수(백만톤)		쇠고기(백만톤)		돼지고기(백만톤)	
	국가	생산량(%)	국가	생산량(%)	국가	생산량(%)
1	미 국	307(37)	미 국	12(20)	중 국	47(46)
2	중 국	166(20)	브 라 질	9(14)	미 국	10(10)
3	브 라 질	59(7)	중 국	6(9)	독 일	5(5)
4	멕시코	24(3)	아르헨티나	3(5)	스 페 인	3(3)
5	아르헨티나	22(3)	호 주	2(4)	브 라 질	3(3)

3. 물발자국

3.1 가상수에서 물발자국으로

물발자국은 앨런 교수가 도입한 가상수의 개념을 기초로 하여 확장한 개념으로 2002년 Hoekstra & Hong이 “Virtual water trade(IHE, 2002)”에서 국제 농산물 무역을 가상수 이론과 접목시켜 국가간, 지역간 국제 가상 물 교역에 대한 추세를 분석하고 물 발자국이란 새로운 개념을 도입한 것에서 유래한다.¹¹⁾ 그러나, 2004년 Chapagain & Hoekstra에 의해서 농산물, 축산물, 공산품을 포함한 물발자국이 산정되었지만 그 당시까지만 해도 가상수와 물발자국이 명확히 구분되지 않고 사용되었다.

3.2 물발자국의 개념

물발자국은 개인이나 지역, 집단 등이 소비하는 재

화와 서비스를 생산하는데 필요한 물의 총량을 가상수로 표현한 것이다. 한 국가내의 수자원 총량 산출 시 국제 무역을 통해 수출, 수입되는 가상수의 양까지 고려하여 해당 국가의 물 총합(Water budget)를 계산한 것이다. 물발자국의 개념은 한 국가에서 소비되는 농산물, 축산물, 공산품이 해당 국가에서 모두 생산할 수 없다는 가정하에 어떤 한 국가의 수자원 총량은 해당 국가의 국민이 소비하는 모든 물품 생산에 필요한 물의 양이다.¹²⁾

물발자국 산정시 가상수 흐름을 정량화해서 사용하기 때문에 가상수와 밀접한 관련이 있고 동일한 개념으로 사용하기도 하지만 가상수보다 더 포괄적인 개념이고 물의 총량만 의미하지 않고 가상수 개념에 사용된 물의 종류, 물이 사용된 위치, 시간 등 지리적, 시간적인 의미를 부여해준다.

다만, Hoekstra(2008)가 물발자국 산정시 새롭게 제시한 직접수, 간접수 개념을 적용하게 되면, 물발자국의 개념은 재화를 생산하는데 필요로 하는 원재료의 직접수와 생산유통과정(supply chain)속에서 투입되는 투입재를 생산하는데 필요로 하는 간접수를 합산하여 재화(물품)을 생산하는 전 과정에 걸친 물 사용량으로 확대된다.

3.3 물발자국의 산정방법

물발자국 산정방법은 2008년을 기점으로, 가상수를 바탕으로 가상수의 수출입을 감안하여 국가단위의 내적, 외적 물발자국을 산정했던 초창기 산정방법과, 2008년 직접수, 간접수 및 Green, Blue, Gray water 개념이 도입된 산정방법으로 구분할 수 있다. 이는 국가단위의 초창기 산정방법에서 개별 품목별 물발자국을 산정하는 방법으로 발전한 것이다. 2008년부터 적용된 직접수, 간접수의 개념으로 볼 때, 2008년 이전 특히 2004년 Chapagain & Hoekstra

11) Hoekstra, Hong et al. 2002, Virtual water trade : A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade(UNESCO-IHE report No. 11)

12) 홍일표 외, 2009, 가상수와 수자원 정책방향, 한국농어촌공사 농업용수관리 심포지엄, p12

가 산정한 가상수(물발자국)는 직접수에 한정하여 산정된 것으로 보인다.

□ 2008년 이전 초기 산정방법

물발자국 산정방법은 첫째, 국가의 수자원 총 이용량을 고정시키고 그 아래 각 산업별, 품목별 물발자국을 산정해 나가는 하향적 거시적 방법(Top-down)과 둘째, 모든 품목별 물발자국을 산정한 후 산업, 지역, 국가단위로 합산해 나가는 상향식 미시적 방법(Bottom-up)이 있다. 현재는 FAO 등 국제기구에서 가지고 있는 국가단위 거시자료에 기초한 하향식 산정방법이 물발자국 연구초기부터 활발하게 이용되고 있다. 하향식 거시적 방법에 의하면 한 국가의 물발자국은 1년 동안 국민이 직접, 간접적으로 재화와 서비스를 생산하는데 사용한 물의 양(WFP, m³/년)으로, 내적 물발자국(IWFP)과 외적 물발자국(EWFP)의 합으로 계산한다.¹³⁾

내적 물발자국은 1년간 국민이 소비한 재화와 서비스 생산에 사용된 국내 수자원 이용량의 총합으로, 국내 물 사용량 합계에서 국내에서 생산하여 수출한 제품에 사용된 물 이용량을 뺀 값이다. 외적 물발자국은 한 국가의 국민이 소비한 수입제품 생산에 사용된 연간 물 소비량으로 가상수 수입량에서 재수출 가상수(수입하여 가공한 뒤 다시 수출되는 상품에 사용된 물 이용량)를 뺀 값이다. 내적 물발자국과 외적 물발자국 적용산식은 아래 표 6 과 같고,¹⁴⁾ 물발자국 총량을 인구수로 나누면 국민 1인당 물발자국 값을 구할 수 있다.

Chapagain & Hoekstra(2004)은 가상수의 수

표 6. 물발자국 적용산식

□ 물발자국(WFP)	=	내부 물발자국(IWFP) + 외부 물발자국(EWFP)
□ 내적 물발자국(IWFP)	=	농업이용량(AWU) + 공업용수(IWW) + 생활용수(DWW) - 가상수 수출량(VWE)
□ 외적 물발자국(EWFP)	=	가상수 수입량(VWI) - 재수출 가상수(VWE re-export)

입, 수출을 고려한 내적, 외적 물발자국 개념을 적용하여 각 국가별 물발자국을 산정하였다.¹⁵⁾

내적 물발자국 (Internal WFP) 210억 m ³ (農123+産23+生64)	+	외적 물발자국 (External WFP) 342억 m ³ (農275+産67+生0)	=	물발자국 (WFP) 552억 m ³ (農398+産90+生64)
국내 물이용 (농업,산업,생활) 231억 m ³ (農139+産28+生64)	+	수입 가상수 (VW Import) 393억 m ³ (農309+産84+生0)	=	가상수 총합 (VW budget) 624억 m ³ (農448+産112+生64)
국내 생산품의 가상수 수출량 (VWE domestic) 21억 m ³ (農16+産5+生0)	+	수입된 가상수의 재수출량 (VWE re-export) 51억 m ³ (農34+産17+生0)	=	가상수 수출 (VW Export) 72억 m ³ (農50+産22+生0)

그림 1. 물발자국 적용개념 및 한국의 산정값

산정결과 한국은 내적 물발자국 210억m³, 외적 물발자국 342억m³으로 물발자국 합계는 552억m³이다. 여기에는 가상수 수입 393억m³과 가상수 72억m³이 고려된 값으로, 한국의 물 수입의존도(Water import dependency)는 62%로 나타났으며 이는 물 수입의존도를 산정한 140개 국가중 16번째로 높은 수치이다.¹⁶⁾ 수자원장기종합계획(2011~2020)에서는 이를 근거로 국제적인 식량 및 에너지 정책의 흐름에 따라 국내 자급을 위해서는 현 수준 사용량의 1.4배가 더 필요하다고 하였다.¹⁷⁾

한편, Chapagain & Hoekstra(2004)의 연구결

13) 고재경 외, 2009, 가상수 개념과 물관리 정책, 물정책경제, p49

14) Hoekstra, Hong et al. 2002, Virtual water trade : A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade(UNESCO-IHE report No. 11)

15) Chapagain, Hoekstra, 2004, Water footprints of nations(UNESCO-IHE report No16 - Vol 1 main report, Vol 2 appendices)

16) Chapagain, Hoekstra, 2004, Water footprints of nations(UNESCO-IHE report No16 - Vol 2 appendices) Appendix XXI-2

17) 국토해양부, 2012, 수자원장기종합계획(2011~2020), p82, 단 1.4배의 근거수치가 제시되어 있지 않으나, 추가 필요수량을 “총 물발자국-국내 물이용량=552억m³-231억m³=321억m³”으로 산정하고 국내 물이용량 231억m³ 대비 1.4배에 해당하는 것으로 판단됨

표 7. 한국의 물자급도, 수입의존도 산정값

물발자국 (A)	내적 물발자국 (B)	외적 물발자국 (C)	물 자급도 water self-sufficiency(B/A)	물 수입의존도 water import dependency(C/A)
552억㎥	210억㎥	342억㎥	38%	62%

※ 물 자급도 = 내적 물발자국/총 물발자국 = 210억㎥/552억㎥ = 38%
 ※ 물 수입의존도 = 외적 물발자국/총 물발자국 = 342억㎥/552억㎥ = 62%

과에 따르면 물 자급도가 가장 높은 국가로서 모잠비크, 수단, 아이티, 에디오피아가 나타난 것은 가상수 수입이라고 하는 외적 물발자국이 거의 없는 국가로서, 이는 자국의 수자원이 풍부해서 라기 보다는 경제여건 등에 의하여 농축산물, 공산품의 수입이 거의 없기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

□ 2008년 이후 최근까지 산정방법

최근 물발자국의 산정방식이 기존의 내적 물발자국, 외적 물발자국에서 Green water, Blue water, Grey water를 고려한 직접수, 간접수의 개념으로 확대되고 있다.¹⁸⁾ 쌀(논) 1톤을 생산하는데 1,301㎥/년의 물이 사용되지만, 쌀농사를 짓기 위해서는 표 8과 같이 1차적으로 농업용수이외에 2차적으로는 비료, 농약, 농기계 등의 투입재가 필요로 하며 2차적인 투입재를 생산하는데 또 다른 물이 사용된다.¹⁹⁾ 또 다른 예로 막걸리라는 재화를 생산하는데 주재료인 쌀과 물이 사용되는 것 이외에 제조 과정속에서 물을 사용하게 될 것이다. 따라서, 재화를 생산하는데 필요로 하는 원재료의 직접수와 생산유통 전과정속에서 투입되는 투입재화를 생산하는데 필요로 하는 간접수를 합산한 것이 1개의 재화(물품)을 생산·서

표 8. 쌀 생산에 따른 직접수, 간접수 산정

쌀 생산비목(10a)	구 분
수리(水利)	직접수에 해당
종묘, 농약, 비료, 농기계 (생산을 위한 중간재비용의 52%)	간접수에 해당

비스하는 전 과정에 이용되는 물 사용량, 즉 물발자국으로 확대되고 있다.

Green water(녹색물)은 빗물을 통하여 사용되는 물, Blue water(청색)은 지표수와 지하수를 통하여 공급되는 물, Grey water(회색물)은 오염수를 수질 기준에 맞게 정화하기 위하여 필요한 물로 정의되며 개념도는 아래 그림 2와 같다.

직접수, 간접수 개념에 따른 물발자국을 산정하기 위해서는 농업, 공업 등 전 산업에서 생산되는 재화(품목)별 물 이용량이 산정되어야 하고, 이후 각 재화의 생산과정에서 투입되는 투입재의 물 이용량이 산정되어야 한다. 그러나 현실적으로 전 산업에서 생산되는 재화(품목)의 생산과정과 투입재를 파악하는 것은 불가능하며, 거기에 수입, 수출까지 고려할 경우 더 더욱 불가능해진다. 따라서, 최종수요로부터 중간 투입재를 추정해 낼 수 있는 산업연관분석법이 활용되고 있다. 이러한 직접수, 간접수를 산출해 내기 위해서는 결국 국내 생산되는 재화(품목)별 물 사용량이

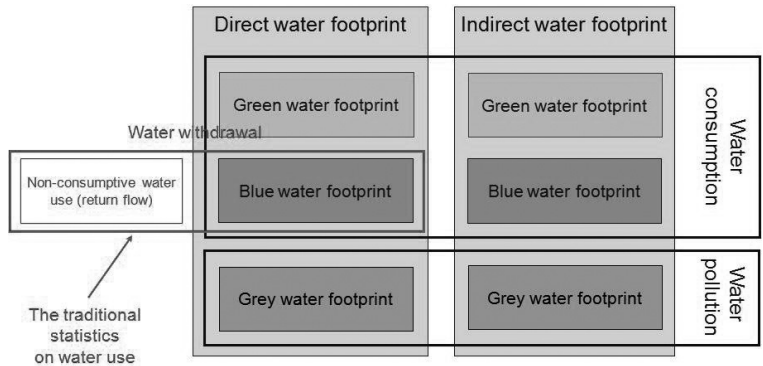


그림 2. 물발자국 확장개념(Chapagain & Hoekstra, 2009)

18) Chapagain, Hoekstra, et al. 2009, Water footprint manual: State of the art 2009. UNESCO-IHE

19) 2007 농축산물소득자료, 농촌진흥청 p80

추정되어야 한다.

한국에서는 김영득 등이 그림 3과 같이 한국은행에서 제시하는 403개 산업연관품목에 대하여 산업연관표와 2003년 우리나라 산업총조사에서 조사되었던 각 재화별 물 사용량 자료를 이용하여 물발자국(Water use intensity)을 산정하는 연구를 수행중에 있다.²⁰⁾

쌀과 같은 농산물은 생산에 직접 이용되는 농업용수량이 많기 때문에 다른 재화에 비하여 직접수의 비중이 매우 높은 품목으로서, 일본의 Yuya Ono는 쌀 생산에 있어 직접수의 비율을 97.7%로 분석하였고, 김영득은 96.4%로 분석한 바 있다.²¹⁾

표 9. 쌀의 물발자국 직접수, 간접수 비율

연구자	쌀의 물발자국 비율		쌀 가상수(1,600m³/kg) 적용시		벼 1kg 가상수
	직접수(%)	간접수(%)	직접수(m³)	간접수(m³)	
Yuya Ono	97.7	2.3	1,600 (97.7%)	37 (2.3%)	1,637m³ (100%)
김영득	96.4	3.6	1,600 (96.4%)	60 (3.6%)	1,660m³ (100%)

직접수, 간접수의 개념 범주는 표 10과 같이 쌀을 생산하는 생산자 기준에서는 쌀을 생산하는데 투입되는 농업용수만을 직접수로 보고, 그 외 투입재를 간접수로 볼 수 있으나, 중간단계 기준에서는 막걸리를 제조하는데 직접 사용되는 물을 직접수로 보고, 그 외 쌀, 기계, 첨가물 등은 간접수가 되고, 마지막으로 소비자 단계에서는 막걸리 1통에 들어간 수량이 직접수이고 그 외 쌀생산과 막

걸리 제조과정에서 투입된 수량은 간접수가 된다. 결국 최종사용자인 소비자 입장에서의 직접수, 간접수의 합이 가장 큰 값이 나오게 되며, 커피 1잔에 140리터의 물이 포함되어 있다는 것은 직·간접수를 모두 포함한 개념에서 나온 수치이다.

조현정(2011)은 하나의 재화를 제조하고 사용하는 단계까지 고려한 LCA(Life Cycle Assessment, 전과정평가)방법을 도입하여 세탁기의 제조(원재료 취득, 생산)과 사용단계까지 고려한 물발자국을 산정하였다.²²⁾ 세탁기 1대의 수자원사용량 분석결과 원재료 취득을 위해 19천m³, 제조를 위해 1천m³, 세탁기 수명 5년(1년 218회, 1회 1시간) 동안 90천m³이 사용되어, 총 110천m³을 사용하는 것으로 분석하였다. 또한 2006년 기준으로 1년 동안 국내 세탁기 생산과 사용을 위해 372백만m³의 물을 사용하는 것으로 나타났다.

표 10. 직접수, 간접수의 개념범주

프로세스	생산(쌀) : ①		가공(제조) : ②		소비(막걸리)	
	농업용수	직접수	제조에 사용되는 물	직접수	막걸리 (1통)	직접수
투입요소	농 약	간접수	쌀 : ①	간접수	쌀 : ①	간접수
	비 료		기 계		제조 : ②	
	농기계		첨가물			
생산자 기준			가공단계 기준			소비자기준

1차 농 업	직접수			간접수(타 분야)			= 농업 총량
	Green	blue	grey	Green	blue	grey	
2차 공 업	직접수			간접수(타 분야)			= 공업 총량
	Green	blue	grey	Green	blue	grey	
3차 서비스	직접수			간접수(타 분야)			= 서비스 총량
	Green	blue	grey	Green	blue	grey	
계	직접수 총량			간접수 총량			= 물발자국 총량
	Green	blue	grey	Green	blue	grey	

그림 3. 산업연관분석을 통한 물발자국 산정개념

20) 김영득, 윤동균 외, 2012, 지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용, 한국농어촌공사 농어촌연구원 연구과제 착수 발표자료

21) Yuya Ono, 2010, Water footprint를 응용한 물 인벤토리 데이터베이스(DB) 개발, 석사학위 논문(일본 Tokyo City University)

22) 조현정 외, 2011, Water Footprint 개념을 이용한 가전제품의 수자원사용량 산정(세탁기를 중심으로), 상하수도 학회지 25권 5호 p691~697

각 품목, 산업별로의 물발자국을 산정하기 위해서는 한국은행에서 제시하는 403개 산업연관품목에 대한 DB구축이 매우 중요하다. DB에는 쌀, 보리, 소고기 등 농축산물과 식음료, 섬유, 화학제품, 금속, 기계, 전기, 운송, 금융, 사회서비스 등 전 산업분야가 총망라 되어 있고, 이 DB를 바탕으로 제품의 물발자국을 산정할 수 있게 된다.

□ 국제표준화 기구(ISO)의 물발자국 산정

국제표준화 기구(ISO)에서는 네덜란드에서 설립한 WFN(water footprint network)에서 개발된 The water footprint assessment manual (Chapagain & Hoekstra, 2011)와 별개로 물발자국 산정에 대한 표준제정을 추진하고 있다. 이 표준화 작업은 ISO/TC 207 내에서 전과정 평가를 담당하고 있는 SC5 산하 WG8에서 준비하고 있으며,²³⁾ 2009년 11월 스웨덴(스톡홀름)에서 개최된 ISO/TC207 총회에서 ISO/CD 14046(water footprint) 제정을 위한 논의가 시작되었고, 이후 매년 멕시코, 스위스, 노르웨이(오슬로), 2012년 5월 태국에서 5번째 회의가 개최되었다. 물발자국 표준에 대한 기본방향은 제품 및 시스템(기업, 사업장, 조직 등)에 대해 물발자국 산정, ISO 14040(전과정평가) 및 14044(영향평가지침)에 근거하여 전과정평가(LCA)를 활용한 물발자국 산정, ISO 14067(탄소발자국)을 반영하여 표준작업을 추진하는 것으로 2013년이후 발간될 것으로 보인다.²⁴⁾

ISO의 물발자국 산정방법론은 전 제품에 대한 전 과정을 고려하여 물유형에 따라 Precipitation, Surface water, Sea water, Soil moisture, Ground water, Brakish water, Fossil water로 평가항목을 설정하고, 물 유형별 water stress를 반

영하여 물발자국을 산정한다. 현재 표준화과정에 어려움을 겪고 있지만, 물발자국의 산정방법론이 국제표준화 기구(ISO)에서 제정된다는 점에서 향후 국제적인 방법론으로 채택될 가능성이 높다.²⁵⁾

3.4 물발자국의 연구동향

□ 국 제

한편, Chapagain & Hoekstra가 2008년 직접수, 간접수를 적용한 물발자국 산정이론을 제시하였으나 아직 2004년과 같이 전 세계적인 물발자국을 산정하지는 못하였고, 각 국가별로 직접수, 간접수 계산을 통한 물발자국 산정연구가 진행되고 있다. Lenzen(2007)은 2000년 기준으로 344개 품목에 대해 산업연관분석기법을 이용해 빅토리아주의 물발자국(국내 한정, 국가간 교역은 고려하지 않음)을 산정하였고, 그 외 Blackhurst(2010)는 미국, Yuya(2010)는 일본의 물발자국은 데이터베이스를 산정하였다.²⁶⁾

표 11. 직접수, 간접수 적용한 물발자국 산정 연구

연구자	데이터베이스	연구범위
Chapagain & Hoekstra (2004)	Water inventory (Water Footprint)	Direct water Rice, wheat, etc.
Lenzen (2007)	Water IO(Input, Ouput) DB in 호주 빅토리아 344 sectors at in the 2000	Direct and indirect Trading within a nation
Yuya Ono et al.(2010)	Water IO DB in 일본 at 403 sectors	Direct and indirect, Consumptive & Non-consumptive, Blue, Green and Grey, Water resources(Surface, groundwater), Rice production ,etc.
Blackhurst et al.(2010)	Water IO DB in 미국 at 428 sectors in the 2002	Direct and indirect

23) <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=beauth&logNo=50089689291>

24) <http://keiti.re.kr/action.do?act=download&did=1722&fid=2471&mid=1020600000>

25) 김익, 수자원관리지표로서 물발자국 산정 및 관리의 동향 및 필요성, Smart Eco Now No2012-03

26) 김영득 외, 2012, Water Use Intensity Development Using Water Footprint Concept and Input-Output Table in Korea, 한국물환경학회 · 한국상수도학회 공동학술발표회 발표자료, p119~120

□ 국 내

1998년 토니 앨론교수의 가상수로부터 시작하여, 2004년 Chapagain & Hoekstra의 물발자국을 거쳐 현재까지 국제적으로 많은 연구와 ISO를 통한 표준화 과정이 진행되고 있었던 반면 국내에서 2009년 저널을 통하여 가상수, 물발자국 이론이 소개되었고, 유승환 등 (2009)이 처음으로 관련 연구 논문을 발표하였고, 2010년 이후 환경공학분야에서 논문과²⁷⁾, 학위 논문이 발표되었다²⁸⁾. 중앙부처에서는 국토부(한국건설기술연구원)에서 2008년부터 2009년까지 가상수 교역에 관한 연구를 수행하였고, 2011년 한국환경산업기술원에서 물발자국 산정방법에 관한 연구

를 수행한 바 있다. 이후 2012년에는 농림수산식품부(한국농어촌공사), 한국농촌경제연구원, 농촌진흥청(공모과제) 등 농림수산식품부 관련기관과 환경정책평가원에서 관련 연구가 시작되어 향후 물발자국에 대한 많은 연구발진이 이루어 질 것으로 전망된다.²⁹⁾ 최근 연구의 특징을 살펴보면, 탄소발자국의 연장선상에서 환경공학 전문가들의 연구참여가 많고, FTA 추진에 따른 농산물 교역증대와 관련된 가상수(물발자국) 연구가 많이 되고 있다. 아울러, 올해부터 다양한 연구기관에서 연구가 추진되는 만큼 연구기관간의 연구협력이 필요할 것으로 판단된다. 🍷

표 12. 국내 가상수, 물발자국 관련 연구

구 분	연구자(기관)	발표(연구)제목	연구내용
학위논문	이승민(2010) 서강대 석사논문	물발자국제도의 이해와 국내 도입을 위한 방안 연구 : 탄소발자국제도와외의 비교연구	물발자국 소개 및 국내도입방안과 산정방안 연구
	김우람(2011) 인하대 석사논문	물발자국개념을 이용한 가전제품의 수자원 사용량 산정에 관한 연구(세탁기를 중심으로)	세탁기 전과정의 가상수 산정
	주상연(2011) 수원대 석사논문	산업연관표를 이용한 산업간 물 발자국 산정에 대한 연구	산업간 물의 흐름관계 정량화
	신상민(2011) 수원대 석사논문	쌀 수요에 대한 물발자국 산정에 관한 연구 : cropwat model을 중심으로	쌀의 물발자국 산정 (8개 시도대상)
	저널	김영득 외(2009) 농어촌과환경 기사	물발자국과 지속가능한 물이용 전략
고개경 외(2009) 물정책경제 기사		가상수 개념과 물관리 정책	가상수,물발자국 소개 및 정책적 시사점
유승환 외(2009) 수자원학회 논문		한국의 농산물 가상수 산정	1991~2007년까지 농산품 44개 가상수 산정
안재현 외(2010) 수자원학회 논문		우리나라 가상수량 산정방법의 적용성 평가	1998~2997년까지 농축산물, 공산품의 가상수 산정
이상현 외(2010) 한국관개배수 논문		커피무역을 통한 한국의 가상수 흐름분석	2005~2009년까지 커피 수출입자료로 가상수 산정
김우람 외(2011) 상하수도학회 논문		물발자국개념을 이용한 가전제품의 수자원 사용량 산정 (세탁기를 중심으로)	세탁기 전과정의(제조, 사용 등) 가상수 산정
김재준 외(2011) 수자원학회지 기사		가상수 거래개념을 활용한 물관리 정책의 필요성 (한중일 3국간 FTA를 중심으로)	3국간 FTA시 가상수 거래량 산정

27) 한국농촌경제연구원, 2012, 가상수 및 환경용량을 고려한 농업용수의 효율적 관리방안 연구, 연구설계세미나 발표자료 p7~8

28) 한국환경정책평가연구원, 2012, 물발자국 개념의 정책적 도입과 환경평가 적용방안, 착수보고회 발표자료

29) 김영득, 윤동균 외, 2012, 지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용, 한국농어촌공사 농어촌연구원 연구과제 착수 발표자료

표 12. 국내 가상수, 물발자국 관련 연구 (계속)

구분	연구자(기관)	발표(연구)제목	연구내용
연구 보고서	국토해양부 (2008~2009), 건기원 홍일표 외	국제가상 물 교역과 수자원 정책전망연구	FTA추진에 따른 농축산물의 가상수 거래변화분석
	한국환경산업기술원 (2011)	환경성적표지제도 개선방안 연구	물발자국 산정방법 개발 및 시범적용
연구 진행중	한국농촌경제연구원 (2012), 김윤형 외	가상수(virtual water) 및 환경용량을 고려한 농업용수의 효율적 관리방안 연구	농축산물에 대한 가상수 산정 및 한중FTA시 변화
	환경정책평가연구원 (2012), 노태호 외	물발자국 개념의 정책적 도입과 환경평가적용방안	환경평가체계에서의 적용방안 도출
	농촌진흥청 공모과제 (2012~2013) 스마트에코 김익 외	전과정 평가에 의한 주요 농·축산물의 물발자국평가	10개 농축산물의 지역별 물발자국 산정
	한국농어촌공사 (2012~2014) 김영득, 윤동균 외	지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용	농식품분야 물발자국 산정모델개발, 인벤토리DB구축, 지역적 분포분석

〈 다음호 계속 〉

참고문헌

- 고재경 외, 2009, 가상수 개념과 물관리 정책, 물정책경제 p44~59
- 농림수산식품부, 2011 농수산식품 주요통계지표 p55~56
- 김영득 외, 2009, 『물발자국』과 지속가능한 물이용, 농어촌과 환경(한국농어촌공사), No 104, p126~135
- 김영득 외, 2012, Water Use Intensity Development Using Water Footprint Concept and Input-Output Table in Korea, 한국물환경학회 · 한국상수도학회 공동학술발표회 발표자료, p119~120
- 김영득, 윤동균 외, 2012, 지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용, 한국농어촌공사 농어촌연구원 연구과제 착수발표자료
- 김익, 수자원관리지표로서 물발자국 산정 및 관리의 동향 및 필요성, Smart Eco Now No2012-03
- 유승환 외, 한국의 농산물 가상수 산정, 한국수자원학회논문집 제 42권 제 11호, 2009.11, p911~920
- 조현정 외, 2011, Water Footprint 개념을 이용한 가전제품의 수자원사용량 산정(세탁기를 중심으로), 상수도 학회지 25권 5호 p691~697
- 주상언, 2010, 산업연관표를 이용한 산업간 물발자국 산정에 대한 연구(수원대학교 석사학위) p18
- 홍일표, 이승호 외, 2009, 가상수와 수자원 정책방향, 한국농어촌공사 농업용수관리 심포지엄 발표자료 (2009.11.5)
- 국토해양부, 2012, 수자원장기종합계획(2010~2020) p82



12. 한국농촌경제연구원, 2012, 가상수 및 환경용량을 고려한 농업용수의 효율적 관리방안 연구, 연구설계세미나 발표자료 p7~8
13. 농촌진흥청, 2007 농축산물소득자료, p80
14. 한국환경정책평가연구원, 2012, 물발자국 개념의 정책적 도입과 환경평가 적용방안, 착수보고회 발표자료
15. Allan, 1998. Virtual water ; A strategic resource global solution to regional deficits(Ground water 36(4) p545~546)
16. Chapagain, Hoekstra, 2003, Virtual water flows between nations in relation to trade in live-stock and livestock products (UNESCO-IHE report No13)
17. Chapagain, Hoekstra, 2004, Water footprints of nations (UNESCO-IHE report No16 - Vol 1 main report, Vol 2 appendices)
18. Chapagain, Hoekstra, et al. 2009, Water footprint manual: State of the art 2009. UNESCO-IHE
19. Chapagain, Hoekstra, et al. 2011, The water footprint assessment manual. UNESCO-IHE
20. Hoekstra, Hong et al. 2002, Virtual water trade : A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade(UNESCO-IHE report No. 11)
21. Hoekstra, Gerbens-Leenes. 2008, Business water footprint accounting(UNESCO-IHE report No. 27)
22. Hoekstra et al. 2009, The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment (Ecological Economics 69 (2009) p82~92)
23. Yuya Ono, 2010, Water footprint를 응용한 물 인벤토리 데이터베이스(DB) 개발, 석사학위 논문(일본 Tokyo City University)