



Calculating virtual water for international water transactions: deriving water footprints in South Korea

Park, Sungje^{a*} · Lee, Minhyeon^b · Park, Kyeyoung^c · An, Yosep^d

^aDirector General, Future Resources Institute, Research and Development Center, Seoul, Korea

^bSenior Researcher, Future Resources Institute, Center for Technology Policy, Seoul, Korea

^cResearch Fellow, Future Resources Institute, Research and Development Center, Seoul, Korea

^dResearcher, Future Resources Institute, Center for Technology Policy, Seoul, Korea

Paper number: 20-056

Received: 2 June 2020; Revised: 21 August 2020; Accepted: 21 August 2020

Abstract

The amount of water resources identified by water balance analysis are usually used to formulate water resources plans. However, this does not consider the trade in goods between countries. It is possible to use virtual water to come up with a supply and demand plan by looking at the export and import of products. This is because it looks comprehensively at the direct water use (water resources within the region) and indirect water use (water resources of other regions from imported products). Yet South Korea does not actively use the concept of virtual water in the national water resources plan. There is difficulty with calculating and identifying the appropriate virtual water amount as many of the research papers present only few of the cases or omit the calculation process. This paper introduces detailed water footprint values for calculating the virtual water trade for South Korea. The international movement, water footprint, and virtual water trade of agricultural and livestock products are presented and compared to existing research. The water footprint and virtual water research in this paper can be utilized as baseline data for future researchers.

Keywords: Water footprint, Virtual water, Export/import, Water balance analysis, Virtual water trade

국제 물거래 대비 가상수 거래량 산정 : 국내 물발자국 적용값 도출

박성제^{a*} · 이민현^b · 박계영^c · 안요셉^d

^a미래자원연구원 연구개발본부장, ^b미래자원연구원 기술정책연구실 주임연구원,

^c미래자원연구원 연구개발본부 책임연구원, ^d미래자원연구원 기술정책연구실 연구원

요 지

수자원 공급계획은 보통 물수지분석에서 파악된 수자원의 양에 따라 수립한다. 그러나 그것은 상품의 이동과 같은 국제교역을 고려하지 않은 폐쇄적인 공급계획이다. 물수지분석에 가상수 개념을 도입하면 상품의 수출량과 수입량을 고려한 수자원 공급계획을 수립할 수 있다. 기존에 활용하는 직접적인 물 사용(지역 내에서 가용한 각종 수자원)과 가상수를 고려한 간접적인 물 사용(지역 외에서 수입한 상품생산에 소요된 타 지역의 수자원)을 종합적으로 고려하기 때문이다. 그러나 한국에서는 아직 가상수의 개념이 국가 수자원계획 수립에 본격적으로 반영되고 않고 있다. 국내외에서 발표된 가상수 산정연구 논문에서는 가상수 산정과정의 생략되거나 일부만 제시된 사례가 많다. 따라서 가상수의 산정과정 및 거래량의 적절성을 파악하여 실무에 활용하는데 큰 어려움이 존재하고 있다. 본 연구는 한국에서 수출입하는 가상수량 산정을 위한 물발자국 적용값을 구체적으로 제시하고자 한다. 농축산물의 국제 이동량, 물발자국 적용값, 가상수 거래량을 파악하는 과정을 기술하고, 이를 기존연구와 비교하고자 한다. 따라서 본 연구에서 제시한 산정과정과 산정기준은 물발자국 및 가상수 연구를 수행하는 연구자들에게 유용한 기초자료를 제공할 것이다.

핵심용어: 물발자국, 가상수, 수출입, 물수지분석, 가상수 거래

*Corresponding Author. Tel: +82-70-5223-0202

E-mail: psungje@gmail.com (S. Park)

1. 서론

가상수는 우리 눈에는 보이지 않지만 농산물과 축산물, 공산품 또는 서비스를 생산하는 전 과정에서 사용되는 물의 양이고(Allan, 2003), 물발자국은 가상수의 양에 상품을 소비하고 폐기하는데 필요한 물을 포함한 개념이다. 즉, 물발자국의 개념은 제품을 생산하고 유통하는 과정과 소비자가 사용하고 폐기하는 과정을 포함하는 전체 과정(life cycle)에서 사용되는 물의 총량을 의미한다(Hoekstra and Chapagain, 2007; KREI, 2012; Lee, 2016). 그러나 현재 국내외에서 연구자들이 산정하는 물발자국 및 가상수의 양에는 이들 개념이 혼용되어 활용되고 있는 것이 현실이다.

한국은 높은 인구밀도와 공간적인 한계로 인하여 국가 수자원 관리에 대한 근본적인 제약조건을 가지고 있다. 연평균 강수량은 세계평균 강수량에 비해 1.6배나 많지만 높은 인구밀도와 지리적 요건에 의해 1인당 수자원 사용가능량은 세계평균의 1/6에 불과한 수준이다. 이처럼 한국은 1인당 연간 이용 담수량(총 인구대비 담수량)이 세계 153개국 중에서 하위 129위임에도 불구하고 국민들이 물부족을 직접 체감하지 못하고 있다. 이는 한국이 외국에서 가상수의 형태로 농축산물 및 공산품 무역을 통해 수자원을 수입하여 국내에서 부족한 물수요의 상당한 양을 충당하고 있기 때문이다(Ahn *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2020b).

한국의 곡물 자급도는 약 30%에 불과하며, 특히 밀, 옥수수, 두류는 자급도가 15% 이하로 쌀(95%)에 비하면 곡물자급도가 매우 낮다(Yoo *et al.*, 2010). 하지만 농축산물의 거래량이 많은 것에 비하여 국내 농축산물에 대한 물발자국 산정연구가 매우 부진한 상태이다. 한국 관세청에서 관리하는 수출입통계의 품목 중 대부분은 물발자국 산정이 되지 않은 상황이다. 따라서 현재까지의 가상수 거래량 산정연구는 몇몇 작물에 국한되어 단편적인 거래량을 파악하는 정도에 그치고 있다.

국외에서 진행되고 있는 농축산물에 대한 물발자국 산정 및 가상수 거래량에 대한 연구는 Chapagain and Hoekstra (2004)의 농축산물 물발자국 산정연구를 비롯하여 Hoekstra and Chapagain (2007), Mokonnen and Hoekstra (2011) 등 전세계 국가별, 품목별 물발자국을 산정하고, 가상수 거래량 및 추이분석 등의 연구가 진행되고 있다. 하지만 아직까지 한국 상황에 특화된 국내의 물발자국 및 가상수 분석은 일부 연구자에 국한되어 있다.

향후 국내의 연구가 진전이 되어 수출입 품목에 대한 물발자국 분석이 완성되면 한국중심의 국제 가상수 거래량 산정이 가능해진다. 이를 위하여 본 연구는 현재까지 국내외에서 진행된 가상수분석 연구에서 적용한 물발자국 산정과정을 분석

하여 체계적으로 정리하였다. 또한 국내외 선행연구에서 제시한 농축산물 물발자국의 산정결과 및 인용관계 분석을 기반으로 국내 환경을 고려한 물발자국 적용값을 제시하였다. 본 연구의 결과를 활용하여 Park *et al.* (2020a)은 한국을 중심으로 전 세계 248개국과의 농축산물 가상수 국제교역을 파악하여 국제적인 가상수 거래량을 산정하여 제시하였다.

2. 이론적 배경

특정 국가 또는 지역의 수자원 공급계획은 물수지분석에서 파악한 수자원의 양을 활용하여 수립할 수 있다. 그러나 그것은 국제교역에 따른 상품의 수출입 및 상품을 생산하는데 소요된 물의 양을 고려하지 않은 상태의 공급계획이다. 우리나라는 아직 국가수자원계획 수립에 가상수의 개념을 도입하지 않고 있다. 따라서 가상수 개념을 도입하여 가상수의 수출량과 수입량을 파악하여 국제적으로 연계된 수자원 공급계획을 수립하는 것이 바람직하다. 이론적으로는 물수지분석에서 직접적인 물 사용(지역 내에서 가용한 수자원)과 간접적인 물 사용(지역 외에서 수입한 물품생산에 소요된 수자원)을 종합적으로 고려하는 것이다. 문제는 가상수량의 수출입량을 파악하는 것이 간단하지 않다는 점이다. 우리나라는 2019년에 5,422억 달러의 상품을 수출하고, 5,033억 달러의 상품을 수입하여 무역수지는 389억 달러의 흑자를 기록하였다(관세청 수출입 무역통계, unipass.customs.go.kr). 금액만으로 단순비교를 하면 우리나라는 2019년에 약 4백 억 달러의 상품을 생산하는데 필요한 수자원(물)을 외국으로 보낸 것이다. 그러나 상품 수출은 물소모량이 적은 2차 산업 위주이고 상품 수입은 물소모량이 많은 1차 산업 위주라서 가상수량을 산정하여 비교를 하면 가상수의 수출보다는 수입이 훨씬 더 많다(Park *et al.*, 2020a).

가상수와 물발자국의 산정방법은 농산물의 재배 및 축산물의 사육 방식이 다르기 때문에 각각의 산정방법 또한 차이가 있다. 농산물의 경우 작물이 생장하는데 필요한 물과 토양, 기후 등을 고려하여 산정하고, 축산물의 경우 가축이 먹는 물과 사료에 포함된 물발자국, 위생관리를 위한 물을 고려하여 산정한다. Hoekstra and Chapagain (2007)에서 정리한 농축산물의 단위 가상수량 및 가상수 거래량 산정방법을 아래와 같이 정리하였다(Ahn *et al.*, 2010).

2.1 농작물의 물발자국 산정 방법

VWC [c]는 국가별 c라는 작물의 단위 가상수량(m^3/ton)으로 대상 지역의 전체 작물 c의 연간 생산량(ton/yr)에 대한 작물

c를 생산하기 위해 소요된 연간 물사용량(m^3/yr)의 비로 정의된다. 작물 c의 단위 가상수량(VWC)은 다음과 같다(Hoekstra and Chapagain, 2007; Ahn et al., 2010).

$$VWC[c] = \frac{CWU[c]}{Production[c]} \quad (1)$$

여기서, CWU [c]는 국가에서 c라는 작물을 생산하기 위해 사용되는 총 물의 양이고, production [c]는 국가에서 작물 c를 연간 생산하는 총량이다.

2.2 축산물의 물발자국 산정 방법

축산물의 가상수량(VWC [a])은 동물(a)이 먹는 사료가 재배되고 가공될 때 사용되는 물의 총량과 동물에게 제공되는 음용수 그리고 농장을 치우거나 동물을 씻기는데 등 여러 가지 서비스 물의 총량으로 정의된다. 축산물의 가상수량은 동물의 유형과 농장 운영 시스템, 사료의 소비형태 및 소비량 그리고 사료가 재배되는 지역의 기후 조건에 의해 결정된다. 따라서 축산물 a의 단위 가상수량(VWC)은 다음과 같이 세 부분으로 구성된다(Hoekstra and Chapagain, 2007; Ahn et al., 2010).

$$VWC[a] = VWC_{feed}[a] + VWC_{drink}[a] + VWC_{serv}[a] \quad (2)$$

여기서, $VWC_{feed}[a]$, $VWC_{drink}[a]$, $VWC_{serv}[a]$ 는 각각 축산물 a에 해당하는 사료의 가상수량, 동물에게 제공되는 음용수량 그리고 서비스되는 물의 총량을 나타낸다.

2.3 가상수 거래량 산정 방법

국가 간 교역에 의한 가상수 거래량(Virtual water flow, VWF)은 수출국에서 수입국으로의 연간 재화교역량에 수출국에서 재화를 생산하는데 필요한 물의 양인 물발자국을 곱한 값으로 나타내는데, Eq. (3)와 같다(Hoekstra and Chapagain, 2007; Ahn et al., 2010).

$$VWF[e, i, p] = PT[e, i, p] \times VWC[e, p] \quad (3)$$

여기서, VWF는 수출국 e에서 수입국 i로의 가상수 거래량(m^3/yr), PT는 수입되는 농산물 및 농산가공품의 교역량(ton/yr), VWC는 수출국 e에서 제품 p를 생산하기 위한 단위 가상수량(m^3/ton)이다.

여기에서 한국을 중심으로 전 세계와 거래되는 가상수 거래량을 파악하기 위해서는 한국의 물발자국과 수출입국의 물

발자국을 국가별로 산정하여 적용하여야 한다. 이러한 국가별 농축산물의 물발자국을 산정하기 위해서는 해당 지역의 기후상황, 기상조건, 토양 등을 고려한 증발산량이 필요하다. 하지만 현재 전 세계 248개 국가의 환경정보를 고려하여 산정하기는 사실상 불가능하다. 또한 동일한 품목이라도 연구자, 조사기간 등에 따라 물발자국의 산정값에 차이가 나기에 적용 가능한 물발자국 산정에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 한국중심의 물발자국 산정방법과 수출입현황을 개략적으로 파악하기 위하여 수출입국의 물발자국이 한국과 동일하다는 가정 하에 연구를 진행하였다.

3. 연구방법

3.1 농축산물 거래품목 분류

한국을 기준으로 전 세계 대상의 가상수 거래량을 파악하기 위해서는 우선 국내 수출입 실적의 확보가 필요하다. 이러한 자료는 UN 산하기관이나 World Bank 등의 다양한 국제기구에서 농축산물을 포함한 국가 간의 수출입 실적을 제공하고 있다. 예를 들면, 식량농업 분야 국제기구인 FAO (Food and Agriculture Organization)의 사이트에서는 국가별 농산물의 수출입 자료를 제공하고 있다. 그러나 이들 기관에서 제공하는 통계자료에는 누락되거나 결측된 자료 등이 포함되어 있고 자료의 신뢰성이 높지가 않다.

본 연구에서는 한국 관세청 수출입무역통계(unipass.customs.go.kr) 사이트에 제공하는 무역수출입통계를 수출입 실적자료로써 활용하였다. 관세청의 실적자료는 본 연구에서 산정하려는 한국 중심의 국가별 가상수 이동량의 기초자료로써 필요한 한국을 기준으로 수출 및 수입하는 품목에 대한 연도별 통계자료를 제공하고 있다. 또한 중앙정부에서 제공하는 공공자료로서 자료의 신뢰성이 아주 높기 때문에 UN이나 World Bank 같은 국제기구에서 제공하는 자료보다 유용하여 활용하기에 적합하다.

국가별 수출입품목에 대한 실적은 관세청에서 자체기준에 의하여 분류 및 관리되고 있다. 수출입품목의 분류기준은 관세청의 수출입 실적에서 분류하고 있는 신성질별 품목분류를 따랐다. 관세청에서 2012년 이전에는 수출, 입 물품에 대한 항목의 분류가 다르게 되어 있어 수출입량을 정확히 비교하기 어려웠다. 이에 신성질별 분류라는 분류법을 개발하였고, 이를 도입한 2012년을 기준으로 이전 10년(2002년)부터의 수출입 실적을 분류법에 따라 각 물품에 대한 수출입실적을 분류 및 정리하였다. 본 연구에서는 관세청 수출입무역통계 사

이트에서 제공하는 최신자료인 2018년 무역수출입 통계를 활용하여 2018년 기준으로 한국과 전 세계 248개 국가와의 품목별 수출입 실적을 파악하였다.

3.2 국내 선행연구 현황

현재 국내에서는 농축산물에 대한 물발자국 산정연구가 크게 미흡하고 관련 연구자도 소수에 불과하다. 더구나 산정 과정을 자세하게 소개한 문헌이 거의 없고 산정결과만 제시한 내용이 대부분이어서 산정값의 적절성 파악에도 어려움이 많다. 국내 물발자국 산정에서는 아래 연구자들의 연구결과가 크게 유용하다. Ryu (2013)와 Lee *et al.* (2015)는 대표적인 축산물 3개에 항목에 대한 물발자국, Son *et al.* (2013) 과 Yoo *et al.* (2014a)는 각각 배추와 쌀에 대한 물발자국을 산정하였다. Yoo *et al.* (2014b)는 농산물 43개 항목, Korea Rural Community Corporation (KRC) (2014)는 농산물 44개 항목과 축산물 3개 항목을 산정하였다. 또한 Smart-eco (2014)는 농산물 27개와 축산물 3개 항목에 대해서만 물발자국을 산정하였다.

이와 같이 소수의 연구자들은 각자 개별적인 연구목표에 따라 대표적인 작물들을 대상으로 물발자국을 산정하고, 단편적인 거래량을 도출하였으므로, 향후 국가 차원에서 주요 품목별 물발자국 산정 연구사업이 본격적으로 추진되어야 한다. 또한 한국 관세청의 수출입품목을 고려하여 국내 농축산물 물발자국 적용값을 산정하여야 한다. 본 연구에서는 우선 한국 중심의 국제적인 가상수 거래량을 산정하여 우리나라의 가상수 거래 규모를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 국내외 물발자국 산정연구의 결과를 Park *et al.* (2019b)에서 분석한 선행연구들의 인용관계에 따라 적절한 기준을 적용하여 국내 농축산물 물발자국 적용값을 산정하였다.

4. 국내 물발자국 적용값 산정

국내 물발자국 연구에서 산정방법은 주로 국외 선행연구의 연구방법을 활용하고, 산정결과는 국외 및 국내의 결과를 인용하여 비교하고 있다. 국내 연구자가 인용한 국외·외 논문들의 인용관계를 분석하기 위하여 연구자별로 참고하는 선행연구와 인용과정을 파악하였다. 또한 후행연구에서 인용이 많이 되는 선행연구의 결과값이 자료의 신뢰도가 높은 것으로 가정하였다(Park *et al.*, 2020b).

Park *et al.* (2019a, 2019b)의 인용관계분석에 따르면 2011년 이전에는 주로 Chapagain and Hoekstra (2004)가 제시한 농·축산물 물발자국 연구방법과 분석결과를 인용하여 비교 분석을 실시하였다. 2011년 이후에는 주로 Mokonnen and

Hoekstra (2011)가 제시한 전 세계 농산물 물발자국 산정방법 및 결과를 인용하여 국내 가상수량을 산정하고 실제 물 수요량과 비교하는 연구가 많았다.

2014년에는 국내에서 주목할만한 연구로서 Yoo *et al.* (2014a, 2014b), KRC (2014), Smart-eco (2014)가 발표되었다. 3개 모두 과거 10년간의 통계자료를 활용하고 국내의 농산물 재배환경에 맞는 조건을 고려하는 방법 등으로 물발자국 산정을 수행하였다. Yoo *et al.* (2014b)와 KRC (2014)는 2001-2010년의 10년 자료, Smart-eco (2014)는 2003-2012년의 10년 자료를 이용하여 농산물의 물발자국을 산정하여 국외의 품목별 세계평균과의 비교 및 검증하였다. 이러한 연구결과는 10년간의 통계자료를 활용하고 한국의 재배환경을 고려한 산정결과로써 우리나라의 시대적 및 환경적 대표성을 가지고 있다고 판단된다. 2014년 이후에 수행된 국내연구에서는 상기 3가지 연구결과를 인용하거나 비교하는 연구가 다수 진행되었다.

4.1 농축산물 물발자국 적용값 선정기준

농·축산물의 물발자국 산정값은 자연적 및 환경적 요인에 영향을 많이 받는다. 따라서 국내 농·축산물에 대한 물발자국 산정은 한국의 자연환경적 요인을 고려하여야 한다. 이를 위하여 국내 농·축산물의 물발자국 산정방법은 기본적으로 국내에서 수행된 물발자국 연구결과를 적용하고, 국내자료가 없으면 부득이 국외의 산정연구를 따르는 것으로 하였다. 국내·외 연구에서도 파악되지 않는 기타 항목 및 부산물은 해당 소항목의 산술평균값을 적용하여 산정하였다.

국내 물발자국 산정연구 결과를 적용하는 경우, 선행연구의 인용관계 분석을 통해 국내 산정과정에서 가장 많이 인용된 연구결과와 물발자국 산정값을 우선순위로 적용하고, 최다인용 연구에서 산정결과가 없는 항목의 경우에는 그 다음으로 많이 인용된 연구결과와 물발자국 산정값을 채택하였다.

농산물 물발자국 산정값은 상기의 기준을 적용하여 국내 선행연구의 연구흐름과 인용관계를 고려하여 아래와 같은 적용순위를 정하여 채택하였다(Table 1).

- 제1순위는 국내 자료인 Yoo *et al.* (2014a, 2014b)의 논문 및 KRC (2014)의 보고서 산정값
- 제2순위는 국외 자료인 Mokonnen and Hoekstra (2011)에서 산정한 세계 평균값(아직 국내연구에서 산정되지 아니한 품목의 물발자국 산정값 적용)
- 제3순위는 해당 소항목 물발자국의 산술평균값(국내외 물발자국 산정결과가 없어서 1, 2순위에 적용되지 않은 기타 농산물)

Table 1. Literature review for calculating water footprint of agricultural products

Item	Literature / Method
Wheat, barley (powder), maize, soy bean, red bean, mung bean, groundnut, sesame, perilla, rapeseed, plum, watermelon, peach, sweet potato, ginger, lettuce, spinach, pumpkin, grape, apple, pear, strawberry, melon, persimmon	Yoo <i>et al.</i> (2014b)
Paddy rice	Yoo <i>et al.</i> (2014a)
Kidney bean, pea, rice powder, wheat, maize, sunflower seed, chili, cherry, mango, kiwi, coffee bean, coffee parchment, outer coffee skin, instant coffee, green tea, red tea, mate, other teas, pepper, turmeric, bay leaf, other spices, cinnamon, clove buds, almond, chestnut, nuts, coconut, cashew, pistachio, banana, pineapple, orange, lemon, lime, cocoa bean, cocoa paste and butter, cocoa powder (without sugar and sweetener), chocolate and snacks	Mekonnen and Hoekstra (2011)
Cabbage, white radish, carrot, cucumber, onion, garlic, green onion, beef (meat), pork, chicken	KRC (2014)
Quince, green plum, jujube, ginseng, liquidized ginseng, bracken, chives, horse radish, pine nut, ginkgo nut, ginseng powder, processed grain, processed vegetable, fruit, other fruits, other grains and beans, other mill products, other oil-bearing seeds and fruits, coriander seed, fennel seed, juniper fruit, other medicinal herbs, other nuts, other cocoa, other milk products, other farm products, horse, turkey, ducks, other livestock products, other meats, duck meat, deer antlers and horn, processed livestock products, livestock by-products	Calculating average water footprints of items that are identified as similar species
Milk, milk powder, cheese, butter	Mesfin and Arjen (2012)

축산물 물발자국 산정값도 상기의 기준을 적용하여 국내 선행연구의 흐름과 인용관계를 고려하여 아래와 같은 적용순위를 정하여 채택하였다.

- 제1순위는 국내 자료인 KRC (2014)의 보고서 산정값
- 제2순위는 국외 자료인 Mesfin and Arjen (2012)의 산정값(1순위에서 산정되지 아니한 축산품의 물발자국 산정값 적용)
- 제3순위는 국내 자료인 KRC (2014)의 물발자국 산술평균값(국내외 연구에서 산정되지 아니한 축산품은 국내 산정값의 산술평균 적용)

4.2 물발자국 적용값 산정

국내 농축산물 물발자국 품목의 분류기준은 한국 관세청에서 신성질별로 분류한 품목분류표를 채택하였다. 신성질별 품목분류에 따라 한국 중심의 가상수 거래량을 파악하기 위하여 수출입물품 분류별 물발자국을 선행연구의 물발자국 산정현황을 바탕으로 적용기준에 따라 도출하였다. Park *et al.* (2019b)에서 분석한 인용관계에 따른 우선순위에 따라 해당 품목의 물발자국을 정리하였다. 또한, 기타 분류품목 및 아직 산정된 바가 없는 인삼류 등과 같은 품목의 경우에는 각 품목이 포함된 소분류 및 비슷한 재배환경을 가지는 것으로 사료되는 분류품목들의 평균 물발자국을 적용하였다(Appendix 1).

국내 물발자국 산정이 중요한 이유는 재배환경 및 방식에 따라 물발자국이 달라지기 때문이다. 따라서 환경조건을 고려하지 않으면 정확한 가상수 거래량을 산정하기 힘들다.

Appendix 1에서 정리한 국내 농축산물 물발자국은 국내 재배환경을 모두 고려하지 못했으나, 국내 문헌자료 및 인용관계를 고려하여 최대한 국내 환경을 반영하고자 하였다. 이는 한국중심의 가상수 거래량을 산정하는데 있어서 중요한 기준이 된다.

4.3 선행연구와의 차이점

Yoo *et al.* (2010)의 가상수 거래량 분석은 우리나라 수출입 식량작물 중 큰 비중을 차지하는 4개 작물(밀, 벼, 옥수수, 대두)을 대상으로 2003년부터 2007년까지의 가상수 수입량을 산정하였다. 이때 농작물의 국내 물발자국은 Yoo *et al.* (2009)에서 산정한 결과를 인용하였고, 해외 물발자국은 Chapagain and Hoekstra (2004)의 전세계 물발자국 산정결과를 적용하여 산정하였다. 하지만 연구에서 자세한 해외 국가명 및 국가 수에 대해서는 언급하지 않았다. Lee (2014)의 가상수 거래량 분석연구에서는 식량작물(밀, 쌀, 보리, 기타 작물)을 대상으로 가상수 수입량을 산정하여 비교하였다. 이때 작물의 물발자국은 국내외 모두 Mekonnen and Hoekstra (2011)의 전세계 물발자국 산정결과를 인용하여 산정하였다. 또한 주요 국가별 가뭄 발생에 따른 가상수 교역의 변화를 분석하였다.

본 연구에서는 한국에서 수출입되는 농축산물의 전품목을 대상으로 가상수 거래량을 분석하였으며, 2018년 수출입통계를 활용하여 최신의 가상수 거래현황을 파악하고자 하였다. 또한 국내외 농축산물 물발자국은 본 연구에서 산정한 농축산물 물발자국 적용값을 따랐다. 이때 물발자국의 경우 각

Table 2. Differences between current and previous research

	Yoo <i>et al.</i> (2010)	Lee (2014)	This study (2020)
Item	Wheat, rice, maize, soy bean	Food crops (wheat, rice, barley, other crops)	All agro and livestock products
Water Footprint	(Water footprint in domestic research) Yoo <i>et al.</i> (2009)'s results of water footprint calculations (Water footprint in overseas research) Chapagain and Hoekstra (2004)'s results of water footprint calculations	(Water footprint in domestic and overseas research) Mekonnen and Hoekstra (2011)'s results of water footprint calculations	(Water footprint in domestic and overseas research) The results of water footprint calculations based on domestic and foreign research *Premise : the water footprint of agro and livestock products are equal
Country	N/A Average trade volume in international trade statistics	All countries in the world	248 countries

수출입국의 물발자국을 따로 산정하여야 하지만 현재 전 세계 248개 국가의 자연환경 정보를 고려하여 산정하기 사실상 어려움이 따른다. 따라서 수출입국 농축산물의 물발자국은 국내 물발자국과 동일하다는 가정하에 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 2018년에 한국과 교역실적이 있는 전세계 248개 국가를 대상으로 가상수 거래량을 파악하고자 하였다.

본 연구와 국내 가상수 거래량 산정 선행연구의 차이점을 Table 2와 같이 정리하였다.

5. 결론

본 연구는 한국을 중심으로 수출입 되는 국제 가상수 거래량의 산정에 필요한 국내 농축산물 물발자국 적용값을 제시하였다. 이를 위하여 한국 관세청에서 제공하는 수출입 품목의 신성질별 분류기준에 따라 농축산물을 분류하고 세부 품목별로 물발자국 적용값을 제시하였다. 물발자국 적용값은 국내에서 산정한 물발자국이 있으면 국내값을 우선적으로 채택하고 국내 산정 물발자국이 없으면 외국에서 제시한 물발자국을 활용하였다. 그리고 국내 및 국외에서 아직 연구되지 않는 품목은 해당 품목이 속한 중분류의 산술평균값을 적용하였다.

본 연구의 결과를 활용하여 한국을 중심으로 248개국과의 국제 가상수 거래량을 산정하여 대륙별, 국가별, 품목별로 정리한 결과는 Park *et al.* (2020a, 2020b)에서 제시하고 있다. 국제 가상수 거래량을 분석하면 한국에서 유출 및 유입되는 가상수 총량을 파악할 수 있다. 만약 관세청에서 제공하는 품목별 월별 수출입량을 분석하면 가상수의 계절별, 월별 시계열 자료의 확보도 가능하다. 가상수의 시계열 자료는 국가수자원계획의 수립에서 가상수의 영향을 반영한 용수수급전략을 도출하는데 유용한 입력자료가 될 수 있다.

본 연구의 결과는 향후 국내에서 가상수 및 물발자국 산정

관련 연구를 수행하려는 연구자들에게 선행연구로서 매우 유용하게 활용될 것이다. 아직 국내외에서 산정되지 못한 농축산물의 지역별, 국가별 물발자국에 대한 연구가 수행되면 정확한 가상수 거래량을 파악할 수 있다. 이에 따라 우리나라는 수자원에 대하여 한층 정교한 수요와 공급의 분석을 바탕으로 효과적인 수자원 전략 및 물관리정책의 수립이 가능해진다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원으로 수행되었음.(과제번호 83084)

References

- Ahn, J.H., Lee, J.G., Lee, S.H., and Hong, I.P. (2010). "Evaluation of virtual water calculation method in Korea." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 43, No. 6, pp. 583-595.
- Allan, J.A. (2003). "Virtual water - water, food trade nexus, useful concept or misleading metaphor?" *Water International*, Vol. 28, No. 1, pp. 4-11.
- Chapagain, A.K., and Hoekstra A.Y. (2004). *Water footprint of nations*. Value of Water Research Report Series 16, IHE Delft Institute for Water Education, Delft, Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., and Chapagain, A.K. (2007). "Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern," *Water resources management*, Vol. 21, pp. 35-48.
- Korea Rural Community Corporation (KRC) (2014). *Water footprint estimation and application for sustainable water resources use (final)*.
- Korea Rural Economic Institute (KREI) (2012). *A study on the introduction and utilization of virtual water to agriculture*.
- Lee, K.L. (2016). *Quantification of water footprint for small electrical*

- appliance with case study of home water purifier*. Master Thesis, Ajou University.
- Lee, S.H. (2014). "Analysis of estimation of international virtual water trade volume and changes in trade structure." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 56, No. 1, pp. 71-80.
- Lee, S.H., Choi, J.Y., Yoo, S.H., Kim, Y.D., and Shin, A.K. (2015). "Estimation of water footprint for livestock products in Korea." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineer*, Vol. 57, No. 2, pp. 85-92.
- Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y. (2011). "The green, blue, and grey water footprint of crops and derived crop products." *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 15, pp. 1577-1600.
- Park, S.J., Lee, M.H., and Ju, Y.N. (2019a). "The need to establish water plan considering virtual water trade." *Magazine of Water Resources Association*, Vol 52, No. 12, pp. 82-88.
- Park, S.J., Lee, M.H., Ju, Y.N., and Park, K.Y. (2019b). "Citation relationship trend analysis of virtual water and water footprint studies in Korea." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 21, No. S-1, pp. 141-148.
- Park, S.J, Lee, M.H., Park, K.Y., and Shin, J.H (2020a). "Calculating virtual water for international water transactions: Korea focused international trade analysis." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 53, No. 9, (Accepted).
- Park, S.J., Ryu, S.S., Lee, M.H., and Ju, Y.N. (2020b). *Establishment of South Korean virtual water analysis for international water trade*. Technical Report, CCAW-TR-32, Research Group of Climate Change Adaptation for Water Resources.
- Ryu, U.C. (2013). *Estimation analysis of the water footprint of major livestock products*. Master Thesis, Seoul National University.
- Smart-eco (2014). *A development of technical framework for water footprint*.
- Son, M.J., Kim, I., and Cha, K.H. (2013). "Water footprint assessment on agricultural products." *The Korean Society for Life Cycle Assessment*, Vol. 14, No. 1, pp. 97-109.
- Yoo, S.H., Choi, J.Y., Kim, T.G., and Im, J.B. (2010). "Estimation of import virtual water for cereal crop product in Korea." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1667-1671.
- Yoo, S.H., Choi, J.Y., Kim, T.G., Im, J.B., and Chun, C.H. (2009). "Estimation of crop virtual water in Korea." *Journal of the Korea water Resources Association Convention*, Vol. 42, No. 11, pp. 911-920.
- Yoo, S.H., Choi, J.Y., Lee, S.H., and Kim, T.G. (2014a). "Estimating water footprint of paddy rice in Korea." *Journal of Paddy Water Environment*, Vol. 12, pp. 43-54.
- Yoo, S.H., Lee, S.H., Choi, J.Y. (2014b). "Estimation of water footprint for upland crop production in Korea." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 56, No. 3, pp. 65-74.

Appendix 1. Calculation results for water footprint of agricultural and livestock products classified by item

Agricultural and livestock products (m ³ /ton)	Korea/Mean of world water footprint	Agricultural and livestock products (m ³ /ton)	Korea/Mean of world water footprint	Agricultural and livestock products (m ³ /ton)	Korea/Mean of world water footprint
1) Agricultural products (Consumables)		1) Agricultural products (Consumables)		1) Agricultural products (Consumables)	
-Grains and nuts		(Other nuts)	7,330.5	(Cocoa paste)	24,238.0
(Rice, paddy)	844.5	-Fruits		(Cocoa butter)	33,938.0
(Wheat)	1,060.2	(Banana)	790.0	(Cocoa power (Sugar and sweetener))	15,636.0
(Barley)	795.9	(Pine apple)	255.0	(Chocolate and chocolate snacks)	17,196.0
(Maize (corn))	1,039.7	(Orange)	560.0	(Other cocoa products)	21,095.3
(Soybeans)	3,346.7	(Lemon)	642.0	-Processed agro-products	
(Red Bean)	3,166.9	(Grape)	280.9	(Processed grains)	1,721.7
(Mung Bean)	4,085.6	(Apple)	511.9	(Processed Vegetables)	186.6
(Beans, green)	561.0	(Pear)	400.3	(Processed Nuts)	7,330.5
(Peas, green)	595.0	(Strawberry)	101.6	(Processed Fruits)	640.2
(Other grains and beans)	1,721.7	(Melon)	96.1	(Other processed products)	2,469.7
-Milled products		(Lime)	642.0	-Agricultural by-products	
(Rice flour)	2,628.0	(Persimmon)	676.5	(Agro-products)	8,128.9
(Barley flour)	795.9	(Jujube)	640.2	-Other agro-products	
(Wheat flour)	1,849.0	(Cherry)	1,604.0	(Other agro-products)	8,128.9
(Maize (corn) flour)	1,253.0	(Apricot)	1,287.0	2) Livestock products	
(Other mill products)	1,631.5	(Plum)	674.6	-Live animal	
-Oil-bearing seeds and fruits		(Mango)	1,800.0	(Horse)	8,242.2
(Ground Nut)	2,383.4	(Water melon)	111.7	(Cattle)	17,736.7
(Sesame Seed)	5,556.5	(Green plum)	640.2	(Pig)	4,441.1
(Perilla Seed)	4,550.4	(Peach)	575.7	(Chicken)	2,548.7
(Rapeseed)	4,412.8	(Kiwi)	514.0	(Turkey)	8,242.2
(Sunflower seeds)	3,366.0	(Green apricot)	640.2	(Duck)	8,242.2
(Other oil-bearing seeds and fruits)	4,053.8	(Other fruits)	640.2	(Other livestock)	8,242.2
-Vegetables		-Coffee		-Meats	
(Napa Cabbage)	42.4	(Coffee bean)	15,897.0	(Beef)	17,736.7
(Cabbage)	65.1	(Coffee husks and skins)	15,897.0	(Pork)	4,441.1
(Radish)	69.4	(Instant coffee)	15,897.0	(Chicken)	2,548.7
(Carrot)	106.9	(Other coffee)	15,897.0	(Duck)	8,242.2
(Tomato)	28.3	-Tea		(Other meats)	8,242.2
(Cucumber)	50.8	(Green tea)	8,856.0	-Edible meat offal	
(Onion)	90.5	(Red tea)	8,856.0	(Offal bovine)	17,736.7
(Garlic)	432.6	(Mate)	8,856.0	(Offal swine)	4,441.1
(Chili)	379.0	(Other teas)	8,856.0	(Giblet)	2,548.7
(Potato)	135.8	-Spice		(Offal poultry)	8,242.2
(Bracken)	186.6	(Pepper)	7,611.0	(Other offal)	8,242.2
(Sweet potato)	370.0	(Turmeric)	7,611.0	-Milk and dairy products	
(Ginger)	494.9	(Bay leaf)	7,611.0	(Milk)	1,021.0
(Lettuce)	112.8	(Other spice)	7,611.0	(Milk powder)	4,745.0
(Spinach)	43.9	-Herbal oriental medicinal hubs		(Cheese)	5,060.0
(Pumpkin)	129.4	(Cinnamon)	15,526.0	(Butter)	5,553.0
(Eggplant)	362.0	(Dried clove buds)	61,205.0	(Other dairy products)	4,094.8
(Green onion)	258.3	(Coriander seed)	8,280.0	-Animal oriental medicinal stuff	
(Chives)	186.6	(Cumin seed)	28,337.0	(Deer antlers and horn)	8,242.2
(Horse radish)	186.6	(Fennel seed and juniper fruit)	28,337.0	(Other animal medicinal stuff)	8,242.2
(Other vegetables)	186.6	(Other medical hubs)	28,337.0	-Processed livestock products	
-Nuts		-Ginseng		(Processed livestock products)	8,242.2
(Almond)	8,047.0	(Ginseng root)	186.6	-Livestock by-products	
(Chestnut)	2,750.0	(Liquidized ginseng)	186.6	(Livestock by-products)	8,242.2
(Walnut)	4,918.0	(Ginseng powder)	186.6	-Other livestock products	
(Coconut)	2,687.0	(Ginseng beverage)	186.6	(Other livestock products)	8,242.2
(Pine nut)	7,330.5	(Other ginseng products)	186.6	X	
(Ginkgo nut)	7,330.5	-Cocoa			
(Cashew)	14,218.0	(Cocoa bean)	19,928.0		
(Pistachio)	11,363.0	(Cocoa powder (without sugar and sweetner))	15,636.0		