

한국인 식사구성안의 식품군 및 권장식단의 물발자국에 관한 연구

†김 현 주

대전보건대학교 식품영양과 부교수

A Study on the Water Footprint of Korean Food Guide and Recommended Meal Plan

†Hyun Ju Kim

Associate Professor, Dept. of Food and Nutrition, Daejeon Health Institute of Technology, Daejeon 34504, Korea

Abstract

Sustainable and healthy diet is a challenge in recent world. Despite the global depletion of water resources, Korea has no system for controlling its water footprint. This study established the water footprint tables of Korean food using the Water Footprint Network databases, and applied them into two meal plans for 19-64 year-old adults recommended in the Dietary Reference Intakes for Koreans 2020. Nut, oil, and meat's water footprints were higher and those of fruit and vegetable were lower. Sesame oil had the highest water footprint of 21,793 L/kg and pineapple had the lowest domestic water footprint of 102 L/kg. Water footprint of one serving size of beef was 925 L, that of chicken was 260 L, and those of soybean were 43 L in global and 81 L in domestic. The water footprint of the recommended 2,400 kcal meal plan was 2,882 L, and that of 1,900 kcal meal plan was 1,915 L. The water resources can be saved by choosing food with lower water footprint. The results of this study can be used in the further researches for more sustainable and healthier Korean diet.

Key words: water footprint, virtual water, sustainability, Korean food guide, meal plan

서 론

물발자국(water footprint)은 탄소발자국 및 생태발자국과 함께 지구적 환경문제에 인간의 행위가 미치는 영향을 나타내는 환경발자국 지표로서 생태적 지속가능성을 높이기 위한 인간의 책임을 강조하는 개념이다(Kim & Kim 2016). Allan T(1999)는 인간이 사용하는 물의 양을 나타내는 지표로 가상수(virtual water)를 제안하였고, Chapagain & Hoekstra (2004)은 여기에 지구자원으로서의 물을 사용하는 인간의 행위라는 의미를 담아 물발자국 개념으로 확대하였다. 물발자국은 '하나의 제품이나 서비스 전 과정에 이용되는 물 사용량으로서, 제품이나 서비스를 생산하는 데 필요한 원재료인 직접수 사용량과 생산, 유통, 사용, 폐기의 각 단계에서 투입되는 제품이나 서비스를 생산하는 데 필요한 간접수 사용량을 합산한 값'으로 정의되었다(Hoekstra & Chapagain 2008).

물발자국은 소비자가 직접 사용하는 직접수와 사용하는 제품에 포함된 간접수로 구분되며, 제품 생산에 사용되는 물발자국은 녹색 물발자국과 청색 물발자국, 회색 물발자국으로 구분된다. 녹색 물발자국은 비와 눈이 하천이나 지하수로 유입되기 전에 농작물 재배에 사용되는 양이고, 청색 물발자국은 저수지나 하천에 저장되어 있는 물이나 지하수를 사용하는 양이다. 회색 물발자국은 제품 생산 과정에서 발생한 오염물을 정화하기 위한 담수의 양이다(Roh 등 2012). 이 중에서 청색 물발자국은 주로 농업에서 관개용수로 사용되고, 지표나 지하에 저장될 수 있는 수자원을 사용한 양을 의미하므로(Lee 등 2016) 청색 물발자국이 높은 소비패턴은 지구적 물고갈과 관련이 있다.

대부분의 식품을 생산하는 데 들어간 간접수의 양은 눈에 보이는 직접수의 양보다 압도적으로 많다. 커피 한 잔에는 물이 200 mL 정도 들어 있지만, 커피를 생산하는 데 필요한

† Corresponding author: Hyun Ju Kim, Associate Professor, Dept. of Food and Nutrition, Daejeon Health Institute of Technology, Daejeon 34504, Korea. Tel: +82-42-670-9245, Fax: +82-42-670-9595, E-mail: hjkim2@hit.ac.kr, narnian2@hanmail.net

물의 양인 물발자국은 18,925 L/kg이므로(Mekonnen & Hoekstra 2011) 원두 7 g을 사용한다면 132 L의 간접수가 사용된다. 커피에 붓는 물인 직접수의 양 보다는 커피를 생산하고 유통하는 데 사용된 간접수의 양이 상당히 많기 때문에 물 소비량을 결정하는 것은 컵에 담긴 물의 양이 아니라 원두 사용량의 물발자국이다.

Ko JK(2009)는 물발자국 증가에 영향을 미치는 원인으로 음식 소비량과 소비패턴을 들었다. 중국의 GDP가 상승하면서 식생활에서 육류 소비가 증가하자 중국 내 목축업에 필요한 대두 수입이 증가하였고 이는 결국 전세계 가상수 무역의 증가로 나타났다(Dalin 등 2012). 가상수 무역은 수입국의 식품안정성(food security)을 보장하면서 수출국에는 물 부채를 초래한다(Yang 등 2006). 중국 소가 브라질에서 비를 맞고 자란 대두를 먹고 자란다는 사실은 물 관리가 지구적 문제임을 시사한다. 식품안정성 보장이 지속가능하려면 전 세계적으로 물발자국이 낮은 식품을 선택하려는 노력이 필요하다.

우리나라 국민의 일인당 하루 평균 물발자국은 3,230 L이고 세계인의 일인당 하루 평균 물발자국은 3,405 L이다(Hoekstra & Chapagain 2008). Ridoutt 등(2021a)이 호주국민건강조사(Australian Health Survey 2011-2012)에서 24시간 회상법으로 조사한 호주 성인 9,341명의 식사를 분석하여 계산한 물발자국은 하루 평균 432.6 L였다. 인도인 6,775명을 조사한 연구에서는 인도인의 채식 물발자국이 일인당 하루 737 L이며 녹색 물발자국이 2,531 L라고 하였다(Harris 등 2017). 인도에서 여성과 노인은 에너지 소비량이 적기 때문에 물발자국이 낮았다. 힌두는 동물성 식품을 적게 섭취하기 때문에 물발자국이 낮았는데 이는 동물성 식품을 생산하는 데 필요한 사료의 물발자국이 동물성 식품의 물발자국에 포함되기 때문이다(Harris 등 2017). Ridoutt 등(2021b)은 지구한계를 초과하지 않는 일인당 하루 평균 물발자국 허용치는 세계 인구 78억 명 기준으로 1,120 L이고 인구가 90억 명으로 늘어난다면 971 L로 줄어들 것이라고 예측하였다.

건강을 고려한 식사계획이 환경적으로도 지속가능한가를 탐구하기 위하여 물발자국을 활용한 연구들이 수행되었다. 영양적이면서 지속가능한 인류세 식단(Eat-Lancet diet)은 전통적인 지중해 식사보다 17~48% 정도 물발자국이 낮았다(Vanham 등 2021). 지중해 식사를 노르딕 국가들에 적용한 뉴노르딕 식단(New Nordic Diet)의 물발자국은 일인당 하루 3,528 L였다(Cambeses-Franco 등 2021a). 저탄수화물, 고단백질, 고지방식인 구석기 식단(Paleo diet)의 물발자국은 하루 3,499 L이며 지중해 식사나 남부유럽대서양 식사, 스페인 권장식단보다 높았다(Cambeses-Franco 등 2021b). 식품별로 물발자국을 비교한 Ridoutt 등(2021b)은 빵의 물발자국이 쌀밥의 80배라는 자료를 건강하며 지속가능한 권장식단에 적용

하자고 제안하였고, Cambeses-Franco 등(2021b)은 육류뿐 아니라 올리브유와 견과류도 물발자국에 상당히 기여한다고 하였다. Sokolow 등(2019)은 식물성 식품 중에서 채소와 과일은 영양밀도가 높으면서 물발자국이 낮으며 그중에서 영양밀도가 가장 높고 물발자국이 가장 낮은 식품은 시금치라고 하였다.

이와 같이 다른 나라에서는 물발자국과 관련하여 식생활의 지속가능성과 영양적 가치를 동시에 분석하는 연구가 진행되어 왔으나 한국인 식사의 물발자국에 대한 연구는 많지 않다. Kim 등(2013a)이 물발자국 데이터를 활용하여 분석한 경기도 고등학교 점심식단의 물발자국은 식단에 따라 174~2,841 L였다. 식품수급표에 나타난 우리나라 국민의 일인당 하루 평균 물발자국은 1985년에 936 L였고 2010년에는 1,285 L까지 점차 증가하였다(Lee 등 2015a). Lee 등(2015a)은 우리나라 국민이 같은 열량을 섭취하기 위하여 쇠고기 대신 곡류를 선택하는 것과 같은 식품 소비 패턴의 변화가 수자원 사용량을 줄일 수 있다고 하였다. 그러나 영양적으로 균형잡힌 식사의 환경적 지속가능성을 탐색하여 앞으로의 식품 선택 방향을 제시하기 위한 연구는 부족하다.

우리나라에서 생산되는 식품의 물발자국은 Yoo 등(2009)이 1991년부터 2007년까지 작물통계와 기상자료를 분석하여 곡류, 두류, 서류, 채소류, 과일류, 종자류 등 총 44개 작물의 가상수량을 산정하였다. 그 외에도 쌀과 곡류의 물발자국을 산정하려는 연구들이 수행되었고(Shin SM 2010; Kim 등 2013c; Yoo 등 2014a; Yoo 등 2014b; Oh 등 2017) 배추(Son 등 2013)와 사과(Oh 등 2013), 가축(Lee 등 2015b), 우유(Park 등 2014)의 물발자국도 산정하였다. 그러나 품목수가 제한적이고 다양성이 부족하여 물발자국 관련 연구를 수행하기에는 어려움이 있다(Park 등 2019). 국내산이 아닌 수입 식품을 섭취하는 소비자로서 식품의 전세계 물발자국을 이해하는 것도 필요하다. 그러나 국내에서 물발자국 연구가 활발하지 않아서 물발자국을 활용하여 영양적이며 지속가능한 식생활의 방향을 제시하기 위한 식품영양 연구도 거의 수행되지 못했고, 이러한 연구를 위한 기초자료도 부족한 상황이다.

이러한 기초자료와 연구의 부족은 물발자국 관련 정책의 부채를 가져왔다. 지구에서 인류가 생존하기 위하여 온실기체를 줄이고 지구평균기온 상승을 낮추어야 한다는 데는 국제적인 공감대가 형성되어 있다. 2015년 채택된 '파리협약(Paris Agreement)'은 법적 구속력을 가지는 국제법으로서 포괄적으로 적용되고 있다. 이에 따라 현재 우리나라에서는 '저탄소제품 인증' 제도가 시행되고 있고(환경부고시 제 2020-180호), 「에너지이용 합리화법」에 근거하여 '에너지 소비효율등급 표시' 제도가 시행되고 있다. 그러나 물발자국에 대해서는 관련 제도가 없고 사회적 관심이 부족하다. 호주에

서는 '워터마크 인증제도(WaterMark)'가 시행되고 있으며 유럽연합에서는 물 소비량 및 사용효율등급을 표시하는 '에너지라벨 제도(Energy Label)'가 운영되고 있다(Park 등 2014). 국내에서도 물발자국에 대한 사회적 관심을 높이고 물발자국 관련 제도를 마련해야 한다.

한국인의 식품 소비로 인한 물발자국을 추정하려면 식품 섭취조사를 통하여 얻은 실제 섭취량을 이용하여야 하며, 식품 소비의 물발자국을 추정하려면 1회 섭취량을 적용하는 것이 바람직하다(Kim 등 2013b; Kim 등 2015). 그러나 '2020 한국인 영양소 섭취기준 활용(Ministry of Health and Welfare & The Korean Nutrition Society 2021)'의 권장식단을 활용한다면 영양적으로 균형적인 한국인 식사의 물발자국을 추정할 수 있을 것이다. 또한 식사구성안의 식품군별 대표식품의 물발자국 자료는 영양적으로 충족할 수 있는 식품을 선택하면서 환경에 미치는 영향도 고려할 수 있게 할 것이다. 본 연구에서는 식사구성안의 식품군별 대표식품의 물발자국 데이터를 제시하고, 이를 활용하여 권장식단의 물발자국을 추정하였다. 이를 통하여 식사를 계획할 때 물발자국을 줄이고 인류의 삶을 지속가능하게 하는 식품 선택 방향을 모색하고자 하였다.

연구내용 및 방법

1. 식품의 물발자국 자료

본 연구에서는 물발자국네트워크(Water Footprint Network 2008)에서 제공하는 1996년부터 2005년까지 생산된 농작물과 그 제품의 물발자국 자료(Mekonnen & Hoekstra 2011)와 축산물과 그 제품의 물발자국 자료(Mekonnen & Hoekstra 2012)를 활용하였다. 농작물과 그 제품은 당류와 사료, 채소, 구근, 과일, 곡물, 착유종자, 담배, 섬유, 두류, 양념류, 견과류, 고무·검·왁스, 자극제의 15개 범주로 나뉘어 각 범주별 제품의 녹색·청색·회색 물발자국이 국가별 생산지역에 따라 구분하여 제시된 데이터베이스가 제공되었다. 축산물과 그 제품의 물발자국 자료는 육우와 젖소, 돼지, 육계, 말, 산란계, 양, 염소의 8개 범주별 개별 품목의 녹색·청색·회색 물발자국이 나라별 생산방식에 따라 목축, 산업, 혼합으로 구분하여 제시되었다. 본 연구에서는 농작물과 그 제품의 대한민국 지역 평균 물발자국과 세계평균 물발자국을 사용하였고, 축산물과 그 제품의 물발자국 중에서 생산방식에 가중치를 부여한 평균값(weighted average)의 대한민국의 물발자국과 세계평균 물발자국을 사용하였다.

2. 식사구성안의 식품군별 대표식품의 물발자국

식사구성안의 식품군별 대표식품의 물발자국은 '2020 한

국인 영양소 섭취기준 활용(Ministry of Health and Welfare & The Korean Nutrition Society 2021)'에 제시된 모든 식품의 물발자국을 분석하고자 하였으나 주어진 데이터베이스에 존재하지 않는 식품도 있었다. 곡류군 대표식품 34종 중에서 곡류 10종, 면류 1종, 빵류 1종, 씨리얼류 1종, 감자류 2종, 기타 4종으로 총 19종을 분석하였고, 이 중에서 국내 물발자국은 17종을 분석하였다. 고기·생선·달걀·콩류 대표식품 52종 중에서 어패류를 제외하고, 육류 4종, 난류 1종, 콩류 7종, 견과류 6종으로 구분하여 총 18종의 식품을 분석하였고, 국내 물발자국은 육류 4종, 난류 1종, 콩류 5종, 견과류 3종을 분석하였다. 채소류 대표식품 55종 중에서 물발자국 자료가 없는 해조류와 버섯류를 제외하고 채소류 17종을 분석하였고 이 중에서 국내 물발자국은 15종을 분석하였다. 과일류 대표식품 16종의 물발자국을 분석하였고 그 중에서 12종의 국내 물발자국을 분석하였다. 우유·유제품류는 우유 1종과 유제품 3종을 분석하였다. 유지·당류는 유지류 9종과 당류 1종으로 구분하여 분석하였고, 국내 물발자국은 당류를 제외하고 유지류 6종을 분석하였다. 물발자국 자료가 불완전한 식품은 몇 가지 식품을 하나로 묶어서 제시하였다. 예를 들어 멜론, 칸탈로프, 참외 등은 '기타 멜론'으로, 애호박, 단호박, 늙은 호박은 모두 '호박' 물발자국으로 계산하였다. '특정되지 않은' 물발자국 자료를 식품군별 물발자국이 누락된 식품의 물발자국을 분석할 때 사용하도록 추가하였다. 이와 같이 식사구성안의 6가지 식품군을 곡류, 육류, 난류, 콩류, 견과류, 채소류, 과일류, 우유·유제품류, 유지류, 당류의 10가지 식품군으로 재분류하여 식품별 1회 분량의 물발자국 및 식품군별 평균 물발자국과, 식품군별 세계평균 물발자국의 녹색·청색·회색 물발자국 백분율을 분석하였다. 국내 물발자국은 녹색·청색·회색 물발자국의 누락이 많아 백분율을 분석하지 않았다.

식품별로 1회 분량(serving size)과 단위 수(unit)를 제시하여 식품군별 기준영양소 값과 비교할 수 있도록 하였고, 1회 분량당 세계평균 물발자국과 국내 물발자국을 분석하였다. 두유는 두유 성분인 대두가공품의 12.5% 용액으로 가정하여 두유 200 mL에 포함된 대두가공품의 물발자국을 계산하여 제시하였다. 기호식품 중에서 초콜릿, 차, 커피의 물발자국을 추가로 분석하였다. 초콜릿 1회 분량은 7 g(Rural Development Administration 2013), 차 1회 분량은 2 g으로 계산하였고 커피는 원두의 물발자국을 활용하여 에스프레소 1샷을 만드는데 필요한 7 g을 1회 분량으로 계산하였다.

3. 권장식단의 물발자국 분석

권장식단의 물발자국 분석은 선행연구를 바탕으로 마시고 씻고 조리하는 데 사용된 직접수의 양과 식품을 생산하는

데 사용된 간접수의 양을 모두 포함해야 한다. Kim 등(2013a)은 식재료의 물발자국에 해당하는 간접수의 양과 조리하여 제공된 음식에 포함된 직접수의 양을 더하여 식단의 물발자국을 계산하면서 최종 식품에 포함된 물의 양만을 직접수의 양으로 고려하였으나 조리실에서는 제공되는 국물의 양보다 더 많은 양의 직접수가 사용되며, 직접수의 양은 생산과정을 통하여 식품에 포함된 간접수의 양에 비하여 무시할 수 있을 정도로 적다. 이를 감안하여 본 연구에서는 식단에 포함된 간접수의 양, 즉 물발자국을 정량하는 것으로 연구 범위를 한정하였다.

‘2020 한국인 영양소 섭취기준 활용(Ministry of Health and Welfare & The Korean Nutrition Society 2021)’은 각 생애주기별로 권장식사패턴을 활용한 식단구성안을 제시하였다. 본 연구는 이 중에서 19~64세 남성 권장식단(2,400 kcal, B타입)과 19~64세 여성 권장식단(1,900 kcal, B타입)을 분석하였다. 2,400 kcal를 공급하는 권장식단은 곡류 4회, 고기·생선·달걀·콩류 5회, 채소류 9회, 과일류 3회, 우유·유제품류 1회, 유지·당류 6회 분량을 제공한다. 권장식단에 제시되지 않은 유지·당류 6회 분량은 음식의 조리법에 따라 참기름과 대두유를 배분하였다. 1,900 kcal를 공급하는 권장식단은 곡류 3회, 고기·생선·달걀·콩류 4회, 채소류 8회, 과일류 2회, 우유·유제품류 1회, 유지·당류 4회 분량을 제공한다. 식단을 구성하는 음식의 조리방법에 맞게 유지류 4회 분량을 배분하였다.

권장식단의 물발자국은 끼니별 메뉴를 구성하는 식품을 식품군별 분량으로 세분화하고 각각 필요한 식품의 양을 물발자국으로 환산한 후, 이를 모두 더하여 하루 물발자국을 계산하고 하루 물발자국 중에서 녹색·청색·회색 물발자국의 비율(%)을 분석하였다. 이때 물발자국 자료가 없는 식품은 ‘특정되지 않은’ 물발자국을 대신 적용하였다. 본 연구에서 분석한 권장식단에서 제공되는 식품 중에서 아욱과 부추, 고사리, 숙주는 ‘특정되지 않은 채소’, 무와 도라지는 ‘특정되지 않은 구근’, 배추김치는 ‘양배추’, 깍두기는 ‘특정되지 않은 구근’의 물발자국을 적용하였다. ‘특정되지 않은 구근’은 국내 물발자국 자료가 없으므로 국내 물발자국을 계산할 때 ‘특정되지 않은 채소’ 물발자국을 대신 적용하였다. 김치는 동량의 배추 또는 무의 무게로 가정하여 분석하였고, 국내 물발자국이 없는 잡곡은 ‘보리’를 임의로 선정하여 적용하였다. 주어진 식단에서 어패류와 해조류, 버섯류, 도토리목을 제외한 모든 식재료의 물발자국을 분석하였고, 직접수의 양과 양념의 양은 고려하지 않았다.

4. 자료처리

물발자국네트워크(Water Footprint Network 2008)에서 배포

하는 데이터베이스를 원시 자료로 사용하였고 여기에서 식품군별 대표식품의 물발자국 자료를 추출하였다. 각 식품군별 물발자국의 평균, 합계, 백분율 등 기술통계량을 계산하고 권장식단의 식품군별 물발자국의 합계, 백분율을 계산하였다. 자료처리는 SPSS statistics 프로그램(ver 22.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 식품군별 물발자국

식품군별 물발자국은 곡류, 육류, 난류, 콩류, 견과류, 채소류, 과일류, 우유·유제품류, 유지류, 당류의 10개 식품군으로 재구분하여 세계평균 물발자국과 국내 물발자국을 비교하여 제시하였다(Fig. 1). 세계평균 물발자국은 견과류, 유지류, 육류 순으로 물발자국이 높았고, 채소류와 과일류의 물발자국이 가장 낮았다. 국내 물발자국은 육류, 유지류 순으로 높았고, 채소류와 과일류의 물발자국이 낮았다. 채소류와 과일류의 물발자국이 가장 낮은 것은 Sokolow 등(2019)의 연구 결과와 일치한다. 견과류의 세계평균 물발자국은 국내 물발자국보다 매우 높았다. 이는 아몬드와 캐슈넛, 해바라기씨의 국내 물발자국 자료가 없기 때문에 나타난 결과로 보인다. 우리나라의 물발자국 자료가 제한적이어서 실제 섭취하는 식품의 물발자국을 평가하기에는 부족하나 수입한 식품을 자주 섭취하고 있음을 고려할 필요가 있다. 육류의 국내 물발자국은 8,171 L/kg으로 세계평균 물발자국보다 높았고, 견과류와 과일류, 우리나라에서 재배되지 않는 당을 제외한 모든 식품군의 물발자국이 세계평균 물발자국보다 높았다. 이는 우리나라의 축산업과 농업이 상대적으로 물을 많이 사

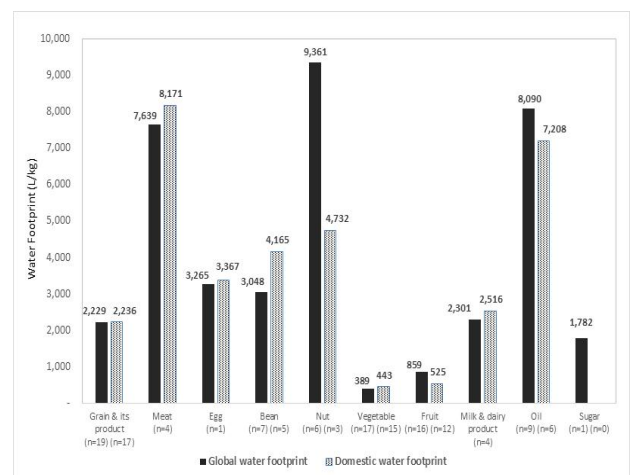


Fig. 1. Global and domestic average water footprints of food groups

용하는 방식으로 이루어짐을 의미한다.

식품군별로 세계평균 물발자국의 녹색·청색·회색 물발자국 백분율을 Fig. 2에 제시하였다. 육류의 물발자국은 88%가 녹색 물발자국이었는데, 육류를 생산하는 데 필요한 사료를 재배할 때 빗물을 사용하기 때문이다. 채소류와 과일류의 녹색 물발자국 백분율은 각각 69%와 64%여서 89%인 유지류와 88%인 육류에 비하여 상대적으로 녹색물 사용량이 적었다. 채소류는 회색 물발자국 백분율이 22%로 다른 식품군보다 높아서, 채소류를 재배할 때 상대적으로 토양 오염이 심하다는 것을 알 수 있었다(Roh 2012).

2. 식품군별 대표식품의 물발자국

1) 곡류의 물발자국

곡류 대표식품 34종에서 물발자국 자료가 없는 울무, 당면, 떡류, 묵류를 제외하고 쌀과 팥 등 18종 대표식품의 물발자국과 ‘혼합곡류’의 물발자국을 포함하여 19종을 분석하여 Table 1에 제시하였다. 세계평균 물발자국은 팥이 5,053 L/kg

로 가장 높았고 구황작물인 감자와 고구마가 각각 287 L/kg, 383 L/kg로 낮았다. 국내 물발자국이 가장 높은 것은 6,067 L/kg인 메밀이었고 가장 낮은 것은 174 L/kg인 감자였다. 밥한 공기에 해당하는 쌀 90 g의 세계평균 물발자국은 217 L였고 국내 물발자국은 121 L여서 국내산 쌀을 섭취할 때의 물발자국이 수입산 쌀을 섭취할 때보다 적었다. 쌀은 곡류군에서 청색 물발자국이 가장 높는데 이것은 벼를 재배할 때 관개용수가 사용되기 때문이라고 하였다(Lee 등 2016).

2) 고기·생선·달걀·콩류의 물발자국

고기·생선·달걀·콩류 대표식품 52종에서 물발자국이 없는 어패류를 제외하고 육류 4종, 난류 1종, 콩류 7종, 견과류 6종의 물발자국을 Table 2에 제시하였다. ‘가금류’와 ‘난류’는 각각의 물발자국이 단일 값으로 제시되어 있었다. 쇠고기의 세계평균 물발자국은 15,415 L/kg으로 돼지고기와 닭고기의 세 배 가까이 된다. 육류의 물발자국이 높기 때문에 식물성 식품으로 단백질을 섭취하는 것이 지구자원을 절약하는 지속가능한 식품 선택 방법이라고 하였다(Allan T 1999;

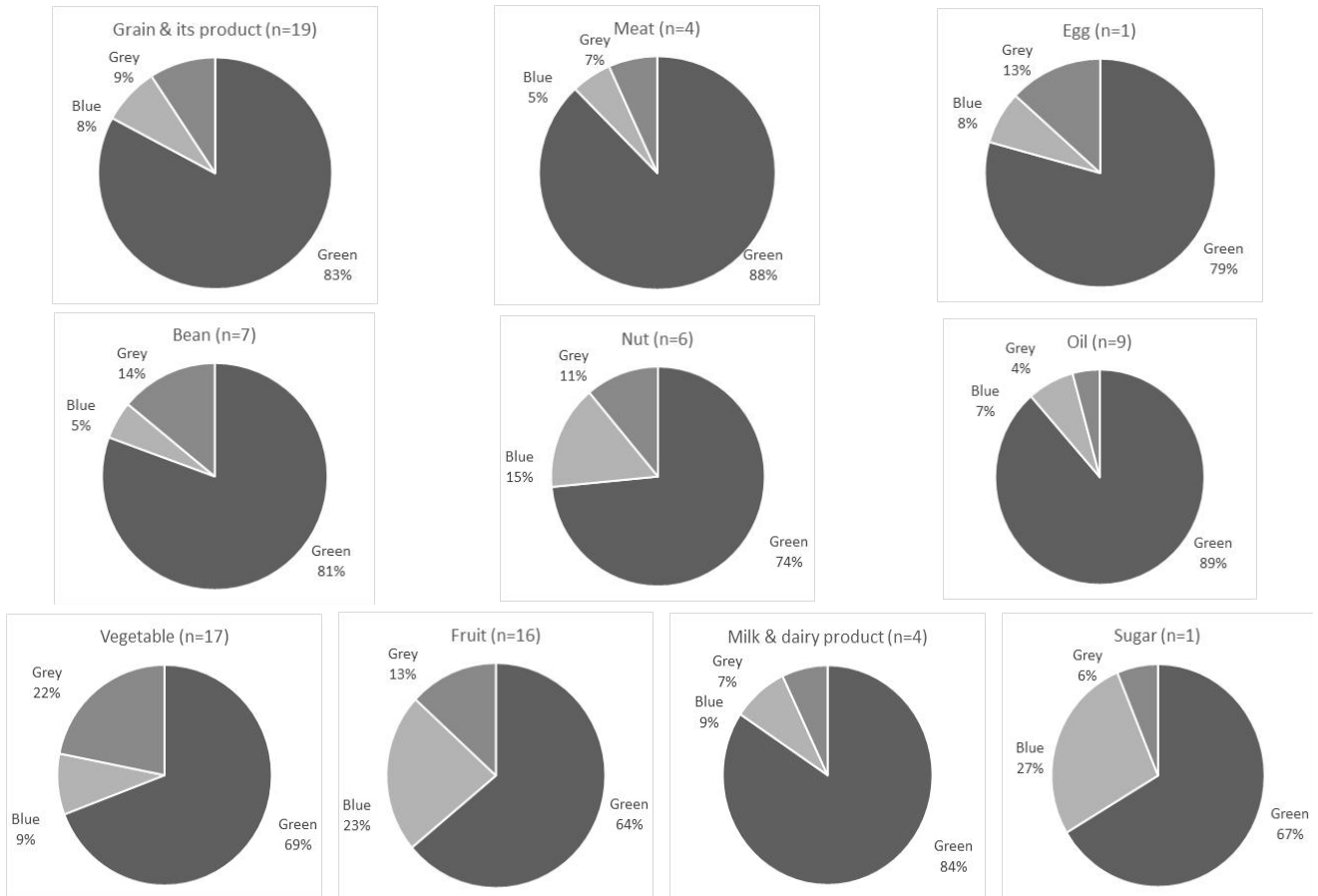


Fig. 2. Global green, blue and grey water footprints' proportions of food groups

Table 1. Water footprint of grain and its product (300 kcal/unit) in Korean food guide

Food items	gWF ¹⁾				dWF ²⁾				ss ³⁾	Unit	gWF /ss ⁴⁾	dWF /ss ⁵⁾
	Total	Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Grey				
Red bean	5,053	3,945	125	983	2,841	2,841	ND ⁶⁾	ND	90	1	455	256
		78.1%	2.5%	19.5%		100.0%						
Millet	4,478	4,306	57	115	5,718	2,969	ND	2,748	90	1	403	515
		96.2%	1.3%	2.6%		51.9%		48.1%				
Buckwheat	3,142	2,769	144	229	6,067	3,183	5	2,880	90	1	283	546
		88.1%	4.6%	7.3%		52.5%	0.1%	47.5%				
Sorghum	3,048	2,857	103	87	5,612	3,419	ND	2,193	90	1	274	505
		93.7%	3.4%	2.9%		60.9%		39.1%				
Rice	2,414	1,653	492	269	1,341	1,028	168	146	90	1	217	121
		68.5%	20.4%	11.1%		76.7%	13%	10.9%				
Rice (brown)	2,172	1,488	443	242	1,207	925	151	131	90	1	196	109
		68.5%	20.4%	11.1%		76.6%	13%	10.9%				
Pasta	1,849	1,292	347	210	1,409	1,409	ND	ND	90	1	166	127
		69.9%	18.8%	11.4%		100.0%						
Oat	1,788	1,479	181	128	ND	ND	ND	ND	90	1	161	ND
		82.7%	10.1%	7.2%								
Mixed grain	1,660	1,598	33	28	ND	ND	ND	ND	90	1	149	ND
		96.3%	2.0%	1.7%								
Bread	1,608	1,124	301	183	1,225	1,225	ND	ND	35	1	56	43
		69.9%	18.8%	11.4%		100.0%						
Barley	1,423	1,213	79	131	767	536	ND	231	90	1	128	69
		85.2%	5.6%	9.2%		69.9%		30.1%				
Cereal	4,048	3,902	136	10	5,716	2,999	4	2,713	30	0.3	121	171
		96.4%	3.4%	0.2%		52.5%	0.1%	47.5%				
Chestnut	2,750	2,432	174	144	4,048	3,986	63	ND	60	0.3	165	243
		88.4%	6.3%	5.2%		98.5%	1.6%					
Flour	1,849	1,292	347	210	1,409	1,409	ND	ND	30	0.3	55	42
		69.9%	18.8%	11.4%		100.0%						
Corn starch	1,671	1,295	111	265	1,769	1,769	ND	ND	30	0.3	50	53
		77.5%	6.6%	15.9%		100.0%						
Potato starch	1,512	1,005	173	333	914	686	74	154	30	0.3	45	27
		66.5%	11.4%	22.0%		75.1%	8.1%	16.8%				
Corn	1,222	947	81	194	1,294	1,294	ND	ND	70	0.3	86	91
		77.5%	6.6%	16%		100.0%						
Sweet potato	383	324	5	53	233	218	0	15	70	0.3	27	16
		84.6%	1.3%	14%		93.6%	0.0%	6.4%				
Potato	287	191	33	63	174	130	14	29	140	0.3	40	24
		66.6%	11.5%	22%		74.7%	8.0%	16.7%				
Average water footprint per 1 unit									-	1	234	266

1) Global water footprints (L/kg) and their proportions (%)

2) Domestic water footprints (L/kg) and their proportions (%)

3) 1 serving size from Korean food guide

4) Global water footprint (L) per serving size

5) Domestic water footprint (L) per serving size

6) No data is available from World Footprint Network.

Table 2. Water footprint of meat, fish, egg & bean (200 kcal) in Korean food guide

Food items	gWF ¹⁾				dWF ²⁾				ss ³⁾	Unit	gWF /ss ⁴⁾	dWF /ss ⁵⁾	
	Total	Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Grey					
Meat													
Beef	15,415	14,414	550	451	17,032	16,376	300	355	60	1	925	1,022	
		93.9%	3.6%	2.9%		96.1%	1.8%	2.1%					
Ham&cut	6,457	5,287	500	670	6,656	5,317	628	712	30	1	194	200	
		81.9%	7.7%	10.4%		79.9%	9.4%	10.7%					
Pork	4,361	3,582	325	454	4,496	3,603	411	482	60	1	262	270	
		82.1%	7.5%	10.4%		80.1%	9.1%	10.7%					
Poultry	4,325	3,545	313	467	4,499	3,633	278	589	60	1	260	270	
		82.0%	7.2%	10.8%		80.8%	6.2%	12.9%					
Average water footprint per 1 unit of meat and its product										-	1	410	440
Fish and seafood's data are not available.													
Egg													
Egg	3,265	2,592	244	429	3,367	2,726	206	435	60	1	196	202	
		79.4%	7.5%	13.1%		81.0%	6.1%	12.9%					
Bean													
Lentil	5,874	4,324	489	1,060	ND ⁶⁾	ND	ND	ND	20	1	117	ND	
		73.6%	8.3%	18.0%									
Kidney bean	5,053	3,945	125	983	2,841	2,841	ND	ND	20	1	101	57	
		78.1%	2.5%	19.5%		100.0%							
Soymilk ⁷⁾	3,763	3,574	123	65	7,065	6,999	65	ND	200	1	94	177	
		95.0%	3.3%	1.7%		99.1%	0.9%						
Mung bean	3,118	2,217	250	650	6,619	3,153	ND	3,465	20	1	62	132	
		71.1%	8.0%	20.8%		47.6%		52.3%					
Soy bean	2,145	2,037	70	37	4,027	3,990	37	ND	20	1	43	81	
		95.0%	3.3%	1.7%		99.1%	0.9%						
Pea	595	382	63	150	ND	ND	ND	ND	20	1	12	ND	
		64.2%	10.6%	25.2%									
Tofu	572	543	19	10	1,074	1,064	10	ND	80	1	46	86	
		94.9%	3.3%	1.7%		99.1%	0.9%						
Average water footprint per 1 unit of bean and its product										-	1	84	122
Nut													
Almond	16,095	9,264	3,816	3,015	ND	ND	ND	ND	10	0.3	161	ND	
		57.6%	23.7%	18.7%									
Cashew nut	14,218	12,853	921	444	ND	ND	ND	ND	10	0.3	142	ND	
		90.4%	6.5%	3.1%									
Walnut	9,280	5,293	2,451	1,536	7,899	7,777	122	ND	10	0.3	93	79	
		57.0%	26.4%	16.6%		98.5%	1.5%						
Sunflower seed	3,366	3,017	148	201	ND	ND	ND	ND	10	0.3	34	ND	
		89.6%	4.4%	6.0%									
Ground nut	2,782	2,469	150	163	2,607	2,607	ND	ND	10	0.3	28	26	
		88.7%	5.4%	5.9%		100.0%							
Nuts nes ⁸⁾	10,425	8,379	1,156	891	3,691	3,634	57	ND	10	0.3	104	37	
		80.4%	11.1%	8.5%		98.5%	1.5%						
Average water footprint per 1 unit of nut										-	1	312	158

1) Global water footprints (L/kg) and their proportions (%)

2) Domestic water footprints (L/kg) and their proportions (%)

3) 1 serving size from Korean food guide

4) Global water footprint (L) per serving size

5) Domestic water footprint (L) per serving size

6) No data is available from World Footprint Network.

7) Soymilk ingredient water footprint data was used instead of soymilk at a dilution of 12.5%.

8) It indicates 'not elsewhere specified.'

Ko JK 2009). 쇠고기 1회 분량 60 g의 물발자국은 925 L이고 대두 1회 분량 20 g의 물발자국은 43 L이므로 쇠고기 대신 대두를 섭취한다면 1회 분량 당 882 L의 물을 절약할 수 있다(Table 2). 그러나 아몬드와 호두는 청색 물발자국이 각각 23.7%, 26.4%로 다른 식품에 비하여 높았다. 두류 중에서 세계평균 물발자국이 가장 높은 것은 5,874 L/kg인 렌틸콩이었고 국내 물발자국이 가장 높은 것은 6,619 L/kg인 녹두였다. 우유 200 mL의 세계평균 물발자국은 94 L였고 국내 물발자국은 177 L였다. 육류 보다는 달걀이, 달걀 보다는 콩류가 물발자국이 낮았지만, 식물성 식품 중 견과류의 물발자국은 상대적으로 높았다. 견과류는 1회 분량이 적고 섭취빈도도 적기 때문에 식생활에서 물발자국 증가에 크게 영향을 미치는 것은 육류 섭취라고 하였지만(Ko JK 2009; Lee 등 2015a), Cambeses-Franco 등(2021b)은 스페인 식사에서 올리브유와 견과류의 물발자국 기여가 상당히 크다고 하였다.

대두의 물발자국은 국내 4,027 L/kg이고 세계평균이 2,145 L/kg이므로 수입산 대두를 소비하면 지구적으로는 1,882 L/kg의 물을 아낄 수 있다. 식량 안보 차원에서 곡물 자급률 제고가 필요하지만, 지구적 차원에서는 무역이 물 이용 효율을 높인다. 그러나 지속가능성을 물발자국의 관점으로만 볼 수는 없다. 적은 물을 사용하여 생산된 식품을 다른 지역으로 유통하면서 탄소발자국이 남기 때문이다. 식품 소비가 환경에 미치는 복잡한 영향을 고려하여 탄소발자국과 생태발자국, 물발자국을 종합적으로 고려하는 식생활 연구가 필요하다(Cambeses-Franco 등 2021a; Cambeses-Franco 등 2021b; Ridoutt 등 2021b).

3) 채소류의 물발자국

채소류 대표식품 중에서 해조류와 버섯류를 제외한 15종과 ‘특정되지 않은 채소류’, ‘특정되지 않은 구근류’를 포함하여 총 17종의 물발자국을 제시하였다(Table 3). 채소류의 물발자국은 전체 식품군 중에서 가장 낮았다. 채소류 1회 분량의 평균 물발자국은 12 L였다. 세계평균 물발자국이 가장 높은 채소는 생강이었고, 가장 낮은 채소는 당근과 셀러리였다. 국내 물발자국이 가장 높은 채소도 생강이었고, 가장 낮은 채소는 오이였다. 무, 파, 아욱, 깻잎, 콩나물, 고사리 등 다양한 채소의 물발자국 자료가 없기 때문에 우리나라 식단에서 채소류의 물발자국을 분석하는 데는 한계가 있다.

4) 과일류의 물발자국

과일류 대표식품 16종의 물발자국을 제시하였다(Table 4) 과일류 1회 분량의 물발자국은 세계평균 76 L, 국내 54 L였다. 과일류 중에서 세계평균 물발자국이 높은 것은 대추, 자

두, 배, 복숭아 순이었다(Table 4). 세계평균 물발자국이 가장 낮은 과일은 ‘기타 멜론’이었고, 국내 물발자국이 가장 낮은 과일은 파인애플이었다. 국내에서 생산된 파인애플과 수박, ‘기타 멜론’, 자두, 배, 복숭아, 사과, 감, ‘특정되지 않은 과일’의 청색 물발자국은 1% 미만이었으며, 이는 세계평균 물발자국보다 상당히 낮아서, 우리나라에서 과일을 생산할 때 지하수나 하천 등의 수자원을 적게 사용함을 알 수 있었다.

5) 우유·유제품류의 물발자국

우유 1종과 유제품류 3종의 물발자국을 Table 5에 제시하였다. 우유 200 mL의 물발자국은 세계평균 211 L, 국내 231 L였다. 우유를 가공한 유제품의 물발자국은 우유보다 높았고 치즈의 물발자국이 가장 높았다. 우유·유제품류의 세계평균 물발자국은 청색 물발자국이 회색 물발자국보다 높았고, 국내 물발자국은 회색 물발자국이 청색 물발자국보다 높았다.

6) 유지·당류의 물발자국

유지류 9종의 물발자국을 Table 5에 제시하였다. 올리브유와 해바라기씨유, 팜유의 국내 물발자국 자료는 없었다. 세계평균 물발자국이 높은 식품은 참기름, 올리브유, 참깨, 해바라기씨유 순이었고 옥수수유의 물발자국이 2,524 L/kg으로 가장 낮았다. 국내 물발자국은 참기름이 14,321 L/kg으로 가장 높았고, 대두유가 7,868 L/kg으로 뒤를 이었다. 대두유의 국내 물발자국은 세계평균 물발자국의 두 배 가까이 되는데 이는 생산방식과 기후의 차이를 의미한다(Zhao 등 2021). 우리나라는 대두 자급률을 높이기 위하여 논 중심으로 재배를 확대하고자 배수개선, 공동선별비를 지원하고 있다(Ministry of Agriculture & Food and Rural Affairs 2022). 이러한 생산방식 개선과 생산량 증대는 식량안보와 더불어 물발자국의 증가도 초래한다는 것을 함께 고려하여야 할 것이다.

7) 기타 기호식품의 물발자국

초콜릿과 차, 커피의 물발자국을 Table 5에 제시하였다. 차의 물발자국은 세계평균 8,856 L/kg이었고, 시판 티백 2 g의 물발자국은 세계평균 18 L, 국내 20 L였다. 커피의 물발자국은 18,925 L/kg이므로 에스프레소 1샷을 만들기 위해 커피원두 7 g을 사용한다면 커피 1샷의 물발자국은 132 L이다. 커피 1회 섭취량은 15 mL에서 1 L까지 물의 양에 따라 달라지지만 커피의 물발자국은 샷이 추가될 때마다 132 L씩 증가한다.

전체 식품군에서 물발자국이 가장 높은 식품은 21,793 L/kg인 참기름이었고(Table 5), 견과류 중에서 물발자국이 가장 높은 아몬드의 물발자국은 16,095 L/kg으로 15,415 L/kg인 쇠고기보다 높았다(Table 2). 물발자국네트워크(Water Footprint

Table 3. Water footprint of vegetable (15 kcal/unit) in Korean food guide

Food items	gWF ¹⁾				dWF ²⁾				ss ³⁾	Unit	gWF /ss ⁴⁾	dWF /ss ⁵⁾
	Total	Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Grey				
Ginger	1,657	1,525	40	92	2,401	2,345	57	ND ⁶⁾	10	1	17	24
		92.0%	2.4%	5.6%		97.7%	2.4%					
Green garlic ⁷⁾	589	337	81	170	648	456	54	138	70	1	41	45
		57.2%	13.8%	28.9%		70.4%	8.3%	21.3%				
Pepper	379	240	42	97	1,294	960	18	316	70	1	27	91
		63.3%	11.1%	25.6%		74.2%	1.4%	24.4%				
Egg-plant	362	234	33	95	362	268	2	92	70	1	25	25
		64.6%	9.1%	26.2%		74.0%	0.6%	25.4%				
Cucumber	353	206	42	105	100	74	0	26	70	1	25	7
		58.4%	11.9%	29.7%		74.0%	0.0%	26.0%				
Pumpkin	336	228	24	84	170	120	0	50	70	1	24	12
		67.9%	7.1%	25.0%		70.6%	0.0%	29.4%				
Spinach	292	118	14	160	251	152	4	96	70	1	20	18
		40.4%	4.8%	54.8%		60.6%	1.6%	38.2%				
Broccoli	285	189	21	75	ND	ND	ND	ND	70	1	20	ND
		66.3%	7.4%	26.3%								
Cabbage	280	181	26	73	116	88	2	26	70	1	20	8
		64.6%	9.3%	26.1%		75.9%	1.7%	22.4%				
Onion	272	176	44	51	263	196	8	58	70	1	19	18
		64.9%	16.4%	18.8%		72.2%	2.9%	21.4%				
Lettuce	237	133	28	77	227	164	4	59	70	1	17	16
		56.1%	11.8%	32.5%		72%	1.8%	26.0%				
Head lettuce	237	133	28	77	227	164	4	59	70	1	17	16
		56.1%	11.8%	32.5%		72%	1.8%	26.0%				
Tomato	214	108	63	43	114	86	2	25	70	1	15	8
		50.5%	29.4%	20.1%		75%	1.8%	21.9%				
Carrot	195	106	28	61	140	85	10	46	70	1	14	10
		54.4%	14.4%	31.3%		60.7%	7.1%	32.9%				
Celery	195	106	28	61	140	85	10	46	70	1	14	10
		54.4%	14.4%	31.3%		60.7%	7.1%	32.9%				
Vegetables nes ⁸⁾	338	205	33	101	196	144	4	48	70	1	24	14
		60.7%	9.8%	29.9%		73.5%	2.0%	24.5%				
Roots & Tubers nes	385	348	15	22	ND	ND	ND	ND	70	1	27	ND
		90.4%	3.9%	5.7%								
Average water footprint per 1 unit									-	1	21	21

Seaweed's data are not available.

Mushroom's data are not available.

¹⁾ Global water footprints (L/kg) and their proportions (%)²⁾ Domestic water footprints (L/kg) and their proportions (%)³⁾ 1 serving size from Korean food guide⁴⁾ Global water footprint (L) per serving size⁵⁾ Domestic water footprint (L) per serving size⁶⁾ No data is available from World Footprint Network.⁷⁾ 1 serving size of garlic is 10 g.⁸⁾ It indicates 'not elsewhere specified.'

Table 4. Water footprint of fruit (50 kcal/unit) in Korean food guide

Food items	gWF ¹⁾				dWF ²⁾				ss ³⁾	Unit	gWF /ss ⁴⁾	dWF /ss ⁵⁾
	Total	Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Grey				
Date	2,277	930	1,250	98	ND ⁶⁾	ND	ND	ND	15	1	34	ND
		40.8%	54.9%	4.3%								
Plum	2,180	1,570	188	422	796	761	4	30	100	1	218	80
		72.0%	8.6%	19.3%		95.7%	0.5%	3.8%				
Pear	922	645	94	183	639	611	3	24	100	1	92	64
		69.9%	10.2%	19.8%		95.7%	0.5%	3.8%				
Peach	910	583	188	139	678	648	2	27	100	1	91	68
		64.0%	20.7%	15.3%		95.6%	0.3%	4.0%				
Blueberry	845	341	334	170	ND	ND	ND	ND	100	1	85	ND
		40.4%	39.5%	20.1%								
Apple	822	561	133	127	601	575	3	23	100	1	82	60
		68.3%	16.2%	15.5%		95.7%	0.5%	3.8%				
Banana	790	660	97	33	ND	ND	ND	ND	100	1	79	ND
		83.5%	12.2%	4.2%								
Mandarin	748	479	118	152	298	283	1	14	100	1	75	30
		64.0%	15.7%	20.3%		94.8%	0.3%	4.8%				
Grape	608	425	97	87	362	339	ND	23	100	1	61	36
		69.0%	15.9%	14.3%		93.7%		6.3%				
Orange	560	401	110	49	ND	ND	ND	ND	100	1	56	ND
		71.6%	19.6%	8.8%								
Kiwi	514	307	168	38	751	701	21	29	100	1	51	75
		59.7%	32.8%	7.5%		93.3%	2.8%	3.8%				
Strawberry	347	201	109	37	198	163	22	13	150	1	52	30
		57.9%	31.5%	10.6%		82.3%	11.0%	6.7%				
Pineapple	255	215	9	31	102	93	0	9	100	1	25	10
		84.4%	3.5%	12.1%		91.2%	0.1%	8.7%				
Watermelon	238	150	25	63	140	128	0	12	150	1	36	21
		62.9%	10.5%	26.5%		91.6%	0.0%	8.4%				
Other melon	221	125	29	67	119	108	0	12	150	1	33	18
		56.6%	13.2%	30.2%		90.2%	0.0%	9.7%				
Fruits nes ⁷⁾	1,512	1,199	201	112	1616	1546	9	61	100	1	151	162
		79.3%	13.3%	7.4%		95.7%	0.5%	3.8%				
Average water footprint per unit									-	1	76	54

1) Global water footprints (L/kg) and their proportions (%)

2) Domestic water footprints (L/kg) and their proportions (%)

3) 1 serving size from Korean food guide

4) Global water footprint (L) per serving size

5) Domestic water footprint (L) per serving size

6) No data is available from World Footprint Network.

7) It indicates 'not elsewhere specified.'

Table 5. Water footprint of milk & dairy product (125 kcal/unit) and oil & sugar (45 kcal/unit) in Korean food guide, and some selected food

Food items	gWF ¹⁾				dWF ²⁾				ss ³⁾	Unit	gWF /ss ⁴⁾	dWF /ss ⁵⁾
	Total	Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Grey				
Milk & dairy product												
Icecream	1,903	1,605	164	134	2,081	1,763	130	188	100	1	190	208
		84.3%	8.6%	7.0%		84.7%	6.2%	9.0%				
Yogurt	1,186	1,003	99	84	1,298	1,102	78	117	100	1	119	130
		84.5%	8.4%	7.1%		84.9%	6.0%	9.0%				
Milk	1,054	891	88	75	1,153	980	69	104	200	1	211	231
		84.5%	8.4%	7.1%		84.9%	6.0%	9.0%				
Cheese	5,060	4,264	439	357	5,534	4,687	348	499	20	0.5	101	111
		84.3%	8.7%	7.1%		84.7%	6.3%	9.0%				
Average water footprint per 1 unit of milk & dairy product									-	1	155	170
Oil												
Sesame oil	21,793	19,674	1,183	936	14,321	14,321	0	ND ⁶⁾	5	1	109	72
		90.3%	5.4%	4.3%		100.0%	0.0%					
Olive oil	14,431	11,826	2,388	217	ND	ND	ND	ND	5	1	72	0
		81.9%	16.5%	1.5%								
Sesamum seed	9,371	8,460	509	403	6,158	6,158	0	ND	5	1	47	31
		90.3%	5.4%	4.3%		100.0%	0.0%					
Sunflowerseed oil	6,656	5,967	293	397	ND	ND	ND	ND	5	1	33	0
		89.6%	4.4%	6.0%								
Butter	5,553	4,695	465	393	6,075	5,160	366	549	5	1	28	30
		84.5%	8.4%	7.1%		84.9%	6.0%	9.0%				
Palm oil	4,871	4,691	1	179	ND	ND	ND	ND	5	1	24	0
		96.3%	0.0%	3.7%								
Soybean oil	4,190	3,980	137	73	7,868	7,795	73	ND	5	1	21	39
		95.0%	3.3%	1.7%		99.1%	0.9%					
Corn oil	2,524	1,956	168	400	2,672	2,672	ND	ND	5	1	13	31
		77.5%	6.6%	15.8%		100%						
Oil seed nes ⁷⁾	3,421	3,230	131	61	6,155	6,144	10	ND	5	1	17	13
		94.4%	3.8%	1.82%		99.8%	0.2%					
Average water footprint per 1 unit of oil									-	1	40	36
Sugar												
Sugar	1,782	1,184	487	111	ND	ND	ND	ND	10	1	18	ND
		66.4%	27.3%	6.2%								
Others												
Chocolate ⁸⁾	17,196	16,805	198	193	ND	ND	ND	ND	10	1	172	ND
		97.7%	1.2%	1.1%								
Tea ⁹⁾	8,856	7,232	896	726	9,983	9,597	386	ND	2	1	18	20
		81.7%	10.1%	8.2%		96.1%	3.9%					
Coffee ¹⁰⁾	18,925	18,153	139	633	ND	ND	ND	ND	7	1	132	ND
		95.9%	0.7%	3.3%								

1) Global water footprints (L/kg) and their proportions (%)

2) Domestic water footprints (L/kg) and their proportions (%)

3) 1 serving size from Korean food guide

4) Global water footprint (L) per serving size

5) Domestic water footprint (L) per serving size

6) No data is available from World Footprint Network.

7) It indicates 'not elsewhere specified.'

8) 1 serving size from 'Nutrient composition tables for consumers (RDA 2013)'

9) 1 serving size of Tea is assumed 2 g, the amount of commercial tea-bag.

10) 1 serving size of Coffee bean is assumed 7 g, the amount required to make 1 shot of espresso.

Network 2008)에서 제공하는 물발자국 추정치에 따르면, 우리나라 국민의 식품 섭취로 인한 물발자국은 곡류 33%, 육류 28%, 과일 7%, 채소 4%, 유제품 3%로 구성되며, 나머지 25%는 식물성 기름, 서류, 당류, 두류, 동물성 지방, 견과류, 기호식품 섭취에 기인한다고 하였다. 물발자국은 식품의 섭취량과 섭취한 식품의 종류에 따라 달라진다. 본 연구 결과에서 제시한 식품의 물발자국은 지속가능한 식생활을 위한 바람직한 식품 선택에 필요한 정보를 제공할 것이다.

3. 권장식단의 물발자국

권장식단의 물발자국은 다음과 같다. 19~64세 남성을 위한 2,400 kcal 식단의 물발자국은 2,882 L였고(Table 6), 여성을 위한 1,900 kcal 식단의 물발자국은 1,915 kcal였다(Table 7). 1회 분량의 물발자국이 가장 높은 식품은 925 L인 쇠고기였다. 만일 육개장을 닭곰탕으로 바꾸어 닭고기를 대신 선택한다면 닭고기 1회 분량의 물발자국이 260 L이므로 저녁식사의 물발자국은 665 L 감소할 것이다. 이와 같이 식사를 계획할 때 본 연구 결과(Table 1~Table 5)를 활용하여 1회 분량의 물발자국이 적은 식품을 선택한다면 보다 지속가능한 식생활이 가능할 것이다.

국내 고등학교 점심식단의 물발자국을 평가한 Kim 등(2013a)은 점심식사의 한 달 평균 물발자국이 학교에 따라 559~1,023 L라고 하였다. 12~18세 남성과 여성의 에너지필요 추정량은 각각 2,600 kcal와 2,000 kcal이며 청소년은 생물이 높은 동물성 단백질 섭취를 권장하므로 비교적 물발자국이 높은 식품으로 구성되었을 것을 추측할 수 있다. 식품수급표를 활용하여 우리나라 국민의 식품을 통한 가상수 소비량을 분석한 Lee 등(2015a)은 2010년의 일인당 하루 가상수 소비량이 1,285 L라고 하여서 본 연구 결과보다 상당히 낮다. 그러나 단위 에너지 공급량을 기준으로 비교하면, 식품성분표 기준 물발자국은 1.29 L/kcal이며(Lee 등 2015a) 본 연구 결과 19~64세 남성 권장식단의 물발자국은 1.20 L/kcal였고, 여성 권장식단의 물발자국은 1.01 L/kcal로 다소 낮았다. 인도인의 경우 녹색 물발자국이 2,531 L였고 청색 물발자국이 737 L이므로 회색물을 무시하더라도 식품을 통한 물발자국이 하루 3,268 L 이상이므로(Harris 등 2017) 본 연구 결과보다 상당히 높았다. 본 연구에서 2,400 kcal 권장식단의 녹색 물발자국은 2,385 L여서 인도인 결과와 큰 차이가 없지만 같은 식단의 청색 물발자국은 279 L로 인도인 결과보다 상당히 적었다. 이처럼 우리나라 권장식단의 청색 물발자국이 인도인의 것보다 적다는 것은 수자원의 절약 가능성이 높음을 의미한다. 뉴노르딕 식사의 물발자국 3,528 L와 구석기 식단(Paleo diet)의 물발자국 3,499 L도 본 연구의 결과보다 상당히 커서(Cambeses-Franco 등 2021a; Cambeses-Franco 등 2021b) 우

리나라 식사가 물발자국이 낮고 지속가능성이 높다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 호주인의 물발자국은 하루 432.6 L로 본 연구 결과보다 상당히 낮아서(Ridoutt 등 2021a) '워터마크 인증제도(WaterMark)'와 같은 국가적 제도 마련의 중요성을 확인할 수 있었다.

물발자국은 식품의 종류와 섭취량에 따라 달라진다. 인도의 여성과 노인은 음식을 적게 섭취하기 때문에 물발자국이 낮았다(Harris 등 2017). 우리나라도 여성의 1회 섭취량이 남성에 비하여 적고 식품군별로 1회 섭취량에 남녀 차이가 있다고 보고된 바 있다(Kim 등 2015). 식사의 물발자국에는 조리하여 먹지 않고 버리는 식품의 양도 포함된다. 먹지 않고 남겨서 버리는 식품은 영양적인 기여가 없으면서도 환경에는 부정적인 영향을 미친다. 따라서 물발자국이 적은 식품을 선택하는 것 못지않게 음식을 먹을 만큼만 준비하여 버리는 음식이 없게 하려는 노력이 필요하다.

본 연구는 물발자국이라는 비교적 거시적인 자료를 식사 구성안에 적용할 수 있도록 식품군별 식품의 물발자국 자료를 정리하여 제시하였고, 이를 한국인을 위한 권장식단에 적용하여 일인당 하루 물발자국을 계량적으로 제시하였는데 의의가 있다. 식사의 영양적 가치에 대한 기존 연구는 많지만 영양적인 식사의 환경적 가치를 살펴본 연구로서는 시작 단계이기 때문에 참고 문헌도 부족하였고 분석 방법에도 한계가 있었다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 의의는 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 식품군별 대표식품의 물발자국 자료를 찾아 정리하여 다양한 식사의 물발자국 추정에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하였다. 둘째, 본 연구에서 제시한 자료는 여러 식품의 물발자국을 비교하여 물발자국이 낮은 식품을 선택함으로써 지구자원을 보존하고 지속가능성이 높은 식단을 계획하는 데 필요한 정보를 제공한다. 식품별 물발자국 자료는 소비자의 식품 선택을 돕고 생태시민성을 높이기 위한 교육 자료로 사용될 수 있다. 셋째, 식품 소비가 환경에 미치는 복잡한 영향을 고려한 보다 지속가능한 식생활 정책의 필요성을 제시하였다. 탄소발자국에 대한 관심은 로컬푸드 소비를 강조하는 정책으로 이어졌지만 물발자국을 고려하면 수입산 식품의 소비가 유리한 경우도 있기 때문이다. 이러한 복잡한 상황에 대한 이해는 바람직한 정책 수립의 방향을 세우는 데 보탬이 될 것이다.

본 연구의 한계점은 첫째, 어패류와 해조류, 버섯류는 담수 자원을 사용하지 않는 것이 아닌데도 물발자국이 누락되었고, 그 외 물발자국 자료가 없는 식품은 대체식품을 적용하거나 부득이한 경우 제외한 점이다. 현재 1996~2005년 물발자국 자료가 사용되고 있다는 점에서도 자료의 한계가 있다. 둘째, 식품의 전처리 및 조리과정에서 사용되는 직접수의 양은 고려하지 않았다. 직접수의 양은 가상수에 비하여

Table 6. Water footprint of a recommended meal plan for 19-64 year-old Korean male (2,400 kcal, type B)

Meals and menus	Food group	Food (serving size)	Amount (g)	gWF (L) ¹⁾	dWF (L) ²⁾
Breakfast					
Steamed rice	Grain	Rice (1)	90	217	121
Mallow soybean paste soup		Acorn jelly (0.1)	70	ND ⁴⁾	ND
Roasted croaker	Meat, fish, egg & bean	Croaker (1)	60	ND	ND
Acorn jelly and soysauce	Vegetable	Mallow ⁵⁾ (0.5)	35	12	7
Green garlic salad		Green garlic (0.5)	35	21	23
Cabbage kimchi		Cabbage kimchi (1)	40	11	5
	Oil & sugar	Sesame oil (1)	5	109	72
Subtotal water footprint of breakfast				370	226
Lunch					
Clam noodle	Grain	Pasta/flour (1)	90	166	127
Rice balls		Rice (0.7)	63	152	84
Potato vegetable pancake		Potato (0.2)	93	27	16
Radish kimchi	Meat, fish, egg & bean	Clam (1)	80	ND	ND
Apple	Vegetable	Carrot (0.4)	28	5	4
		Pumpkin (0.4)	28	9	5
		Chives ⁵⁾ (0.4)	28	9	5
		Laver (1)	2	ND	ND
		Onion (0.5)	35	10	9
		Radish kimchi ⁶⁾ (1)	40	15	8
	Fruit	Apple (1)	100	82	60
	Oil & sugar	Sesame oil (1)	5	109	72
		Soybean oil (1)	5	21	39
Subtotal water footprint of lunch				607	430
Dinner					
Multigrain steamed rice	Grain	Rice (0.9)	81	196	109
Spicy meat soup		Mixed grain ⁷⁾ (0.1)	9	15	7
Egg roll	Meat, fish, egg & bean	Beef (1)	60	925	1,022
Bellflower root salad		Egg (1)	60	196	202
Cabbage kimchi	Vegetable	Radish ⁶⁾ (0.1)	7	3	1
		Bracken ⁵⁾ (0.1)	7	2	1
		Mung bean sprout ⁵⁾ (0.1)	7	2	1
		Bellflower root ⁸⁾ (1)	70	27	14
		Cabbage kimchi (1)	40	11	5
	Oil & sugar	Sesame oil (2)	10	218	143
		Soybean oil (1)	5	21	39
Subtotal water footprint of dinner				1,616	1,544
Snack					
Pineapple	Meat, fish, egg & bean	Soy milk (1)	25	94	177
Kiwi	Fruit	Pineapple (1)	100	25	10
Soy milk		Kiwi (1)	100	51	75
Yogurt	Milk & dairy product	Yogurt (1)	100	119	130
Total water footprint				2,882	2,592
Proportions in total water footprint		Green water footprint		2,385 (82.8%)	2,380 (91.8%)
		Blue water footprint		279 (9.7%)	87 (3.4%)
		Grey water footprint		218 (7.6%)	125 (4.8%)

¹⁾ Food required for the meals and its serving size unit in bracket

²⁾ Global water footprint (L) of the food consumed

³⁾ Domestic water footprint (L) of the food consumed

⁴⁾ No data is available from 'World Footprint Network.'

⁵⁾ 'Vegetables nes' data were used instead of its missing water footprint data.

⁶⁾ 'Roots & tubers nes' data were used instead of its missing global water footprint and 'vegetables nes' data were used instead of its missing domestic water footprint.

⁷⁾ 'Mixed grain' data were used instead of its global water footprint and 'barley' data were used for its missing domestic water footprint.

⁸⁾ 'Roots & tubers nes' data were used instead of its missing water footprint data.

Table 7. Water footprint of a recommended meal table for 19-64 year-old female (1,900 kcal, type B)

Meals and menus		Food group	Food (serving size)	Amount (g)	gWF (L) ¹⁾	dWF (L) ²⁾
Breakfast	Steamed rice	Grain	Rice (1)	90	217	121
	Chicken soup	Meat, fish, egg & bean	Chicken (1)	60	260	270
	Stirfried pork and broccoli		Pork (1)	30	131	135
	Seaweed stem namul	Vegetable	Green onion (0.5)	35	12	7
	Radish kimchi		Broccoli ⁴⁾ (0.5)	35	10	7
			Seaweed stem (0.5)	35	ND ⁵⁾	ND
			Radish kimchi ⁶⁾ (1)	40	15	8
		Oil & sugar	Soybean oil (1)	5	21	39
Subtotal water footprint of breakfast					666	587
Lunch	Mixed noodle with young radish	Grain	Pasta/flour (1)	90	166	127
	Boiled egg	Meat, fish, egg & bean	Egg (1)	60	196	202
	Fried vegetables	Vegetable	Radish ⁶⁾ (0.5)	35	13	7
	Dongchimi		Carrot (0.5)	35	7	5
	Orange		Onion (0.5)	35	10	9
		Fruit	Radish kimchi ⁶⁾ (1)	40	15	8
			Orange (1)	100	56	162
		Oil & sugar	Sesame oil (1)	5	109	72
	Soybean oil (1)		5	21	39	
Subtotal water footprint of lunch					593	630
Dinner	Multigrain steamed rice	Grain	Rice (0.9)	81	196	109
	Cod soup		Mixed grain ⁷⁾ (0.1)	9	15	7
	Braised tofu	Meat, fish, egg & bean	Cod (1)	70	ND	ND
	Mungbeansprout namul		Tofu (0.5)	40	23	43
	Cabbage kimchi		Vegetable	Radish ⁶⁾ (0.5)	35	13
		Mungbean sprout ⁴⁾ (0.5)		35	12	7
		Cabbage kimchi (1)		40	11	5
		Oil & sugar	Sesame oil (1)	5	109	72
Subtotal water footprint of dinner					379	248
Snack	Cherry tomato	Fruit	Tomato (1)	70	15	8
	Kiwi		Kiwi (1)	100	51	75
	Milk	Milk & dairy product	Milk (1)	200	211	231
Total water footprint					1,915	1,779
Proportions in total water footprint			Green water footprint		1,494 (78.0%)	1,589 (89.4%)
			Blue water footprint		232 (12.1%)	91 (5.1%)
			Grey water footprint		189 (9.9%)	169 (9.5%)

¹⁾ Food required for the meals with serving size unit in bracket

²⁾ Global water footprint (L) of the food consumed

³⁾ Domestic water footprint (L) of the food consumed

⁴⁾ 'Vegetables nes' data were used instead of its missing water footprint data.

⁵⁾ No data is available from 'World Footprint Network.'

⁶⁾ 'Roots & tubers nes' data were used instead of its missing global water footprint and 'vegetables nes' data were used instead of its missing domestic water footprint.

⁷⁾ 'Mixed grain' data were used instead of its global water footprint and 'barley' data were used for its missing domestic water footprint.

무시할 수 있을 정도로 적지만 식품의 전처리와 조리, 세척 과정에서 사용되는 물을 절약하는 것도 필요하므로 이를 계량할 수 있는 정량적인 후속 연구가 이루어져야 할 것이다. 셋째, 식사구성안에서 일례로 제시한 권장식단을 분석하였기 때문에 한국인의 실제 식품 섭취로 인한 물발자국을 논할 수 없었다. 향후 국민건강영양조사 등 대규모 식사섭취조사 자료를 활용하여 전체 국민의 물발자국을 녹색 물발자국, 청색 물발자국, 회색 물발자국으로 구분하여 살피고 물발자국에 기여하는 식품군과 식품을 특정함으로써 국민 식생활이 지구환경에 미치는 영향을 이해하기 위한 연구가 필요할 것이다.

요약 및 결론

본 연구는 한국인 식사구성안의 식품군별 물발자국을 분석하고 이를 권장식단에 적용하여 균형적인 식단의 물발자국을 추정함으로써 물발자국을 줄이고 인류의 삶을 지속가능하게 하는 식품 선택 방향을 모색하고자 하였다. 이를 위하여 물발자국네트워크에서 배포하는 물발자국 자료를 활용하여 곡류군 19종과 고기·생선·달걀·콩류 18종, 채소류 17종, 과일류 16종, 우유·유제품류 4종, 유지·당류 10종, 초콜릿, 차, 커피의 세계평균 물발자국과 국내 물발자국을 분석하였다. 세계평균 물발자국은 견과류, 유지류, 육류 순으로 높았고 채소류와 과일류의 물발자국이 가장 낮았다. 육류 중에서 쇠고기 1회 분량의 물발자국은 925 L였고 닭고기 1회 분량의 물발자국은 260 L였다. 대두 1회 분량의 세계평균 물발자국은 43 L였고 국내 물발자국은 81 L였다. 전체 식품군에서 물발자국이 가장 높은 식품은 21,793 L/kg인 참기름이었고 가장 낮은 식품은 국내 물발자국이 102 L/kg인 파인에 들어 있었다. 식품군별 물발자국을 권장식단에 적용하여 일인당 하루 물발자국을 추정한 결과 19~64세 남성을 위한 2,400 kcal 식단의 물발자국은 2,882 L였고, 여성을 위한 1,900 kcal 식단의 물발자국은 1,915 L였다. 분석된 권장식단에서는 쇠고기 1회 분량의 물발자국이 925 L로 가장 높았다. 결론적으로 물발자국은 식품의 섭취량과 섭취한 식품의 종류에 따라 달라지며 폐기량도 물발자국에 포함되므로 물발자국이 적은 식품을 선택하고 음식을 남기지 않도록 계획한다면 식생활의 지속가능성을 높일 수 있을 것이다. 본 연구 결과는 한국인 식단의 물발자국을 추정하고 이를 위하여 식품군별 대표 식품의 물발자국 자료를 구축함으로써 식생활의 지속가능성을 제고하기 위한 향후 연구를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2021학년도 대전보건대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임.

References

- Allan T. 1999. Productive efficiency and allocative efficiency: Why better water management may not solve the problem. *Agric Water Manage* 40:71-75
- Cambeses-Franco C, González-García S, Feijoo G, Moreira MT. 2021a. Encompassing health and nutrition with the adherence to the environmentally sustainable New Nordic Diet in Southern Europe. *J Clean Prod* 327:129470
- Cambeses-Franco C, González-García S, Feijoo G, Moreira MT. 2021b. Is the Paleo diet safe for health and the environment? *Sci Total Environ* 781:146717
- Chapagain AK, Hoekstra AY. 2004. Water footprints of nations vol.1: main report. *UNESCO-IHE. Value of Water Research Report Series No. 16*
- Dalin C, Konar M, Hanasaki N, Rinaldo A, Rodriguez-Iturbe I. 2012. Evolution of the global virtual water trade network. *Proc Natl Acad Sci* 109:5989-5994
- Harris F, Green RF, Joy EJM, Kayatz B, Haines A, Dangour AD. 2017. The water use of Indian diets and socio-demographic factors related to dietary blue water footprint. *Sci Total Environ* 587-588:128-136
- Hoekstra AY, Chapagain AK. 2008. Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources. pp.7-17. Blackwell
- Kim J & Kim C. 2016. A study for cultivating ecological citizenship with the meaning elements of ecological footprint. *J Environ Stud Educ* 20:1-14
- Kim J, Kang H, Shin SM. 2013c. A study about regional water footprint of rice production in agriculture industry. *J Korean Soc Environ Eng* 35:827-834
- Kim N, Kim J, Kim Y, Lee J. 2013a. Water footprint evaluation of Korean foods using lunch menu data of high schools. *Korean J Environ Educ* 26:145-156
- Kim SB, Kim SK, Kim SN, Cho YS, Kim MH. 2013b. Establishment of one portion size of dishes frequently consumed by Korean adults using 2010 KNHANES and its comparison with the one portion size using 2005 KNHANES - Focusing on rice, noodles, soups, and stews -. *Korean J*

- Food Nutr* 26:745-752
- Kim YY, Kim MH, Choi MK. 2015. Validation of nutrient intake estimation based on one serving size. *Korean J Food Nutr* 28:871-879
- Ko JK. 2009. Virtual water concept and water management policy. *J Water Policy Econ* 12:44-59
- Lee SH, Choi JY, Yoo SH, Kim YD, Shin A. 2015b. Estimation of water footprint for livestock products in Korea. *J Korean Soc Agric Eng* 57:85-92
- Lee SH, Choi JY, Yoo SH, Kim YH. 2016. Analyzing the contribution of regional water resource through the regional blue water flows of rice products. *J Korean Soc Agric Eng* 58:73-80
- Lee SH, Choi JY, Yoo SH. 2015a. Estimation of the virtual water consumption for food consumption and calorie supply. *J Korean Soc Agric Eng* 57:77-86
- Liu W, Antonelli M, Kumm M, Zhao X, Wu P, Liu J, Zhuo L, Yang H. 2019. Savings and losses of global water resources in food-related virtual water trade. *Wiley Interdiscip Rev Water* 6:e1320
- Mekonnen MM, Hoekstra AY. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol Earth Syst Sci* 15:1577-1600
- Mekonnen MM, Hoekstra AY. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15: 401-415
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2022. Korea's grain self-sufficiency rate (2020) is 20.2% and food self-sufficiency rate is 45.8%, and efforts are being made to strengthen food security by raising wheat and soybean self-sufficiency rates. Available from <http://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/69/330023/artclView.do> [cited 8th April 2022]
- Ministry of Health and Welfare, The Korean Nutrition Society. 2021. 2020 Dietary reference intakes for Koreans: Application. *Ministry of Health and Welfare*. Report No. 11-1352000-003193-01
- Oh BY, Lee SH, Choi JY. 2017. Analysis of paddy rice water footprint under climate change using AquaCrop. *J Korean Soc Agric Eng* 59:45-55
- Oh YJ, Park SH, Kim HJ, Kim C. 2013. Apple water-footprint calculation and water risk action. *J Korea Saf Manage Sci* 15:113-125
- Park S, Lee M, Ju Y, Park K. 2019. Citation relationship trend analysis of virtual water and water footprint studies in Korea. *J Wetlands Res* 21:141-148
- Park S, Park J, Song I. 2014. A study on calculating water footprint in supply chain and preparing against water risk for producing one liter of milk. *J Distrib Manage Res* 17:53-64
- Ridoutt BG, Baird D, Anastasiou K, Hendrie GA. 2021a. An assessment of the water use associated with Australian diets using a planetary boundary framework. *Public Health Nutr* 24:1570-1575
- Ridoutt BG, Baird D, Hendrie GA. 2021b. Diets within planetary boundaries: What is the potential of dietary change alone? *Sustain Prod Consum* 28:802-810
- Roh TH, Jeon DJ, Moon NK, Choi HS, Oh JK, Kim MY. 2012. Adoption of water footprint concept and its application in environmental policy. pp.16-24. *Korea Environment Institute*. Research Report 2012-12
- Rural Development Administration. 2013. Food Nutrition Value Tables for Consumers by 1 Serving Size. 2nd ed. pp.38, 231. Kyomunsa
- Shin SM. 2010. A study on the estimation of water footprint for rice demand in Korea - using Cropwat model-. Master's Thesis, Univ. of Suwon. Suwon. Korea
- Sokolow J, Kennedy G, Attwood S. 2019. Managing crop tradeoffs: A methodology for comparing the water footprint and nutrient density of crops for food system sustainability. *J Clean Prod* 225:913-927
- Son MJ, Kim I, Cha KH. 2013. Water footprint assessment on major agricultural products - A case of water footprint assessment on cabbages. *Korean Soc Life Cycle Assess* 14:97-109
- Vanham D, Guenther S, Ros-Baró M, Bach-Faig A. 2021. Which diet has the lower water footprint in Mediterranean countries? *Resour Conserv Recycl* 171:105631
- Water Footprint Network. 2008. Product water footprint statistics. Available from <https://worldfootprint.org/en/> [cited 3rd January 2022]
- Yang H, Wang L, Abbaspour KC, Zehnder AJB. 2006. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrol Earth Syst Sci* 10:443-454
- Yoo SH, Choi JY, Kim TG, Im JB, Chun CH. 2009. Estimation of crop virtual water in Korea. *J Korean Water Resour Assoc* 42:911-920
- Yoo SH, Choi JY, Lee SH, Kim T. 2014a. Estimating water footprint of paddy rice in Korea. *Paddy Water Environ*

12:43-54

Yoo SH, Lee SH, Choi JY. 2014b. Estimation of water footprint for upland crop production in Korea. *J Korean Soc Agric Eng* 56:65-74

Zhao D, Liu J, Yang H, Sun L, Varis O. 2021. Socioeconomic drivers of provincial-level changes in the blue and green

water footprints in China. *Resour Conserv Recycl* 175: 105834

Received 19 January, 2023
Revised 11 February, 2023
Accepted 14 February, 2023