

# 물발자국의 개념과 산정 \*

유 승 환

(전남대학교 지역·바이오시스템공학과 조교수)

## 1. 물발자국(water footprint)의 개념<sup>1)</sup>

### 1.1. 물발자국이란 무엇인가?

우리가 쓰고, 입고, 팔고, 사며, 먹는 모든 것들을 생산하기 위해서는 물이 필요하다. 물발자국은 우리가 소비하는 제품과 서비스를 생산하는데 쓰이는 물의 양을 측정하기 위해서는 사용된다. 즉, 물발자국은 “단위 제품 및 단위 서비스 생산 전 과정(Life cycle) 동안 직·간접적으로 사용되는 물의 총량을 뜻하는 것으로 우리가 일상생활에서 사용하는 제품을 생산·소비하는데 얼마나 많은 양의 물이 필요한지 나타내 주는 지표”이다. 쌀 재배 등의 생산 공정은 물론, 청바지 등의 생산된 제품, 자동차 연료, 또는 다국적 기업 전체에 대한 물발자국 측정이 가능하다. 물발자국을 통하여 특정 하천 유역 또는 대수층에서 한 국가가(혹은 세계적으로) 소비하는 물의 양도 산정할 수 있다.

물발자국의 개념을 이용하여 기업, 정부 및 개인에 대한 다음과 같은 광범위한 질문에 답할 수 있다:

\* (yoosh15@jnu.ac.kr) 이 원고는 물발자국 관련 홈페이지, 보고서, 저서 및 논문에 기재된 내용 및 자료를 발췌 및 참조하여 작성함.  
1) Water Footprint Network(WFN)의 홈페이지를 발췌 및 번역하여 정리한 내용임.

1. 기업의 운영체계, 또는 공급사슬에서 물 의존성이 높은 부분은 무엇인가?
2. 수자원은 규제에 의해 얼마나 잘 보호되고 있는가?
3. 식량과 에너지 공급이 얼마나 안정적인가?
4. 개인의 물발자국을 줄이고, 인류와 자연 모두를 위한 수자원 관리 방안은 무엇인가?

목적에 따라 물발자국은 생산량 톤(ton)당 입방미터(m<sup>3</sup>), 농경지 헥타르(ha)당 입방미터(m<sup>3</sup>), 통화 단위 혹은 기타 기능 단위당 입방미터(m<sup>3</sup>)로 측정할 수 있다. 물발자국을 통해 제한된 담수 자원이 무엇을 위해 소비되고 오염되는지 이해할 수 있으며, 사용된 물의 지리적 근원과 사용된 시기에 따라 물발자국의 영향력이 달라질 수 있는데, 만약 물의 근원지가 이미 물이 부족한 지역이라면 심각한 결과를 초래할 수 있으며 조치가 필요할 수 있다. 물발자국은 각각 강수 및 토양수, 지표수 및 지하수, 그리고 오염물질 정화에 필요한 담수량을 뜻하는 녹색, 청색, 회색으로 구분되며, 이 세 가지 요소가 모여 물의 근원과 소비를 종합적으로 나타낸다.

### (1) 직·간접적 물의 사용

물발자국은 생산 단계, 제품, 기업, 또는 산업의 직·간접적인 물 사용을 고려하며 공급 사슬에서부터 소비자에 이르기까지 생산과정 전체의 물 소비량과 오염을 포함한다. 또한 물발자국을 이용하여 한 개인, 공동체, 국가, 또는 전 인류가 소비하는 재화와 서비스 제공을 위해 사용되는 물의 양을 측정할 수 있다. 여기에는 개인이 직접 물을 소비하는 직접적 물발자국과 개인이 소비한 제품의 물발자국의 합인 간접적인 물발자국도 포함된다.

### (2) 물발자국의 세 가지 요소

녹색(green) 물발자국은 강수가 토양의 근근역(root zone)에 저장되었다가 증발 또는 증산되거나 식물에 의해 사용되는 물을 나타낸다. 특히 농업, 원예업, 그리고 산림업과 관련이 있다. 청색(blue) 물발자국은 지표수나 지하수가 근원인 물을 뜻하며 이 물은 증발 또는 생산물에 포함되거나, 한 수역에서 다른 수역으로 돌아가거나 같은 수역으로 다른 시기에 돌아오게 된다. 관개농업, 산업, 그리고 가정에서 소비하는 물에 각 청색 물발자국 요소가 포함될 수 있다. 회색(grey) 물발자국은 점오염원에서 파이프를 통한 오염물질의 직접 방출과 지표유출 및 토양침출에 의한 담수구역으로의 간접적인 오염물질 방출 및 비점오염원이 고려된다.

---

### (3) 물발자국 평가란 무엇인가?

물발자국 평가는 4단계 과정으로 이루어져 있으며, 녹색, 청색, 회색 물발자국을 정량화 및 지표화하고, 물 사용의 지속가능성, 효율성 및 공정성을 평가하여 최종적으로 물발자국을 지속가능하게 만들기 위한 전략적 우선순위 파악을 목표로 한다. 물발자국 평가는 다양하게 활용될 수 있으며 환경, 사회 및 경제적 측면에서 광범위한 전략과 정책에 기여할 수 있다. 각기 다른 주체(대상)에 대한 물발자국을 평가할 수 있으므로 어떤 물발자국에 대하여 평가할지에 대한 정의가 필요하다.

다음은 대상에 따른 물발자국의 예를 나타낸 것이다.

- 가공단계(process step)의 물발자국
- 제품(product)의 물발자국
- 소비자(consumer)의 물발자국
- 소비자집단(group of consumers)의 물발자국
  - 국가 소비자들의 물발자국
  - 지방자치단체 또는 기타 행정단위 내 소비자들의 물발자국
  - 구역 내 소비자들의 물발자국
- 지리적으로 구분된 지역(geographically delineated area)의 물발자국
  - 국가 내 물발자국
  - 지방자치단체 등의 행정단위 내 물발자국
  - 구역의 물발자국
- 비즈니스(business)의 물발자국
- 인류 전체의 물발자국

## 1.2. 물발자국 구분

### (1) 제품의 물발자국

한 제품의 물발자국은 그 제품의 모든 생산 및 가공 단계에서 소비되고 오염된 물의 총량이다. 제품의 물발자국을 통해 그 제품이 담수 자원에 부담을 주는 정도를 알 수 있다. 제품의 물발자국은 생산량 톤당 사용되는 물 입방미터, 킬로그램당 리터, 파운드 혹은 우유 한 병당 갤런으로 측정할 수 있다. 제품 생산 과정에서 소비되는 물의 양 및 물의 근원을 파악하고, 오염물질 정화와 수질기준 충족에 필요한 물의 양을 측정하여 특정 제품이 물 부족과 수질 저하 문제에 기여하는 정도를 볼 수 있다. 또한 여

러 제품의 물발자국을 비교하여 이러한 수자원 문제에 대한 각 제품의 상대적 기여도를 비교할 수 있다. 최종 제품(예: 청바지)의 물발자국은 그 제품의 각 생산 과정 및 단계의 물발자국을 합한 것이다. 청바지를 생산하기 위해서는 목화 재배, 그리고 조면, 방적, 제직, 재봉 및 습식 가공 등의 공정이 필요하다. 각 단계마다 직·간접적 물발자국이 발생하는데, 한 단계의 직접적 물발자국은 다음 단계의 간접적 물발자국이 된다. 그리하여 총 소비되거나 오염된 물의 양이 최종 제품의 물발자국에 포함된다.

## (2) 개인의 물발자국

개인의 물 소비는 부엌, 화장실 및 정원에만 국한된 것이 아니라 매일 먹는 음식부터 종이, 면화, 바이오 연료 등의 다양한 제품을 구매함으로써 많은 양의 물 소비에 기여한다. 개인은 이러한 방식으로 세계 곳곳의 수자원에 간접적인 영향을 끼친다. 개인의 물발자국은 개인이 먹는 음식 재배와 일상생활에서 사용하는 에너지 및 모든 제품(책, 음악, 집, 차, 가구, 옷 등)의 생산에 소비되는 물을 포함한 개인의 일상 물 소비량이다.

## (3) 국가의 물발자국

한 국가의 물 발자국은 생산과 소비의 두 관점에서 바라볼 수 있다. 생산의 물발자국은 국가 내 재화와 서비스 생산에 사용되는 지역 수자원의 양이다. 이는 농업의 물발자국과 산업 용수 및 가정 용수 사용을 포함하며 국가 내에서 소비되는 물의 총량과 자정능력을 나타낸다. 생산의 물발자국은 시, 도 등의 다른 행정구역, 하천 유역, 전 세계를 대상으로도 측정할 수 있다.

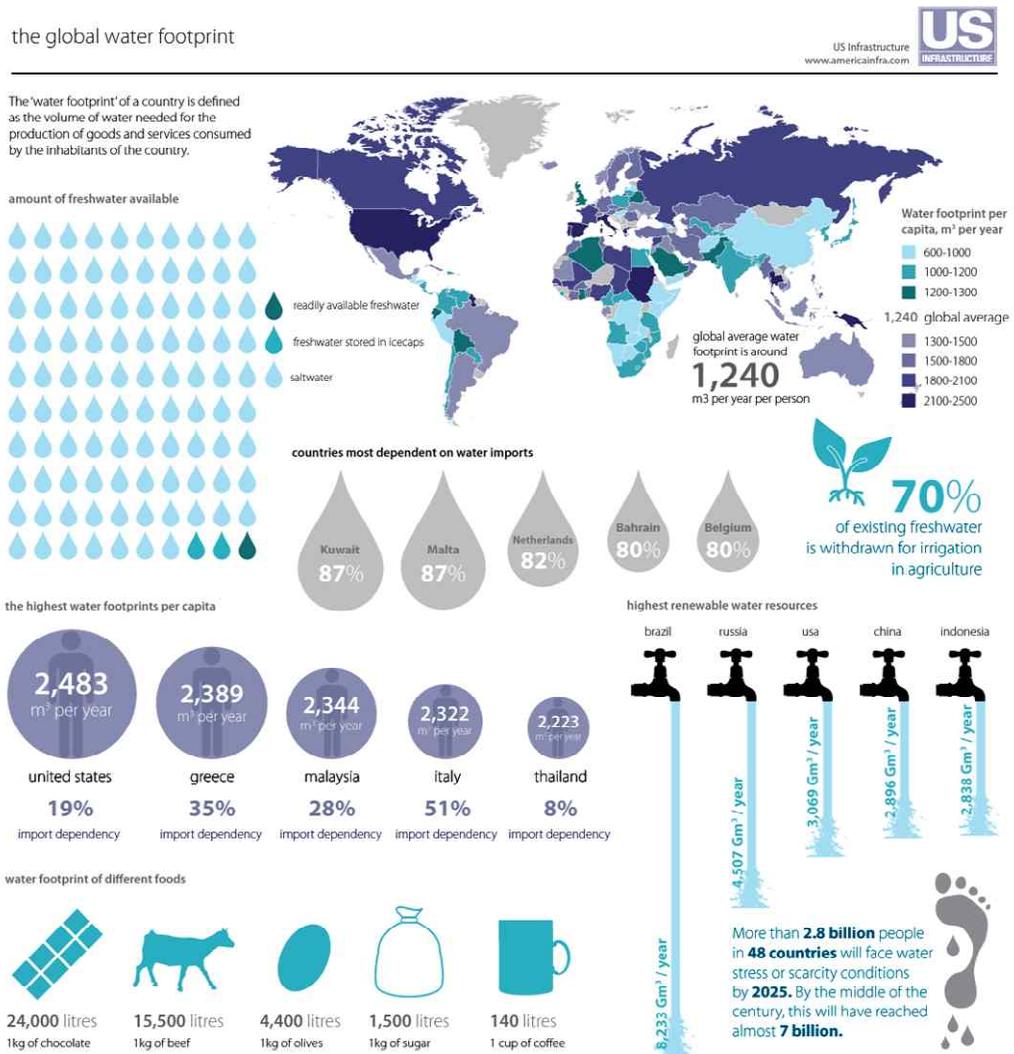
물발자국을 소비의 측면에서도 분석할 수 있는데, 이 경우에는 한 국가 내에 사는 사람들이 소비하는 재화와 서비스에 대하여 물발자국을 산정한다. 이렇게 산정한 물발자국은 국내 생산 및 수입 여부에 따라 부분적으로 국내 혹은 국외에 해당될 수 있다. 소비에 대한 물발자국 또한 어느 행정 구역을 대상으로도 산정할 수 있다.

생산과 소비에 대한 물발자국은 한 국가의 물 사용과 국외 수자원 의존에 대한 경향을 보여주며 국가 정부는 이를 활용하여 수자원을 관리하고 경제발전, 식량안보 및 국제무역관계와 물의 연관성을 이해할 수 있다. 생산에 대한 물발자국은 지역 수자원에 대한 압박을 측정하고 수자원이 지속 가능한 방식으로 활용되고 있는지를 파악하는 근거가 된다. 소비에 대한 물발자국은 국민의 생활수준과 생활방식 선호도를 나타낸다. 국내에서 비롯된 물발자국의 양과 외부에서 비롯된 물발자국의 양 및 위치를

이해하는 것이 국가의 국외 물 의존도와 이에 따라 식량 및 기타 안보에 미치는 영향 평가의 첫 걸음이다.

<그림 1>은 US Infrastructure에서 제작된 포스터인데, Hoekstra and Chapagain(2008)의 “Globalization of Water” 저서를 바탕으로 국가별 물발자국을 나타낸 것이다. 또한 일부 국가의 외부 수자원 의존성과 몇 가지 식품 품목의 물발자국을 제시하고 있다.

그림 1. 주요 물발자국의 국가 단위 소비 물발자국 소비



자료: (<http://www.waterfootprint.org>).

## 2. 물발자국 산정<sup>2)</sup>

### 2.1. 청색, 녹색, 외색 물발자국

#### (1) 청색 물발자국

청색 물발자국은 청색물, 즉 지표수와 지하수라고 불리는 물의 소비적인 사용을 나타내는 지표다. 청색 물발자국은 특정 기간에 소비되어 (즉, 같은 집수역으로 짧은 시간 내 회귀되지 않는) 사용한 물의 양을 측정하는 것이며, 이 방법으로 인간이 소비한 청색물의 양을 수치화한다. 청색물 이외에 인간이 소비하지 않은 지하수와 지표수 흐름은 자연 생태계를 유지시키는 기능을 수행한다. 가공품의 청색물발자국( $WF_{proc,blue}$ )의 산출식은 아래와 같다.

$$WF_{proc,blue} = \text{청색물 증발산량} + \text{청색물 흡수량} + \text{유실 환원수} [volume/time]$$

#### (2) 녹색물발자국

녹색 물발자국은 생산과정 중에 소비되는 빗물의 양이다. 이것은 특히 농업과 임업 제품 (작물이나 나무로 만들어진 제품)에 관련 있으며, 농경지의 강수 중 증발산량과 수확된 작물이나 나무에 흡수된 유효우량의 합을 나타낸다. 특정한 단계의 가공품의 녹색물발자국( $WF_{proc,green}$ )은 아래와 같다.

$$WF_{proc,green} = \text{녹색물 증발산량} + \text{녹색물 흡수량} [volume/time]$$

#### (3) 외색물발자국

가공품의 회색물발자국은 그 가공 단계별로 연관되는 담수 오염의 정도를 나타내는 지표다. 또한 오폐수를 자연적 배경농도와 주변수질기준에 맞게 정화하는 데 필요한 담수의 양이라고 정의한다. 회색물발자국의 개념은 오염원 농도를 주변 수계에 아무런 해를 미치지 않을 정도로 희석시키는 데 필요한 물의 양으로 표현할 수 있다.

가공품의 회색 물발자국은 오염원의 양( $L$ , mass/time)을 그 오염원주변의 수질기준 (최대허용농도,  $c_{max}$ )과 집수수역의 자연적 기본농도( $c_{nat}$ )의 차로 나누어 산정한다.

2) Water Footprint Network(WFN)의 홈페이지, The Water Footprint Assessment Manual(2011) 및 물발자국 평가매뉴얼을 바탕으로 번역 및 발췌하여 재정리한 내용임.

## 2.2. 작물 및 임업 재배의 녹색·청색·회색 물발자국 산정

많은 제품에는 농업이나 임업으로부터 생산된 재료가 포함된다. 작물은 식품, 사료, 섬유, 연료, 기름, 비누, 화장품 등에 사용되고, 나무는 목재, 종이, 연료로 사용된다. 농업과 임업분야가 주요 물 사용 분야이기 때문에, 농업이나 임업 생산시스템에 포함되는 제품들은 상대적으로 큰 물발자국을 가지게 된다. 따라서 이러한 모든 제품은 작물 및 나무 재배 과정에서 물발자국을 우선적으로 분석해야 한다. 작물 생육 및 임업 재배과정을 평가하는 것에 대해 다룬다. 이 방법은 일년생, 다년생 작물 모두에 적용 가능하며, 나무는 다년생작물로 볼 수 있다. 여기서는 작물이라는 용어를 넓은 의미로 사용해 숲에서 자라는 나무도 포함한다.

작물이나 나무를 재배하는 가공품의 물발자국( $WF_{proc}$ )은 녹색·청색·회색물발자국을 모두 합한 것과 같다.

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,gray} [volume/mass]$$

여기서는 단위질량 당 물의 양이라는 제품단위로 모든 물발자국을 표현한다. 가끔 농업이나 임업에서의 가공품의 물발자국을  $m^3/ton$  이라고 표현하는데, 이는 litre/kg 과 동일하다.

작물이나 나무 재배의 가공품의 녹색 물발자국( $WF_{proc,green}$ ,  $m^3/ton$ )은 작물의 녹색 물사용량을 작물의 단위 면적 당 생산량으로 나눠서 구한다. 가공품의 청색 물발자국도 유사한 방법으로 계산된다.

연간 작물 수확량은 수확량 통계에 나와 있는 것을 활용하면 된다. 다년생 작물의 경우, 그 작물의 전체적인 수명 동안의 연평균 수확량을 이용하면 된다. 이 방법에서는 처음 다년생작물을 심은 년도의 수확량이 낮거나 0에 가깝고, 몇 년 후에는 수확량이 가장 많았으며, 수명이 거의 끝날 때는 수확량이 감소한다는 것을 고려하게 된다. 물사용은 작물의 수명기간 동안의 연평균 물사용량을 적용한다.

작물이나 나무 재배에서 가공품의 회색물발자국은 헥타르 당 논에 사용된 화학물질 중에 지표수로 유출되는 비율을 곱한 값을 오염원 최대 허용농도와 자연 기본농도의 차이로 나눈 값에 대해 다시 작물 생산량으로 나누어 산정한다. 오염원은 주로 비료(질소, 인 등)와 농약 및 살충제로 구성되어 있다. 이 경우에는 비료와 농약 총 사용량의 일부가 포함된 유입 폐수량만을 고려해야 하며, 가장 많은 용량의 폐수를 유

발하는 가장 중요한 오염원만을 대상으로 산출해야 한다.

<표 1>은 논벼의 물발자국 산정 결과에 대해서 한국 및 주요 국가의 결과를 나타낸 것이다. 한국의 논벼에 대한 물발자국 연구는 Yoo 외(2014)과 Chapagain and Hoekstra(2010)에 의해서 각각 산정되었다. 2014년의 연구 결과에서는 논벼 녹색 물발자국은 294.5m<sup>3</sup>/ton, 청색 물발자국은 501.6m<sup>3</sup>/ton, 회색 물발자국은 48.4m<sup>3</sup>/ton으로 산정되어, 전체 물발자국은 844.5m<sup>3</sup>/ton이었다. 2010년 연구 결과와 비교하면 논벼 전체 물발자국에서는 큰 차이가 없으나, 컴포넌트별로 살펴보면 다소 차이가 있다. 이는 물발자국 산정 기간, 방법, 대표지역 등이 다르기 때문이다. 국가별로 논벼 물발자국 결과가 차이가 있는데, 이는 일반적으로 작물을 재배함에 있어서 기후조건, 재배 시기 및 기간, 시설 및 노지 재배 여부, 품종, 영농방식 등에 따라서 필요수량 및 수확량이 달라지기 때문이다.

표 1. 주요 쌀 생산국들 간의 쌀 물발자국 비교

국가	논벼 물발자국 (m <sup>3</sup> /ton)			
	녹색	청색	회색	전체
한국 <sup>1</sup>	294.5	501.6	48.4	844.5
한국 <sup>2</sup>	356.3	388.6	84.5	829.4
태국 <sup>2</sup>	942	559	116	1,617
일본 <sup>2</sup>	341	401	61	802
중국 <sup>2</sup>	367	487	117	971
미국 <sup>2</sup>	227	835	101	1,163
전세계 평균 <sup>2</sup>	618	720	112	1,450

자료: <sup>1</sup>Yoo 외 (2014).

<sup>2</sup>Chapagain and Hoekstra (2010).

## 2.3. 제품의 물발자국

### 2.3.1. 정의

어떤 제품의 물발자국은 그 제품을 생산하는데 직·간접적으로 사용되는 물의 총량으로 정의되는데, 생산과정의 모든 단계에서 소비되는 물량 및 오염정도를 고려해서 산정한다. 산정 과정은 농업, 산업, 또는 서비스 분야의 모든 제품에서 비슷하다. 제품의 물발자국은 녹색, 청색, 회색 요소로 나눌 수 있다.

### 2.3.2. 제품(가공품) 물발자국 산정

제품(가공품)의 물발자국은 두 가지의 방법으로 계산할 수 있다. 과정-요약 접근법과 계단식 축적 접근법이다. 전자는 특정한 경우에만 적용될 수 있으며, 후자는 일반적인 방법이다.

#### (1) 계단식 축적 접근법

한 제품의 생산 과정에서 최종 가공단계에서 필수적으로 투입된 재료들의 물발자국과 최종 생산품의 물발자국을 계산하는 일반적인 방법이다. 하나의 제품(출력제품)을 만드는 데 몇 개의 재료(입력제품)가 필요하다고 가정할 경우, 출력제품의 물발자국을 입력제품의 물발자국 총합에 가공단계 물발자국을 더하는 것으로 간단하게 구할 수 있다. 하나의 입력제품이 있고 다수의 출력제품이 있는 경우일 때에는 입력제품의 물발자국을 각각의 출력제품들로 배분하여 산정한다.

가공 중에 얼마만큼의 물사용이 포함되어 있었다면, 가공품의 물발자국은 총량이 다양한 출력제품으로 분배되기 전에, 입력제품들의 물발자국에 더해진다.

#### (2) 과정-요약 접근법

과정-요약 접근법 방법은 앞에서 언급한 계단식 축적 접근법보다 간단하지만 생산 시스템이 하나의 제품을 생산할 경우에만 적용 가능하다. 이 경우 생산시스템의 다양한 가공과정에 관련되는 물발자국이 생산품에 완전히 귀속될 수 있다.

단순한 생산시스템에서 제품의 물발자국은 원료가 되는 가공품의 물발자국의 합을 제품의 생산량으로 나눈 값으로 정의된다.

<표 2>는 국내 쌀제품의 물발자국을 가공 순서대로 나타낸 것이다. 원(primary) 작물인 조곡(벼)로부터 현미와 왕겨가 1차적으로 가공될 때, 각 가공품의 생산비율과 가격비율을 적용하여 현미(생산비율 0.80, 가격비율 1.00)와 왕겨(생산비율 0.20, 가격비율 1.00)의 물발자국을 각각 산정하게 된다. 여기서 가격비율은 시장 가격을 고려하여, 동일한 쌀겨와 백미 1톤이라도 시장가격에 의한 가치를 고려하게 된다. Yoo 외 (2014)에서 제시한 쌀가공품의 물발자국 결과이다. 조곡은  $844.5\text{m}^3/\text{ton}$ 이고, 2차 가공품인 현미와 왕겨는 각각  $1,001.0\text{m}^3/\text{ton}$ ,  $218.4\text{m}^3/\text{ton}$ 이며, 현미로부터 다시 가공되는 백미와 미강(쌀겨)은 각각  $1,055.3\text{m}^3/\text{ton}$ ,  $280.2\text{m}^3/\text{ton}$ 이다. 이로부터 다시 가공되는 파쇄미와 쌀가루는  $1,110.8\text{m}^3/\text{ton}$ 이고, 미강유는  $1,484.4\text{m}^3/\text{ton}$ , 미강가루는  $15.8\text{m}^3/\text{ton}$ 이다.

표 2. 국내 논벼 및 그 쌀제품의 물발자국

식품 (PC-TAS Code)	원작물	fp (가공비율)	fv (가격비율)	쌀제품의 물발자국 (m <sup>3</sup> /ton)
조곡 (100610)	-	-	-	844.5
왕겨	100610	0.20	0.052	218.4
현미 (100620)	100610	0.80	0.948	1,001.0
백미 (100630)	100620	0.93	0.980	1,055.3
과쇄비 (100640)	100630	0.95	1.000	1,110.8
쌀가루 (110230)	100640	1.000	1.000	1,110.8
미강 (110314)	100620	0.07	0.020	280.2
미강유 (15190)	110314	0.18	0.954	1,484.4
미강가루 (230240)	110314	0.82	0.046	15.8

자료: Yoo 외(2014).

<표 3>은 주요 농축산물의 전 세계 평균 물발자국을 나타낸 것이다. 채소, 서류 및 사탕수수 등이 다른 농산물에 비하여 상대적으로 작은 물발자국, 두류 및 견과류가 농산물 중에서는 큰 물발자국을 가지고 있는데, 이는 뿌리, 줄기, 잎을 먹기보다는

표 3. 주요 농축산물의 전 세계 평균 물발자국

식품 품목	단위중량당 물발자국, L/kg			
	녹색	청색	회색	전체
사탕수수	130	52	15	197
채소	194	43	85	322
서류 (감자 및 고구마 등)	327	16	43	387
과일	726	147	89	962
곡물	1,232	228	184	1,644
채유류	2,023	220	121	2,364
두류	3,180	141	734	4,055
견과류	7,016	1,367	680	9,063
우유	863	86	72	1,020
달걀류	2,592	244	429	3,265
닭고기	3,545	313	467	4,325
버터	4,695	465	393	5,553
돼지고기	4,907	459	622	5,988
양 또는 염소고기	8,253	457	53	8,763
소고기	14,414	550	451	15,415

자료: Mekonnen and Hoekstra AY(2011).

두류 및 견과류 등이 씨앗 등의 최종산물만을 섭취하기 때문이다. 일반적으로 농산물 보다는 축산물이 더 큰 물발자국을 나타내는데, 이는 축산물의 물발자국에는 음용수 및 세척수 외에 사료의 물발자국이 포함되기 때문이다.

## 2.4. 소비자의 물발자국

소비자의 물발자국은 어떤 소비자가 제품을 사용하거나 서비스를 위해 소비되거나 오염된 담수의 총량이다. 소비자 집단의 물발자국은 개인 소비자의 물발자국 합과 일치한다. 계산 방법은 다음과 같다.

소비자의 물발자국( $WF_{cons}$ )은 개인 소비자의 직접 물발자국과 간접 물발자국의 합으로 산정한다.

$$WF_{cons} = WF_{cons,dir} + WF_{cons,indir} [volume/time]$$

소비자의 직접 물발자국은 집이나 정원에서 사용한 물과 이와 관련된 물 소비와 오염을 말한다. 소비자의 직접 물발자국은 소비자가 사용한 제품, 제공받는 서비스와 관련되는 물 소비나 오염을 의미한다. 예를 들어 소비된 식품, 의류, 종이, 에너지, 산업 제품들을 만드는 데 쓰인 물을 일컫는다. 소비자의 간접 물사용은 각각의 제품물 발자국을 소비된 모든 제품에 곱해 산정된다.

$$WF_{cons,indir} = \sum_p (C[p] \times WF_{prod}^*[p]) [volume/time]$$

$C[p]$ 는 제품  $p$ 의 소비(제품단위/시간),  $WF_{prod}^*[p]$ 는 이 제품의 평균 물발자국(물의 양/제품단위)이다.

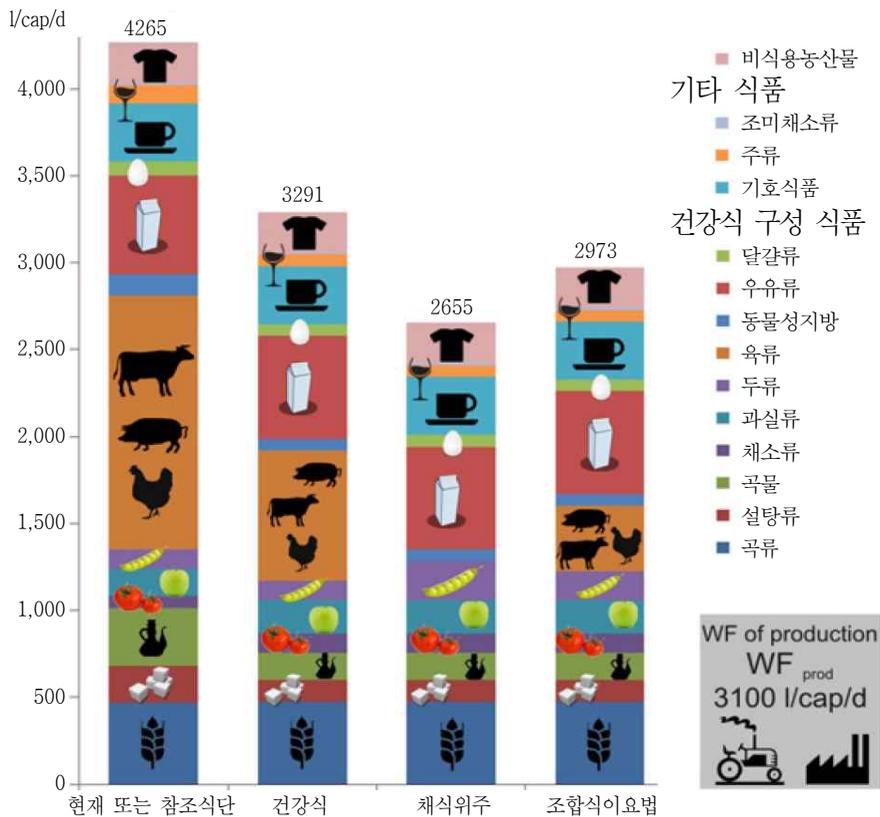
<그림 2>는 소비자의 물발자국의 한 예로써, 4가지 다이어트 시나리오에 따른 농축산물의 EU28 물발자국 소비량을 나타낸 것이다. 4가지 시나리오의 내용은 다음과 같다.

- REF(현재 또는 참조 식단) - 기준기간 1996~2005년 평균 EU28의 식단
- DGE(건강식) - Deutsche Gesellschaft für für fn Ernährung(DGE)-독일영양학회에서 제시된 식이 권장사항
- VEG(채식 위주) - 건강식단과 비슷하지만 모든 육류 제품은 두류와 유류작물로 대체한 식단.

- COM(조합식이요법) - 건강식과 채식 사이의 식단(육류 제품의 절반은 두류와 유류작물로 대체)

참조 식단(REF, 4265 lcd)과 비교하여 대안 식단(DGE, VEG 및 COM)의 1인당 소비되는 총 물발자국이 감소(DGE: -974 lcd 또는 -23%, COM: -1292 lcd 또는 -30%, VEG: -1611 lcd 또는 -38%)되는 것으로 나타났다. 이는 대안 식단들의 육류 섭취량 감소로 인한 것으로, 육류 제품의 상대적으로 큰 물발자국이 총 물발자국 감소에 가장 큰 영향을 미친 것이다. 또한 기름과 설탕 섭취량의 감소 또한 중요한 영향을 미친 것으로 판단된다. 채식요법에서의 물발자국은 가장 낮은 것으로 나타났는데, 이 식단에서 물발자국 소비 중에서 가장 큰 부분은 우유 및 유제품의 섭취와 관련된다.

그림 2. 다이어트 시나리오에 따른 농축산물의 EU28 물발자국 소비량



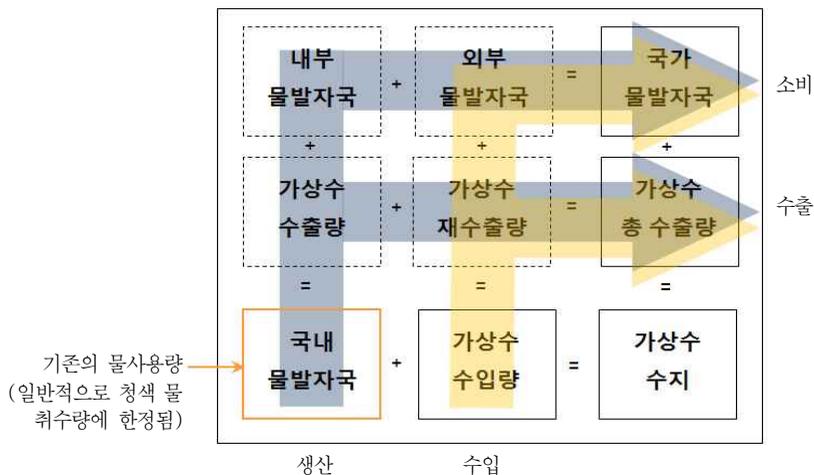
주: LCD는 litet/cap/day임.  
 자료: Vanham 외(2013).

## 2.5. 국가물발자국 산정제도

종합적인 국가물발자국 산정은 국가소비 내적물발자국과 국가 내 물발자국을 하나의 총괄적인 제도로 합해 얻어진다. <그림 3>은 Hoekstra 외(2011)에 소개된 국가물발자국 산정제도의 도식적 표현이다.

기존의 국가 물사용 산정은 국가 내의 취수량만 의미한다. 국내 소비를 위한 제품 생산에 사용된 물과 수출품 생산에 사용된 물을 구분하지 않았다. 또한 국가적 소비를 파악하기 위해 국외의 물사용 데이터는 제외했으며, 녹색물과 회색물을 제외한 청색물만 포함했다. 보다 폭넓은 종류의 분석과 더 나은 의사결정을 위해, 전통적인 국가 물사용 산정은 확장되어야 한다.

그림 3. 국가단위 물발자국 산정 체계



자료: Hoekstra 외(2011).

한 국가의 소비자들 물발자국(국가소비 물발자국)은 두 가지 요소, 내부 물발자국과 외부 물발자국을 갖고 있다. 국가소비 내적 물발자국은 국민 전체가 소비하는 제품과 서비스를 위해 사용된 국내 수자원의 총량을 의미한다. 즉 국가 내 물발자국 총합에서 국내 수자원으로 생산되어 다른 국가로 수출하는 제품에 관련된 가상수의 총량을 뺀 것이다.

국가소비 외적 물발자국은 국민이 소비하는 제품과 서비스를 생산하는 데 다른 국가에서 사용된 수자원의 양이다. 그 국가로의 가상수 총 수입량( $V_i$ )에서 다른 국가로

재수출된 가상수 총 수출량( $V_e$ )을 뺀 것이다. 특정 국가의 가상수 총 수출량은 국내 원산지의 가상수 총 수출량과 해외 원산지에서 수입된 제품을 가공 등을 재수출을 통한 가상수 총 재수출량으로 구성된다.

국내로 수입된 가상수의 일부는 소비될 것이기 때문에 이는 국가소비 외적 물발자국으로 여겨지며, 나머지는 재수출된다. 따라서 한 국가의 가상수 물수지는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{가상수 물수지} &= \text{국가 물발자국} + \text{가상수 총 수출량} \\ &= \text{국내 물발자국} + \text{가상수 수입량} \end{aligned}$$

<표 4>는 주요국의 국가 단위 내부, 외부 및 전체 물발자국을 나타낸 것이다.

표 4. 주요국의 국가 단위 내부, 외부 및 전체 물발자국

국가	총 재생 가능한 수자원 (Gm <sup>3</sup> /year)	내부 물발자국 (Gm <sup>3</sup> /year)	외부 물발자국 (Gm <sup>3</sup> /year)	전체 물발자국 (Gm <sup>3</sup> /year)
호주	492	21.8	4.8	26.6
브라질	8,233	215.7	17.9	233.6
캐나다	2,902	50	12.8	62.8
중국	2,896.6	825.9	57.4	883.4
프랑스	203.7	69.1	41.1	110.2
독일	154	59.9	67.1	126.9
인도	1,896.7	971.4	16	987.4
이탈리아	191.3	65.9	68.7	134.6
일본	430	51.9	94.2	146.1
대한민국	69.7	21	34.2	55.2
북한	77.1	16.7	2.1	18.8
멕시코	457.2	98	42.1	140.2
네팔	210.2	18.7	0.7	19.3
네덜란드	91	3.5	15.9	19.4
오만	1	0.9	2.9	3.8
포르투갈	68.7	10.5	12.1	22.6
러시아	4,507.3	228.9	42.1	271
남아프리카	50	30.9	8.6	39.5
영국	147	21.7	51.4	73.1
미국	3,069.4	565.8	130.2	696

자료: Chapagain and Hoekstra(2004).

---

### 3. 시사점

앞서 물발자국의 개념, 청색, 녹색 및 회색 물발자국의 의미, 대상(가공단계, 제품, 소비자, 국가 단위)에 따른 물발자국의 의미 및 산정 방법에 대해서 살펴보았다. 물발자국의 개념을 확장하면 식품 소비 및 칼로리 공급 변화에 따른 물발자국의 변화, 주요 농산물 생산 및 소비에 따른 지역 간 청색 가상수 흐름 추정 및 이를 통한 지역 수자원의 기여도 분석, 국내의 식량 생산 및 소비 시나리오에 따른 국가 내 농축산물의 내적·외적 물발자국의 변화를 분석하고, 목표 식량자급률을 달성을 위한 물발자국 소요량에 대한 정량적 분석 등을 손쉽게 추정할 수 있다. 이러한 식량 정책에 따른 수자원 영향 분석은 기존의 농업용수 및 수자원 산정·분석 방법에서는 한계를 가지고 있다.

일반적으로 국가 내 수자원 사용량을 산정하고 기존의 평가 방법은 어떤 제품(농산물, 축산물, 공산품 및 서비스 포함)을 생산하는데 국내에서 얼마나 수자원(청색수 위주)이 사용되는가를 분석하고, 이에 따라 산업별 용수 사용량을 추정하여 산업별 물의 수요량을 산정하였다. 하지만 모든 생산품 및 서비스는 최종 소비자에게 전달되기까지 여러 단계를 거치게 되고, 각 단계 생산품 및 서비스에는 물이 소비되므로, 단계별로 물발자국을 산정하면 물의 이력, 즉 언제 어디서 얼마나 어떻게 사용되는가를 평가할 수 있다. 즉, 물발자국을 활용하면 농산물, 축산물 및 가공품 등의 생산과 교역, 농축산물의 소비 패턴 변화에 따라 물 사용량이 어떻게 변화하는지 계측할 수 있다.

따라서 물발자국은 용수 사용 및 수요 산정에 있어서 산업별, 용도별(생활, 공업, 농업용수 및 하천유지용수) 용수로만 산정하여 기존의 공급자 위주의 수자원계획, 관리 초점에서 벗어나, 1차, 2차, 3차 산업에 이르는 생산과 가공, 식품제조, 소비(제품 수출입 포함)까지 아우르는 용수의 흐름을 살펴볼 수 있다는 가장 큰 장점이 있다. 즉, 물발자국 개념을 활용하면, 수자원을 재화와 국가 간(또는 지역 간) 교역, 개인의 소비패턴에 따라 흐르는 개념으로 재조명할 수 있다. 따라서 물 사용과 관리에 새로운 접근방법을 제시할 뿐만 아니라 물을 경제적인 관점에서 볼 수 있고 새로운 산업을 창출할 수 있는 기회로 활용될 수 있다. 하지만 물발자국이라는 새로운 패러다임을 바탕으로 물 관리 정책으로 반영되기 위해서는 여러 가지 활용성과 적합성에 대한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 노태호. 2015. 「물발자국 평가매뉴얼」. 자연과 생태.
- A. K. Chapagain, and A.Y. Hoekstra. 2004. *Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16*. UNESCO-IHE. The Netherlands.
- A. K. Chapagain, and A.Y. Hoekstra. 2010. *The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective. Value of Water Research Report Series No. 40*. UNESCO-IHE. The Netherlands.
- A. Y. Hoekstra, A. K. Chapagain, M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen. 2011. *The Water Footprint Assessment Manual*. Earthscan, London&Washington, DC.
- A.Y. Hoekstra. and A. K. Chapagain. 2008. *Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing, Oxford.
- D. Vanham, M.M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra. 2012. *The water footprint of the EU for different diets*. Ecological Indicators: Vol(32): 1-8
- M. M. Mekonnen, A. Y. Hoekstra. 2011. *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No. 50. UNESCO-IHE. The Netherlands.
- S.-H. Yoo, J.-Y. Choi, S.-H. Lee, T. Kim. 2014. *Estimating water footprint of paddy rice in Korea*. Paddy and Water Environment: Vol.12(1):43-54.

## 참고사이트

Water footprint Network (<http://www.waterfootprint.org>)