



국제표준을 적용한
농산물 물발자국 산정
-배추 사례연구를 중심으로-

Water Footprint Assessment on Major Agricultural Products
-A Case of water footprint assessment on cabbages-

손민정, 김 익, 차경훈

스마트에코(주) 녹색사업본부

Minjung Son, Ik Kim, Kyoungsoon Cha

Green Biz Department, SMaRT-ECO Corporation

농산물의 물발자국 산정 -배추 사례연구를 중심으로-

손민정, 김 익, 차경훈
스마트에코(주) 녹색사업본부

Water Footprint Assessment on Major Agricultural Products -A Case of water footprint assessment on cabbages-

Minjung Son, Ik Kim, Kyoungsoon Cha
Green Biz Department, SMaRT-ECO Corporation

Keywords: Water Footprint Assessment, Life Cycle Assessment, Water inventory, Water Depletion, Water Degradation

Abstract

Water as an essential to life is an indispensable resource. Sustainable water management is needed as one of measures against water depletion and degradation by human activities. This study aimed to develop methodology to evaluate water footprint throughout life cycle of the products as a tool for sustainable water management. The methodology was developed in accordance with ISO 14040s and ISO DIS 14046. Water inventory is the amount of water consumption by water types. Water consumption from direct and indirect sources is calculated to apply Korean life cycle inventory database. Based on the result of water inventory, water-related environmental impacts considering water depletion and degradation is calculated. Case study on cabbages was conducted to evaluate water footprint over the product's life cycle according to the aforementioned methodology.

1. 서론

물은 인간생활 및 생태계에 없어서는 안 되는 필수자원이다. 하지만 인간의 무분별한 생산활동으로 인해 한정된 자원인 물을 과다 소비하여 물 부족 현상을 야기하였으며, 수자원 오염으로 인한 환경피해는 갈수록 가속화될 것으로 전망되고 있다.

이러한 현상을 완화하기 위하여 국제사회에서는 수자원에 대한 지속적인 관리의 필요성을 제기하였으며, 물도 기후변화나 환경문제처럼 세계적인 협력과 과학적인 접근이 필요하다고 강조하고 있다. 현재 수자원 관리를 위한 효과적인 지표로 물발자국(Water footprint) 개념이 제안되어 널리 사용되고 있는데, 이는 대상의 전과정에 걸친 물 사용에 대하여 수량과 수질 측면에서 환경영향을 통합적으로 관리할 수 있다는 점에서 정책적인 활용도가 매우 높다. 따라서 국제사회는 물발자국을 활용하여 효과적인 수자원 정책을 마련하기 위해 이를 산정하는 표준과 지침을 개발하고 있다.

우리나라도 향후에는 물발자국이 국제 환경정책의 큰 흐름이 될 거라는 인식 하에서 정부주도로 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 국가 물 사용량의 약 47%를 차지하는 농업분야에서 물발자국의 중요성을 인지하고 농림축산식품부 산하의 여러 기관에서 관련 연구에 본격적으로 착수하여, 물발자국 도입을 위한 방법론 개발 및 제도적 기반을 마련하고 있다.

본 연구에서는 농작물 재배 전과정에 대하여 우리나라 현실에 적용가능한 물발자국 산정 방법론을 개발하는 것을 목표로 한다. 또한, 개발된 방법론에 따라 재배작형별 배추의 물발자국을 산정함으로써 재배 과정의 수자원 사용현황을 보다 정확하게 파악하고자 한다.

2. 물발자국 산정 방법론 개발

국제적으로 물발자국 평가 방법론은 국제표준화기구에서 개발 중인 ISO DIS 14046과 Water Footprint Network(WFN)의 방법론이 대표적이다. 두 방법론은 모두 전과정평가 개념을 기반으로 하며, 수자원에 대한 양과 질을 고려한다는 점은 같으나, 이들 두 방법론에서 제시하는 물발자국의 정의는 다소 상이하다. ISO DIS 14046은 물발자국을 “물에 관한 포괄적인 환경영향의 평가 결과”로써 정의하였으며, WFN은 “재화 및 서비스 생산에 사용되는 담수의 양”을 물발자국이라 정의하였다. 이처럼 서로 다른 정의로 인해 어떤 방법론을 적용하느냐에 따라 물발자국 결과는 달라지게 된다. 전과정평가 개념에 따르면 WFN 방법론의 평가로 도출된 물발자국 결과는 수자원 인벤토리로 이해할 수 있으며, ISO DIS 14046은 수자원 인벤토리에 대한 수자원고갈 및 수질오염 등에 대한 환경영향을 물발자국 평가 결과로써 도출하게 된다. 또한, 데이터 수집 시 WFN은 수자원 목록을 Green, Blue, Grey water로 구분하고 있는 반면, ISO DIS 14046은 빗물, 지표수, 지하수 등과 같이 물의 기원(Source)에 따라 기본흐름(Elementary flow) 단위로 수자원 인벤토리를 구축하고 있어 향후 수자원 관리의 용이성을 향상시킬 것으로 판단된다.

가. 기본 원칙

본 연구의 목적 및 해외 관련 방법론에 대한 벤치마킹 결과를 토대로, 본 연구에서 개발하는 물발자국 평가 방법론에 대한 3대 기본원칙을 수립하였다.

- 1) 전과정 사고(Life cycle thinking)를 기반으로 할 것
- 2) 수량 및 수질에 대한 영향을 총체적으로 고려할 것
- 3) 물발자국 평가 결과는 수자원고갈과 수질오염 측면으로 구분하여 제시할 것

나. Water accounting

평가 대상 시스템에 투입되고 배출되는 수자원에 대한 데이터를 목록화하는 단계인 Water accounting은 물발자국을 산정하기 위해 필요한 데이터의 수집 및 계산을 포함한다. 본 연구에서는 수집해야 하는 수자원 목록을 Fig. 1과 같이 구분하였다. 대상 시스템에서의 수자원 소비는 직접수(Direct water)와 간접수(Indirect water)가 있는데, 이를 Green, Blue, Grey water로 구분하고, 실제적으로는 ISO DIS 14046에서 제시하는 빗물, 하천수, 저장수, 지하수와 같이 수원(Water type)을 기준으로 데이터를 수집하도록 하였다.

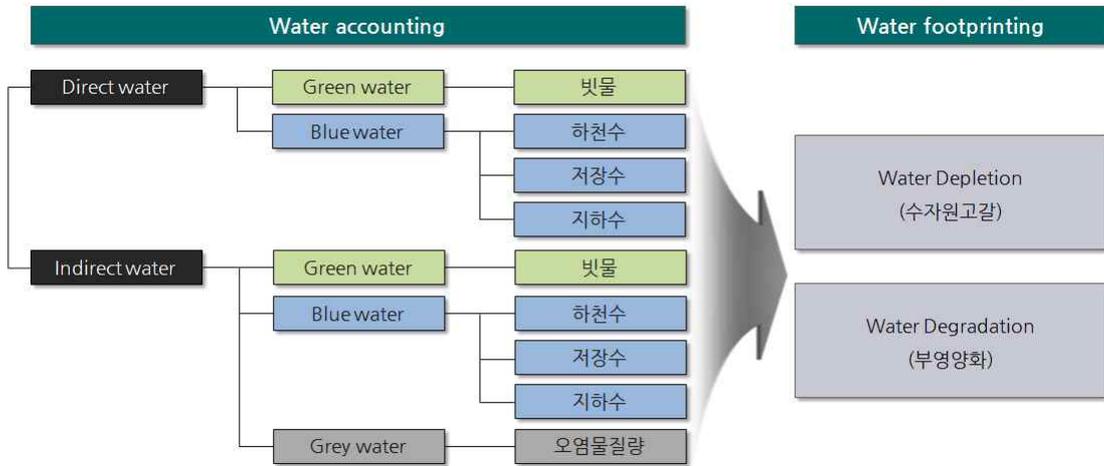


Fig. 1. 물발자국 평가 체계

다. Water footprinting

물에 관한 영향평가는 앞서 도출된 각각의 수자원 유형별로 환경영향을 고려하여 계산된다. 먼저, 전과정에 사용된 수자원이 어떤 환경측면에 영향을 미치는지 평가하기 위해 환경영향범주를 선정해야 한다. 본 연구에서는 ISO DIS 14046을 바탕으로 수자원고갈 및 부영양화를 선정하였다. ISO DIS 14046에서는 수자원을 물의 기원에 따라 고갈성을 평가하여 궁극적으로는 고갈성이 낮은 수자원을 이용하도록 유도하는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 현재 개발된 방법론은 국가별 수자원 고갈성에 대한 차이만을 나타내고 있으며, 수자원별 고갈성에 대하여 차이가 두드러지지 않는다는 점에서 한계를 가지고 있어, 향후 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

3. 사례연구 수행

라. 목적 및 범위정의

무와 함께 김치의 주재료로 우리나라 2대 채소 중의 하나로 손꼽히는 배추를 본 연구의 물발자국 산정 대상 작물로 선정하였다. 배추의 2006년도 재배 총면적은 42,035ha로 채소 전체 면적의 13%를 차지하고 있다. 재배작형별로는 노지가을배추 28.9%, 노지고랭지배추 16.8%, 노지봄배추 39.8%, 시설배추 9.3%, 기타 5.2%이다.

본 연구의 대상 시스템은 배추 재배 시스템으로, 기준흐름은 Table 1과 같이 “대상 재배작형에 대한 배추 1ton”으로 설정하였다. 시스템 경계는 배추 재배 과정에서 사용되는 농자재와 에너지의 원료채취 및 가공에서부터 배추를 재배하여 수확하기까지의 모든 과정을 포함한 “cradle-to-gate”로 설정하였으며, Fig. 2에 나타내었다.

Table 1. 기능, 기능단위, 기준흐름 설정

구분	가을배추	고랭지배추	노지봄배추	시설배추
기능	농업 활동을 통해 생산되는 식용 및 식품 제조의 원재료			
기능단위	대상 재배작형에 대한 배추 1ton 재배			
기준흐름	대상 재배작형에 대한 배추 1ton			

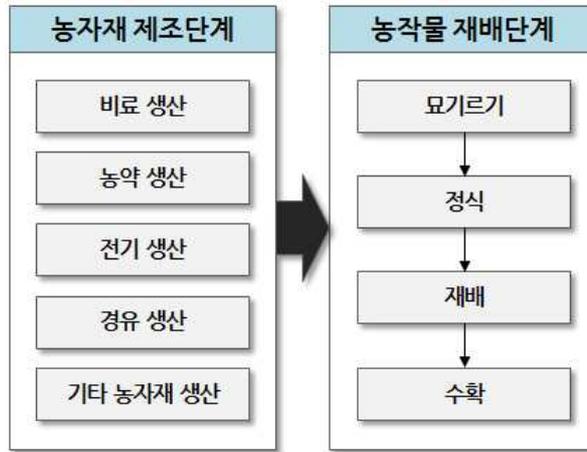


Fig. 2. 시스템 경계

마. 데이터 수집

본 연구는 데이터 수집을 위한 시간적·공간적 범위를 2011년 우리나라 시·도를 기준으로 하였으며, 우리나라의 배추 재배 기술을 기술적 범위로 고려하였다. 대상 시스템에서 직접적으로 소비되는 직접수는 농가의 계량기 등을 통해 빗물과 관개용수 사용량을 정확하게 측정하는 것이 가장 좋으나, 이는 현실적으로 많은 어려움이 따른다. 따라서 그 대안으로 지역적 기상조건 및 작물특성 등에 대한 데이터를 통해 빗물의 사용량과 관개필요수량을 계산하는 방법을 적용하였다. 직접수 산정을 위하여 우리나라 76개 관측소의 지역정보 및 해당 관측소의 2011년도 최저·최고기온, 평균풍속, 평균습도, 일조시간, 강수량 데이터를 수집하였다. 간접수를 산정하기 위하여 농촌진흥청에서 발간한 지역별 농산물 소득 자료집을 바탕으로 배추의 재배작형별·지역별 농자재 및 에너지 투입 데이터를 수집하였으며, 농약연보 및 농약사용지침서를 바탕으로 작물의 농약 사용량을 도출하였다. 농자재 및 에너지 사용에 관한 상위흐름의 간접수를 산정하기 위해 일반데이터(Eco-Invent DB)를 수집하여 적용하였다. 이 때 간접수와 직접수 소비는 Green, Blue water로 구분될 수 있도록 데이터를 수집·가공하였다. 또한, 작물의 노지 및 시설재배지에서 비료 사용에 따른 오염물질은 비가 오는 과정에서 주변 하천 또는 토양으로 유출된다. 이러한 경우 오염물질 유출량에 대한 측정이 어렵기 때문에 본 사례연구에서는 오염물질 유출로 인한 Grey water 산정은 고려하지 않았다.

바. 데이터 계산

1) 직접수 산정

밭작물의 직접수 수요량은 통상적으로 작물의 증발산량을 말한다. 증발산은 토양과 작물이 소비하는 물을 나타내며, 관개지역의 기상조건 및 작부체계와 토양상태에 영향을 받는다. 그러나 작물의 증산량이나 토양의 증발량을 측정하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 많은 나라에서는 잠재 증발산량을 통해 작물의 증발산량을 예측하고자 하였다. 잠재증발산량이란 일정지역의 기후조건 하에서 표준잔디가 수분의 제한을 받지 않는 상태에서의 증발산 가능량을 말하며, 이는 Penman 법, 수정 Penman법, Pan법, Blaney-Criddle법, FAO Penman-Monteith법 등 다양한 형태의 모형으로 제시되어 왔다.

이제까지 밭작물의 증발산량을 산정하기 위해 주로 Blaney-Criddle식과 Penman법이 도입되어 활용되었으나, 위 방법들은 실측 증발산량과의 비교에서 과대치를 산정하는 경향이 있음을 세계식량기구(FAO)에서 발표한 바 있다. 이에 반해 복합기상자료를 이용하는 Penman-Monteith법은 세계식량기구(FAO), 세계관개배수위원회(ICID), 세계기상기구(WMO) 등에서 추천하고, 여러 연

구에서 가장 정확한 방법으로 인정받고 있으며, 기존 Penman법의 단점을 보완하여 전 세계적으로 작물 필요수량에 대하여 일관된 값을 제공하고 적용성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 세계적인 기구에서 추천하는 증발산량 산정법인 FAO Penman-Monteith법을 채택하여 적용하였으며, 다음 Fig. 3과 같은 과정을 통해 대상 작물의 필요수량 및 관개수량을 산정하였다.

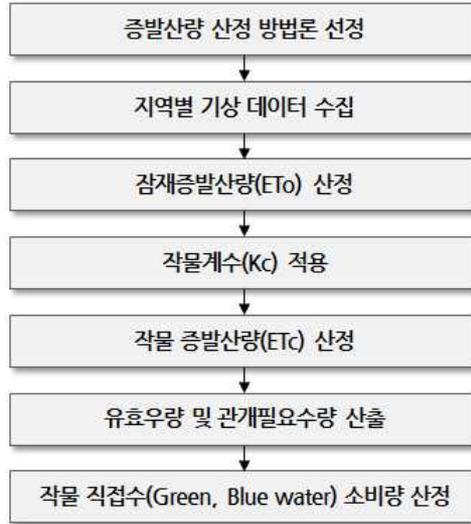


Fig. 3. 직접수 소비량 산정 흐름도

잠재증발산량 산정 (FAO Penman-Monteith Approach)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \frac{900}{T+273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

- ET_0 : 잠재증발산량 (mm/day)
- R_n : 순일사량 (mm/day)
- $e_s - e_a$: 증기압차 (kPa)
- Δ : 수증기압곡선 (kPa/°C)
- γ : 습도상수 (kPa/°C)
- G : 토양으로 흡수되는 열유동량 ($MJ/m^2 \cdot day$)
- U_2 : 2m 높이에서의 평균풍속 (m/s)
- T : 2m 높이에서의 평균기온 (°C)

작물증발산량 산정

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

- ET_0 : 잠재증발산량 (mm/day)
- K_0 : 작물계수

Table 2. 재배작형별 작물계수

구분	작물계수			재배시작일
	초기	중기	말기	
가을배추	0.78	1.25	1.16	9/10
고랭지배추	0.62	1.25	1.16	6/15
봄배추	0.69	1.3	1.13	4/15
시설배추	1.13	1.28	1.17	2/20

유효강우량 산정

밭 토양에서의 토양수분추적에 의한 일별 물수지를 통해 유효우량을 산정할 수 있다. 유효우량은 잠재유효우량으로부터 결정되며 강우량에서 유출량을 뺀 값이다. 만약 잠재유효우량이 근근역이 포함할 수 있는 깊이보다 크면 유효우량은 근근역이 포함할 수 있는 양과 같다. 잠재유효우량이 근근역 깊이보다 적은 경우에 유효우량은 잠재유효우량과 같다. 이상의 경우에 따른 토양수분 추적에 의하여 지표면의 강우량 중 실제 작물에 의해 이용되는 유효우량을 산정 할 수 있다.

$$D(t) = D(t-1) + Re(t) + Req(t) - U(t)$$

- D(t) : t일의 밭 토양수분 (mm)
- D(t-1) : t-1일의 밭 토양수분 (mm)
- Re(t) : t일의 유효우량 (mm)
- Req(t) : 1일의 순관개량 (mm)
- U(t) : t일의 작물 소비수량 (mm)

관개필요수량 산정

관개수량은 생육시기별 작물의 소비수량 및 유효우량을 고려하며 산정하며, 유효우량은 강우량, 관개량, 작물 소비수량의 토양 내 물수지를 통해 결정하게 된다. 토양 내 수분, 강우량, 관개필요 수량의 관계는 다음과 같이 구분한다.

$$\begin{aligned} & \text{(가) } D_{\min} \leq D(t-1) + Re(t) \text{ 이면} \\ & \quad Req(t) = 0 \\ & \text{(나) } D_{\min} > D(t-1) + Re(t) - U(t) \text{ 이면} \\ & \quad Req(t) = D_{\max} - D(t-1) - Re(t) + U(t) \end{aligned}$$

- D_{max} : 최대저류량 (mm)
- D_{min} : 생장저해수분점 (mm)

직접수 소비량 산정

직접수는 단위 생산량당 작물의 소비수량으로 작물의 필요수량과 생산량을 활용하여 산정한다. 본 연구에서는 2011년 시·도별 기후 데이터를 바탕으로 작물의 필요수량(mm) 및 직접수 소비량(m³/ton)을 산정하고 지역별 생산량 가중평균에 의해 재배작형별 국가 평균 직접수 소비량을 Green 및 Blue water로 구분하여 산정하였다.

2) 간접수 산정

간접수 소비량은 작물 재배 과정에 투입·배출되는 원부자재와 에너지를 생산하는 단계에서 소비된 물을 의미한다. 그러나 간접수를 산정하는데 필요한 원부자재 및 에너지 생산과정에서 소비

되는 물에 관한 기초 데이터의 구축사례가 없는 관계로, 본 연구에서는 LCI 데이터베이스에서 물에 관한 인벤토리를 산출하는 방법을 제안하였다.

우리나라에서 개발한 LCI 데이터베이스는 구축 당시 물과 관련된 정보가 중요하게 취급되지 않았으며, 일관되지 않은 방법론을 사용하였기 때문에 이를 활용하여 수자원 인벤토리를 도출하는 것은 결과의 신뢰성을 해칠 소지가 있다. 따라서 국제적으로 공인된 스위스의 Eco-Invent LCI 데이터베이스를 활용하는 방법을 적용하였다.

간접수 소비량을 산정하기 위해 작물 재배 과정에 투입·산출되는 물질의 LCI 데이터베이스를 수집하여 수자원 정보를 Green, Blue water로 분류·추출함으로써 최종적으로 물질별 물소비계수를 산출하였다. Table 3은 Eco-Invent에서 제공하는 물질 파라미터 중 물과 관련된 정보를 Green, Blue water로 분류하여 나타내었다.

Table 3. Eco-Invent LCI 데이터베이스의 물에 관한 파라미터

구분	물질명
Green water	Water, rain
	Water, barrage
Blue water	Water, cooling, drinking
	Water, cooling, surface
	Water, cooling, unspecified natural origin/kg
	Water, cooling, unspecified natural origin/m3
	Water, cooling, well, in ground
	Water, fossil
	Water, fresh
	Water, groundwater consumption
	Water, lake
	Water, process and cooling, unspecified natural origin
	Water, process, drinking
	Water, process, surface
	Water, process, unspecified natural origin/kg
	Water, process, unspecified natural origin/m3
	Water, process, well, in ground
	Water, river
	Water, Surface water consumption
	Water, thermoelectric groundwater consumption
	Water, thermoelectric surface water consumption
	Water, turbine use, unspecified natural origin
Water, unspecified natural origin/kg	
Water, unspecified natural origin/m3	
Water, well, in ground	

본 연구에서는 LCI 데이터베이스를 활용하여 배추 재배 과정에서 투입된 농자재 및 에너지에 대하여 Green 및 Blue water 소비계수를 산출하여 적용하였다. 이는 활동데이터와 곁하여 최종적으로 작물 재배의 간접수 소비량으로 도출하였다.

사. 영향평가

본 연구에서는 ISO DIS 14046을 바탕으로 수자원고갈 및 부영양화를 선정하였으며, 연구 목

적에 적합한 영향평가 방법론을 다음 Table 4와 같이 선택하여 적용하였다. 영향평가 결과는 수자원목록분석 단계에서 수집·정리된 투입·산출물들이 각각의 영향범주에 미치는 영향에 대하여 개별적으로 도출된다.

Table 4. 영향평가 방법론

영향범주	영향평가 방법론
수자원고갈	Swiss Eco-scarcity method 2006
부영양화	Struijs et al., 2009 (EUTREND Model)

아. 결과 및 고찰

1) 직접수 소비량 산정 결과

재배작형별 배추에 대한 필요수량을 산정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 고랭지배추가 243.9mm로 가장 큰 필요수량을 요구하며, 봄배추가 230.2mm, 시설배추가 208.4mm, 가을배추가 150.9mm로 가장 작은 값을 보였다. 이러한 결과는 재배작형별 배추의 생육기간과 밀접한 관계가 있으며, 상대적으로 증발산량이 큰 기간인 여름에 재배한 고랭지배추가 가장 큰 필요수량을 가지는 것으로 분석된다.

Table 5. 재배작형별 배추의 필요수량 (단위: mm)

구분	가을배추	고랭지배추	봄배추	시설배추
경기도	145.7	225.4	221.1	191.3
강원도	138.9	229.1	223.5	196.8
충청북도	116.2	242.0	232.2	206.8
충청남도	148.9	233.7	229.5	195.6
전라북도	163.3	250.8	236.7	200.2
전라남도	178.7	237.8	223.2	221.1
경상북도	155.7	277.5	238.4	226.2
경상남도	159.4	254.6	236.9	229.1
평균	150.9	243.9	230.2	208.4

본 연구에서는 2011년의 재배작형별 필요수량 및 생산량을 바탕으로 배추에 대한 직접수 소비량을 산정하였다. 이 때 지역별 물 소비량 차이를 반영하기 위하여 생산량에 의한 가중평균을 통해 재배작형별 평균 직접수 소비량을 산정하였다. 또한, 노지재배를 하는 가을, 고랭지 및 봄배추는 유효수량 산정을 통해 직접수를 Green 및 Blue water로 구분하였다. 시설배추가 소비하는 직접수는 모두 관개를 통해 용수가 공급되는 것으로 설정하였다.

생산량에 따른 직접수 소비량은 고랭지배추가 49.2 m³/ton으로 단위생산량 당 물소비가 가장 큰 것으로 드러났으며, 그 다음으로 봄배추가 33.8 m³/ton, 가을배추가 21.6 m³/ton, 시설배추가 21.5 m³/ton 순으로 나타났다. Table 5에서 고랭지배추와 봄배추의 필요수량 차이는 5.6%에 불과하지만, 단위생산량의 직접수 소비량 결과 값을 보면 고랭지배추가 31.3%가 더 큰 것으로 도출되었다. 이는 고랭지배추의 단위면적당 생산량이 봄배추에 비해 적어서 생산성이 떨어짐을 의미한다. 마찬가지로 가을배추의 필요수량은 시설배추와 비교했을 때 57.5mm 만큼 적지만, 직접수 소비량은 유사한 값을 나타내고 있어, 가을배추의 생산성이 시설배추 보다는 다소 낮다고 할 수 있다.

Table 6. 지역별 · 재배작형별 배추의 직접수 소비량 (단위: m³/ton)

구분	Green water				Blue water				Total direct water				평균
	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	
경기	8.8	-	12.0	-	14.6	-	21.1	-	23.4	-	33.2	-	20.1
강원도	12.2	38.6	14.5	-	14.6	11.4	25.4	-	26.8	50.0	39.8	-	30.8
충청북도	8.8	-	13.3	-	9.0	-	23.5	-	17.7	-	36.8	-	19.1
충청남도	6.0	-	10.3	-	12.2	-	22.9	18.6	18.2	-	33.2	18.6	20.6
전라북도	9.5	40.2	6.8	-	13.3	12.7	24.1	-	22.8	52.9	30.9	-	26.7
전라남도	8.4	-	9.1	-	16.0	-	21.3	25.0	24.4	-	30.4	25.0	23.0
경상북도	10.2	25.5	10.0	-	12.2	19.2	24.1	-	22.4	44.8	34.0	-	26.4
경상남도	9.6	38.8	-	-	19.6	11.6	-	-	19.2	50.4	-	-	14.7
평균	9.0	35.1	10.6	-	12.6	14.1	23.1	21.5	21.6	49.2	33.8	21.5	

2) 간접수 소비량 산정 결과

간접수 소비량은 작물 재배 과정에 투입 · 배출되는 농자재와 에너지를 생산하는 단계에서 소비된 물을 의미한다. 시설배추가 252.8 m³/ton으로 가장 많은 양의 간접수를 소비하며, 그 다음으로 가을배추가 152.7 m³/ton, 고랭지배추가 144.3 m³/ton, 봄배추가 141.6 m³/ton의 간접수를 소비하는 것으로 나타났다.

Table 7. 지역별 · 재배작형별 배추의 간접수 소비량 (단위: m³/ton)

구분	Green water				Blue water				Total indirect water				평균
	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	
경기	-	-	-	-	129.1	-	154.4	-	129.1	-	154.4	-	101.5
강원도	-	-	-	-	113.9	236.5	262.9	-	113.9	236.5	262.9	-	165.5
충청북도	-	-	-	-	439.6	-	123.0	-	439.6	-	123.0	-	212.2
충청남도	-	-	-	-	120.4	-	145.7	248.4	120.4	-	145.7	248.4	128.8
전라북도	-	-	-	-	86.5	151.9	125.8	-	86.5	151.9	125.8	-	97.2
전라남도	-	-	-	-	177.5	-	93.5	258.0	177.5	-	93.5	258.0	135.0
경상북도	-	-	-	-	84.3	106.7	112.5	-	84.3	106.7	112.5	-	85.5
경상남도	-	-	-	-	92.5	99.7	-	-	92.5	99.7	-	-	50.4
평균	-	-	-	-	152.7	144.3	141.6	252.8	152.7	144.3	141.6	252.8	

재배작형별 배추의 간접수 소비 기여도를 살펴보면, 노지에서 재배되는 가을, 고랭지, 봄배추의 경우에는 복합비료와 유기질비료로 인한 간접수 소비 영향이 크게 도출된 반면, 시설배추는 작물이 자랄 수 있는 재배환경을 유지하기 위해 소비되는 전기에너지로 인한 영향이 가장 크게 나타났다.

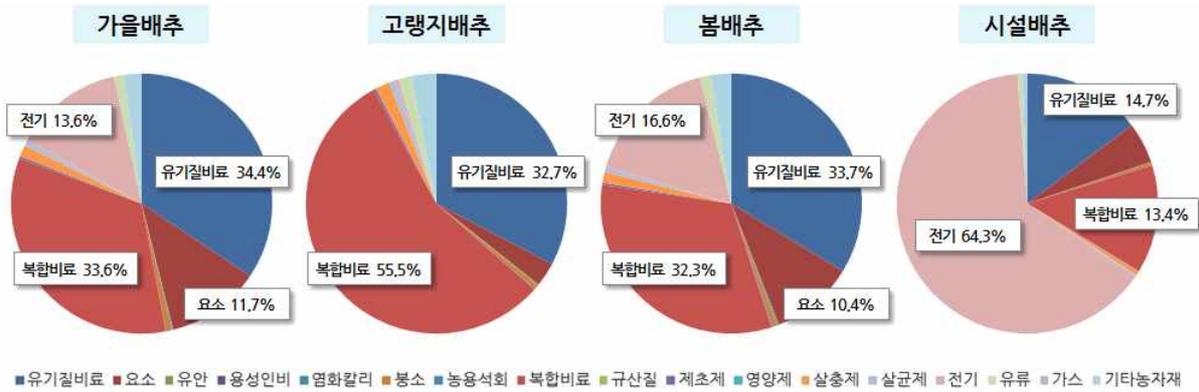


Fig. 3. 재배작형별 배추의 간접수 소비 기여도

3) 재배작형별 물발자국 산정 결과

재배작형별 배추의 직접수와 간접수 소비량에 따른 수자원고갈 및 부영양화에 대한 물발자국 산정하였다. Table 8은 수자원고갈에 대한 영향평가 결과를 나타내었으며, Swiss Eco-scarcity method 2006에서 제시하고 있는 한국의 Water scarcity Index(0.12)를 적용하여 도출된 결과이다.

시설배추가 32.9 m³ freshwater/ton으로 수자원고갈에 대한 영향이 가장 크며, 가을배추가 20.9 m³ freshwater/ton으로 결과 값이 가장 작게 나타났다. 이러한 결과는 수원별 고갈지수를 반영하지 않은 것으로, 향후 ISO 14046 제정에 따라 고품질의 수원별 물고갈지수의 개발과 적용이 요구된다. 수원별 고갈지수를 반영한다면 작물 재배 시 빗물을 더 많이 이용할 것인지, 관개수량을 더 많이 이용할 것인지의 여부에 따라서 수자원고갈에 대한 물발자국 산정 결과가 달라질 수 있을 것이다.

Table 8. 지역별 · 재배작형별 배추의 수자원고갈 영향평가 결과 (단위: m³ freshwater/ton)

구분	수자원고갈												평균
	Direct water				Indirect water				Total water				
	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	
경기	2.8	-	4.0	-	15.5	-	18.5	-	18.3	-	22.5	-	14.6
강원도	3.2	6.0	4.8	-	13.7	28.4	31.5	-	16.9	34.4	36.3	-	23.6
충청북도	2.1	-	4.4	-	52.8	-	14.8	-	54.9	-	19.2	-	27.8
충청남도	2.2	-	4.0	2.2	14.4	-	17.5	29.8	16.6	-	21.5	32.0	17.9
전라북도	2.7	6.3	3.7	-	10.4	18.2	15.1	-	13.1	24.6	18.8	-	14.9
전라남도	2.9	-	3.6	3.0	21.3	-	11.2	31.0	24.2	-	14.9	34.0	19.0
경상북도	2.7	5.4	4.1	-	10.1	12.8	13.5	-	12.8	18.2	17.6	-	13.4
경상남도	2.3	6.0	-	-	11.1	12.0	-	-	13.4	18.0	-	-	7.8
평균	2.6	5.9	4.1	2.6	18.3	17.3	17.0	30.3	20.9	23.2	21.0	32.9	

오염물질 인 배출로 인한 담수의 부영양화에 대한 영향평가 결과는 고랭지배추가 4.0E-11 kg P/ton으로 가장 크며, 시설배추가 2.8E-11 kg P/ton으로 가장 낮게 산정되었다. 이는 비료 생산 과정에서 인에 대한 배출이 많기 때문인 것으로 분석된다. 본래 작물의 노지 및 시설재배지에서 사용된 비료는 비가 오는 과정에서 주변 하천 또는 토양으로 유출되지만, 유출된 오염물질에 대한 정량적인 측정이 어렵기 때문에 본 사례연구에서는 유출된 오염물질로부터 발생하는 부영양화 영향은 고려하지 않았다. 따라서 부영양화 영향에 대해서는 다소 과소평가된 부분이 있으며, 추후 관련 연구를 통하여 보완이 요구된다.

Table 9. 지역별 · 재배작형별 배추의 부영양화 영향평가 결과 (단위: 10^{-11} kg P/ton)

구분	부영양화												
	Direct water				Indirect water				Total water				평균
	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	가을 배추	고랭지 배추	봄배추	시설 배추	
경기	-	-	-	-	2.7	-	4.4	-	2.7	-	4.4	-	2.5
강원도	-	-	-	-	3.3	6.4	4.5	-	3.3	6.4	4.5	-	3.7
충청북도	-	-	-	-	13.0	-	3.6	-	13.0	-	3.6	-	6.3
충청남도	-	-	-	-	2.8	-	2.3	2.7	2.8	-	2.3	2.7	2.2
전라북도	-	-	-	-	2.1	4.4	3.6	-	2.1	4.4	3.6	-	2.7
전라남도	-	-	-	-	2.9	-	2.4	3.0	2.9	-	2.4	3.0	2.4
경상북도	-	-	-	-	2.5	3.0	3.0	-	2.5	3.0	3.0	-	2.4
경상남도	-	-	-	-	2.6	2.9	-	-	2.6	2.9	-	-	1.4
평균	-	-	-	-	3.9	4.0	3.4	2.8	3.9	4.0	3.4	2.8	

4. 요약

본 연구에서는 2011년도 기후 데이터 및 농산물 소득 자료집 등을 토대로 직·간접 물 소비량을 산정하였으며, 그 결과 직접수 소비량은 상대적으로 증발산량이 큰 기간인 여름에 재배되는 고랭지배추가 가장 크고, 간접수 사용량은 농산물 소득 자료집에서 비료와 에너지의 사용량이 많은 시설배추가 큰 것으로 도출되었다. 본 연구 결과는 수원별 고갈지수를 반영하지 않은 것으로 ISO 14046 제정에 따라 고품질의 수원별 물고갈지수 및 주요 농자재에 대한 물소비지수의 개발이 필요하다. 또한, 농업의 특성상 지역적·시간적 영향을 많이 받기 때문에 장기간에 걸친 데이터를 이용하여 보다 정확한 물발자국 결과를 확보해야 할 것이다.

이상의 결과는 향후, 우리나라에서 소비되는 농산물로 인한 가상수를 산정하는데 효과적으로 활용될 수 있으며, 식량 안보의 차원에서 반드시 관리해야 할 중요한 지표이다.

사사

본 논문은 2013년 농촌진흥청 공동연구사업 “전과정평가에 의한 주요 농·축산물의 물발자국 평가 체계 구축” 과제(과제번호: PJ0089782013)를 수행하면서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다.

참고문헌

- 1) 용수수요예측 가이드라인(안), 한국건설기술연구원, 2004
- 2) 농업용수의 효율적 이용을 위한 밭작물 물 관리 기술, 농촌진흥청 농업과학기술원, 2007
- 3) 김운형 외 2명, 농업부문 가상수(Virtual water) 도입 및 활용을 위한 기초연구, 한국농촌경제연구원, 2012
- 4) 김익, 지속가능수자원관리 지표로써 Water footprint의 국제동향, 한국환경산업기술원, 2013
- 5) 표준영농교본-128 배추 재배기술, 농촌진흥청, 2002
- 6) Richard G. Allen 외 3인, FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 - Crop Evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements), FAO, 1998
- 7) Arjen Y. Hoekstra 외 3인, The Water Footprint Assessment Manual - Setting the Global Standard, Water Footprint Network, 2011
- 8) ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, International Organization for Standardization, 2006
- 9) ISO DIS 14046: Life cycle assessment - Water footprint - Requirements and guidelines, International Organization for Standardization, 2013