

2014



# 지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용(최종)

Water footprint estimation and  
application for sustainable water resources use(final)





# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2014년 12월

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원

연구책임자 : 신 안 국

연구 원 : 김 영 득

김 진 택

김 광 용

이 성 희

최 원 우

문 성 근

공동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단

연구책임자 : 최 진 용

연구 원 : 이 상 현, 홍 은 미

이 성 학, 박 나 영, 홍 민 기

위촉 연구원 : 박 경 성, 노 재 동



## < 요약 >

1. 연구과제명 : 지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용(최종)

2. 연구기간 : 2012. 2 ~ 2014. 12

### 3. 연구개요

#### 3.1 연구배경 및 목적

##### 3.1.1 배경 및 필요성

- 물발자국(Water Footprint)이란 단위 제품 및 단위 서비스 생산 전과정(Life cycle) 동안 직·간접적으로 사용되는 물의 총량을 뜻하는 말로, 우리가 일상생활에서 사용하는 제품을 생산·소비 하는데 얼마나 많은 양의 물이 필요한지 나타내 주는 지표이며, 물의 이력을 내포하기 때문에 이전의 가상수의 개념을 보다 세부적으로 구분할 수 있음.
- 우리나라 농업용수의 양은 전체 수자원 이용량(333억톤)의 47% (159억톤)로 가장 큰 비중을 차지하고 있고 직접수가 차지하는 비율이 높으므로 농업분야의 물발자국 기초자료의 구축이 중요함.(국토해양부 수자원장기종합계획, 2011)
- 대외적으로 2014년 7월 24일 ISO 14046 (물발자국) 표준문서 제정, 국내 표준화 작업 진행, 환경성적표지제도 관련 법령정비 등으로 조속한 시일내 물발자국의 제도 도입이 예상되므로 그에 대비한 물발자국 기초자료 구축 필요함.

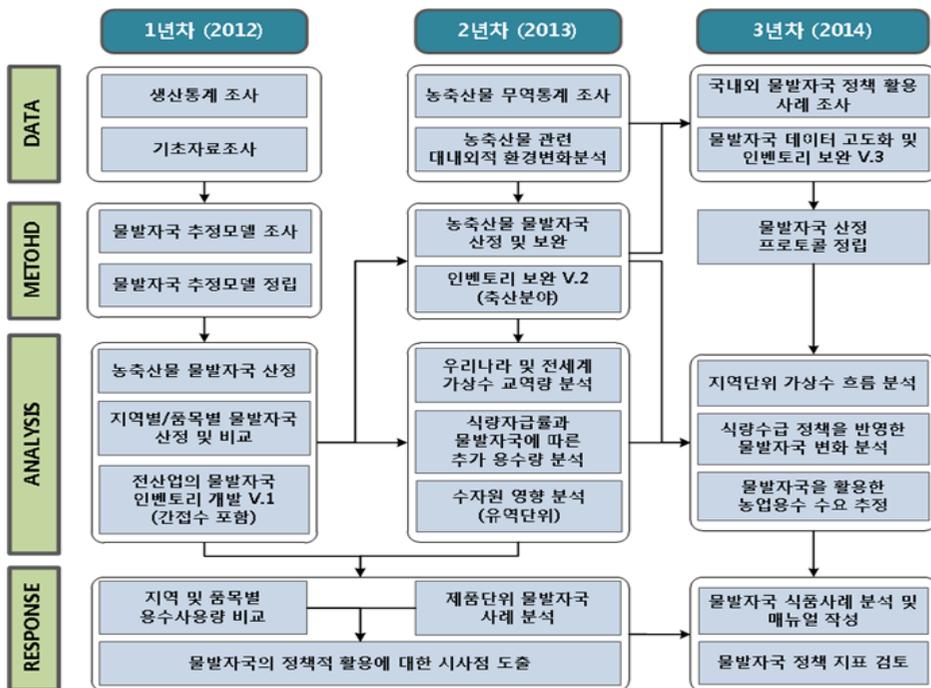
##### 3.1.2 연구목적

- 물발자국의 활용방안과 물발자국을 활용한 제도의 도입에 대비한 기초자료를 제공하기 위한 것임.
- 1차년도에는 물발자국의 산정 모델을 정립과 물발자국 DB를 구축하고, 2차년도에는 축산물 DB의 추가와 물발자국 DB를 활

용한 농산물 가상수 교역분석 및 제품단위 물발자국 산정 등 적용성을 분석하여 활용방안을 제시함.

- 3차년도 세부 목표는 첫째, 물발자국을 정책 방향 수립에 활용하기 위해 물발자국 인증 방안 및 정책지표, 식량 정책 및 인구 변화, 수자원 정책 등을 동시에 고려할 수 있는 지속가능한 농업용수 관리 등의 방안을 제시하는 것이며, 둘째, 기 구축된 DB의 고도화, 물발자국 산정 및 활용 매뉴얼을 제시하는 것이며, 셋째, 정부3.0 기조에 따른 DB에 대한 정보공개를 위해 통합정보시스템을 구축하는 것임.

### 3.2 연구 내용



<그림 1> 연차별 주요 연구내용

### 3.3 기대효과 및 활용방안

#### 3.3.1 기대효과

- 기술적 측면
  - 우리나라 농업용수의 물사용량 평가를 위한 지표로 활용.
  - 국내 농업 정책 및 국제 교역 변화에 따른 농업용수 분야의 국내 수자원 의존도 등의 평가를 위한 지표로 활용.
  - 물발자국 산정 프로토콜 정립과 표준화된 활용 기준을 제시함으로써 산학연에서 활용 지침서 제공.
  - 통합정보시스템을 통한 물발자국 관련 자료수집의 대국민 접근성 강화.
- 정책적 측면
  - 농축산물의 물발자국 산정을 통한 각 분야별 용수이용에 대한 효율적이고 지속가능한 국가 물관리 계획 및 정책 수립을 위한 지원 체계 구축.
  - 식량정책과 수자원 이용을 연계할 수 있는 정책 수립시 기초자료로 활용.
  - 물발자국 인증제 및 마일리지 제도 등을 통한 녹색기술의 적용을 위한 근거자료 마련.

#### 3.3.2 활용방안

- 국내의 식량정책 수립시 수자원 이용도의 변화를 물발자국의 변화를 통하여 제시할 수 있으며, 이에 따라 정책 수립시 필요한 수자원의 정량적인 평가 등이 가능해짐.
- 향후 농식품과 농산물의 생산과 소비에 따른 물 소비량을 사용자에게 제공하여 물 사용 효율이 높은 제품을 사용할 수 있도록 유도함으로써 물절약 정책도구로 활용.

## 4. 연구결과

### 4.1 물발자국 산정 및 DB구축

#### 4.1.1 농축산물의 물발자국 산정모델 개발

##### ○ 농산물 물발자국 산정모델

- 가상수량(*VWC*, virtual water content)은 작물 1 톤을 생산하기 위하여 사용된 물의 양 ( $m^3/ton$ )으로서 작물필요수량과 작물의 전체 생산량, 단위면적 당 작물의 생산량 등을 활용하여 산정.

$$VWC[c] = \frac{CWR[c]}{yield[c]} \quad (1)$$

여기서, *CWR*(crop water requirement,  $m^3/ha$  또는  $mm$ ): 필지 단위에서 작물필요수량  
*yield* ( $ton/ha$ ): 단위면적 당 작물의 생산량

(표 1) 농산물 수요량 및 물발자국 산정 방법

구 분	논 벼	밭 작 물
<b>작물필요수량</b>		
증발산량 산정 방법	FAO Penman-Monteith	FAO Penman-Monteith
작물계수	Yoo 등 (2008)의 연구결과	FAO 보고서
이양용수량	140 mm	-
최대담수심	70 mm	-
침투량	4.0-6.0 mm/day	-
필요수량 산정 방법	담수심에 의한 일별 물수지법	작물증발산량에 의한 필요수량 산정
<b>유효수량 및 관개수량</b>		
유효수량 산정 방법	일별 담수심 변화에 따른 유효수량 변화 적용	활용 가능한 전 유효수량 적용
유효수량 활용 여부	녹색 물발자국으로 활용	녹색 물발자국으로 활용
관개수량	관개수량 = 필요수량 - 유효수량	노지재배 : 관개수량 = 유효수량 시설재배 : 관개수량 = 필요수량
<b>물발자국</b>		
청색 물발자국	필요수량에서 유효수량을 제외한 관개수량	시설재배지에서 공급되는 관개수량
녹색 물발자국	담수심에 따라 활용되는 유효수량	노지재배지에서 활용되는 유효수량
회색 물발자국	단위 면적 당 배출부하량	-

○ 축산물 물발자국 산정모델

- 축산물의 물발자국은 직접수로서 음용수와 세척수, 간접수로서 사료작물에 대한 가상수를 산정함.

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

여기서,  $VWC_a[e, a]$ : Virtual water content of animal a in exporting country e

$VWC_{feed}, VWC_{drink}, VWC_{serv}$ : Virtual water contents from feeding, drinking and servicing

#### 4.1.2 주요 농축산물의 물발자국 산정

○ 농산물 물발자국 산정

- 논벼와 밭작물 43종, 축산물 3종을 선정하여 물발자국을 산정함.

(표 2) 주요 농축산물의 물발자국 산정 결과

(단위: m<sup>3</sup>/ton)

구 분		물발자국	구 분		물발자국		
논벼		855.4 <sup>1)</sup> 1,476.2 <sup>2)</sup>	1) 이앙용수량 및 침투량 제외 2) 이앙용수량 및 침투량 포함				
식량 작물	맥류	보리	795.9	채 소 류	배추	42.4	
		밀	1,060.2		엽채 류	양배추	65.1
		메밀	2,683.1		시금치	43.9	
		호밀	1,741.5		상추	112.9	
	두류	대두	3,346.7	근채 류	무	69.4	
		팥	3,166.9		당근	106.9	
		녹두	4,085.6				
	기타 곡류	기타두류	2,553.0	과수류	사과	511.9	
		수수	2,627.1		배	400.3	
		옥수수	1,039.7		복숭아	575.7	
기타잡곡		2,010.0	포도		280.9		
서류	고구마	370.0	감귤		235.4		
	감자	135.8	감		676.5		
채 소 류	수박	수박	111.7		자두	674.6	
		과 채 류	참외		96.1	기타과수	1,482.0
			딸기	101.7	유지류	유채	4,412.8
			오이	50.8		참깨	5,556.5
	호박	129.3	들깨	4,550.4			
	토마토	28.4	땅콩	2,383.4			
	조미 채소	고추	1,133.4	축산물	한우(비육우)	17,736.7	
		마늘	432.6		돼지(비육돈)	4,441.1	
		파	258.3		닭(육계)	2,548.7	
		양파	90.5				
	생강	494.9					

### 4.1.3 산업연관표를 활용한 물발자국 DB 산정

#### ○ DB구축 방법

- 산업연관분석법을 이용해 물사용량과 물사용강도를 직접수-간접수, 녹색수-청색수, 소비수-이용수를 구분하여 산정함. 물발자국 개념이 고려된 물사용강도는 전체적인 물사용 시스템을 파악하고 관리하는데 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대됨.

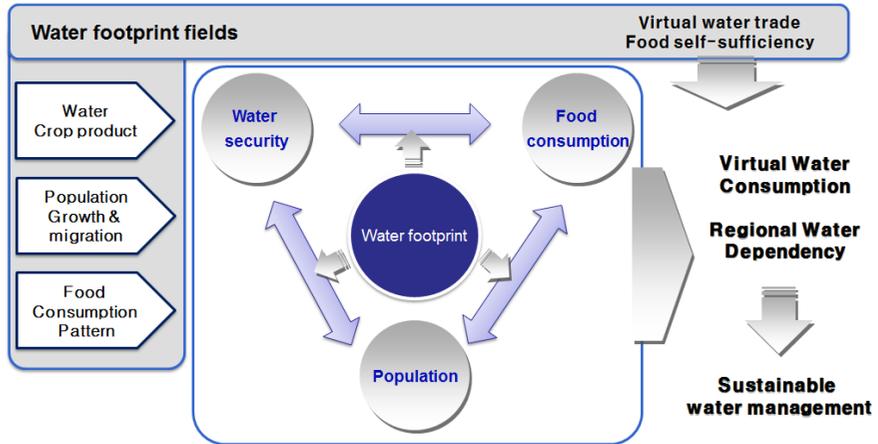
#### ○ DB산정 결과

- 전체 물사용량의 56%는 간접수이고, 적절한 간접수의 관리는 전과정 측면에서 중요함.
- 농업분야의 물사용은 직접수의 비율이 79%로 큰 비중을 차지하고, 산업분야의 경우 간접수의 비율이 82%로 큰 것으로 분석됨.
- 작물의 물사용량은 소비수가 주를 이루지만, 벼는 소비수의 양이 40.6%에 불과한 것으로 분석되었고, 이는 논용수의 경우 지하수함량, 하천유출 등으로 반복이용되기 때문임.
- 물사용강도가 가장 큰 것은 비식용작물(103,263m<sup>3</sup>/백만원)로 분석되었고, 잡곡이 두번째로 높게 나타남. 물사용량은 벼가 가장 많지만, 물사용강도는 1,599m<sup>3</sup>/백만원으로 크지 않게 나타남. 사료작물과 비식용작물은 직접수는 많지만, 경제적 가치가 매우 낮기 때문에 높은 물사용 강도를 보여주고 있음.

## 4.2 수자원 관리를 위한 물발자국 적용

### 4.2.1 물발자국 적용 분석 방안

- 지속가능한 농업용수 관리를 위하여 식량 정책 및 인구변화, 수자원 정책 등을 통합적으로 연계하는 방안을 고려함.
  - 식량정책 변화에 따른 가상수 사용량 분석
  - 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 분석
  - 농산물 생산 및 소비에 따른 지역단위 가상수 자급률 평가

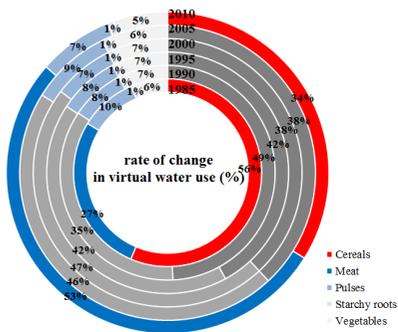


<그림 2> 물발자국과 식량정책, 인구변화 등을 고려한 지속가능한 수자원 관리

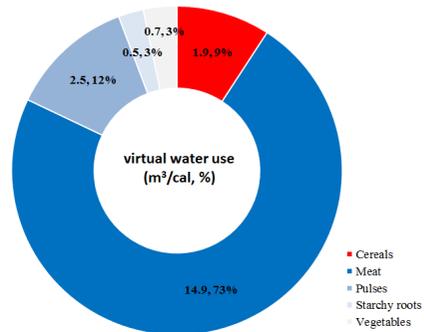
#### 4.2.2 식품분야 가상수 사용량 변화 분석

○ 식품 소비에 따른 가상수 사용량 변화 분석

- 주요 식품(곡류, 육류, 채소류 등)의 물발자국 산정 결과와 식품수급표의 1인당 식품 소비량을 적용하여 주요 식품의 1인당 소비량에 따른 연평균 가상수 사용량을 산정함.
- 주요 식품(곡류, 육류, 채소류 등)의 물발자국 산정 결과와 식품수급표의 1인당 칼로리 소비량을 적용하여 1칼로리를 소비하기 위해 사용되는 가상수를 산정함.



<그림 3> 식품소비에 따른 가상수 사용 비율



<그림 4> 칼로리 소비에 따른 가상수 사용비율

○ 식품 자급률에 따른 가상수 사용량 변화 분석

- 물발자국 개념을 활용하여 2015년과 2020년의 식량자급률 목표를 달성하기 위해 필요한 농업용수를 분석하였으며 밀의 경우 '15년 189.5 백만m<sup>3</sup>, '20년 283.9 백만m<sup>3</sup>의 용수량이 더 필요한 것으로 나타남. 두류와 과실류는 각각 '15년 65.5 백만m<sup>3</sup> 및 135.0 백만m<sup>3</sup>, '20년 170.0 백만m<sup>3</sup> 및 203.8 백만m<sup>3</sup>가 추가 필요한 것으로 나타남.
- 식량자급률을 달성하기 위해서는 식량 생산 증대 뿐 아니라 수자원의 개발이 동시에 수반될 필요가 있음.

4.2.3 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석

○ 가상수 교역량 산정

- 가상수 교역량은 수출국의 물발자국과 2006년부터 2010년 동안의 작물 수출입 데이터를 활용하여 산정함.

$$VWT[n_e, n_i, c] = T[n_e, n_i, c] \times WF[n_e, c] \quad (3)$$

여기서,  $VWFT[n_e, n_i, c]$  : Virtual water trade,  $T[n_e, n_i, c]$  : Crop trade,  $WF[n_e, n_i, c]$  : Water footprint,  $n_e$ : exporter,  $n_i$ : importer,  $c$ : crop

(표 3) 한국의 가상수 교역량 산정 결과 (2006-2010,  $Mm^3 : 10^6 m^3$ )

Crops	Import (1000 ton / $Mm^3$ )				Export (1000 ton / $Mm^3$ )				
	Crop	Green water	Blue water	Total water	Crop	Green water	Blue water	Total water	
Grain crops	Wheat	16,027	27,004	1,433	28,436	0	0	0	0
	Rice	1497	1,444	892	2,336	6	2	4	6
	Barley	166	203	10	213	0	0	0	0
	Others	168	255	8	263	0	0	0	0
Root and tuber crops	89	8	7	16	0	0	0	0	
Maize	45,136	29,565	2,710	32,275	0	0	0	0	
Pulse crops	15,716	31,729	675	32,403	213	596	0	596	
Vegetables	982	187	8	195	162	100	2	102	
Fruits	181	37	14	51	178	107	0	107	
<b>Total</b>	<b>79,962</b>	<b>90,430</b>	<b>5,756</b>	<b>96,186</b>	<b>559</b>	<b>805</b>	<b>6</b>	<b>811</b>	

○ 가상수 국외 의존도 분석

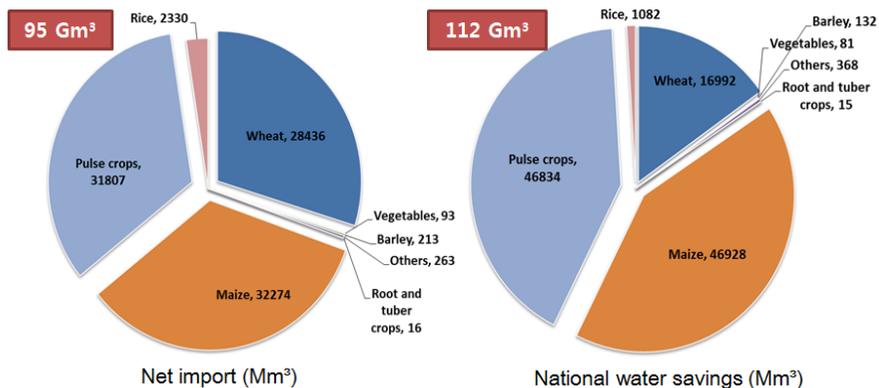
- 가상수의 흐름을 고려한 우리나라의 가상수 국외 의존도는 상당히 높게 나타났으며 이에 따라 농작물의 교역은 단순히 작물의 생산 및 가격만이 아닌 작물 생산을 위해 소비되는 수자원의 변화도 고려할 필요가 있음을 나타냄.

(표 4) 우리나라 내·외부 물발자국 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Internal water footprint (Mm <sup>3</sup> )			External water footprint (Mm <sup>3</sup> )			
	Green	Blue	Total	Green	Blue	Total	
Grain crops	Wheat	86	0	86	27,004	1,433	28,436
	Rice	9,495	15,533	25,028	1,444	892	2,336
	Barley	807	0	807	203	10	213
	Others	150	0	150	255	8	263
Root & tuber crops	1,008	0	1,008	8	7	16	
Maize	408	0	408	29,564	2,710	32,274	
Pulse crops	1,840	0	1,840	31,729	675	32,403	
Vegetables	5,254	666	5,921	187	8	195	
Fruits	4,264	0	4,264	37	14	51	
<b>Total</b>	<b>23,314</b>	<b>16,199</b>	<b>39,513</b>	<b>90,430</b>	<b>5,756</b>	<b>96,186</b>	

○ 가상수 교역에 따른 수자원 대체효과 분석

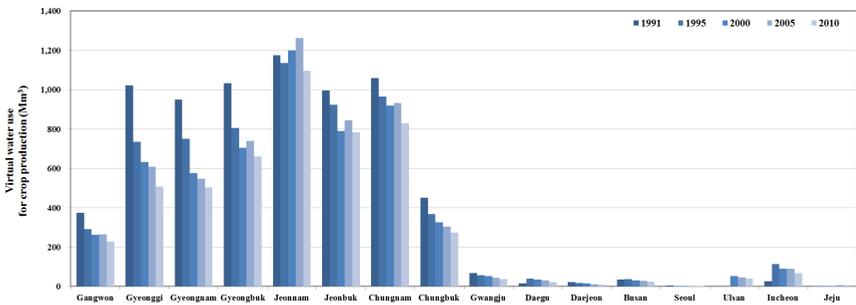
- 국외 가상수 의존도가 높을 경우 국외 수자원 변화에 민감해지는 농작물 교역구조를 발생시키게 되지만 국내 수자원 절약의 측면에서는 일부 작물의 수입은 긍정적인 효과를 발생시킬 수 있음.



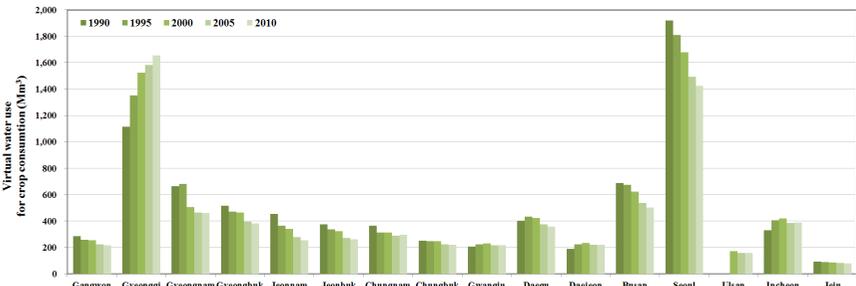
<그림 5> 가상수 교역에 따른 수자원 절약량 산정 결과 (2006-2010)

#### 4.2.4 가상수 자급률 평가

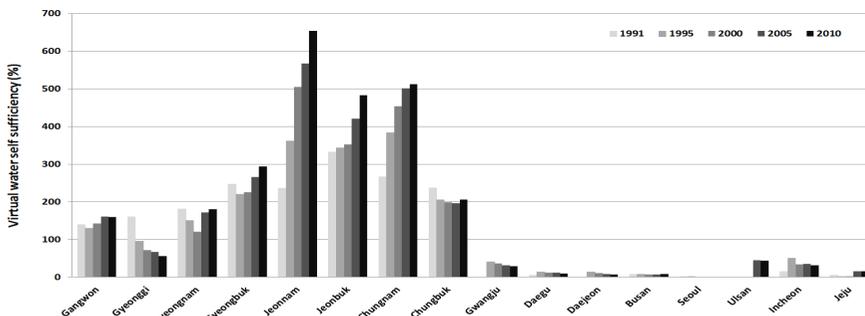
- 농산물 생산 및 소비에 따른 지역별 가상수 사용량 산정
  - 가상수 자급률은 작물 생산을 위하여 사용된 가상수와 작물 소비를 위하여 사용된 가상수의 비율을 의미함.
  - 지역별 곡류 생산량과 작물별 가상수량을 적용하여 지역별 곡류 생산을 위한 총 가상수량을 산정하고 지역별 인구수를 적용하여 농산물 소비에 따른 지역별 총 가상수 사용량을 추정함.



<그림 6> 연도별 총 생산에 따른 가상수 사용량 (쌀, 밀, 옥수수, 보리)



<그림 7> 연도별 총 소비에 따른 가상수 사용량 (쌀, 밀, 옥수수, 보리)



<그림 8> 지역별 가상수 자급률 산정 결과 (백미)

### 4.3 물발자국의 정책적 활용 방안

#### 4.3.1 물발자국을 이용한 농업용수 관리

- 물을 자원과 교역, 개인의 소비패턴과 재화를 따라 흐르는 개념으로 재조명할 수 있음.
- 물 사용과 관리에 새로운 시각을 제시할 뿐 만 아니라 물을 경제적인 관점에서 볼 수 있고 새로운 산업을 창출할 수 있는 기회를 제공할 수 있음.
- 농민 뿐 만 아니라 농산물을 소비하는 모든 사람들에게 농업용수의 중요성을 알릴 수 있음.
- 농업용수는 농작물 생산 뿐만 아니라 우리와 밀접하게 관계되어 있는 제품들에도 사용되고 있음을 물발자국을 통해 파악할 수 있으며 이를 통해 농업용수에 대한 일반 국민들의 인식 전환의 계기가 될 수 있음.

#### 4.3.2 물발자국 환경성적표시 시범운영

- 농축산물 생산과정의 물 이력 추적에 의한 생산 단계별 물 사용량 평가
- 향후 영농방식의 변화 및 품종, 생산과정의 변화에 따른 최종 농산물의 물 사용량 변화의 평가에 활용

#### 4.3.3 정부와 산업체의 수자원 협력체계 구축

- 기업과 정부가 협력하여 수자원 이용의 효율성을 높이기 위해 물발자국 인증제를 도입할 수 있으며, 이때 물발자국 데이터는 기업과 정부의 중요한 연결고리 역할을 수행할 수 있음.

### 4.4 물발자국 산정 및 활용 매뉴얼 개발

#### 4.4.1 물발자국 매뉴얼

- 제품의 물발자국 산정 방법 및 세부 절차를 포함하고 있으며, 매뉴얼은 이용자가 보다 용이하게 물발자국을 산정할 수 있도록 하기 위해 개발됨.
- 물발자국 국제표준인 ISO 14046과 전과정평가 국제표준인 ISO 14040시리즈 등을 참조하였으며 물발자국 실행요건, 각 요건에 대한 실행지침 및 간단한 사례들을 매뉴얼에 수록함.

#### 4.4.2 물발자국 산정 사례연구

- 기존 탄소발자국(탄소성적표지) 인증을 받은 제품에 대한 실제 데이터를 물발자국 활용 매뉴얼의 요건에 따라 물발자국 평가를 실시하여 매뉴얼을 검증함.
- 제품의 물발자국 산정 사례로서 실생활에 밀접한 식품인 밀가루, 우유, 밥, 두부, 옥수수수염차 등을 대상으로 사례연구를 실시함.
  - 밀가루(100g) : 100.94 L
  - 우유(500mL) : 351.44 L
  - 밥(100g) : 743.96 L
  - 두부(100g) : 1,448.64 L
  - 옥수수수염차(340mL) : 124.20 L

#### 4.5 물발자국 통합정보시스템 구축

##### 4.5.1 물발자국 통합정보시스템 개요

- 정부 3.0 공공데이터 공개에 따라 물발자국 DB를 일반인 및 관련 이해관계자에게 제공하는 것을 목적으로 구축함.

##### 4.5.2 물발자국 통합정보시스템 구성

- 물발자국 소개 : 물발자국에 대한 간단한 설명과 도식으로 표현.
  - 물발자국 배경, 개념, 산정 및 평가단계 소개
  - 물발자국 연구개요, 국내외 동향, 기대효과
- 물발자국 DB : 구축절차 소개, 지역 및 국가 물발자국 DB 공개.
  - 물발자국 DB 구축절차(농작물, 축산물, 산업연관분석)
  - DB검색
- 물발자국 계산기 : 물사용량을 일반인이 쉽게 산출하고 이해하도록 구성.
- 물발자국 활용 : 연구에서 제시한 활용 방안.
- Publication, FAQs : 연구성과와 자료들을 공유.
- 모바일 시대에 적용 가능한 애플리케이션 개발.

## 5. 결론

- 물발자국 도입은 농업용수의 효과적인 물사용 및 물관리 정책 수립을 위한 지표로 활용 가능함.
- 국내의 식량정책 수립시 수자원 이용도 변화를 물발자국의 변화를 통하여 제시할 수 있으며, 이에 따라 정책 수립시 필요한 수자원의 정량적인 평가 등이 가능함.
- 농식품과 농산물의 생산과 소비에 따른 물 소비량을 사용자에게 제공하여 물 사용 효율이 높은 제품을 사용할 수 있도록 유도함으로써 물절약 정책도구로 활용.
- 농업분야 및 산업연관분석에 기초한 물발자국 데이터의 구축과 제품단위 물발자국 산정 과정에 대한 표준화 제시 및 이를 활용한 다양한 수자원 평가가 가능하다는 것을 제시한 점에서 향후 물발자국의 정책화에 대비할 수 있는 여건을 조성하였다는 데 의의가 있음.
- 농업분야 물발자국 데이터구축, 산업연관분석에 의한 물발자국 DB개발 및 사례분석을 포함한 매뉴얼 제시를 통해 향후 물발자국 제도 도입의 기반을 마련했다는 점에서 의미있는 연구임.

## < Summary >

**1. Project : Water footprint estimation and application for sustainable water resources use(Final)**

**2. Period : February. 2012 ~ December. 2014**

**3. Research overview**

3.1 Background and purposes

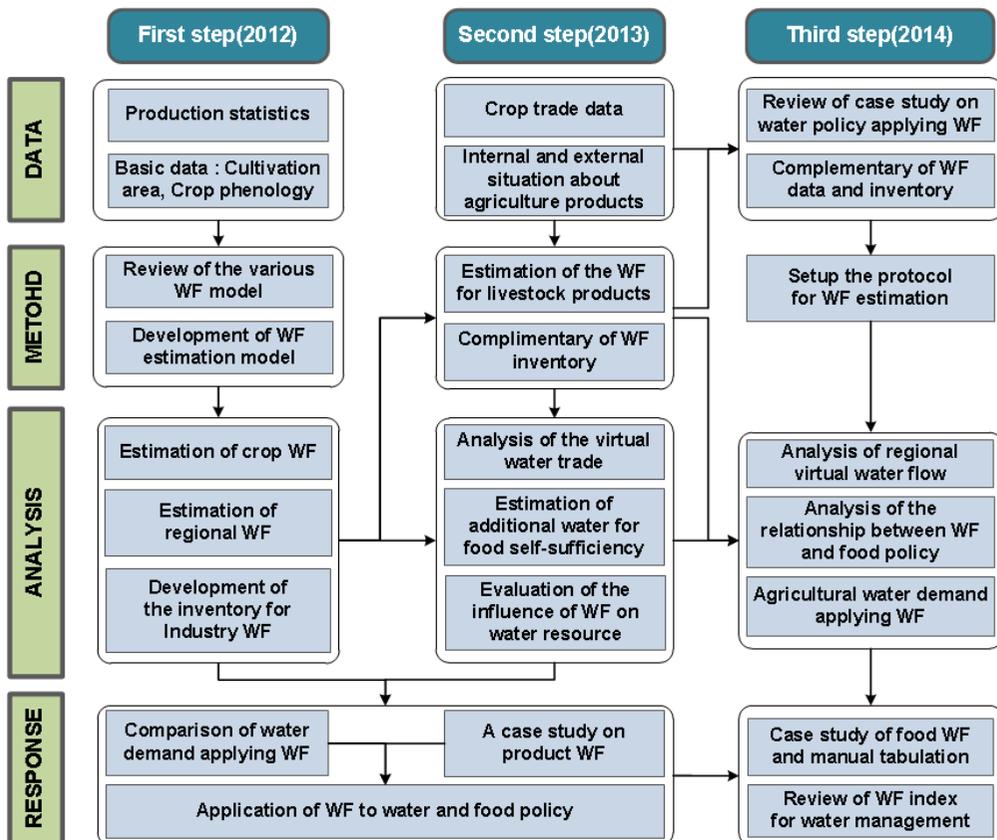
3.1.1 Background of Water footprint

- Water footprint of a product and service is the volume of freshwater used to produce the product, measured in the life cycle or over the full supply chain. Since water footprint assessment helps us to understand how human activities and products relate to water scarcity and pollution, it can contribute to sustainable way of water use.

3.1.2 Purposes of this study

- This study aims to construct water footprint database and to provide basic data for water footprint scheme by testifying applicability of the database in Korea.
- Objectives of 3<sup>rd</sup> research period are  
to establish the policy for water management,  
to verify water footprint developed in the 1<sup>st</sup> & 2<sup>nd</sup> year,  
to create a manual for water footprint estimation and application and  
to establish integrated water footprint information system.

### 3.2 The contents of research



<Fig 1> The main contents of research

## 4. Results

### 4.1 Water footprint estimation

#### 4.1.1 Development of the model for calculating water footprint

- Virtual water content
  - Virtual water content (VWC, m<sup>3</sup>/ton) is the quantity of water needed to produce one ton of crop.

$$VWC[c] = \frac{CWR[c]}{yield[c]} \quad (1)$$

※ *CWR*(crop water requirement, m<sup>3</sup>/ha or mm), *yield* (ton/ha)

(Table 1) Components of water footprint model

Components	Paddy rice	Upland crops
<b>Water requirement</b>		
Evaporation	FAO Penman-Monteith	FAO Penman-Monteith
Crop coefficients	Yoo et. al (2008)	FAO reports
Rice planting water	140 mm	-
Maximum depth of flooding water	70 mm	-
Percolation	4.0-6.0 mm/day	-
Estimation	daily water balance method by depth of flooding water	Estimation of water requirement by crop evapotranspiration
<b>Effective rainfall &amp; Irrigation water</b>		
Effective rainfall	Application of effective rainfall by changing depth of flooding water	Application of available effective rainfall
Irrigation water	Irrigation water = Water requirement - Effective rainfall	Field cultivation : Irrigation water = Effective rainfall Greenhouse cultivation : Irrigation water = Water requirement
<b>Water footprint</b>		
Blue	Irrigation water	Irrigation water
Green	Effective rainfall	Effective rainfall
Grey	Pollutant loads per unit area	-

○ Water footprint of animals

- The components of water footprint of animals.

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

※  $VWC_a[e, a]$ : Virtual water content of animal a in exporting country e

$VWC_{feed}, VWC_{drink}, VWC_{serv}$ : Virtual water contents from feeding, drinking and servicing

#### 4.1.2 Water footprint of the main agro and livestock products

(Table 2) Results of Water footprint

(단위: m<sup>3</sup>/ton)

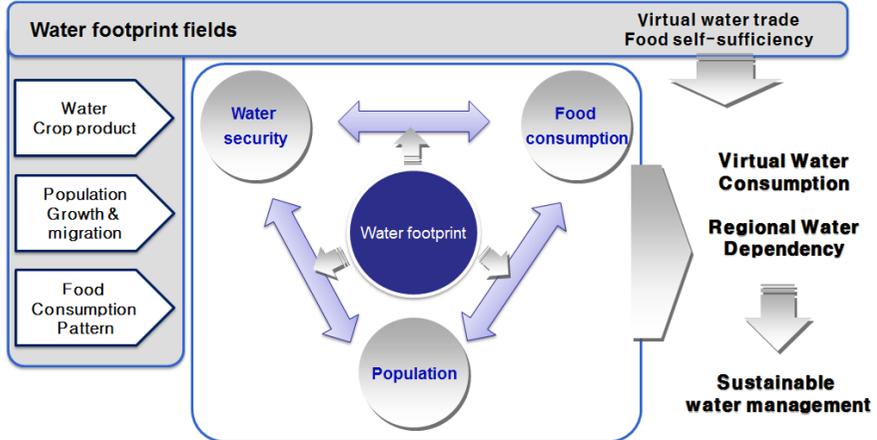
Components		Water footprint	Components		Water footprint		
Paddy rice		855.4 <sup>1)</sup> 1,476.2 <sup>2)</sup>	1) Include out Rice planting water and infiltration 2) Include in Rice planting water and infiltration				
Food crops	Barley	795.9	Vegetables	Chinese cabbage	42.4		
	A sort of Wheat	1,060.2		Green Cabbage	65.1		
	barley Buckwheat	2,683.1		Spinach	43.9		
	Rye	1,741.5		Lettuce	112.9		
	Soybean	3,346.7		Root vegetables	Daikon	69.4	
	Pulses	Adzuki beans		3,166.9	Carrot	106.9	
		Mung beans		4,085.6			
		Other pulses		2,553.0			
	Other cereals	Sorghum		2,627.1	Fruits	Apple	511.9
		Corn		1,039.7		Pear	400.3
		Other mixed grains	2,010.0	Peach		575.7	
	Root and tuber crops	Sweet potato	370.0	Grape		280.9	
		Potatoes	135.8	Citrus		235.4	
	Vegetables	Watermelon	111.7	Persimmon		676.5	
Oriental melon		96.1	Plum	674.6			
Fruit vegetables		Strawberry	101.7	Other Fruits		1,482.0	
		Cucumber	50.8				
Pumpkin		129.3	Fat and oils	Rape		4,412.8	
Tomato		28.4		Sesame	5,556.5		
Pepper		1,133.4		Perilla	4,550.4		
Garlic		432.6		Peanut	2,383.4		
Condiment vegetable		Welsh onion	258.3	Animals	Beef cattle	17,736.7	
		Onion	90.5		Swine	4,441.1	
	Ginger	494.9	Broiler chicken		2,548.7		

#### 4.1.3 Development of water footprint database using Input-output analysis

- The aim of the study is to develop water footprint inventory within a nation at 403 industrial sectors using Input-Output Analysis. It is expected that the water use intensity data can be used for a water footprint database to introduce water footprint scheme in Korea.
- The classification of water is direct-indirect, green-blue and consumptive and non-consumptive. It is expected that water use intensity using water footprint concept can provide useful information on water use system and management. In addition, the water use intensity data can be used for a water footprint database to introduce water footprint scheme in Korea.
- In holistic view, water management considering indirect water in the industrial sector, i.e. supply chain management, is important to increase water use efficiency, since more than 56% of total water was indirect water by humanity.
- Dominant of water use in agricultural sector is direct use, while that in industrial sectors indirect one. Water uses in the agricultural sector account for 79% of total water, and industrial sector have higher indirect water at most sectors, which is accounting for 82%.
- Most of the crop water is consumptive and direct water except rice. Consumptive water share accounts for 40.6% of rice cultivation, and the remaining water is reused in the downstream or for groundwater recharging.
- The greatest water use intensity was 103,263m<sup>3</sup>/million KRW for other inedible crop production and the 2nd in rank was miscellaneous cereals. The greatest intensity in the inedible crop was attributed to the low economic value of the product with great water consumption in the cultivation.

## 4.2 Application of water footprint for water resources management

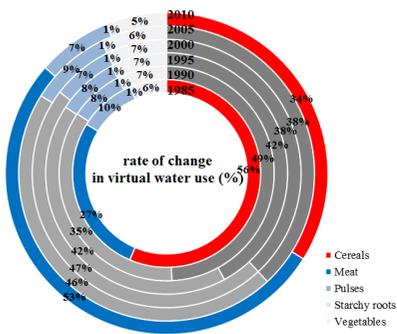
### 4.2.1 Overview



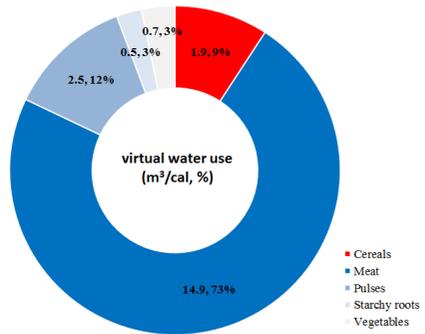
<Fig. 2> Sustainable water management using water footprint

### 4.2.2 Analysis of virtual water in food sector

- Analysis of virtual water by crop consumption and calorie consumption



<Fig. 3> Virtual water use by crop consumption



<Fig. 4> Virtual water use by calorie consumption

- Analysis of virtual water by self-sufficiency rate of food
  - Wheat : 189.5 million m<sup>3</sup>(2015) → 283.9 million m<sup>3</sup>(2020)
  - Pulses : 65.5 million m<sup>3</sup>(2015) → 170.0 million m<sup>3</sup>(2020)
  - Fruits : 135.0 million m<sup>3</sup>(2015) → 203.8 million m<sup>3</sup>(2020)
  - Development of water resources is necessary for the attainment of food self-sufficiency as well as food production.

#### 4.2.3 Virtual water trade in agricultural products

- Virtual water trade in Korea

(Table 3) Virtual water trade in Korea (2006–2010,  $Mm^3 : 10^6 m^3$ )

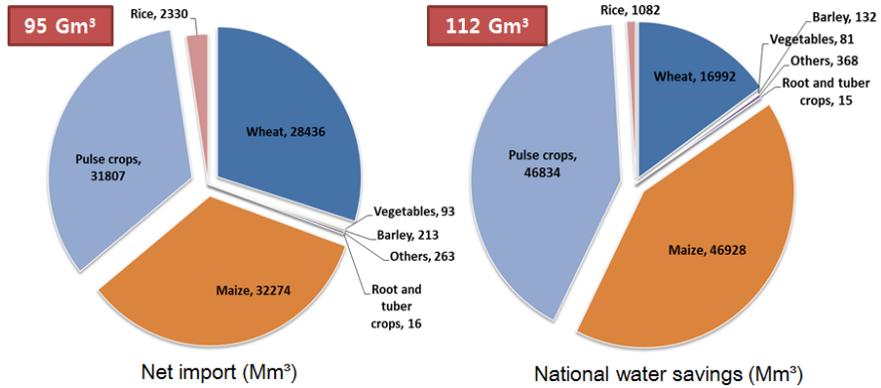
Crops	Import (1000 ton / $Mm^3$ )				Export (1000 ton / $Mm^3$ )				
	Crop	Green water	Blue water	Total water	Crop	Green water	Blue water	Total water	
Grains	Wheat	16,027	27,004	1,433	28,436	0	0	0	0
	Rice	1497	1,444	892	2,336	6	2	4	6
	Barley	166	203	10	213	0	0	0	0
	Others	168	255	8	263	0	0	0	0
Root and tuber	89	8	7	16	0	0	0	0	
Maize	45,136	29,565	2,710	32,275	0	0	0	0	
Pulse	15,716	31,729	675	32,403	213	596	0	596	
Vegetables	982	187	8	195	162	100	2	102	
Fruits	181	37	14	51	178	107	0	107	
<b>Total</b>	<b>79,962</b>	<b>90,430</b>	<b>5,756</b>	<b>96,186</b>	<b>559</b>	<b>805</b>	<b>6</b>	<b>811</b>	

- Evaluation of water dependence in Korea

(Table 4) Evaluation of water dependence in Korea (2006–2010)

Crops	Internal water footprint ( $Mm^3$ )			External water footprint ( $Mm^3$ )			
	Green	Blue	Total	Green	Blue	Total	
Grain crops	Wheat	86	0	86	27,004	1,433	28,436
	Rice	9,495	15,533	25,028	1,444	892	2,336
	Barley	807	0	807	203	10	213
	Others	150	0	150	255	8	263
Root & tuber crops	1,008	0	1,008	8	7	16	
Maize	408	0	408	29,564	2,710	32,274	
Pulse crops	1,840	0	1,840	31,729	675	32,403	
Vegetables	5,254	666	5,921	187	8	195	
Fruits	4,264	0	4,264	37	14	51	
<b>Total</b>	<b>23,314</b>	<b>16,199</b>	<b>39,513</b>	<b>90,430</b>	<b>5,756</b>	<b>96,186</b>	

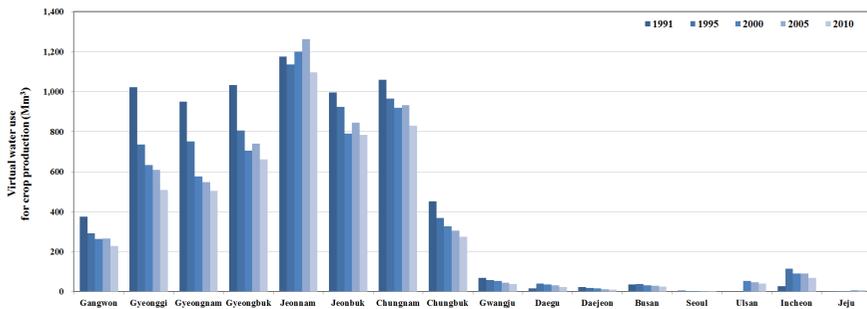
- Water savings of virtual water trade in Korea
  - Water savings from 2006 to 2010 : 112 Gm<sup>3</sup>



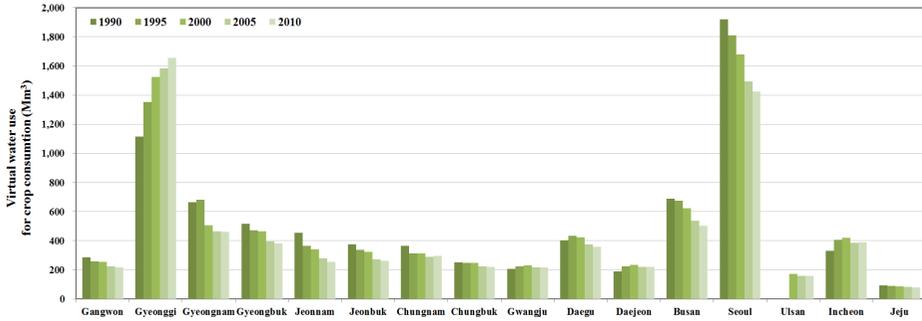
<Fig. 5> Water savings of virtual water trade in Korea

#### 4.2.4 Evaluation of virtual water self-sufficiency ratio

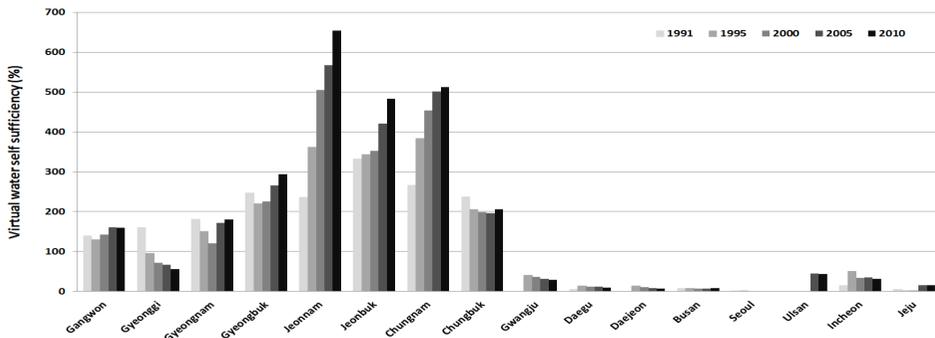
- Virtual water self-sufficiency is the ratio of virtual water use of crop production to virtual water use of crop consumption.



<Fig. 6> Virtual water use by crop production (rice, wheat, maize, barely)



<Fig. 7> Virtual water use by crop consumption (rice, wheat, maize, barely)



<Fig. 8> The self sufficiency of total virtual water of white rice

### 4.3 Policy application of water footprint

#### 4.3.1 Agricultural water management using water footprint

- Water can be reviewed as resources, trade, personal consumption patterns and concept flowing through the goods.
- It suggests a new point of view on using and managing the water. Moreover, we can review the water in the economical perspective. So it can offer the new opportunities that could generate new industry.
- It is expected that WFP can help farmers and consumers recognize the importance of agricultural water.

- It can be seen that agricultural water used for products is related closely with us as well as the crops producer.

#### 4.3.2 Water footprint labelling scheme

- To track water footprint can be used as a product label the traceability of agricultural and livestock products business.
- The change of the water consumption of final agricultural production can be estimated in accordance with the variation in agricultural methods, breeds, and production process.

#### 4.3.3 Cooperative system between the government and water resources for industry

- To increase the entity water use efficiency, businesses and governments can introduce water footprint scheme using Database developed.

### 4.4 Development of water footprint manual

#### 4.4.1 Water footprint manual

- The manual contains detailed methods and procedures for water footprint estimation of products.

#### 4.4.2 Case studies of product water footprint

- Manual was tested through case studies of water footprint.
  - Flour(100g) : 100.94 L
  - Milk(500mL) : 351.44 L
  - Steamed rice(100g) : 743.96 L
  - Bean-curd(100g) : 1,448.64 L
  - Corn silk tea(340mL) : 124.20 L

## 4.5 Establishment of integrated water footprint information system

### 4.5.1 Overview

- Integrated water footprint information system is to provide water footprint DB and calculator to the public and interested parties.

### 4.5.2 Composition

- Water footprint Introduction
- DB search engine and building process
- Water footprint calculator
- Application of Water footprint
- Publication, FAQs
- Application for mobile

## 5. Conclusions

- The introduction of the water footprint can be used as evaluation index for an water use and water management policies in the agricultural sector.
- The change of water resources utilization in domestic food policy can be suggested based on the water footprint of change.
- WFP can provide information on water use at product level from production to consumption and help consumers choose the high water efficient products an a water saving policy tool.
- It is meaningful that this study develop wfp database and suggest a standard procedure of product-level wfp. From this study evaluation of water resource can be made to cope with wfp scheme introduction in Korea.

---

# 목 차

---

제1장 서 론 .....	3
제1절 연구 배경 및 목적 .....	3
1. 연구 배경 .....	3
2. 연구 목적 .....	6
제2절 연구내용 및 방법 .....	7
1. 연구 내용 .....	7
2. 연구 방법 .....	9
제3절 연구 기대효과 및 활용방안 .....	14
1. 연구 기대효과 .....	14
2. 연구 활용 방안 .....	15
제2장 물발자국 산정 및 DB 구축 .....	19
제1절 가상수 및 물발자국의 이론적 배경 .....	19
1. 가상수 및 물발자국의 개념 .....	19
2. 국내외 가상수 및 물발자국 연구동향 .....	20
3. 가상수 및 물발자국 DB 구축 현황 .....	23
제2절 물발자국 산정모델 개발 .....	24
1. 농산물의 가상수량 산정 방법 .....	24
2. 논벼의 물발자국 산정모델 개발 .....	25
3. 발작물의 물발자국 산정모델 개발 .....	27
4. 축산물의 물발자국 산정모델 개발 .....	29
5. 물발자국과 수자원장기종합계획 수요량의 산정방법 비교 .....	32
제3절 주요 농축산물 물발자국 산정 .....	37
1. 농산물 기초자료 조사 .....	37

2. 농산물의 물발자국 산정 .....	41
3. 축산물의 물발자국 산정 .....	46
제4절 산업연관표를 활용한 물발자국 DB 구축 .....	50
1. 물발자국 데이터베이스 구축 방법 .....	50
2. 직접수 산정 방법 .....	52
3. 물발자국 데이터베이스 구축 결과 .....	53
<b>제3장 수자원 관리를 위한 물발자국 적용 .....</b>	<b>61</b>
제1절 물발자국 적용 방안 .....	61
제2절 식품분야 가상수 사용량 변화 분석 .....	62
1. 국민 1인당 식품 소비 변화량 .....	64
2. 국민 1인당 식품 소비에 따른 칼로리 소비량 변화 .....	67
3. 식품 소비에 따른 가상수 사용량 변화 분석 .....	70
4. 식량자급률에 따른 가상수 사용량 변화 분석 .....	75
5. 식량정책의 부분의 가상수 연구결과 활용 방안 .....	83
제3절 농작물의 가상수 교역량 산정 및 분석 .....	84
1. 가상수 교역량 산정 방법 .....	84
2. 우리나라의 가상수 교역량 산정 결과 .....	85
3. 우리나라의 국외 가상수 의존도 분석 .....	88
4. 우리나라의 가상수 교역에 따른 수자원 대체효과 분석 .....	91
5. 농작물 가상수 교역 연구결과의 활용 방안 .....	94
제4절 지역단위 가상수 자급률 평가 .....	95
1. 농산물 생산에 따른 지역별 가상수 사용량 산정 .....	95
2. 농산물 소비에 따른 지역별 가상수 사용량 산정 .....	98
3. 지역별 곡물 가상수의 자급률 평가 .....	102
4. 백미의 지역별 녹색 및 청색 가상수의 자급률 평가 .....	105
5. 지역단위 가상수 자급률 평가 결과 활용 방안 .....	114

<b>제4장 물발자국의 정책적 활용</b> .....	<b>117</b>
제1절 물발자국의 정책적 활용 방안 .....	117
제2절 물발자국을 이용한 농업용수 관리 .....	117
1. 농업 관련 용수별 활용 및 관리 방법과 물발자국의 비교 .....	117
2. 수자원장기종합계획의 농업용수 부분에서 물발자국의 활용 방안 .....	120
제3절 물발자국을 이용한 농작물 교역 관리 .....	122
1. 가상수 교역강도에 따른 교역 중요도 평가 .....	122
2. 주요 교역국과의 가상수 교역강도의 정책적 활용 .....	124
제4절 물발자국 표시제도의 시범 운영 방안 제시 .....	127
1. 물발자국 표시제도의 필요성 .....	127
2. 물발자국 표시제도의 주요 요소 .....	127
3. 물발자국 표시제도의 활용 .....	128
제5절 물발자국을 활용한 농업용수 활용 평가 .....	129
1. 농업용수 활용 평가 필요성 .....	129
2. 농업용수 활용 평가 분석 .....	129
<b>제5장 물발자국 DB 활용 매뉴얼 개발</b> .....	<b>135</b>
제1절 매뉴얼 개요 .....	135
1. 국내외 현황 .....	135
제2절 물발자국 산정 및 활용 매뉴얼 개발 .....	138
1. 물발자국 매뉴얼 일반사항 .....	138
2. 물발자국 매뉴얼 주요내용 .....	138
제3절 물발자국 산정 사례연구 .....	141
1. 밀가루(100mL 기준) .....	141
2. 우유(500mL 기준) .....	145
<b>제6장 물발자국 통합정보시스템 구축</b> .....	<b>153</b>
제1절 통합정보시스템 개요 .....	153

1. 개요 .....	153
2. 물발자국 통합정보시스템 구성 .....	153
<b>제7장 결 론 .....</b>	<b>159</b>
<b>【참고문헌】 .....</b>	<b>165</b>
부록 1 논벼 물발자국 산정결과 .....	181
부록 2 밭작물 물발자국 산정결과 .....	191
부록 3 물발자국 물사용강도 .....	199
부록 4 농작물 가상수 교역량 .....	207
부록 5 식품수급표에 따른 1인당 작물 및 칼로리 소비량 .....	217
부록 6 주요 작물의 지역별 가상수 사용량 .....	223
부록 7 연구 목표 달성도 및 실적 .....	233

## 표 목차

(표 1) 우리나라 1인당 연간 가용 수자원량 전망 .....	3
(표 2) 국내 물발자국 관련 연구 현황 .....	22
(표 3) 주요 국가별 물발자국 DB 구축 현황 .....	23
(표 4) 주요 농산물의 수요량 및 물발자국 산정 방법 비교 .....	28
(표 5) 논벼의 물발자국 산정 방법과 수자원 장기종합계획과의 비교 .....	33
(표 6) 밭작물의 물발자국 산정 방법과 수자원 장기종합계획과의 비교 .....	35
(표 7) 수자원 장기종합계획의 물수요량 및 축산물의 물발자국 비교 .....	36
(표 8) 국가통계포털 제공 주요 작물 .....	37
(표 9) 논벼 지역별 기초 통계자료 (2001-2010) .....	38
(표 10) 논벼 영농시기 (농촌진흥청, 2009) .....	38
(표 11) 논벼의 작물계수 (Yoo et al., 2008) .....	38
(표 12) 밭작물의 기초 통계자료 (2001-2010) .....	39
(표 13) 밭작물 작물계수 및 영농시기 (FAO, 1998, 농촌진흥청, 2009) .....	40
(표 14) 논벼의 지역 및 국가 물발자국 (2001-2010) .....	42
(표 15) 주요 농산물의 물발자국 산정 결과 .....	43
(표 16) 축종별 음용수 및 세척수 .....	46
(표 17) 축종별 생체 대비 지육량 .....	47
(표 18) 축종별 사육기간 및 사료작물 급여량 .....	47
(표 19) 사료작물의 배합비율 및 물발자국 .....	47
(표 20) 축산물의 물발자국 산정 결과 .....	49
(표 21) 내수면 양식 물사용량 추정 .....	52
(표 22) 물사용량 상위 15개 분야 (직접수) .....	54
(표 23) 주요 곡물의 물발자국 .....	55
(표 24) 상위 20 분야의 물사용 원단위 .....	57

(표 25) 1인당 1일 식품 소비량 변화 (g/cap/day) .....	66
(표 26) 주요 식품의 1인당 1일 소비량 변화 (g/cap/day) .....	66
(표 27) 1인당 1일 칼로리 소비량 변화 (Kcal/cap/day) .....	69
(표 28) 주요 식품의 1인당 1일 칼로리 소비량 변화 (Kcal/cap/day) .....	69
(표 29) 식품 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과 .....	73
(표 30) 칼로리 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과 .....	73
(표 31) 주요 농축산물의 단위 가상수량에 따른 칼로리 공급량 .....	74
(표 32) 식품 소비에 따른 세부곡물의 가상수 사용량 산정 결과 .....	74
(표 33) 칼로리 소비에 따른 세부곡물의 가상수 사용량 산정 결과 .....	75
(표 34) 식량자급률에 따른 2015, 2010 식품별 소비 및 생산량 .....	78
(표 35) 식량자급률 달성을 위한 가상수량 산정 결과(농작물) .....	80
(표 36) 식량자급률 달성을 위한 가상수량 산정 결과(축산물) .....	80
(표 37) 우리나라의 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 결과 .....	87
(표 38) 우리나라의 내·외부 물발자국 산정 결과 (2006-2010) .....	90
(표 39) 가상수 교역에 따른 수자원 절약량 산정 결과 (2006-2010) .....	93
(표 40) 연도별 곡류 생산에 따른 가상수 사용량 (도 기준, Mm <sup>3</sup> ) .....	96
(표 41) 연도별 곡류 생산에 따른 가상수 사용량 (특별시 및 광역시 기준, Mm <sup>3</sup> ) .....	97
(표 42) 연도별 지역별 인구수 변화 .....	99
(표 43) 연도별 곡류 소비에 따른 가상수 소비량 (도 기준, Mm <sup>3</sup> ) .....	100
(표 44) 연도별 곡류 소비에 따른 가상수 소비량 (특별시 및 광역시 기준, Mm <sup>3</sup> ) .....	101
(표 45) 연도별 곡류 생산 및 소비에 따른 가상수 자급률 (도 기준, %) .....	103
(표 46) 연도별 곡류 생산 및 소비에 따른 가상수 자급률 (특별시 및 광역시 기준, %) .....	104
(표 47) 백미 생산에 의한 가상수 사용량 산정 (Mm <sup>3</sup> ) .....	109
(표 48) 백미 소비에 의한 가상수 사용량 산정 (Mm <sup>3</sup> ) .....	109
(표 49) 백미 생산에 의한 녹색 가상수 사용량 산정 (Mm <sup>3</sup> ) .....	110
(표 50) 백미 소비에 의한 녹색 가상수 사용량 산정 (Mm <sup>3</sup> ) .....	110
(표 51) 백미 생산에 의한 청색 가상수 사용량 산정 (Mm <sup>3</sup> ) .....	111
(표 52) 백미 소비에 의한 청색 가상수 사용량 산정 (Mm <sup>3</sup> ) .....	111

(표 53) 백미 생산 및 소비에 의한 가상수 자급률 산정 (%) .....	112
(표 54) 백미 생산 및 소비에 의한 녹색 가상수 자급률 산정 (%) .....	112
(표 55) 백미 생산 및 소비에 의한 청색 가상수 자급률 산정 (%) .....	113
(표 56) 농업관련 용수별 활용 및 관리 방법 비교 .....	119
(표 57) 수자원장기종합계획 및 물발자국에 따른 논벼의 농업용수 수요량 산정 결과 비교 .....	122
(표 58) 우리나라와 농작물 및 가상수 수입국과의 교역강도 산정 결과 (2006-2010) .....	126
(표 59) 우리나라와 가상수 수입국과의 교역강도 산정 결과 (2006-2010) .....	126
(표 60) 국가 LCI D/B 구축현황(2013년 12월 현재) .....	136
(표 61) 우리나라 농업분야 탄소성적 및 LCI D/B 구축 현황(2012년 1월) .....	137
(표 62) 물발자국 선언 표 .....	140
(표 63) 밀가루 생산공정 설명 .....	141
(표 64) 밀가루 각 투입물별 물발자국 계산 결과(100g 밀가루 기준) .....	143
(표 65) 밀가루의 전과정 단계별 물발자국 선언(100g 밀가루 기준) .....	144
(표 66) 우유 생산공정 설명 .....	145
(표 67) 우유제품 생산시 각 투입물별 물발자국 계산 결과(500mL 기준) .....	147
(표 68) 우유의 전과정 단계별 물발자국 선언(500mL 기준) .....	148

## 그림 목차

<그림 1> 2025년 세계 물 부족 예상도 .....	4
<그림 2> 주요 연구 내용 .....	9
<그림 3> 컴포넌트별 물발자국 구성 요소 (Hoekstra et al., 2011) .....	20
<그림 4> 국외 물발자국 관련 연구 진행 현황 .....	21
<그림 5> 논벼 및 밭작물의 물발자국 .....	25
<그림 6> 논벼의 물발자국 산정 방법 (Chapagain and Hoekstra, 2010) .....	27
<그림 7> 축산물의 물발자국 컴포넌트 .....	29
<그림 8> 논벼의 국가 물발자국 (2001-2010) .....	42
<그림 9> 밭작물의 국가 물발자국 (2001-2010) .....	44
<그림 10> 식량작물의 국가 물발자국 (2001-2010) .....	44
<그림 11> 채소류의 국가 물발자국 (2001-2010) .....	45
<그림 12> 과수 및 특용작물의 국가 물발자국 (2001-2010) .....	45
<그림 13> 산업연관표를 이용한 DB 산정 절차 .....	51
<그림 14> 403개 산업분야 물사용 원단위 산정결과 .....	56
<그림 15> 물발자국을 고려한 지속가능한 수자원 관리 .....	61
<그림 16> 곡물 소비에 의한 가상수 사용량 .....	62
<그림 17> 백미의 물발자국 산정 과정 .....	63
<그림 18> 1인당 1일 식품 소비량 변화 .....	65
<그림 19> 1인당 1일 칼로리 소비량 변화 .....	68
<그림 20> 식품소비에 따른 가상수 사용 비율 .....	71
<그림 21> 칼로리 소비에 따른 가상수 사용비율 .....	71
<그림 22> 식품 소비에 따른 1인당 연평균 가상수 사용량 산정 결과(곡물) .....	72
<그림 23> 식품 소비에 따른 1인당 연평균 가상수 사용량 산정 결과(축산) .....	72
<그림 24> 칼로리 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과 .....	73

<그림 25> 식량자급률 변화 및 목표치 (1975-2010) .....	77
<그림 26> 식량자급률의 곡물 소비를 위한 과거 대비 가상수 필요량 ...	81
<그림 27> 식량자급률의 곡물 생산을 위한 과거 대비 가상수 필요량 ...	81
<그림 28> 식량자급률의 축산물 생산을 위한 과거 대비 가상수 필요량 ...	82
<그림 29> 식량자급률의 축산물 소비를 위한 과거 대비 가상수 필요량 ...	82
<그림 30> 우리나라의 작물 교역에 따른 가상수 수입량 (2006-2010) ..	87
<그림 31> 우리나라의 작물 교역에 따른 가상수 수출량 (2006-2010) ..	88
<그림 32> 가상수 수지 분석 (Hoekstra et al., 2011) .....	89
<그림 33> 우리나라의 내·외부 물발자국 산정 결과 (2006-2010) .....	90
<그림 34> 가상수 교역에 따른 수자원 절약량 산정 결과 (2006-2010) ..	92
<그림 35> 연도별 곡류 총 생산에 따른 가상수 사용량(쌀, 밀, 옥수수, 보리) ...	95
<그림 36> 연도별 곡류 소비에 따른 가상수 사용량 (쌀, 밀, 옥수수, 보리) ...	98
<그림 37> 지역별 백미 생산에 의한 가상수 사용량 (도기준, Mm <sup>3</sup> )보리) ...	106
<그림 38> 지역별 백미 소비에 의한 가상수 사용량 (특별시, 광역시 기준, Mm <sup>3</sup> ) ...	106
<그림 39> 지역별 백미 소비에 의한 가상수 사용량 (도기준, Mm <sup>3</sup> ) ...	107
<그림 40> 지역별 백미 소비에 의한 가상수 사용량 (특별시, 광역시 기준, Mm <sup>3</sup> ) ...	107
<그림 41> 지역별 가상수 자급률 산정 결과 (백미) .....	108
<그림 42> 지역별 녹색 가상수 자급률 산정 결과 (백미) .....	108
<그림 43> 지역별 청색 가상수 자급률 산정 결과 (백미) .....	108
<그림 44> 우리나라 가상수 수입국과의 교역강도 (2006-2010) .....	125
<그림 45> 우유에 대한 농업용수 사용비중 평가 .....	130
<그림 46> 밀가루에 대한 농업용수 사용비중 평가 .....	131
<그림 47> 투입물질별 물발자국 산정 결과(100g 밀가루 기준) .....	144
<그림 48> 투입물질별 물발자국 산정 결과(500mL 용량의 우유) .....	149
<그림 49> 물발자국 통합정보시스템 .....	154
<그림 50> 물발자국 DB 구축절차 및 검색 .....	155
<그림 51> 물발자국 계산기 .....	155
<그림 52> 물발자국 애플리케이션 .....	156

## 제 1 장 서 론

# 제1장 서론

## 제1절 연구 배경 및 목적

### 1. 연구 배경

- 기후변화 등의 환경문제로 물에 대한 관심 증대
  - 현재 세계적으로 기후변화와 관련해 가장 큰 관심을 받고 있는 탄소 발자국에 이어 최근 물발자국에 대한 관심이 높아지고 있다.
  - 전문가들은 앞으로 기후변화에 따른 가뭄과 홍수의 주기적인 발생을 예측하고 있다(OECD, 2008).
  - 환경과피 등으로 인해 오늘날 전 세계적으로 28개국 5억 5000만 명이 물 압박이나 기근 등의 어려움에 처해 있으며, 2025년에는 기후변화 및 인구증가, 1인당 물 수요의 지속적인 증가로 약 52개국의 30억 명이 물 기아 현상을 맞을 것으로 예측하고 있다(국제인구행동연구소 PAI, 2003).
  - 2005년 기준으로 우리나라 1인당 이용가능한 수자원 양은 1,453m<sup>3</sup>로 물 부족 국가군에 포함 된다.
  - 우리나라는 중동, 북아프리카와 같은 세계 최대의 물 수입국(미 국립과학원, 2012)이며, 우리나라의 물 수입 의존도는 전 세계 16위로 국가적으로 물 관리의 중요성이 증대되고 있다.

(표 1) 우리나라 1인당 연간 가용 수자원량 전망

구 분	2005년	2025년		
		최저인구 전망	중간인구 전망	최대인구 전망
인구(천명)	48,182	50,650	52,065	53,409
1인당 이용가능한 수자원량(m <sup>3</sup> )	1,453	1,378	1,340	1,307

※2014 물과 미래(국토교통부, 2014)



<그림 1> 2025년 세계 물 부족 예상도

○ 물발자국 도입에 대한 해외 관심 증대

- 물발자국의 개념을 도입한 지속 가능한 물 사용 전개 운동이 네덜란드의 'Water Footprint Network' 및 UNESCO 등을 중심으로 이루어지고 있으며, 유럽연합 내에서는 물발자국을 측정할 수 있는 표준화된 기준을 마련해 산업계와 소비자들로 하여금 물 절약 노력을 높이고자 하고 있다.
- 1980년대 이후, 가상수(Virtual Water)를 이용한 물사용량을 지표화 하였고, 최근 적용방법이 발전하여 물발자국을 물관리 정책의 평가 및 결정에 도입하는 추세이다.
- 2003, 2009년 세계 물포럼에서 이슈화되어 전세계적으로 물이용 효율화의 정책도구로 활용을 모색중이다.
- 2009년 5월부터 국제표준화기구에서 물발자국 산정에 대한 표준화 작업을 시작하였다.
- 2011년 10월 현재 국제표준화기구에서 물발자국 표준화 초안 문서가 발간되었다.
- 경제개발협력기구(OECD), 국제표준화기구(ISO), 세계물포럼(WWF) 등의 기관을 중심으로 용수수요별, 국가별 물이용의 표준화를 위한 협의가 진행중에 있다.
- 2014년 7월 24일 국제표준화기구(ISO)는 ISO 14046 (물발자국) 표준문서를 제정하였다.

- 우리나라 농업부문의 물 절약 및 물 관리가 매우 중요
  - 우리나라 농업용수의 양은 전체 수자원 이용량(333억톤)의 47%(159억톤)로 가장 큰 비중을 차지하고 있고 직접수가 차지하는 비율이 높으므로 농업분야의 물발자국 기초자료의 구축이 중요하다(국토해양부 수자원장기종합계획, 2011).
  - 농업용수의 10% 절약은 공업용수 54% 또는 생활용수 22%의 절약 효과를 나타내어 농업용수 물 절약이 다른 분야 대체 활용도 보다 매우 높다(한국토양비료학회, 2009).
  - 2020년 용수 부족량은 최대 약 4억 6천만톤일 것으로 예상되는 만큼 농업분야를 포함하여 물 절약 및 관리가 매우 중요할 것으로 여겨진다(국토해양부 수자원장기종합계획, 2011).
- 우리나라 물발자국 도입 필요
  - 우리나라의 경우, 물 소비를 생산품 기준으로 환산하는 연구가 사실상 전무한 실정이며 주요 농·축산물에 대한 물발자국을 전과정평가 지침을 근거로 품목별, 생산과정에 따른 컴포넌트(Green, Blue, Grey)별 물발자국의 구분과 정의, 산정 및 영향평가방법에 대한 연구가 필요하다.
  - 우리나라는 농축산물 제조, 재배에 필요한 가상수(Virtual water) 양이 많아 멕시코, 유럽, 북아프리카, 중동, 일본과 함께 대표적인 가상수 수입국으로 분류 된다(매년 15~50km<sup>2</sup> 가상수 수입).
  - 농산물 가상수 교역의 개념은 수자원과 식량안보를 동시에 고려한 교역 정책 수립시 수자원과 작물 수입량의 관계를 보여주는 지표로서 활용될 수 있으므로 이에 대한 분석이 절실하다.
  - 국내 기후변화가 증가하는 시점으로 물 부족 문제의 효과적인 대처 및 물 관리를 위해 물 사용량 정보를 제공하는 물발자국 개념의 도입이 필요하다.
  - 앞에서 언급했듯이 대외적으로 2014년 7월 24일 ISO 14046 (물발자국) 표준문서 제정되었고 국내 표준화 작업 진행, 환경성적표지제도 관련 법령정비 등으로 조속한 시일내 물발자국의 산정과 제도 도입이 예상된다.

## 2. 연구 목적

- 본 연구의 목적은 국내 물발자국 도입에 대비하여 국내 농축산물의 단계별 물발자국 산정모델과 물발자국 데이터베이스를 구축하는 것이다.
- 물발자국 산정모델 구축을 위해 농산물의 기초 통계자료 및 영농방식에 관한 데이터베이스를 구축하고, 다음으로 주요 농산물의 생산 및 가공단계의 컴포넌트(Green, Blue, Grey water)별 물발자국을 산정하는 모델을 구축하여 지역별/품목별 물발자국의 추이를 분석 하는데 있다.
- 또한, 농업분야와 산업분야 전체의 직접수 산정결과를 토대로 403개 산업분야의 수원별, 용수사용형태별 물발자국 DB를 구축하는 것이다.
- 구축된 DB는 향후 물발자국 제도의 도입 시 기초자료로 제공하기 위한 것이다.
- 구축된 물발자국의 DB에 대한 검증을 실시하고 물발자국 산정 및 활용의 기준을 제시하기 위한 매뉴얼을 구축하고, 제품단위 물발자국 산정 사례를 제시하고자 한다.
- 물발자국 인증 방안 및 정책지표 등 물발자국의 정책적 활용에 대한 기본 방향을 제시하고자 한다.
- 식량 정책 및 인구변화, 수자원 정책 등을 동시에 고려할 수 있는 지속가능한 농업용수 관리를 위해 물발자국의 활용방안을 제시하고자 한다.
- 정부3.0 기조에 따른 DB에 대한 정보공개를 위해 통합정보시스템을 구축하는 것이다.

## 제2절 연구내용 및 방법

### 1. 연구 내용

#### 가. 1차년도

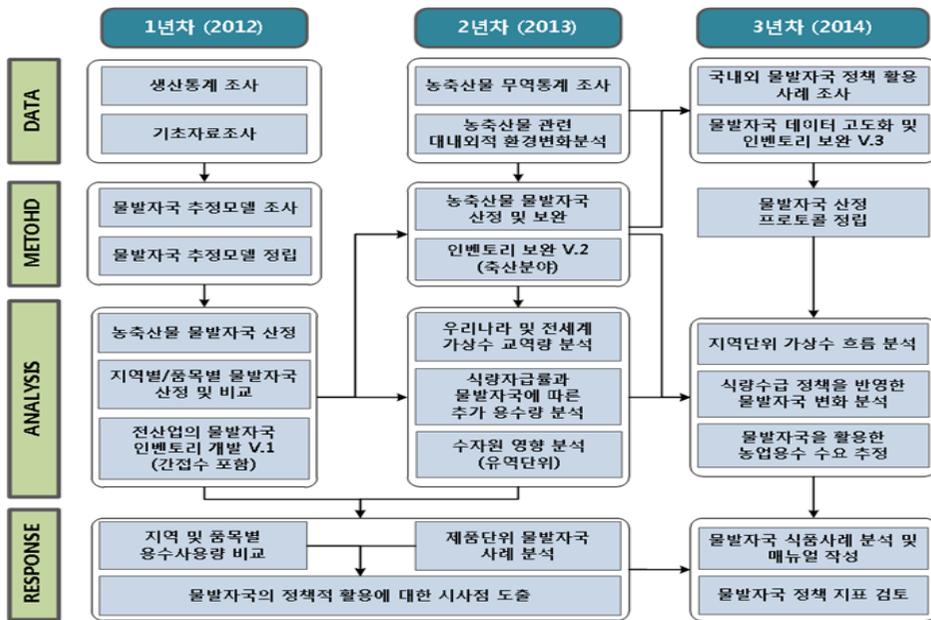
- 우리나라 가상수 및 물발자국 산정모델 개발
  - 농산물의 기초 통계자료 및 영농방식 조사
  - 농산물의 국내 생산환경을 고려한 가상수/물발자국 산정모델 개발
  - Green, Blue, Grey water별 물발자국 산정모델 개발
- 우리나라 주요 농산물 물발자국 산정 및 적용
  - 주요 농산물의 Green, Blue, Grey water별 물발자국 산정
  - 생산 및 가공단계에 따른 지역별/품목별 물발자국 산정 및 비교
- 403개 산업분야의 물사용량 및 물발자국 인벤토리 구축

#### 나. 2차년도

- 축산물의 물발자국 산정방안 정립
  - 축산물의 물발자국 3요소
  - 축산물의 물발자국 산정 방법 정립
  - 축산물의 물발자국 산정(3종)
- 농작물 교역과 물발자국에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석
  - 농축산물 무역통계 조사
  - 농축산물 관련 대내외적 환경변화 분석
  - 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석
  - 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석
  - 국외 가상수 의존도 및 수자원 대체효과 분석
- 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정
  - 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 방법
  - 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 결과

## 다. 3차년도

- 식품분야 가상수 사용량 변화 분석
  - 국민 1인당 식품 소비 변화량
  - 국민 1인당 식품 소비에 따른 칼로리 소비량 변화
  - 식품 소비에 따른 가상수 사용량 변화 분석
  - 식량자급률에 따른 가상수 사용량 변화 분석
- 지역단위 가상수 자급률 평가
  - 농산물 생산에 따른 지역별 가상수 사용량 산정
  - 농산물 소비에 따른 지역별 가상수 사용량 산정
  - 지역별 곡물 가상수의 자급률 평가
  - 백미의 지역별 녹색 및 청색 가상수의 자급률 평가
- 물발자국의 정책적 활용 방안
  - 물발자국을 이용한 농업용수 관리 방안
  - 농작물 교역 관리
  - 물발자국 표시제도의 시범 운영 방안
  - 물발자국의 활용과 산업
  - 물발자국 인증 도입과 전망
  - 수자원 장기종합계획 수요량과 물발자국의 산정방법 비교
  - 농업용수 산업 비중 평가
- 물발자국의 산정 및 활용 매뉴얼 작성
  - 제품 전과정 물발자국 산정 절차 정립
  - 물발자국 DB 검증
  - 물발자국 매뉴얼을 기초로 실제 적용사례 분석
- 물발자국 통합정보시스템 구축
  - 물발자국 DB 검색, 물발자국 계산기 기능 제시



<그림 2> 주요 연구 내용

## 2. 연구 방법

### 가. 1차년도

- 우리나라 가상수 및 물발자국 산정모델 개발
  - 주요 농산물 기초 통계자료 및 영농방식 조사
    - 농산품 물발자국 평가를 위하여 식품수급표를 활용하여 주요 식품별 생산량, 수입량, 용도별 소비량 및 1인당 1일 식품공급량을 조사하였다.
    - 또한 농작물 생산통계자료를 활용하여 시도별 생산량, 재배면적 및 채소류의 노지, 시설재배 면적 자료를 구축하고, 수리시설별 담면적 현황은 농업생산기반 정비사업 통계연보를 활용하였다.
  - 농산물의 국내 생산환경을 고려한 Green/Blue/Grey water별 물발자국 산정모델 개발
    - 농산물의 경우, 원(源)작물로부터 가공되어 생산되는 2차, 3차

가공품에 대한 물발자국을 과정별 생산비율 및 생산가격 등을 고려하여 작물생산 전과정동안의 물발자국을 추정하는 모델을 정립하고자 하였다.

- 농산물의 컴포넌트(Green, Blue, Grey water)별 물발자국의 의미를 파악하고, 국내에 적합한 산정 기준과 방법을 적용하여 물발자국 추정 모델을 개발하고자 하였다.

○ 우리나라 주요 농산물 물발자국 산정 및 적용

- 주요 농산물의 Green, Blue, Grey water별 물발자국 산정

- 물발자국 추정 모델을 통하여 생산 및 가공단계별 green, blue water의 사용량과 가능량을 추정하고, 이를 비교하여 단계별 물 사용 효율성 및 부족성을 평가하였다.

- 주요 농산물의 품목별 green과 blue 물발자국의 사용 효율성을 비교하여 생산 및 가공단계별 용수공급 체계의 문제점 및 개선점을 검토하였다.

- 물발자국에 따른 지역별/품목별 물발자국 산정 및 비교

- 주요 농산물의 품목별 물발자국의 추정 결과를 시기별/지역별로 정량적으로 제시하여 변화 추이를 분석하고, 품목별 지역간 차이를 분석하였다.

- 각 지역에서 유입·출되는 가상수량을 품목별로 분석함으로써 지역간 주요 농산물의 교역을 통한 가상수의 흐름을 분석하였다.

○ 403개 산업분야의 물사용량 및 물발자국 산정

- 용수원별, 용수사용형태별 물사용량(직접수)

- 산업연관표를 이용한 물사용강도 원단위 산정(직·간접수)

## 나. 2차년도

- 축산물의 물발자국 산정방안 정립
  - 축산물의 물발자국 산정
    - 국외 자료를 바탕으로 직접수인 음용수와 세척수에 대해 사육기간 동안 총 사용량을 산정하고, 간접수인 사료작물 소비에 의한 물 소비량은 국내외 사료 작물의 물발자국과 사료소비량을 고려하여 산정하였다.
- 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석
  - 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석
    - 국내 및 국외의 농작물 물발자국 자료와 우리나라의 농작물 교역자료를 활용하여 2006년부터 2010년까지 주요 작물에 대한 가상수 교역량을 산정하였다.
    - 국가별 물발자국은 국외의 연구결과를 활용하고 국가 간 농작물 교역량 자료는 PC-TAS의 자료를 활용하였다.
    - 우리나라의 국외 가상수 의존도를 평가하기 위하여 작물별 가상수 교역량 및 소비량을 바탕으로 내·외부 물발자국을 산정하였다.
  - 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석
    - 전세계 가상수 교역량은 앞서 조사한 기초자료를 바탕으로 수출국의 물발자국과 수출량을 기준으로 산정되었다.
    - 전세계 가상수 교역의 중심지 분석은 가상수 교역 네트워크를 활용하여 연결중심지를 분석하도록 한다. 이때 식량작물과 사료작물로 주로 교역되는 작물을 구분하여 연도별 연결중심지의 변화를 분석하였다.
- 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정
  - 물 사용량이 많은 공산품중 세탁기의 제조, 사용단계에서 물발자국을 산정함으로써 1차년도에 개발한 물발자국 데이터베이스의 적용성을 평가하였다.
  - 주요 식품으로 두부, 옥수수수염차를 대상으로 물발자국을 산정하였다.

## 다. 3차년도

- 식품분야 가상수 사용량 변화 분석
  - 국민 1인당 식품 소비 변화량
  - 국민 1인당 식품 소비에 따른 칼로리 소비량 변화
  - 식품 소비에 따른 가상수 사용량 변화 분석
    - 물발자국 산정 결과와 식품수급표의 1인당 식품 소비량을 적용하여 주요 식품의 1인당 소비량에 따른 연평균 가상수 사용량 산정하였다.
  - 식량자급률에 따른 가상수 사용량 변화 분석
    - 물발자국 개념을 활용하여 2015년과 2020년의 식량자급률 목표를 달성하기 위하여 필요한 잠재적인 농업용수를 농산물을 중심으로 분석하였다.
- 지역단위 가상수 자급률 평가
  - 농산물 생산에 따른 지역별 가상수 사용량 산정
    - 지역별 곡류 생산량과 작물별 가상수량을 적용하여 지역별 곡류 생산을 위해 소비되는 총 가상수량을 산정 비교 하였다.
  - 농산물 소비에 따른 지역별 가상수 사용량 산정
    - 1인당 농산물 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과와 지역별 인구수를 적용하여 농산물 소비에 따른 지역별 총 가상수 사용량을 추정하였다.
  - 지역별 곡물 가상수의 자급률 평가
    - 가상수 자급률은 작물 생산을 위하여 사용된 가상수와 작물 소비를 위하여 사용된 가상수의 비율을 의미하며, 주요 4개 작물의 생산 및 소비에 의해 사용되는 가상수를 산정하고 지역별 가상수 자급률을 비교하였다.
  - 백미의 지역별 녹색 및 청색 가상수의 자급률 평가
    - 물발자국은 용수 공급원에 따라 녹색과 청색 물발자국으로 구분되고, 우리나라에 작물 중에서 관개용수를 가장 많이 사용하는 작물인 쌀에 대하여 녹색과 청색 가상수 자급률을 산정하였다.
- 물발자국의 정책적 활용

- 물발자국을 이용한 농업용수 관리 방안 제시
    - 농업 관련 용수별 활용 및 관리 방법을 물발자국을 활용하여 기존 방법과 비교하고, 수자원장기종합계획의 농업용수 부분에서 물발자국의 활용 방안을 제시하였다.
  - 농작물 교역 관리
    - 가상수 교역강도에 따른 교역 중요도 평가를 수행하고 주요 교역국과의 가상수 교역강도의 정책적 활용 방안을 제시하였다.
  - 물발자국 표시제도의 시범 운영 방안 및 물발자국 인증 도입과 전망
  - 농업용수 산업 비중 평가
    - 식품산업에서 차지하는 농업용수의 물발자국 비중을 사례연구 결과를 바탕으로 평가하였다.
- 물발자국의 산정 및 활용 매뉴얼 작성
- 제품 전과정 물발자국 산정 절차 정립
    - 국내외 연구사례를 조사하고 물발자국평가 국제표준(ISO 14046) 및 물발자국 수행매뉴얼(The Water Footprint Assessment Manual) 등을 참고하여 물발자국 산정 절차를 정립하였다.
  - 물발자국 매뉴얼을 기초로 한 실제 적용사례 발굴
    - 주요 식품으로 밀가루, 우유를 대상으로 환경성적표시제도 등 기존 문헌을 활용한 전과정 데이터 수집하고 물발자국을 산정하였으며 물발자국 DB를 검증하였다.
- 물발자국 통합정보시스템 구축
- 물발자국 DB검색, 물발자국 계산기 기능 제시
    - 농축산물 46종의 물발자국 DB와 산업연관표를 활용한 403개 종의 DB를 검색할 수 있는 검색엔진 구축하였다.
    - 매뉴얼을 적용한 물발자국 계산기 기능을 제공하였다.
    - 국내외 물발자국 관련 애플리케이션에 대한 사례연구를 실시하고 모바일에서도 물발자국 정보제공이 가능하도록 하였다.

### 제3절 연구 기대효과 및 활용방안

#### 1. 연구 기대효과

- 물발자국 도입은 효과적인 물사용 및 물관리 정책 수립에 기여
  - 우리나라 농업용수의 물사용량 평가를 위한 지표로 활용
  - 물발자국 정보를 활용한 물관리 정책에 대한 지원 및 방향 제시
  - 물의 지속적인 수요증가에 따른 물사용 저감 및 수자원 관리에 효과
  - 농산물의 가상수와 물발자국 산정을 통한 각 분야별 가상수 사용에 대한 효율적인 국가물관리계획 및 정책 수립을 위한 지원 체계 구축
  - 식량정책과 수자원 이용을 연계할 수 있는 정책 수립시 기초 자료로 활용
  - 국내 농업 정책 및 국제 교역 변화에 따른 농업용수 부분의 국내 수자원 의존도 등의 평가를 위한 지표로 활용
  - 국제 농축산물 거래시 수자원량을 기준으로 정량적인 거래량을 평가할 수 있는 기술 기반 구축
  - 주요 국가에 대한 가상수의 수출입에 따른 물발자국의 지속적인 모니터링 및 분석을 통한 농산물에 대한 교역 대책 수립
- 농축산물 관련 물발자국평가 국제인증 대응을 위한 국내 여건 조성
  - 농축산물에 대한 물발자국평가 방법론 정립과 LCI DB 및 국내 인증시스템 구축으로 국제인증에의 사전 대응체계 마련
  - 가상수 이력제와 가상수 마일리지 등을 통한 녹색기술의 적용을 위한 근거자료 마련
- 물발자국 활용의 국내 기준 제시
  - 물발자국 산정 프로토콜 정립과 표준화된 활용 기준을 제시함으로써 산학연에서 활용 시 지침서로서의 역할 제공
  - 통합정보시스템을 통한 물발자국 관련 자료수집의 대국민 접근성 강화

## 2. 연구 활용 방안

- 국내의 식량정책 수립시 수자원 이용도의 변화를 물발자국의 변화를 통하여 제시할 수 있으며, 이에 따라 정책 수립시 필요한 수자원의 정량적인 평가.
- 농축산물의 교역을 물의 개념으로 표준화함으로서 국제적인 가상수 교역의 중심지 및 주요 교역국의 수자원 공급의 안정성 등을 고려한 국제 교역 변화 예측 등에 활용.
- 향후 농식품과 농산물의 생산과 소비에 따른 물 소비량을 사용자가 알 수 있도록 하여 물 사용 효율이 높은 제품을 사용할 수 있도록 유도하는 물절약 정책도구로서 사용.



## 제2장 물발자국 산정 및 DB 구축

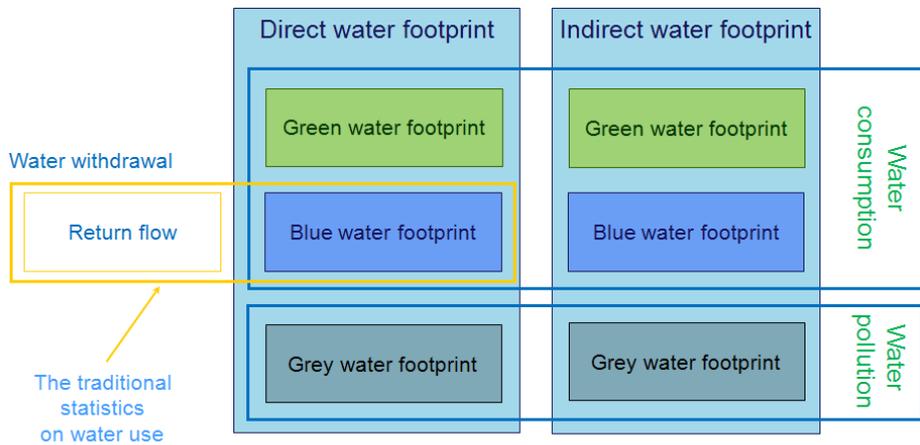


## 제2장 물발자국 산정 및 DB 구축

### 제1절 가상수 및 물발자국의 이론적 배경

#### 1. 가상수 및 물발자국의 개념

- 국가내에서의 물 사용은 크게 농업용수, 공업용수, 생활용수 등으로 구분될 수 있고, 농업용수 부분은 작물 생산을 위해 사용되는 물이 주를 이루고 있으며, Allan (1998) 교수는 이와 같은 물을 가상수의 개념으로 설명하였다.
- 농업부분의 가상수는 작물 생산을 위해 필요로 하는 물의 양을 의미하고, 물발자국은 가상수의 개념을 활용하여 모든 재화의 최종 생산물이 생산되기까지의 물의 이력을 표현할 수 있는 지표라 할 수 있다.
- 물발자국은 물의 이력을 내포하기 때문에 이전의 가상수의 개념을 보다 세부적으로 구분할 수 있는데 최근 연구에서는 용수 공급원에 따라 녹색(green), 청색(blue), 회색(grey) 물발자국으로 구분하여 산정되고 있다.
- 녹색 물발자국(green water footprint)은 제품 생산과정 동안 자연 상태에서 공급되어 사용되는 강우량을 의미하고, 농업부분에서는 작물 생육기간 동안 사용할 수 있는 유효우량을 의미한다. 청색 물발자국(blue water footprint)은 제품 생산과정 동안 사용되는 지표수 또는 지하수 소비량을 의미하고, 농업부분에서는 작물 생육기간동안 관개시스템으로부터 인위적으로 공급되는 관개수량을 의미한다. 회색 물발자국(grey water footprint)은 제품 생산과정 동안 발생한 오염물질 정화를 위해 사용되는 물을 의미하고, 농업부분에서는 경작지에서 배출되는 질소, 인 등의 오염물질을 배출 기준농도에 적합하도록 희석하기 위해 사용되는 수량을 의미한다.



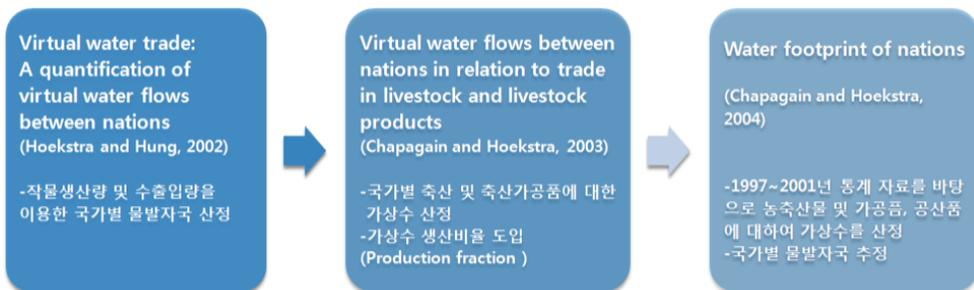
<그림 3> 컴포넌트별 물발자국 구성 요소 (Hoekstra et al., 2011)

## 2. 국내의 가상수 및 물발자국 연구동향

- 국내에는 2009년부터 저널(농어촌과 환경, 한국농공학회)을 통하여 가상수, 물발자국 이론이 소개되었고, 유승환 등 (2009)이 처음으로 농산물의 가상수 산정관련 연구결과를 발표하였고, 2010년 이후 환경공학분야에서 몇 편의 논문과, 학위 논문이 발표되었다.
- 2012년에는 농림수산식품부 (농어촌연구원), 한국농촌경제연구원, 농촌진흥청 등 농림수산식품부 관련기관과 환경정책평가원에서 관련 연구가 시작되고 있다. 이와 같은 최근 연구의 특징을 살펴보면, 탄소발자국의 연장선상에서 환경공학 전공자들의 연구 참여가 많고, FTA추진에 따른 농산물 교역증대와 관련된 가상수(물발자국) 연구가 활발하게 진행되고 있다.
- 국외 관련 연구 동향을 살펴보면 Hoekstra and Hung (2002)는 각 국가별 물발자국을 가장 먼저 산정하였으며 1995-1999년의 국가별 작물 생산량 및 수출입량을 이용한 연구를 수행하였다. 이후 Chapagain and Hoekstra (2003)는 가공품의 생산 비율이라는 개념을 도입하여 각 국가별 축산 및 축산가공품에 대한 가상수 산

정을 하였다. 또한 Chapagain and Hoekstra (2004)는 위 두 연구를 종합하여 1997-2001년의 통계 자료를 바탕으로 농축산물 및 가공품, 공산품에 대하여 가상수를 산정하였다.

- 2008년에 설립된 비영리기관 Water Footprint Network는 물 발자국 개념을 도입하고 물 사용을 지속가능하고 공평하게 하자는 운동을 세계적으로 전개하고 있다.
- UNESCO-IHE와 환경단체인 WWF(World Wide Fund for Nature), 코카콜라, 네슬레, 지속가능 발전을 위한 세계 비즈니스 위원회(WBCSD; World Business Council for Sustainable Development)와 Hoekstra 박사를 중심으로 물발자국 도입을 적극 추진하고 있다.
- 이를 바탕으로 UNESCO-IHE 주관 Water Footprint Network는 2011년 2월 Water Footprint Assessment Manual을 발표하였다.
- 축적된 물발자국평가의 글로벌 표준 및 물발자국 회계 개념과 기법들을 종합적으로 제시, 개별공정과 제품 뿐 아니라 소비자, 국가, 기업에서 물발자국이 어떻게 산정되는지 보여 주고 있다.
- 현재 국가별로 농축산 주요 품목 및 바이오에너지, 식품가공품 등에 대한 물발자국 추정 연구가 진행되고 있고, 스페인 등은 가상수와 물발자국을 수자원의 효과적인 분배의 도구로서, 물의 생산성을 현재 물 이용패턴과 이용 가능한 패턴을 비교함으로써 효율적 물 이용 대안을 찾는 도구로 활용 중에 있다.



<그림 4> 국외 물발자국 관련 연구 진행 현황

(표 2) 국내 물발자국 관련 연구 현황

연구자(기관)	연구명	연구내용
국토해양부 (2008~2009),	국제가상 물 교역과 수자원 정책전망연구	FTA추진에 따른 농축산물의 가상수 거래변화분석
김영득 외(2009)	물발자국과 지속가능한 물이용 전략	물발자국 동향소개
고개경 외(2009)	가상수 개념과 물관리 정책	가상수, 물발자국 소개 및 정책적 시사점
유승한 외(2009)	한국의 농산물 가상수 산정	1991~2007년까지 농산품 44개 가상수 산정
안재현 외(2010)	우리나라 가상수량 산정방법의 적용성 평가	1998~2007년까지 농축산물, 공 산품의 가상수 산정
이상현 외(2010)	커피무역을 통한 한국의 가상수 흐름분석	2005~2009년까지 커피 수출입 자료로 가상수 산정
이승민(2010)	물발자국제도의 이해와 국내 도 입을 위한 방안 연구 : 탄소발 자국 제도와의 비교연구	물발자국 소개 및 국내도입방안 과 산정방안 연구
주상연(2011)	산업연관표를 이용한 산업간 물 발자국 산정에 대한 연구	산업간 물의 흐름관계 정량화
신상민(2011)	쌀 수요에 대한 물발자국 산정 에 관한 연구 : cropwat model 을 중심으로	쌀의 물발자국 산정 (8개 시도대상)
김우람 외(2011)	물발자국개념을 이용한 가전제 품의 수자원 사용량 산정(세탁 기를 중심으로)	세탁기 전과정의(제조, 사용 등) 가상수 산정
김재준 외(2011)	가상수 거래개념을 활용한 물관 리 정책의 필요성(한중일 3국간 FTA를 중심으로)	3국간 FTA시 가상수 거래량 산정
한국환경산업 기술원(2011)	환경성적표지제도 개선방안 연구	물발자국 산정방법 개발 및 시 범적용
김영득 외(2013)	산업연관분석을 활용한 물발자국 인벤토리 개발	물발자국 인벤토리 개발(본 연 구 성과물)

### 3. 가상수 및 물발자국 DB 구축 현황

- 주요 국가의 물자국 연구현황을 살펴보면 Chapagain & Hoekstra가 2008년 물발자국 산정이론을 제시하여 국가별, 지역별 물발자국 DB를 제공하고 있다. Lenzen (2008)은 2000년 기준으로 344개 품목에 대해 산업연관분석기법을 활용하여 빅토리아주의 물발자국(국내 한정, 국가간 교역은 고려하지 않음)을 산정하였고, 강우를 제외한 관리가능한 용수를 대상으로 직접수와 간접수를 분류하여 산정하였다. 그 외 미국에서는 Blackhurst (2010)가 2002년을 기준으로 428개 산업분야에 대한 물 DB를 산정하였고, 일본에서는 산업연관방법에 따라 물 DB를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, Kobayashi (2008), Kondo(2009), Yuya Ono et al.(2010)가 검토 결과를 공개했다.

(표 3) 주요 국가별 물발자국 DB 구축 현황

연구자	DB 특성	연구범위	기준년
호주 Lenzen(2007)	Water IO DB Victoria Australia	직간접수 직간접수 관리 가능한 용수 (우수제외)국가내 흐름 분석	2000
일본 Kobayashi(2008)	Water IO 국가단위	직간접수 전산업분야 청색수 수원분류 없음	2000
Kondo(2009)	Water IO 국가단위	수원과 용도 분류 수질오염(BOD, COD, SS)	2000
Yuya Ono et al (2010)	Water IO 국가단위	직, 간접수 소비수, 이용수 구분 청색, 녹색, 회색 물발자국 수원에 따른 분류 (하천, 지하수, 우수, 재이용수)	2005
미국 BlackHurst(2010)	Water IO 국가단위	직간접수	2002
WFN Chapagain & Hoekstra(2011)	Water footprint, 세계, 국가단위	직접수를 중심으로	1996 -2005
대만 Chen(2010)	Water IO 국가단위	직 간접수	2004

## 제2절 물발자국 산정모델 개발

### 1. 농산물의 가상수량 산정 방법

- 가상수량 ( $VWC$ , virtual water content)은 작물 1 톤을 생산하기 위하여 사용된 물의 양 ( $m^3/ton$ )으로서 작물필요수량과 작물의 전체 생산량, 단위면적 당 작물의 생산량 등을 활용하여 산정된다. 이미 국외에서 가상수 산정방법에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있다(Chapagain and Hoekstra, 2004).

$$VWC[c] = \frac{CWR[c]}{yield[c]}$$

※ 여기서,  $CWR$  (crop water requirement,  $m^3/ha$  또는  $mm$ )는 필지 단위에서 작물필요수량이고,  $yield$  ( $ton/ha$ )는 단위면적 당 작물의 생산량,  $CWR$ 은 작물 생육기간 동안의 일별 작물증발산량 ( $ET_c$ , crop evapotranspiration)을 누적한 값으로 계산된다.

- 원 작물로부터 2개 이상의 가공품이 생산될 때 원 작물의 가상수량을 기초로 하여 가격부분과 생산부분에 따라 차별적으로 분배할 것을 제시하였다. 즉, 논벼의 경우 원 작물인 벼로부터 현미와 왕겨가 1차적으로 생산될 때, 각 가공품의 생산비율과 가격비율을 적용하여 현미와 쌀겨의 가상수량을 각각 산정하게 된다. 가격비율은 시장가격을 적용하여 동일한 쌀겨와 백미 1톤이라도 시장가격에 의한 가치를 재부여하게 된다. 원작물로부터의 가공품에 대한 가상수량은 아래와 같이 산정된다(Chapagain and Hoekstra, 2004).

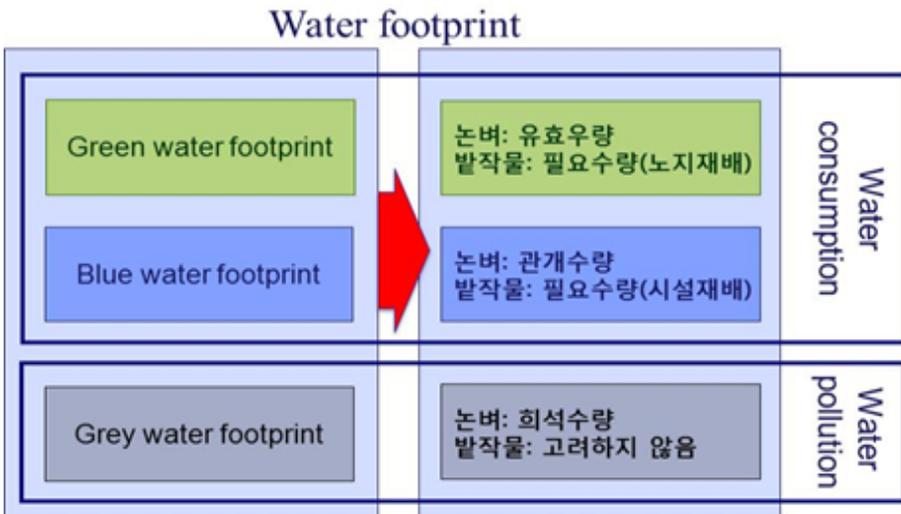
$$pf[p] = \frac{W_p[p]}{W[c]}, \quad vf[p] = \frac{v[p] \times pf[p]}{\sum(v[p] \times pf[p])}$$

$$VWC[p] = (VWC[c] + PWR[c]) \times \frac{vf[p]}{pf[p]}$$

※ 여기서,  $pf[p]$ 와  $vf[p]$ 는 생산품  $[p]$ 의 생산비율과 가격차이를 의미하고,  $PWR[c]$ 는 1차 제품을 생산하기 위하여 원 작물 $[c]$ 을 가공시 필요한 물의 양을 의미한다.

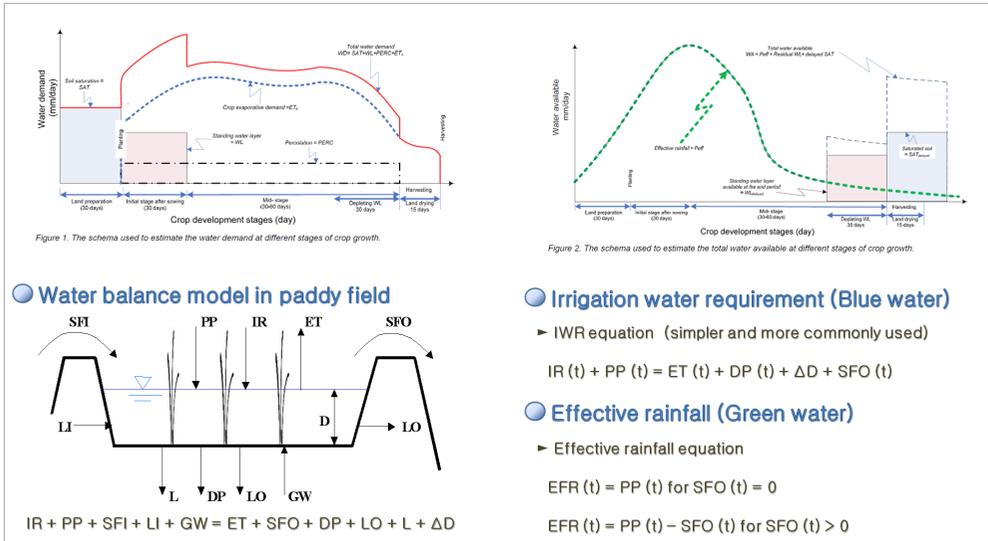
## 2. 논벼의 물발자국 산정모델 개발

- 물발자국이란 가상수량을 보다 확대하여 용수공급원별 가상수량을 산정하여 물의 이력을 표현하는 것으로서 물발자국의 산정은 우선적으로 가상수량의 산정방법을 토대로 이루어진다.
- 물발자국은 작물별 필요수량과 생산량을 기반으로 산정되며, 이를 토대로 용수공급원에 따라 녹색과 청색 물발자국이 산정된다.



<그림 5> 논벼 및 발작물의 물발자국

- 논벼의 물발자국은 생육기간동안의 작물의 필요수량과 생산량을 적용하여 단위 생산량당 소비되는 용수량을 산정하고 이를 인위적으로 공급되는 관개수량과 자연상태에서 공급되는 유효우량을 구분하여 청색과 녹색 물발자국으로 정의한다.
- 이에 따라 논벼의 물발자국 산정모델은 기본적으로 논벼의 필요수량 산정모델을 포함하게 된다. 논벼의 경우 필요수량은 국내의 다양한 연구에서 적용하고 있는 담수심에 의한 일별 물수지 방법을 적용하여 산정하였고, 작물증발산량과 담수재배에 의한 토양내 침투량을 동시에 고려하였다. 이를 통하여 보다 국내에 적합한 물발자국 산정모델을 개발하고자 하였다.
- 국내에 적합한 물발자국 산정모델을 개발하기 위해서는 작물 생육기간 및 이앙시기와 같은 국내의 영농방식 등을 적용할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 작물 기초데이터인 작물생산량, 재배면적 등은 국내의 최근 통계자료를 활용하고, 각 작물의 생육 기간, 파종 시기 및 수확 시기는 농촌진흥청 품목별 관리 매뉴얼(농촌진흥청, 2009)을 참조하여 국내 실정에 적합한 산정모델을 개발하고자 하였다.
- 산정된 필요수량에서 유효우량을 제외한 관개수량을 논벼 재배면적과 생산량을 적용하여 청색 물발자국으로 설정하였고, 생육기간 동안 활용된 유효우량 부분을 녹색 물발자국으로 설정하였다.
- 회색 물발자국은 작물 생산을 위하여 비료를 투입하는 과정에서 강우 등으로 인하여 하천이나 지하수로 배출되는 질소 또는 인 등의 영양물질을 배출기준농도에 적합하도록 회석에 필요한 양을 의미한다 (Hoekstra et al., 2011). 본 연구에서는 국내에서 이루어진 논지역에서의 오염원 배출부하량 (T-N 또는 T-P 등) 및 배출기준농도 등에 관련된 연구결과를 조사하고, 이를 바탕으로 산정하였다.



<그림 6> 논벼의 물발자국 산정 방법 (Chapagain and Hoekstra, 2010)

### 3. 발작물의 물발자국 산정모델 개발

- 본 연구에서는 FAO Penman-Monteith법과 FAO에서 제공하는 작물계수를 사용하여 작물증발산량에 의한 필요수량을 산정하였고, 이때 토양수분에 의한 증산계수는 고려하지 않고 순수하게 작물에 의해서만 증발산량이 발생하는 것으로 설정하였다.
- 녹색, 청색 물발자국을 구분하기 위하여 증발산량 중 강우에 의해 공급되는 수량을 녹색 물발자국, 관개에 의해 인위적으로 공급되는 수량을 청색 물발자국으로 적용하기 위하여 시설재배지에서는 모두 관개로 용수가 공급되고, 노지재배지의 경우 모두 유효수량에서 용수가 공급되는 것으로 설정하였다.
- 발작물의 회색 물발자국은 시설재배지 및 노지재배지의 비료 사용에 따른 오염물질 유출에 대한 보다 상세한 연구 결과가 필요하기에 본 연구에서는 고려하지 않았으며 시설재배지의 경우 작물의 필요수량만을 공급하기 때문에 비료성분의 외부 유출이 상당히 적을 것으로 예상된다.

- 또한 밭작물별 국가 물발자국을 산정하기 위하여 먼저 지역별로 물발자국을 산정하고, 각 지역별 생산량을 활용한 가중평균된 물발자국을 최종적으로 산출하여 국가 물발자국으로 적용하였다. 산출된 국가 물발자국은 시기별 물사용량을 산정하기 위한 지표가 될 수 있으며 향후 국간간 교역에 따른 가상수 이동량을 산정할 때도 적용할 수 있다.

(표 4) 주요 농산물의 수요량 및 물발자국 산정 방법 비교

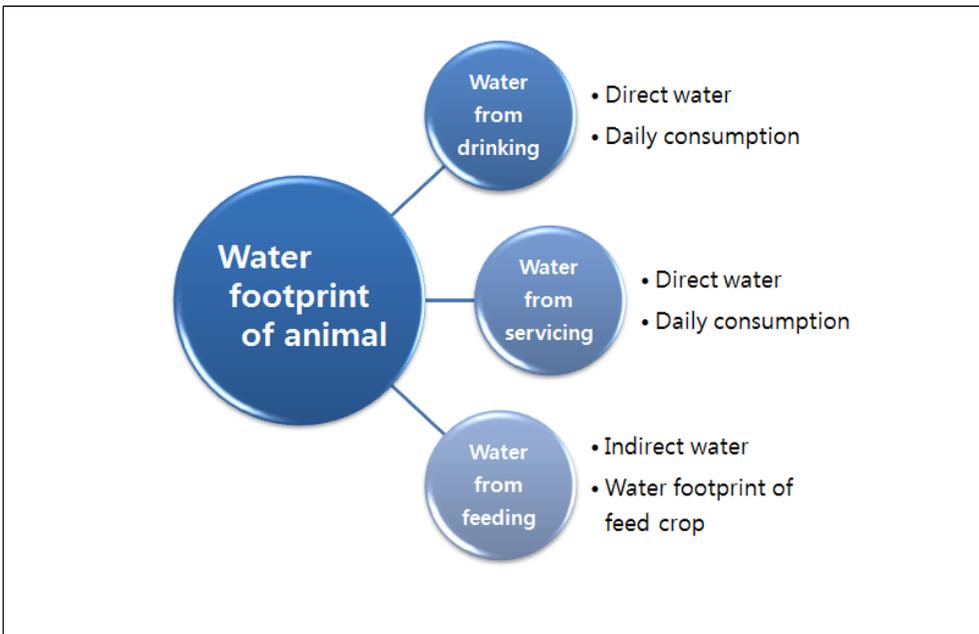
구 분	논 벼	밭 작 물
<b>작물필요수량</b>		
증발산량 산정 방법	FAO Penman-Monteith	FAO Penman-Monteith
작물계수	Yoo 등 (2008)의 연구결과	FAO 보고서
이양용수량	140 mm	-
최대담수심	70 mm	-
침투량	4.0-6.0 mm/day	-
필요수량 산정 방법	담수심에 의한 일별 물수지법	작물증발산량에 의한 필요수량 산정
<b>유효수량 및 관개수량</b>		
유효수량 산정 방법	일별 담수심 변화에 따른 유효수량 변화 적용	활용 가능한 전 유효수량 적용
유효수량 활용 여부	녹색 물발자국으로 활용	녹색 물발자국으로 활용
관개수량	관개수량 = 필요수량 - 유효수량	노지재배 : 관개수량 = 유효수량 시설재배 : 관개수량 = 필요수량
<b>물발자국</b>		
청색 물발자국	필요수량에서 유효수량을 제외한 관개수량	시설재배지에서 공급되는 관개수량
녹색 물발자국	담수심에 따라 활용되는 유효수량	노지재배지에서 활용되는 유효수량
회색 물발자국	단위 면적 당 배출부하량	-

#### 4. 축산물의 물발자국 산정모델 개발

- 축산물의 물발자국은 3가지 종류로 구분된다. 이를 산정하기 위해 서 먼저 직접수로서 가축이 마시는 음용수와 축사 청소 등에 쓰 이는 세척수가 산정되고, 다음으로 간접수로서 사료작물에 대한 가상수를 산정한다. 즉, 축산물의 물발자국은 가축이 소비하는 사 료에 대한 가상수를 포함한다. 이를 위하여 가축별 배합사료 및 조사료의 급여량과 배합사료의 작물비율을 사전에 조사하여 적용 하였다.

$$VWC_a[e, a] = VWC_{feed}[e, a] + VWC_{drink}[e, a] + VWC_{serv}[e, a]$$

※ 여기서,  $VWC_a[e, a]$ : Virtual water content of animal a in exporting country e  
 $VWC_{feed}$ ,  $VWC_{drink}$ ,  $VWC_{serv}$ : Virtual water contents from feeding, drinking and servicing



<그림 7> 축산물의 물발자국 컴포넌트

- 축산물의 물발자국 산정시 가축이 사육되는 기간동안 소비되는 음용수와 세척수가 직접적으로 포함된다. 이를 위하여 가축별 총 사육기간과 일별 음용수의 자료가 필요하다. 아직 국내에서는 음용수와 세척수에 대한 자료가 부족한 실정이며, 수자원장기종합계획 수립시에도 축산용수의 음용수와 세척수 부분은 타 연구자료의 원단위를 사용하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 국내 기관의 자료를 통하여 가축별 평균 사육기간을 조사하였고, 일별 음용수량은 국외의 연구자료를 활용하였다. 이때 산정되는 음용수와 세척수는 1마리의 가축이 사육기간 동안 소비하는 용수이기 때문에 축산물의 물발자국으로 전환하기 위하여 가축별 도체량을 적용할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내 기관의 연구의 도체량 조사 자료를 활용하여 각 가축의 지육 1톤 당 사용된 음용수를 산정하였다.

$$VWC_{drink}[e, a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_d[e, a] dt}{W_a[e, a]},$$

$$VWC_{serv}[e, a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_{serv}[e, a] dt}{W_a[e, a]}$$

- ※ 여기서,  $q_d$ : Daily drinking water requirement,  
 $q_{serv}$ : Daily service water requirement,  
 $W_a$ : Live weight of the animal at the end of its lifetime

- 축산물의 물발자국 중 간접수에 해당하는 물발자국은 가축이 사육기간 동안 총 소비한 사료에 의한 가상수 소비량을 의미한다. 즉, 사육기간 동안의 배합사료 및 조사료 소비량( $C[e, a, c]$ )을 산정하고 이를 각 사료에 배합된 작물별 물발자국을 적용하여 총 소비된 간접수를 산정하게 된다. 산정된 간접수를 지육량( $W_a$ )으로 나누어주면 축종별 1톤당 사료 소비에 의한 가상수 소비량을 산

정할 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 국내 배합사료 업체들의 배합비율을 조사하여 적용하였고, 축종별 사양 관리에 의한 일별 사료 급여량을 조사하여 적용하였다. 사육기간 및 도체량을 음용수와 세척수 산정시 활용한 자료를 동일하게 적용하였다. 사료 배합에 쓰이는 용수량인  $q_{mixing}$ 은 측정 자료의 부족으로 제외하였다.

$$VWC_{feed}[e, a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} \left\{ q_{mixing}[e, a] + \sum_{c=1}^{n_c} VWC[e, c] \times C[e, a, c] \right\} a dt}{W_a[e, a]}$$

## 5. 물발자국과 수자원장기종합계획 수요량의 산정방법 비교

- 본 연구에서는 논벼의 물발자국 산정방법과 대표적인 국가 수자원 보고서인 수자원장기종합계획의 농업용수 수요량 산정방법을 비교하여 물발자국의 특징을 분석하고 차별화된 정보를 제공할 수 있음을 분석하였다.

### 가. 논벼의 물발자국과 농업용수 수요량 산정방법 비교

- 산정방법에 포함되는 기본 요소적인 부분에서 논벼의 물발자국과 수자원 장기종합계획의 논용수 수요량은 차이가 있다. 앞서 설명한 바와 같이 논벼의 물발자국은 침투량, 유효수량, 증발산량을 기초로 일별 담수심의 변화에 따라 결정된다. 이는 수자원 장기종합계획과 동일한 방법이다. 그러나 논벼의 물발자국은 토양내 잔여수분량은 작물에 의해 사용되지 않고 하천 및 지하수로 회귀되는 수량으로 고려하기 때문에 실제 작물이 소비하는 증발산량을 기초로 산정된다. 즉, 물발자국은 작물을 중심으로 소비 개념에 따라 산정되는 결과이다. 그러나 수자원 장기종합계획의 논벼 수요량은 수자원 공급자 중심으로 산정된다. 이에 따라 토양내 잔여수분량 역시 공급되는 수요량으로 산정하고 있으며, 또한 원활한 공급을 위한 송수관리율, 배분관리용수율 등을 고려하여 공급이 필요한 용수량을 산정한다.
- 또한 논벼의 물발자국의 경우, FAO Penman-Monteith법을 기본으로 작물증발산량이 산정되고, 작물계수는 Yoo et al. (2008)에 의해 우리나라에 적합하도록 연구된 결과를 활용한다. 그러나 수자원장기종합에서는 Doorenbos & Pruitt (1977, FAO-24)의 수정 Penman식과 농업생산기반정비사업설계기준-관개편(1998)에서 제시된 작물계수를 이용한다. 증발산량의 방법론 및 작물계수의 차이에 의해 결과의 차이가 발생할 수 있지만 두 가지 방법 공인된 방법으로서 결과에 미치는 영향은 작을 것으로 판단된다.
- 시기적인 부분에서도 물발자국과 수자원 장기종합계획의 수요량

은 차이가 나타난다. 물발자국은 평균적인 작물의 소비량이기 때문에 과거 10년의 자료를 평균하고, 지역간 생산량에 따른 가중평균을 활용하여 국가 물발자국을 산정한다. 그러나 농업용수 수요량은 가뭄에 대비하기 위해 공급되는 개념을 적용하여 10년빈도한발기준년의 농업용수 수요량을 산정하여 제시하고 있다.

- 용수원의 구분에서도 차이가 발생한다. 논벼의 물발자국은 용수공급원을 유효우량과 관개수량으로 구분하여 유효우량을 녹색 물발자국으로 설정하고 관개수량을 청색 물발자국으로 설정하여 결과를 제시하지만 수자원장기종합계획에서의 농업용수 수요량은 관개시설에 의한 공급의 개념이기 때문에 필요수량에서 유효우량을 제외한 수량만을 제시한다.

(표 5) 논벼의 물발자국 산정 방법과 수자원 장기종합계획과의 비교

구 분	수자원장기종합계획	물발자국
증발산량 산정방법	수정 Penman	FAO Penman-Monteith
작물계수	농업생산기반 정비사업 설계기준-관개편(1998)	Yoo 등(2008)의 연구결과
침 투 량	평균 5.2mm/day	4.0-6.0 mm/day
필요수량 산정방법	담수심에 의한 일별 물수지법	
유효우량 산정방법	담수심법 (최소 5mm - 최대 80mm)	
유효우량 활용여부	관개수량 산정시 활용	녹색 물발자국으로 제시
관개수량	필요수량에서 유효우량 제외한 값	청색 물발자국으로 제시
시설관리 용 수 량	송수관리용수율 고려 배분관리용수율 고려 (공급 개념)	공급 관련 손실율을 고려하지 않음 (소비 개념)
기준수요	한발기준 10년빈도 수요량	녹색, 청색, 물발자국의 평균값
기 타		증발산량과 침투량 및 잔여수분량을 구분하여 소비수와 비소비수로 구분 가능함

## 나. 발작물의 물발자국과 농업용수 수요량 산정방법 비교

- 본 연구에서의 발작물의 물발자국은 충분한 토양수분이 공급될 경우를 가정하고 작물에 의해 소비되는 증발산량을 의미한다. 이에 따라 생육기간 도안의 증발산량을 산정하고 작물계수를 적용하여 필요수량을 산정한다. 증발산량으 FAO Penman-Monteith법을 적용하고, 작물계수는 FAO에서 제공하는 값을 적용하였다. 수자원 장기종합계획에서의 농업용수 수요량은 작물에 공급이 필요한 수량을 중심으로 산정되기 때문에 일별 토양수분 추적에 의해 필요수량을 산정한다. 작물 필요수량의 경우 수요량과 물발자국 산정시 모두 FAO Penman-Monteith에 의한 증발산량 산정 방법을 적용하였으나 작물계수의 경우 수자원장기종합계획에서는 농업생산기반 정비사업 설계기준-관개편(1998)을 참조하였다. 관개수량의 경우 토양수분 변화를 고려한 유효우량을 적용하여 산정하였다. 수자원 장기종합계획에서도 노지와 시설재배를 구분하여 관개수량을 산정한다. 노지재배의 경우 유효우량 외에 스프링클러 관개 효율을 적용한 인위적인 관개가 이루어지는 것으로 설정하였고, 시설재배의 경우는 물발자국 산정과 동일하게 유효우량에 의한 용수 공급은 없는 것으로 설정하였다.
- 물발자국의 경우 용수 공급원에 따라 녹색과 청색 물발자국으로 구분되는데 본 연구에서는 노지재배의 경우 관개시설에 의한 용수 공급이 어렵기 때문에 필요수량이 모두 강우에 의해 공급될 필요가 있다. 이에 따라 발작물 재배방식을 노지재배와 시설재배로 구분하여 노지재배의 경우 인위적인 관개수량 공급 없이 유효우량만을 사용하여 작물 필요수량을 충족하는 것으로 설정하고, 시설재배의 경우 유효우량의 활용이 불가능하므로 작물증발산량에 의한 필요수량을 관개수량에 의해서만 공급되는 것으로 설정하였다. 즉, 노지재배의 필요수량은 녹색 물발자국으로 설정하고, 시설재배의 경우 청색 물발자국으로 설정하였다. 물발자국은 수자원 공급이 원활할 경우 작물에 의해 소비되는 수자원 개념이기 때문에 관개효율 부분은 제외하였다.

- 농업용수의 기준수요량 부분은 공급과 소비라는 측면에서 수자원 장기종합계획에서는 한발기준 10년빈도 값을 적용하였으나 물발자국 산정시에는 기간동안의 평균값을 적용한 차이가 있다.

(표 6) 밭작물의 물발자국 산정 방법과 수자원 장기종합계획과의 비교

구 분	수자원장기종합계획	물발자국
증발산량 산정방법	FAO Penman-Monteith	FAO Penman-Monteith
작물계수	농업생산기반 정비사업 설계기준-관개편(1998)	FAO 보고서
유효수량 산정방법	토양수분을 고려한 일별 토양수분추적으로 산정	활용 가능한 전 유효수량을 녹색물발자국으로 적용
관개수량	필요수량에서 유효수량 제외	필요수량에서 유효수량 제외 청색 물발자국으로 적용
다목적 용수량 및 관개효율	재배관리용수 기상재해방지용수 관리작업의 생력화용수 스프링클러의 관개효율 적용 (공급 개념)	다목적 용수량을 고려하지 않음 (작물의 소비수량만 고려) 관개효율 적용하지 않음 (소비 개념)
기준수요	한발기준 10년빈도 수요량	녹색, 청색, 회색 물발자국의 평균값
기타		증발산량과 침투량 및 잔여수분량을 구분하여 소비수와 비소비수로 구분 가능함

#### 다. 축산물의 물발자국과 축산용수 수요량 산정방법 비교

- 축산용수는 가축두수당 물사용량을 가축두수에 곱하는 원단위 방법으로 추정하며 축종은 한우, 젃소, 돼지, 닭 4종으로 선정한다. 가축두당 물수요량은 음용수량과 세정수량이며 사육방식 및 축사 형태 등에 따라 차이가 크다. 그러나 이러한 요인들을 고려한 원단위 개념의 국내 연구가 미흡한 실정이기 때문에 수자원장기종합계획에서는 국내와 비슷한 여건인 일본의 초지개발사업계획설계기준 자료를 활용하였다. 이에 따른 축종별 물수요량은 아래 표와 같이 원단위로 나타나며, 한우의 경우 약 50-60 l/두·일로 나타난다.

- 축산물의 물발자국은 직접수와 간접수를 포함한다. 직접수는 축산용수 수요량과 동일하게 음용수와 세정수를 의미하고, 간접수는 사료작물을 재배하기 위한 물발자국을 의미한다. 본 연구에서는 국내외의 다양한 기초자료를 수집하여 적용하였다. 특히 축산용수는 가축두수에 의한 용수량으로서 실제 육류 소비를 나타내기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 물발자국은 도축시 지육량을 적용하기 때문에 실제 소비되는 육류량에 따른 물 소비량을 제시할 수 있다. 이와 같은 점은 추후 식품소비와 물 소비의 연계자로서 물발자국이 활용 가능성을 시사해준다. 또한 축산부분을 증대할 경우 단순히 가축두수의 증가에 따른 축산용수 뿐 아니라 본 물발자국의 간접수인 사료작물 재배에 의한 물발자국을 동시에 고려할 필요가 있다. 비록 실제 가축이 소비하는 수량은 아니지만 가축을 기르기 위해서는 사료가 필수요소이며 사료작물을 공급하기 위해서는 재배를 위한 농업용수가 소비되기 때문이다.
- 수자원 장기종합계획의 축산용수 원단위 값을 도축시 지육량과 육종별 생육기간을 고려하여 가상수의  $m^3/ton$  단위로 전환하고 본 연구의 물발자국 중 직접수 산정결과와 비교하였다. 한우의 경우 최소  $31.5m^3/ton$ 에서 최대  $56.1m^3/ton$  까지 차이가 나타났고, 돼지의 경우 가장 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같은 차이는 수자원 장기종합계획의 경우 일본의 자료를 바탕으로 산정되었고, 본 연구는 국내 자료 및 다양한 국외 자료를 바탕으로 산정되었기에 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 그러나 축산물의 물발자국은 사료작물에 의한 간접수가 대부분을 차지하기 때문에 본 차이는 총 물발자국과 비교할 때 작은 것으로 판단된다.

(표 7) 수자원 장기종합계획의 물수요량 및 축산물의 물발자국 비교

구 분		한우(비육우)	돼지	닭
가축두당	l/두*일	50-60	20-30	0.3-1
물수요량	$m^3/ton$	122.7-147.3	68.2-102.3	10.5-35.0
직접수의 물발자국 ( $m^3/ton$ )		91.2	129.7	7.6

### 제3절 주요 농축산물 물발자국 산정

#### 1. 농산물 기초자료 조사

- 농산물의 물발자국을 산정하기 위해서는 먼저 작물필요수량 산출시 우리나라에 적합한 영농시기, 생육기간, 작물계수 등을 적용할 필요가 있다. 또한 산출된 필요수량을 적용하여 물발자국을 산정하기 위해서는 작물 생산량, 재배면적과 같은 기초 통계자료 역시 필요하다.
- 본 연구에서는 작물 기초데이터인 작물생산량, 재배면적 등은 국내의 최근 통계자료를 활용하고, 각 작물의 생육 기간, 파종 시기 및 수확 시기는 농촌진흥청 품목별 관리 매뉴얼(농촌진흥청, 2009)을 참조하여 국내 실정에 적합한 산정모형을 개발하고자 하였다.
- 통계청 (kosis.kr)의 농작물생산통계, 주요작물 생산동향, 농업면적 통계 자료에서 제공하는 농작물과 농업진흥청에서 발간하는 표준 영농교본 등을 조사하여 논벼와 주요 밭작물 43종을 선정하였다.
- 작물 기초통계자료 및 영농방식 조사의 경우 작물 통계자료 (생산량, 재배면적 등)는 농림수산식품부 통계연보(2001-2010), 영농 기초자료 (영농시기, 생육기간 등)는 농촌진흥청 품목별 관리매뉴얼(농촌진흥청, 2009), 작물계수는 논벼의 경우 유승환 등 (2008) 연구 결과를 활용하였으며 밭작물의 경우 FAO (1998) 보고서를 활용하였다.

(표 8) 국가통계포털 제공 주요 작물

국가통계포털 제공 주요 작물 중 대상 작물 (43종)	
식량작물	미곡 : 논벼 맥류 : 보리 (겉보리, 쌀보리, 맥주보리), 밀, 호밀 두류 : 콩(대두), 팥, 녹두, 기타 (강낭콩, 완두, 동부 등) 잡곡 : 옥수수, 메밀, 수수, 조, 기타잡곡 서류 : 고구마, 감자 (봄감자, 고랭지감자, 가을감자)
채소	과채류 : 수박, 참외, 딸기, 오이, 호박, 토마토 엽채류 : 배추 (봄배추, 김장배추), 양배추, 시금치, 상추 근채류 : 무 (봄무, 김장무), 당근 조미채소 : 고추, 마늘, 파, 양파, 생강 시설채소 : 수박, 참외, 딸기, 오이, 호박, 토마토, 고추, 무, 배추, 시금치, 상추
과수	사과, 배, 복숭아, 포도, 감귤, 감, 자두, 기타과수
특용작물	참깨, 들깨, 땅콩, 유채

(표 9) 논벼 지역별 기초 통계자료 (2001-2010)

지역	생산량 (ton/yr)	생산량 비율 (%)	재배면적 (ha/yr)	재배면적 비율 (%)	단위면적당 생산량 (ton/ha)
강원	272,505	4.2	43,093	4.4	6.3
경기	687,045	10.7	107,313	11.0	6.4
경남	596,657	9.3	93,535	9.6	6.4
경북	860,072	13.3	128,885	13.2	6.7
전남	1,238,127	19.2	199,555	20.4	6.2
전북	1,003,159	15.6	144,684	14.8	6.9
충남	1,170,155	18.2	165,968	17.0	7.1
충북	348,526	5.4	53,117	5.4	6.6
기타	270,292	4.2	42,950	4.4	6.3
합계	6,446,538	100.0	979,101	100.0	6.6

【주】 기타 : 서울, 6개광역시, 제주도

(표 10) 논벼 영농시기 (농촌진흥청, 2009)

지역	이앙기간	이앙용수량	최대담수심	관개종료일
중부	5월 21일 - 5월 31일	140	70	9월 10일
남부	6월 1일 - 6월 10일	140	70	9월 20일

(표 11) 논벼의 작물계수 (Yoo et al., 2008)

작물 계수	이앙전	이앙후											
		10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일	120일
	0.78	0.78	0.97	1.07	1.16	1.28	1.45	1.50	1.58	1.46	1.45	1.25	1.01

(표 12) 발작물의 기초 통계자료 (2001-2010)

작 물	재배면적 (ha)			생산량 (ton/yr)	단위면적당 생산량 (ton/ha/yr)		
	노지재배	시설재배	총 면적				
식량작물	보리	60,010	0	60,010	243,744	4.1	
	맥류	밀	3,602	0	3,602	12,041	3.3
		호밀	6	0	6	13	2.1
	두류	대두	81,380	0	81,380	130,766	1.6
		팥	6,057	0	6,057	6,470	1.1
		녹두	1,757	0	1,757	1,859	1.1
		기타두류	5,989	0	5,989	7,842	1.3
	서류	고구마	1,587	0	1,587	2,352	1.5
		감자	16,177	0	16,177	74,405	4.6
	기타곡류	수수	1,579	0	1,579	1,863	1.2
옥수수		3,994	0	3,994	5,606	1.4	
조		17,268	0	17,268	310,335	18.0	
메밀		2,603	0	2,603	2,696	1.0	
기타잡곡		23,868	0	23,868	632,285	26.5	
채소류	수박	4,444	17,566	22,011	820,317	37.3	
	참외	317	6,844	7,161	228,085	31.9	
	과채류	딸기	293	6,750	7,043	205,923	29.2
		오이	1,222	4,586	5,807	393,289	67.7
		호박	5,940	3,428	9,368	311,099	33.2
		토마토	183	5,336	5,518	356,564	64.6
	근채류	무	25,189	4,604	29,793	1,407,954	47.3
		당근	2,985	0	2,985	111,924	37.5
	엽채류	배추	35,686	3,760	39,446	2,508,992	63.6
		양배추	5,442	0	5,442	295,720	54.3
시금치		3,615	2,899	6,515	104,989	16.1	
	상추	1,279	4,612	5,891	166,411	28.2	
조미채소	고추	62,646	0	62,646	376,242	6.0	
	마늘	29,815	0	29,815	359,574	12.1	
	파	18,123	2,091	20,214	535,189	26.5	
	양파	16,805	0	16,805	1,064,514	63.3	
	생강	1,886	0	1,886	22,706	12.0	
과수류	사과	28,159	0	28,159	419,575	14.9	
	배	21,167	0	21,167	411,103	19.4	
	복숭아	14,255	0	14,255	187,174	13.1	
	포도	21,448	0	21,448	363,222	16.9	
	감귤	22,774	0	22,774	654,337	28.7	
	감	29,159	0	29,159	344,985	11.8	
	자두	6,003	0	6,003	68,132	11.4	
	기타과수	19,995	0	19,995	120,236	6.0	
특용작물	유채	1,017	0	1,017	1,201	1.2	
	참깨	34,179	0	34,179	18,911	0.6	
	들깨	27,750	0	27,750	23,966	0.9	
	땅콩	4,028	0	4,028	8,784	2.2	

(표 13) 밭작물 작물계수 및 영농시기 (FAO, 1998, 농촌진흥청, 2009)

작 물	작물계수			생육기간 (일)	재배시작일		
	초기	중기	말기				
식량 작물	맥류	보리	0.30	1.15	0.25	243	10월 1일
		밀	0.40	1.15	0.30	243	10월 1일
		호밀	0.30	1.15	0.25	335	10월 15일
	두류	대두	0.40	1.15	0.50	173	5월 1일
		팥	0.40	1.15	0.35	132	6월 1일
		녹두	0.40	1.15	0.35	152	5월 11일
		기타두류	0.40	1.15	0.35	110	4월 15일
	서류	고구마	0.30	1.00	0.55	153	5월 1일
		감자	0.30	1.20	0.50	163	4월 1일
	기 타 곡 류	수수	0.30	1.15	0.40	90	5월 15일
		옥수수	0.30	1.15	0.40	90	5월 15일
		조	0.50	1.15	0.65	215	3월 1일
		메밀	0.30	1.15	0.40	91	4월 11일
		기타잡곡	0.50	1.15	0.75	122	3월 1일
채 소 류	과채류	수박	0.40	1.05	0.75	160	2월 11일
		참외	0.50	0.85	0.60	120	5월 1일
		딸기	0.40	0.85	0.75	230	9월 21일
		오이	0.60	1.00	0.75	220	10월 21일
		호박	0.50	0.95	0.75	180	2월 1일
		토마토	0.60	1.15	0.80	140	11월 21일
	근채류	무	0.70	1.05	0.95	130	7월 11일
		당근	0.70	1.05	0.95	140	7월 1일
	엽채류	배추	0.70	1.05	0.95	120	7월 21일
		양배추	0.70	1.05	0.95	140	7월 1일
시금치		0.70	1.00	0.95	50	2월 1일	
상추		0.70	1.00	0.95	100	5월 1일	
조 미 채 소	고추	0.70	1.05	0.95	250	2월 1일	
	마늘	0.70	1.00	0.70	190	5월 21일	
	파	1.00	1.00	0.30	230	3월 21일	
	양파	0.70	1.05	0.75	290	8월 21일	
	생강	0.70	1.00	0.70	210	4월 21일	
과수류	사과	0.60	0.95	0.75	365	1월 15일	
	배	0.60	0.95	0.75	365	1월 15일	
	복숭아	0.60	0.95	0.75	365	1월 15일	
	포도	0.40	0.85	0.40	205	3월 1일	
	감귤	0.70	0.65	0.70	365	1월 15일	
	감	0.60	0.95	0.75	365	1월 15일	
	자두	0.60	0.95	0.75	365	1월 15일	
	기타과수	0.60	0.95	0.75	365	1월 15일	
특용작물	유채	0.35	1.15	0.35	180	5월 15일	
	참깨	0.35	1.10	0.25	110	6월 15일	
	들깨	0.35	1.15	0.35	130	4월 15일	
	땅콩	0.40	1.15	0.60	204	4월 11일	

## 2. 농산물의 물발자국 산정

- 물발자국은 단위 생산량당 작물의 소비수량으로서 작물필요수량에 의한 물사용량과 생산량을 활용하여 산정하게 된다. 이와 같은 물발자국은 시기와 지역에 따라 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 최근 10년(2001-2010)의 지역별 물발자국을 산정하였다. 지역별로 물발자국의 차이를 반영하기 위하여 각 지역별 생산량에 의한 가중평균을 실시하여 국가 물발자국으로 산정하고, 각 작물별 노지재배와 시설재배를 구분하여 녹색과 청색 물발자국을 산정하였다. 특히 밭작물의 물발자국의 물발자국은 작물이 소비하는 개념이므로 본 연구에서는 토양내에 축적되는 수분량을 고려하지 않고 증발산량에 의한 필요수량만을 고려하여 물발자국을 산정하였다.
- 국내 논벼 녹색 물발자국의 가중 평균은 305.9 m<sup>3</sup>/ton, 청색 물발자국은 500.4 m<sup>3</sup>/ton, 회색 물발자국은 49.1 m<sup>3</sup>/ton으로 산정되어, 전체 물발자국은 855.4 m<sup>3</sup>/ton이었다. 지역별로 살펴보면 충남 지역의 물발자국이 791.9 m<sup>3</sup>/ton로 가장 적은 값을 보였고, 기타 지역을 제외하고 전남 지역 이 924.4 m<sup>3</sup>/ton로 분석되었다. 논벼의 물발자국에 해당하지는 않지만 논벼 1톤을 생산하기 위하여 필요한 침투량 및 잔여수분량은 각각 238.7 m<sup>3</sup>/ton과 620.8 m<sup>3</sup>/ton이었다.
- 국내의 밭작물의 물발자국 산정결과를 살펴보면 먼저 식량작물은 주로 노지에서 재배되기 때문에 녹색 물발자국만이 산정되었으며 두류의 평균 물발자국은 약 3,288 m<sup>3</sup>/ton으로 맥류(1,199 m<sup>3</sup>/ton), 기타잡곡(2,131 m<sup>3</sup>/ton) 등과 비교하여 단위 생산량당 가장 많은 물이 소모되는 것으로 나타났다.
- 채소류의 경우 시설재배와 노지재배가 혼합되어 있기 때문에 녹색과 청색 물발자국이 각각 산정되었으며, 특히 과채류의 경우 청색 물발자국이 많은 것으로 나타났다. 채소중 조미채소의 평균 물발자국은 약 482 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났고, 이 중에서 고추의 물발자국이 1,133 m<sup>3</sup>/ton으로 타 작물들과 비교하여 상당히 큰 것으로 나타났다.

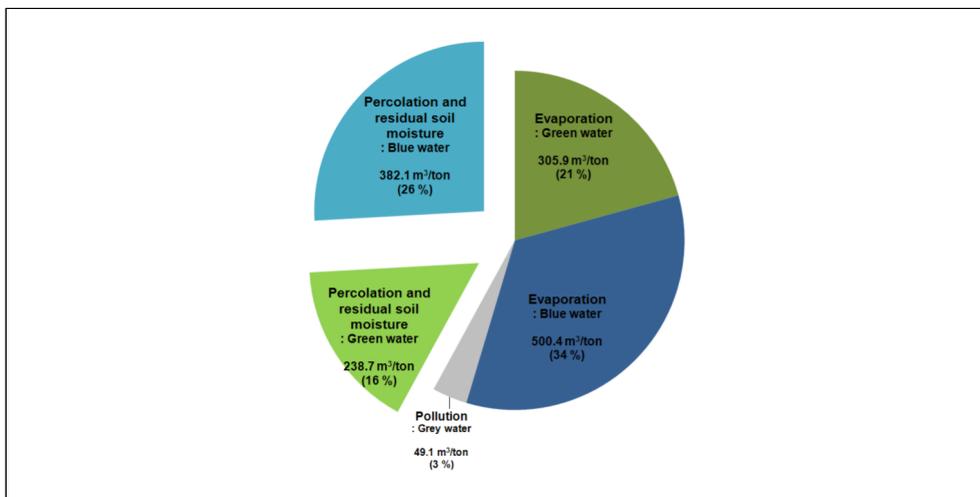
- 과수류와 특용작물 역시 노지에서 주로 재배가 이루어지기 때문에 녹색 물발자국만이 산정되었고, 이중 참깨, 들깨와 같은 특용작물의 물발자국은 각각 5,557 m<sup>3</sup>/ton, 4,550 m<sup>3</sup>/ton으로 단일작물 중에서 단위 생산량당 가장 많은 물을 소비하는 것으로 산정되었다.

(표 14) 논벼의 지역 및 국가 물발자국 (2001-2010)

(단위: m<sup>3</sup>/ton)

지역	물발자국 (증발산량 +오염 회석량)				침투량 및 토양 잔여수분량			합계
	Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Total	
강원	310.0	486.8	51.1	847.9	265.1	407.0	672.1	1,520.0
경기	346.6	486.8	50.5	883.8	270.9	369.7	640.6	1,524.4
경남	316.3	516.4	50.7	883.3	243.6	398.5	642.0	1,525.4
경북	274.7	511.1	48.4	834.2	222.6	405.8	628.3	1,462.6
전남	317.3	555.0	52.1	924.4	234.0	402.7	636.7	1,561.1
전북	289.3	463.7	46.6	799.7	226.0	357.4	583.4	1,383.1
충남	291.5	454.5	45.8	791.9	236.8	358.7	595.5	1,387.4
충북	321.7	503.1	49.3	874.1	248.5	368.8	617.4	1,491.4
기타 <sup>1)</sup>	353.9	611.0	55.2	1,020.1	249.3	420.0	669.3	1,689.4
평균 <sup>2)</sup>	305.9	500.4	49.1	855.4	238.7	382.1	620.8	1,476.2

【주】 기타<sup>1)</sup> : 서울, 6개광역시, 제주도      평균<sup>2)</sup> : average based on weighted production data

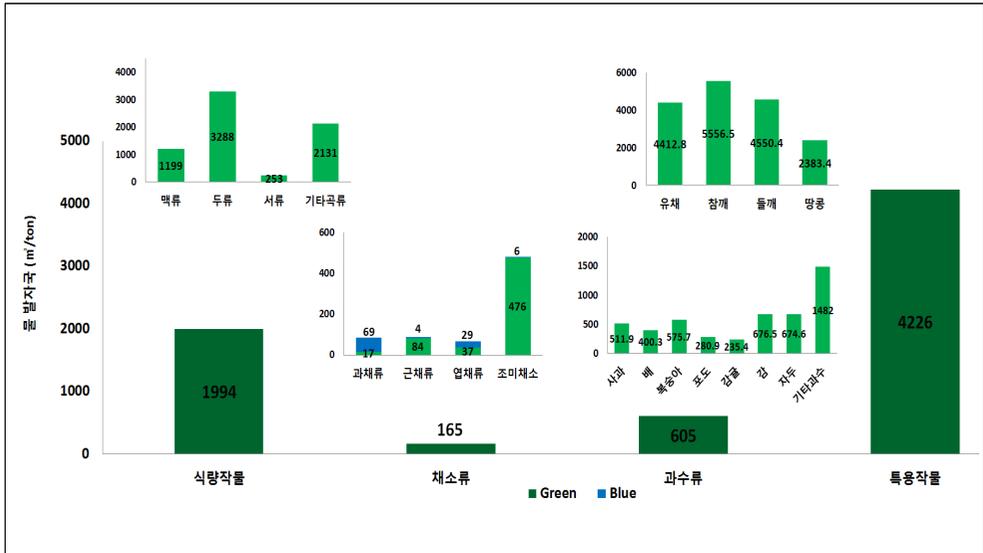


<그림 8> 논벼의 국가 물발자국 (2001-2010)

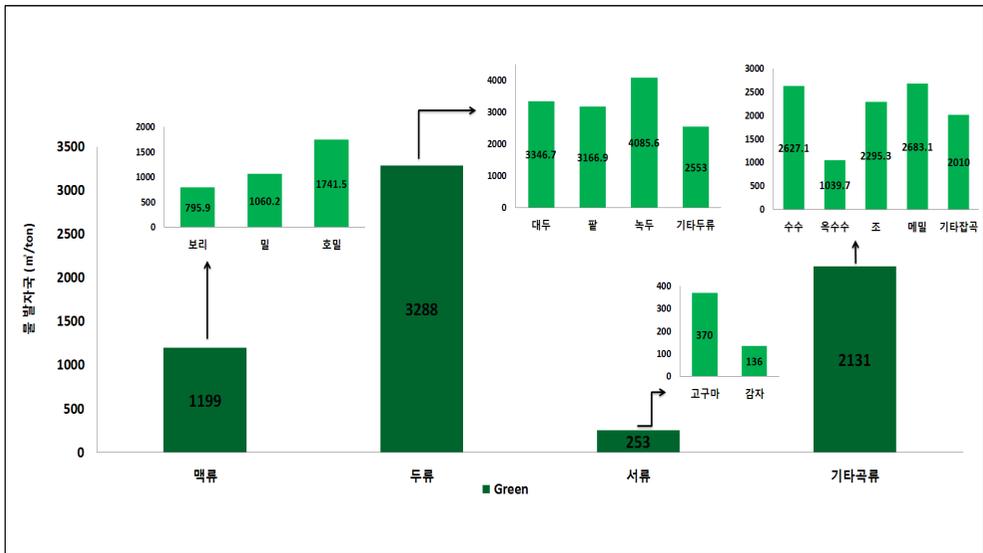
(표 15) 주요 농산물의 물발자국 산정 결과

(단위: m<sup>3</sup>/ton)

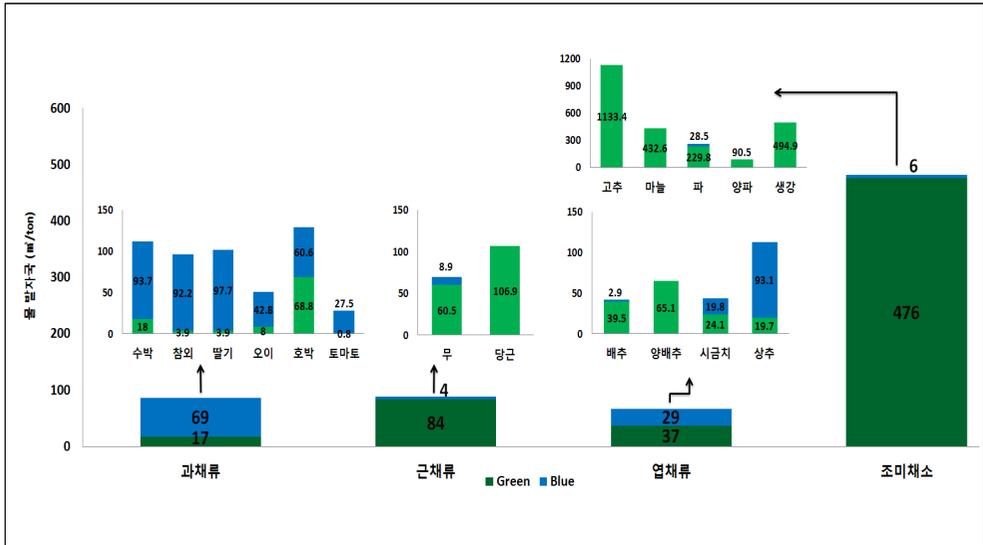
작 물		물발자국	작 물		물발자국		
논벼		855.4 <sup>1)</sup> 1476.2 <sup>2)</sup>	1) 이앙용수량 및 침투량 제외 2) 이앙용수량 및 침투량 포함				
식 량 작 물	맥류	보리	795.9	채 소 류	배추	42.4	
		밀	1,060.2		엽 채	양배추	65.1
		메밀	2,683.1		류	시금치	43.9
		호밀	1,741.5		채	상추	112.9
	두류	대두	3,346.7	조미 채소	고추	1133.4	
		팥	3,166.9		마늘	432.6	
		녹두	4,085.6		파	258.3	
		기타두류	2,553.0		양파	90.5	
	기타 곡류	수수	2,627.1	생강	494.9		
		옥수수	1,039.7	사과	511.9		
		기타잡곡	2,010.0	배	400.3		
	서류	고구마	370.0	복숭아	575.7		
		감자	135.8	포도	280.9		
	채 소 류	과 채 류	수박	111.7	과수류	감귤	235.4
참외			96.1	감	676.5		
딸기			101.7	자두	674.6		
오이			50.8	기타과수	1,482.0		
근채류		호박	129.3	유채	4,412.8		
		토마토	28.4	유지류	참깨	5,556.5	
		무	69.4		들깨	4,550.4	
당근		106.9	땅콩		2,383.4		



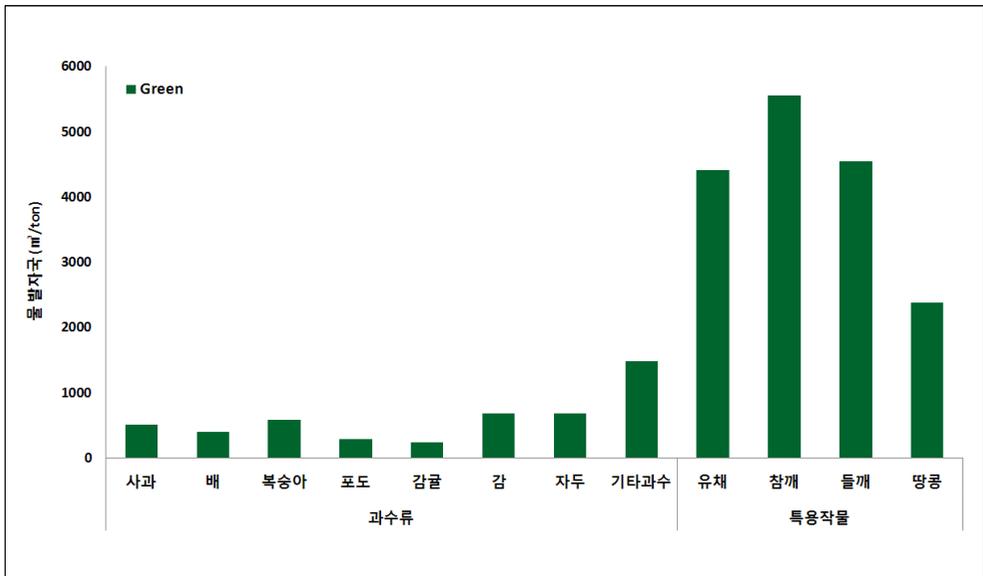
<그림 9> 발작물의 국가 물발자국 (2001-2010)



<그림 10> 식량작물의 국가 물발자국 (2001-2010)



<그림 11> 채소류의 국가 물발자국 (2001-2010)



<그림 12> 과수 및 특용작물의 국가 물발자국 (2001-2010)

### 3. 축산물의 물발자국 산정

- 본 연구에서는 한우(거세우), 돼지(비육돈), 닭(육계)의 물발자국을 산정하였다. 기초자료로서 사육 기간과 사료 급여에 대한 사양 관리는 전라남도 녹색축산육성기금 조례 시행규칙의 별표(5)를 참조하였다. 또한 축종별 지육량은 축산물 품질평가원의 연구 결과를 활용하였고, 음용수와 세척수 일일 사용량은 국내 연구자료가 부족하여 국외의 연구결과를 활용하였다. 사료 소비에 의한 간접수 산정시 사료 배합비율을 사료회사의 자료를 참조하였으며, 모든 축종에 동일하게 적용하였다. 사료내 배합된 작물들과 조사료(건초)의 물발자국은 1차년도 연구 결과 및 국외의 연구결과를 활용하였다.

(표 16) 축종별 음용수 및 세척수

Kind of animal (Farming system: Industrial)	Water from drinking		Water from servicing	
<b>Beef cattle</b>	Clave	Adult	Clave	Adult
<b>Age (month)</b>	5	36	5	36
<b>Daily consumption (l/day/animal)</b>	5.0	38.0	2.0	11.0
<b>Swine</b>	Piglet	Adult	Piglet	Adult
<b>Age (month)</b>	0.5	10	0.5	10
<b>Daily consumption (l/day/animal)</b>	1.8	14.0	5.0	50.0
<b>Broiler chicken</b>	Chick	Adult	Chick	Adult
<b>Age (week)</b>	-	10	-	10
<b>Daily consumption (l/day/bird)</b>	0.02	0.18	0.01	0.09

Sources: WUR (2002), FAO (2002), USDA (1998;2002), Pallas (1986), Irwin (1992), Alverta (1996,2000), AAFC (2000), Gregorica (2000), Jermar (1987), Kammerer (1982), Kollar and MacAuley (1980), US-AEP (2002), World Bank (1996), NCDENR (2002), NDSU (1992), UMCE (2002), Looper and Waldner (2002), and Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2003)

(표 17) 축종별 생체 대비 지육량

구 분	한우 (비육우) <sup>1</sup>		돼지 <sup>2</sup>		닭 <sup>3</sup>	
	생체	지육	생체	지육	생체	지육
중량 (kg)	702	435.2	114	87.8	2.452	1.742

<sup>1</sup>축산물품질평가원, 식육포장처리업체 5개소 조사결과('09~'10.3) 및 '12.7~8월 유통실태조사 결과 감안

<sup>2</sup>축산물품질평가원, 2004년 국립축산과학원 자료를 기초로 최근 출하평균체중(114kg)을 감안하여 보정한 값

<sup>3</sup>닭도체 각 호수별 등급별 부위별 수율조사, 2005년도 현장연구보고서, 축산물품질평가원

(표 18) 축종별 사육기간 및 사료작물 급여량

축종	자축	중축	성축	합계
<b>한우 (거세우)</b>				
월령	10 (3-12개월)	10 (13-22개월)	7 (23-26개월)	27
배합사료 급여량 (kg/일)	3	10	10	23
조사료(건초) 급여량 (kg/일)	5	2	1	8
<b>돼지 (비육돈)</b>				
주령	7 (0-6주령)	9 (7-15주령)	11 (16-26주령)	27
배합사료 급여량 (kg/일)	0.75	1.80	2.65	5.20
<b>닭 (육계)</b>				
주령	3 (0-2주령)	2 (3-4주령)	2 (4-6주령)	7
총 배합사료 급여량 (g/일)	20.5	85.0	180.7	84.5

Sources: 전라남도 녹색축산육성기금 조례 시행규칙의 별표(5)

(표 19) 사료작물의 배합비율 및 물발자국

Feed crops	Mixing ratio (%)	Water footprint (m <sup>3</sup> /ton)
Maize	36.0	1,039.7
Wheat	17.0	1,060.2
<b>Formula</b>		
Rice straw	1.9	1,060.6
<b>feed</b>		
Soybean meal	14.2	2,796.0
Palm&Rapeseed residues	9.1	876.0 <sup>1</sup>
Others (Molasses etc.)	9.5	182.0 <sup>1</sup>
<b>Forage (Dry hay)</b>	-	494 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010)

<sup>2</sup> Hoekstra A.Y. and Hung P. Q. (2002)

- 한우(비육우)의 물발자국을 산정하기 위하여 사육 기간과 사료 급여에 대한 사양관리는 전라남도 녹색축산육성기금 조례 시행규칙의 별표를 참조하였다. 또한 한우 1마리당 도축시 지육 무게는 축산물 품질평가원의 연구 결과를 활용하였다.
- 돼지(비육돈)의 물발자국을 산정하기 위하여 사육기간은 6.2개월로 설정하였고, 사료 급여에 대한 사양관리는 농촌진흥청의 비육돈 사양관리 자료를 참조하였다. 또한 비육돈 1마리당 도축시 지육 무게는 축산물 품질평가원의 연구 결과를 활용하였다.
- 닭(육계)의 물발자국을 산정하기 위하여 사육기간은 1.6개월로 설정하였고, 사료 급여에 대한 사양관리는 농촌진흥청의 가금 사양관리 자료를 참조하였다. 또한 닭 1마리당 도축시 지육 무게는 축산물 품질평가원의 연구 결과를 활용하였다.
- 각 축산물의 1마리당 일일 음용수와 세척수 사용량은 국내 연구자료가 부족하여 국외의 연구결과를 활용하였다.
- 사료 소비에 의한 비육우 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 2,283.2 m<sup>3</sup>/animal, 소맥류 1,099.4 m<sup>3</sup>/animal, 대두박 2,421.9 m<sup>3</sup>/animal으로 산정되었고, 지육량 440 kg을 적용한 비육우의 지육에 대한 사료소비에 의한 간접수 사용량은 약 17,645.5 m<sup>3</sup>/ton으로 산정되었다. 음용수와 세척수, 사료 소비에 의한 간접수를 총 합산한 비육우의 국내 물발자국 산정결과 약 17,736.7 m<sup>3</sup>/ton 으로 나타났다.
- 사료 소비에 의한 비육돈 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 132.6 m<sup>3</sup>/animal, 소맥류 63.8 m<sup>3</sup>/animal, 대두박 140.6 m<sup>3</sup>/animal으로 산정되었고, 지육량 87.8 kg을 적용한 비육돈의 지육에 대한 사료소비에 의한 간접수 사용량은 약 4,311.4 m<sup>3</sup>/ton으로 산정되었다. 음용수와 세척수, 사료 소비에 의한 간접수를 총 합산한 비육돈의 국내 물발자국 산정결과 약 4,441.4 m<sup>3</sup>/ton 으로 나타났다.
- 사료 소비에 의한 준육용계 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 1.6 m<sup>3</sup>/bird, 소맥류 0.7 m<sup>3</sup>/bird, 대두박 1.6 m<sup>3</sup>/bird으로 산정되었고, 지육량 1.74 kg을 적용한 준육용계의 지육에 대한 사료 소

비에 의한 간접수 사용량은 약 2,541.1 m<sup>3</sup>/ton으로 산정되었다. 음용수와 세척수, 사료 소비에 의한 간접수를 총 합산한 준육용계 지육의 국내 물발자국 산정결과 약 2,548.7 m<sup>3</sup>/ton 으로 나타났다.

- 우리나라의 축산 가상수는 국외 연구결과와 비교하여 크게 산출되었는데 이는 배합사료의 비율 등의 사료 소비량의 차이에 의한 것으로 판단된다.

(표 20) 축산물의 물발자국 산정 결과

(단위 : m<sup>3</sup>/ton)

Animal	Water from			Water footprint	
	drinking	servicing	feeding	This study	Reference
<b>Beef cattle</b>	70.6	20.6	17,645.5	17,736.7	10,586.0 <sup>1</sup>
<b>Swine</b>	28.4	101.3	4,311.4	4,441.1	2,802.0 <sup>1</sup>
<b>Broiler chicken</b>	5.1	2.5	2,541.1	2,548.7	1,849.0 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hoekstra A.Y. and Hung P. Q. (2002)

## 제4절 산업연관표를 활용한 물발자국 DB 구축

### 1. 물발자국 데이터베이스 구축 방법

- 직접수 사용량을 용수원별, 사용형태별로 산정하고, 한국은행에서 제공하는 산업연관표중 투입계수를 이용하여 총용수량을 산정하였다. 용수사용량은 수원별로 지표수, 지하수, 재이용수, 강우로 구분하여 산정하고, 사용형태별로 소비수와 이용수, 녹색과 청색수를 구분하여 산정하여 DB를 구축하였다.
- 물사용강도 (Water use intensity), 즉 물발자국 인벤토리는 단위 재화/서비스를 생산하는데 필요한 용수량으로 나타내기 위해 국내총생산량으로 나누어 물사용강도를 산정하였다.

$$E = d \times (I-A)^{-1}$$

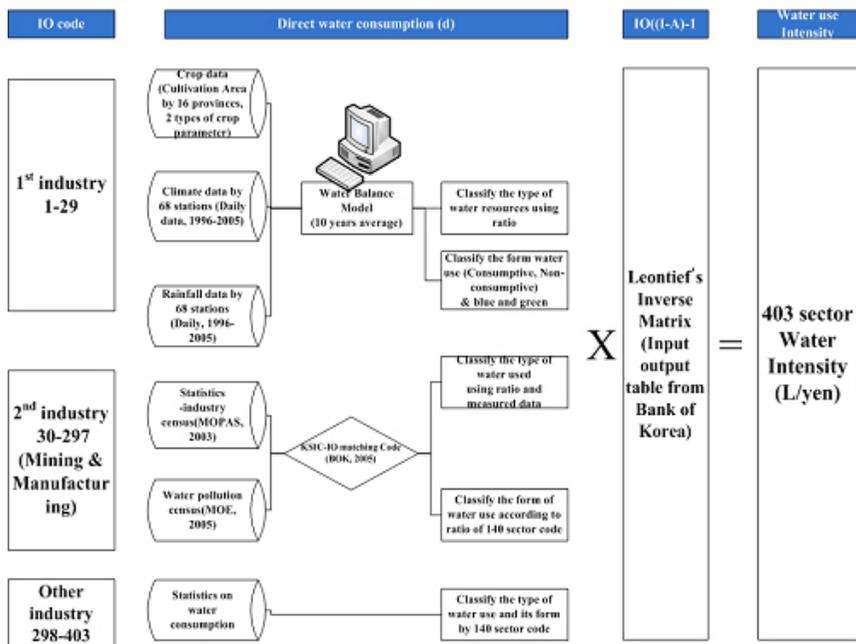
- ※ 여기서, E : 총물사용강도(m<sup>3</sup>/백만원),  
d : 직접수 사용량 (m<sup>3</sup>),  
I : 단위행렬,  
(I-A)<sup>-1</sup> : 레온티프행렬,  
A : 투입계수

- 산업연관표를 활용한 물발자국 인벤토리 데이터베이스 구축 절차는 다음과 같다.
  - (1) 분야별 직접수 사용량 산정
  - (2) 산정결과와 산업연관분석표상의 산업분류 기준이 상이하므로 한국산업분류기준코드(KSIC)에 맞게 용수 할당
  - (3) 한국은행에서 제공하는 투입계수, 레온티프 역행렬, 산업코드 별 국내총생산량(GDP)자료를 이용해서 총 물사용량과 사용량 원단위 계산
  - (4) 산정된 총사용량 혹은 총 물사용강도에서 직접수를 차감하여 간접수 산정

- 간접수란 “제품생산과정에서 숨겨 있는 물로 공급망에서 소비되거나 이용되는 물을 의미한다”. 소비수(Consumptive water)는 작물에 의해 이용되는 증발산량, 산업공정에서 제품에 포함된 원료수, 사용된 후 타유역으로 배출되는 물을 소비수로 나머지는 이용수(Non-consumptive, 혹은 비소비수)로 분류하여 산정하였다(Hoekstra et al., 2011). 아래 식은 물사용 형태별 관계식을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
 TWU &= WU_{con} + WU_{non-consumptive} \\
 &= WU_d + WU_{ind}
 \end{aligned}$$

※ 여기서, TWU : Total water use,  $WU_{con}$  : Consumptive water use,  
 $WU_{non-con}$  : Non-consumptive water use,  
 $WU_d$  : Direct water use,  
 $WU_{ind}$  : Indirect water use



<그림 13> 산업연관표를 이용한 DB 산정 절차

## 2. 직접수 산정 방법

- 주요 농작물에 대한 직접수는 앞 절에서 기술한 바와 같이 산정된 물발자국 값으로 적용하였다.
- 작물이외에 육림용수량은 목재생산 산림면적에 단위소비수량인 640mm를 곱하여 산정하였다. 여기서 산림면적은 생산에 기여하는 1.46 백만 ha만을 적용하였는데 이는 전체 산림 면적중 경제림이 2.92 백만 ha이고, 이중 목재생산과 관련된 면적은 50%로 추정하였다(원현규 등, 2011).

$$WU_{forest} = Ae \times ETc \times 10$$

※ 여기서,  $WU_{forest}$  : 목재생산 물사용량,

$Ae$  : 목재용 산림면적(1.46 백만 ha, 경제림의 50%로 가정)

- 수산양식 용수량은 국내 물사용량 통계가 없으므로 양식방식별 면적과 물사용 계수를 이용하여 추정하는 방법을 제안하고 있으므로 다음과 같이 용수량을 추정하였다(Lovelac, 2009).

(표 21) 내수면 양식 물사용량 추정

Class	Total	Watershed cage	Waterway	Recirculation	Pond	Other
Water use (mill m <sup>3</sup> )	5,597.90	1.3	5,367.00	137	37.5	55.1
Blue	229.6	-	-	137	37.5	55.1
Green	5,368.30	1.3	5,367.00	-	-	-
Surface	5,578.40	1.3	5,367.00	137	18	55.1
Groundwater	19.5	-	-	-	19.5 <sup>3)</sup>	-
Area(1,000m <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>	11,428.80	130.8	3,577.00	307	2,277.00	3,347.00
Basic unit (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> , m) <sup>2)</sup>		10.0m (5-15m)	1,500.0 (1,000-3,000)	54.2	16.5 (1.8-54.2)	16.5 (1.8-54.2)

1) : MOE (2006). 2006 Water pollution survey, pp. 78 (in Korean)

2) : Kwon, O.S., Yoo, D., Park, S.M., Park, H. and Park, W. (2001). A study on the establishment of effluent guidelines for aquaculture facility. National Institute of Environment Research pp. 46 (in Korean)

3) : MOCT (2006). 2006 Statistics of groundwater use (in Korean)

- 공업용수량은 2003년 산업총조사자료 (통계청, 2004) 와 2005년 전국 오염원 조사 자료 (환경부, 2006)를 활용하였으며, 수집된 자료는 용수원별 사용용도별로 구분되어 있으며 이중 보일러수와 제품용수를 소비수로 분류하고 나머지는 이용수로 분류하였다. 공업용수중 평균 소비수량은 8.5%로 추정되었다. 생활용수량은 전체 용수량중 FAO (2009)기준에 따라 10%만을 소비수로 간주하고 나머지는 이용수로 분류하였다. 제조업을 포함한 공업용수는 2,600 MCM, 생활용수는 7,600 MCM을 할당하였다.

### 3. 물발자국 데이터베이스 구축 결과

#### 가. 직접수 사용량

- 물사용량 산정결과 2005년 기준 총 물사용량은 43,162 MCM인 것으로 분석되었다. 농업용수 분야는 32,962 MCM, 공업용수는 2,600 MCM, 생활용수 7,600 MCM 으로 산정하였다. 공업용수와 생활용수 분야는 수자원장기종합계획(2012)과 비슷한 수치로 산정되었지만, 농업용수의 경우는 16,000 MCM에 비해 2배가량 크게 산정되었다. 이와 같은 차이는 본 연구에서는 수자원장기종합계획에는 포함되지 않은 유효수량과 수산용수 5,598 MCM 및 산림용수 9,344 MCM이 전체 용수량으로 포함되었기 때문이다.
- 수자원장기종합계획과 비교해 볼 때, 수장기 계획은 공급관점에서 필요수량을 산정하고 필요수량에 10년 가뭄빈도를 고려하여 논과 밭작물을 중심으로 산정이 이루어졌고, 이 연구는 논밭 작물과 산업연관표에 약용식물, 화훼 등과 수산, 산림용수를 모두 포함하여 산정한 결과이다. 수자원장기종합계획의 논과 밭용수를 비교한 결과, 금번 물발자국 DB 산정에 적용한 직접수 사용량은 기존 수장기 계획과 크게 차이가 없는 것으로 볼 수 있다.
- 표 22는 물사용량이 큰 상위 15개 분야를 나타낸 표이다. 표에서 보는 바와 같이 15개 중 대부분이 1차산업 농업과 관련이 있는

것을 볼 수 있다. 벼, 산림, 수산양식, 야채의 순으로 직접수 사용량이 크고, 농업분야에서는 철강, 염색 표백분야, 제강관련 산업분야가 큰 것으로 분석되었다.

(표 22) 물사용량 상위 15개 분야 (직접수)

Name of Sector	Direct water use	Type of direct water resources m <sup>3</sup> (million)				Form of direct water m <sup>3</sup> (million)		Water color m <sup>3</sup> (million)	
		Surface water	Ground water	Rain water	Reused water	Consumptive	Non-consumptive	Green	Blue
Rice	13,161	7,242	1,029	4,890	0	5,349	7,812	4,890	8,271
Barley	171	0	0	171	0	171	0	171	0
Vegetables	1,773	0	201	1,280	0	1,506	266	1,280	493
Fruits	1,187	0	0	1,187	0	1,187	0	1,187	0
Pulses	548	0	0	548	0	548	0	548	0
Potatoes	202	0	0	202	0	202	0	202	0
Oleaginous crops	269	0	0	269	0	269	0	269	0
Other feedible crops	191	0	0	191	0	191	0	191	0
Operation of timber tracts	9,344	0	0	9,344	0	9,344	0	9,344	0
Aquaculture	5,598	5,578	20	0	0	5,598	5,568	230	0
Iron ores	153	56	25	0	71	0	153	0	153
Fiber bleaching and dyeing	158	152	3	0	2	7	151	0	158
Steel ingots and semifinished products	137	121	16	0	0	1	136	0	137
Water supply	7,600	7,102	401	0	97	760	6,840	0	7,600
Nonclassifiable activities	305	256	26	0	23	34	270	0	164

- 소비수와 이용수의 비율을 보면, 벼의 경우 전체사용량의 41%가 소비수이고, 나머지 발용수는 대부분이 소비수로 산정되었다. 전체 직접 녹색수는 23,740 MCM으로 나타났고, 모두 농업분야이다. 전체 청색수는 19,282 MCM으로 분석되었으며, 이중 9,233 MCM은 1차 산업, 10,059 MCM은 2, 3차 산업에서 사용하는 것으로 분석되었다. 1차 산업에서 용수사용량이 많지만, 대부분을 차지하는 것은 녹색수(유효강우)인 것을 알 수 있으며, 이는 상대적으로 물 사용에 따른 환경영향이 크지 않을 수 있다고 해석 할 수 있다.
- 표 23은 주요 곡물의 물발자국 비교결과를 나타낸 표로 농업용수 분야에서 주목할 내용으로 벼의 물발자국은 1,907.0 m<sup>3</sup>/ton-rice이고, 밀은 1,055.5 m<sup>3</sup>/ton-wheat 로 분석되었다. 벼의 물발자국의 구성요소를 보면, 소비수 775.1 m<sup>3</sup>/ton, 이용수 1,131.9 m<sup>3</sup>/ton, 녹색수 705.5 m<sup>3</sup>/ton, 청색수 1,201.6 m<sup>3</sup>/ton로 나타냈고, 밀과 옥수수 소비수 물발자국은 각각 1,055.5 m<sup>3</sup>/ton과 1,148.4 m<sup>3</sup>/ton로 나타냈다. 이와 같은 결과는 전체 물발자국 결과만 보면, 벼의 물발자국이 크지만, 실제적으로 소비수의 물발자국은 발작물인 밀과 옥수수가 더 크다. 벼의 경우 총 물발자국은 크지만 공급된 용수가

생산을 위해 사용되는 소비수가 775.1 m<sup>3</sup>/ton (40.6%), 이용수가 1,131.9 m<sup>3</sup>/ton (59.4%)이다. 이는 생산이외의 목적, 즉 OECD 등에서 주장되고 있는 논용수의 다원적 기능인 지하수 함량, 하천유지용수 등 다양한 기능을 하고 있음을 보여주는 결과라고 할 수 있다. Maruyama and Riota (1998)와 Yamaoka (2005)의 연구에 따르면, 논 용수의 50-75%는 수자원시스템에서 하천으로 회귀하여 생산이외의 기능, 즉 지하수 충전, 하천유지 등 다원적 기능을 하는 것으로 보고하고 있어 이들 결과를 뒷받침하는 자료라고 할 수 있다.

(표 23) 주요 곡물의 물발자국

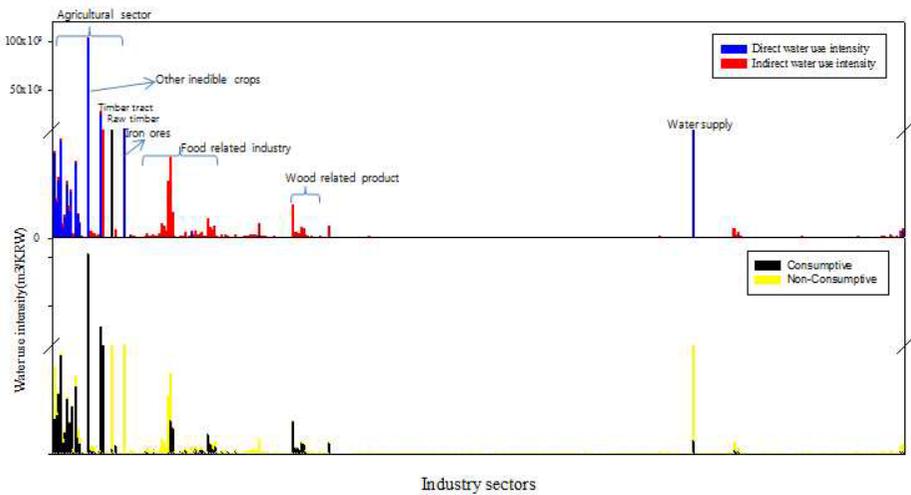
(단위 : m<sup>3</sup>/ton)

Grains	Total	Consumptive	Non-consumptive	Green	Blue
Rice paddy	1,907.0	775.1	1,131.9	705.5	1,201.6
Wheat	1,055.5	1,055.5	-	1,055.5	-
Maize	1,148.4	1,148.4	-	1,148.4	-

#### 나. 물발자국 인벤토리 (물사용강도)

- 직접수사용량 산정결과에 기초해 산업연관분석을 실시한 결과 물 사용강도 원단위를 그림과 같이 산정하였다. 그림에서 파란색은 직접수원단위를 적색은 간접수 원단위를 나타낸 것으로 농업분야와 생활용수의 경우 직접수가 대부분을 차지하는 것을 볼 수 있고, 2·3차 산업분야는 간접수의 양이 큰 것을 알 수 있다. 또한 소비수와 이용수 비율을 보면 농업분야와 철강분야에서 직접수의 사용량이 큰 것을 볼 수 있고, 2·3차 산업에서는 이용수의 비율이 큰 것을 볼 수 있다. 직접수가 큰 분야 32개중 농업분야가 16개, 광업 2개, 식품, 섬유, 정유, 상수 등이 직접수의 사용이 큰 분야이다.
- 403개 분야중 371개 산업에서 간접수의 비율이 큰 것으로 분석되었는데, 이는 전체 산업분류분야 숫자의 92.1%에 해당되며, 간접수의 적절한 관리가 전체 용수관리에서 중요하다는 것을 보여주

는 결과라고 할 수 있다. 우리나라의 경우, 물사용량을 기준으로 전체 산업분야의 56% 이상이 간접수 부분이 크고, 미국의 경우 (Blackhurst, 2010) 60% 이상이 간접수가 크다고 보고하고 있다. 호주의 경우 간접수가 8배로 보고되고 있는데 이는 직접수 산정 시 관리가능한 용수(청색수)만을 직접수로 분류하여 적게 산정하였기 때문에 이와 같이 큰 결과를 보여준 것이다.



<그림 14> 403개 산업분야 물사용 원단위 산정결과

- 표 24는 물사용강도가 큰 상위 20개 분야를 나타낸 것으로 물사용강도가 가장 큰 것은 사료작물과 같은 기타비식용작물(other inedible crop)이다. 상위 20개중 식품과 관련된 분야가 13개 이고, 벼의 경우 물사용량이 가장 많지만, 물사용강도는 1,599 m³/백만 원으로 크지 않은 것으로 나타났다. 작물의 물사용강도는 272 - 1,843 m³/백만원으로 분석되었고, 축산분야의 경우 47-125 m³/백만원으로 분석되었다. 육림의 물사용강도는 28,272 m³/백만원으로 두 번째로 높게 분석되었는데, 이는 낮은 경제적 가치 때문인 것으로 보인다.
- 물사용강도 분석결과 농업분야가 직접수 물사용강도중 직접수가 부분이 높고, 산업분야는 간접수의 비중이 큰 것으로 분석되었다.

원목분야의 간접수 강도가 큰 것으로 나타났는데 이는 대부분이 수입을 하기 때문이고, 철광석분야 또한 사용강도가 높은 것으로 조사되었지만 대부분이 간접수인 것으로 분석되었다. 육림과 관련된 목재(wood), 원목(timber) 그리고 제재업(lumber)이 물사용강도가 높은 것으로 분석되었다.

(표 24) 상위 20 분야의 물사용 원단위

Name of Sector	Water use (million m <sup>3</sup> )		Water use intensity (m <sup>3</sup> /million won)							Domestic product (mill won)
	Total water	Total water use	Direct water	Indirect water	Total cons.	Total non-cons.	Total green	Total blue		
Rice	13,356	1,599	1,574	25	649	950	594	1,005	8,361,859	
Barley	274	741	696	45	732	9	732	9	245,150	
Wheat	92	1,128	1,070	58	1,118	11	1,120	8	7,046	
Misc. cereals	149	1,848	1,826	22	1,843	4	1,844	4	62,025	
Fruits	1,238	424	414	10	417	6	418	6	2,871,554	
Pulses	683	1,045	1,005	39	1,035	10	1,034	10	544,768	
Potatoes	369	599	535	64	587	12	587	13	377,840	
Oleaginous crops	291	882	870	11	879	2	879	2	308,594	
Other edible crops	86	1,413	1,405	8	1,256	157	1,257	217	23,164	
Cotton and hemp	17	458	446	12	317	141	452	6	2,382	
Other inedible crops	265	103,263	103,249	14	103,253	10	103,255	8	1,847	
Operation of timber tracts	10,050	28,712	26,813	1,899	28,706	6	28,707	5	348,491	
Raw timber	3,533	10,016	-	10,016	10,010	6	10,011	5	133,183	
Aquaculture	6,166	4,194	3,772	421	91	4,103	4,020	174	1,484,068	
Iron ores	208	11,536	11,510	16	9	11,517	10	11,515	13,277	
Misc. processed seafoods	1,577	1,059	10	1,049	28	1,031	1,000	59	922,210	
Polished rice	12,424	1,488	0	1,487	604	884	553	835	8,585,160	
Polished barley	172	471	0	471	465	6	465	6	168,646	
Lumber	244	607	1	606	601	5	601	5	1,175,150	
Water supply	9,260	2,536	2,082	454	254	2,282	2	2,535	3,650,145	

#### 다. 물발자국 DB구축 결과

- 물발자국 개념과 산업연관분석법을 이용해 물사용량과 물사용강도를 직접수-간접수, 녹색수-청색수, 소비수-이용수를 구분하여 산정하였다. 물발자국 개념이 고려된 물사용강도는 전체적인 물사용 시스템을 파악하고 관리하는데 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구를 통해 산정된 물사용강도는 물발자국 제도 도입시 기초 데이터 베이스로 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 주요 결과를 요약하면 아래와 같다.
- 전체 물사용량의 56%는 간접수이고, 적절한 간접수의 관리는 전 과정 측면에서 중요하다고 할 수 있다.
- 농업분야의 물사용은 직접수의 비율이 크고, 산업분야의 경우 간접수의 비율이 큰 것으로 분석되었다. 농업분야의 물사용량이 직접수가 79%를 차지하며, 공업분야는 간접수의 사용량이 82%로 주를 이루는 것으로 분석되었다.

- 작물의 물사용량은 소비수가 주를 이루지만, 벼는 소비수의 양이 40.6%에 불과한 것으로 분석되었고, 이는 논용수의 경우 지하수 함량, 하천유출 등으로 반복이용되기 때문이다.
- 물사용강도가 가장 큰 것은 비식용작물(103,263m<sup>3</sup>/백만원)로 분석되었고, 잡곡이 두번째로 높게 나타났다. 물사용량은 벼가 가장 많지만, 물사용강도는 1,599m<sup>3</sup>/백만원으로 크지 않게 나타났다. 사료작물과 비식용작물은 직접수는 많지만, 경제적 가치가 매우 낮기 때문에 높은 물사용 강도를 보여주고 있다.
- 본 연구는 물발자국개념과 산업연관표를 활용한 전 산업분야의 첫 물 데이터베이스로서 몇몇 한계점과 연구를 발전시켜나가야 과제를 가지고 있다. 첫째, 평균값의 한계점으로 국내에는 지역간 산업연관표가 없으므로 농업부분의 지역간 편차는 반영할 수 없는 자료이다. 특히, 직접수의 경우 지역별 물발자국의 산정과 적용이 중요하므로 지역간 물사용강도를 개발하는 것이 필요하다. 둘째, 농업분야의 산정에 있어서 관개지역과 비관개 지역에 따라 용수 사용량이 다른 점을 고려할 때, 이번 연구에는 관개-비관개 구분 없이 전체 면적으로 벼 필요수량을 산정하였으므로 한계점을 가지고 있다고 할 수 있다. 셋째, 수원별, 용수사용형태별 구분기준에 있어서 생활용수의 경우, FAO 평균값이 10%를 소비수로 간주하였으나, 소비수의 분류기준에 대한 추가 조사·연구가 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 농업분야 중 육림 필요수량과 수산용수산정은 국내 통계자료의 부재로 원단위에 기초해 추정하였으나 불확실성이 크므로 이에 대한 불확실성 검증 또한 필요할 것으로 사료된다.

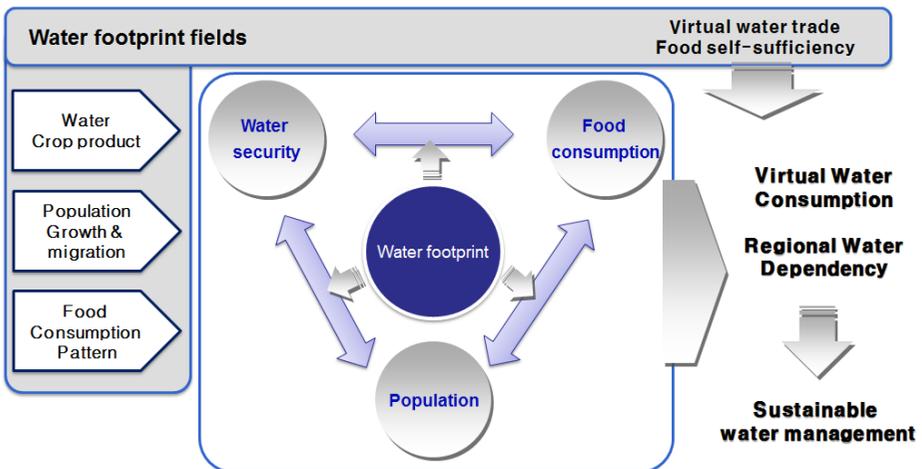
## 제3장 수자원 관리를 위한 물발자국 적용



## 제3장 수자원 관리를 위한 물발자국 적용

### 제1절 물발자국 적용 방안

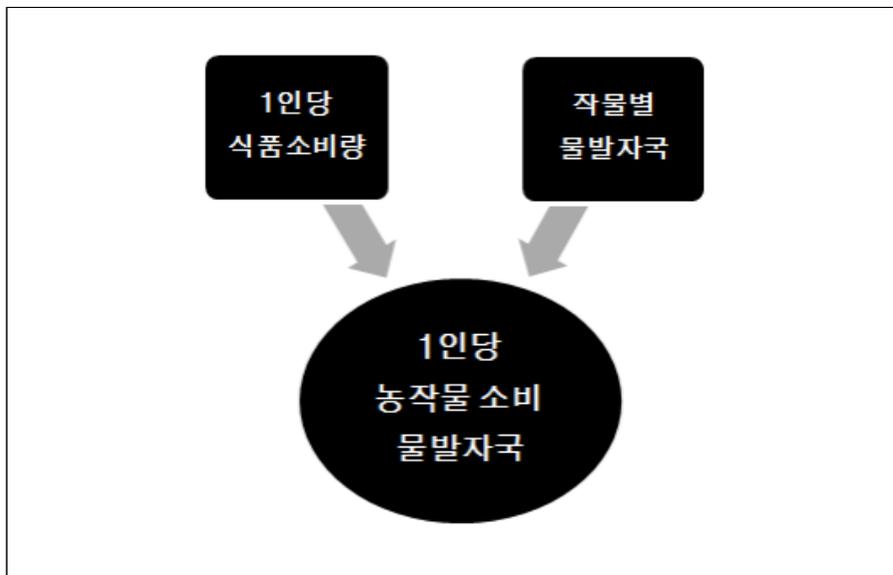
- 본 연구에서는 지속가능한 농업용수 관리를 위해 식량 정책 및 인구변화, 수자원 정책 등을 동시에 고려할 수 있는 물발자국의 적용 및 활용 방안을 제시하고자 한다. 특히, 식량 안보를 달성하기 위한 국가 정책과 농업수자원의 관계를 물발자국을 통하여 규명하고, 가상수 교역에 의한 국외 수자원 의존도를 평가하고자 한다.
  - 식량정책 변화에 따른 가상수 사용량 분석
  - 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 분석
  - 농산물 생산 및 소비에 따른 지역단위 가상수 자급을 평가
- 현재 정보 3.0이 국가 정책으로 제안되면서 물발자국은 농업 수자원의 중요한 정보를 제공하고 국민적 관심을 이끌 수 있는 수단으로 활용될 수 있다.
  - 정보 3.0에 기반한 물발자국 정보 제공
  - 주요 농·축산물의 물발자국 표시제도 운영



<그림 15> 물발자국을 고려한 지속가능한 수자원 관리

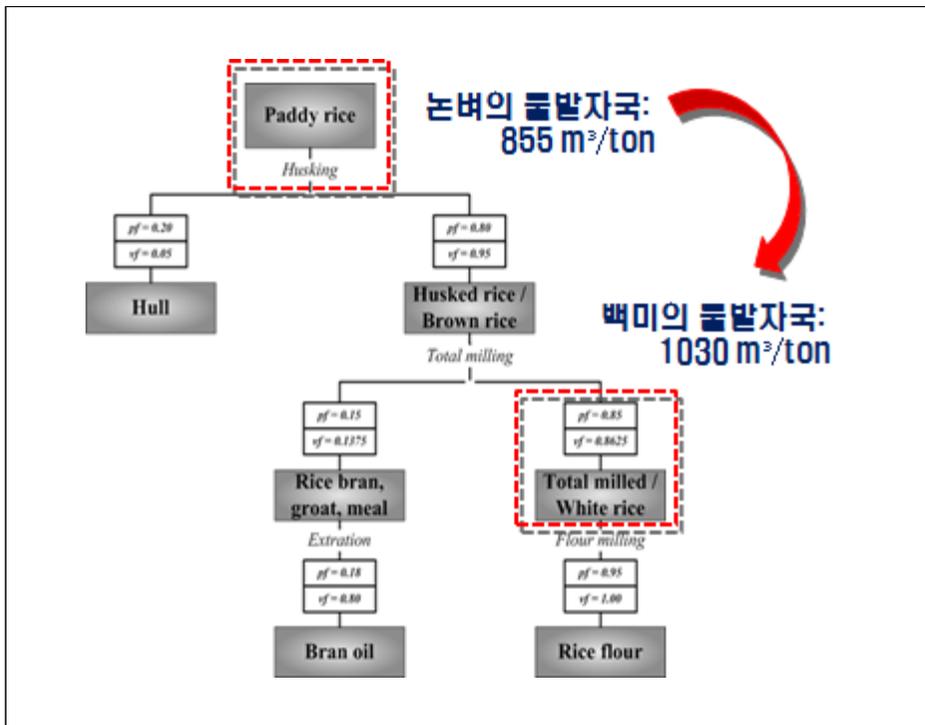
## 제2절 식품분야 가상수 사용량 변화 분석

- 물발자국은 1ton의 작물 및 육류를 생산하기 위해 사용되는 총 용수량을 의미하기 때문에 1인당 식품 소비량과 연계할 경우 식품 소비량에 따른 총 가상수 사용량을 용이하게 추정할 수 있다. 또한 곡류 및 육류의 소비 패턴변화에 따른 총 가상수 사용량의 변화를 분석할 수 있다.
- 또한 1인당 소비 칼로리와 식품별 칼로리 소비량, 물발자국을 연계하여 동일한 1 Kcal를 소비하기 위해 사용되는 가상수 사용량의 변화를 분석할 수 있다.
- 식품 소비는 식품 생산에 필요한 수자원까지 내포하고 있으므로 본 연구결과는 국민들이 손쉽게 식품소비에 따라 사용되는 가상수를 인지할 수 있고, 수자원 절약에 대한 인식을 다각적으로 확대시킬 수 있다.



<그림 16> 곡물 소비에 의한 가상수 사용량

- 본 연구에서는 논벼의 경우 식품으로 주로 소비되는 백미와 밀가루의 물발자국을 산정하여 적용하였다. 1차년도의 논벼 물발자국과 1 ton의 논벼가 백미로 가공될 때 생산되는 백미의 중량과 논벼와 백미의 가격을 적용하여 백미의 물발자국이 산정된다.
- 산정결과 백미의 경우 약 1,030 m<sup>3</sup>/ton의 물발자국이 산정되었고 이는 논벼 물발자국보다 약 150 m<sup>3</sup>/ton 많은 양으로 나타났다. 밀가루의 경우 1ton의 밀로 약 790kg의 밀가루가 생산되기 때문에 밀가루의 물발자국은 약 1,342 m<sup>3</sup>/ton로 산정되었다.
- 식품소비에 따른 가상수 사용량을 산정하기 위하여 쌀의 소비는 백미의 물발자국을 활용하였고, 밀의 소비는 밀가루를 활용하였다. 기타 작물의 경우 원작물의 물발자국을 적용하였다. 육류의 경우 정육이 주로 식품으로 소비되기 때문에 2차년도 연구결과인 도체되는 양에 대한 물발자국 산정결과를 적용하였다.

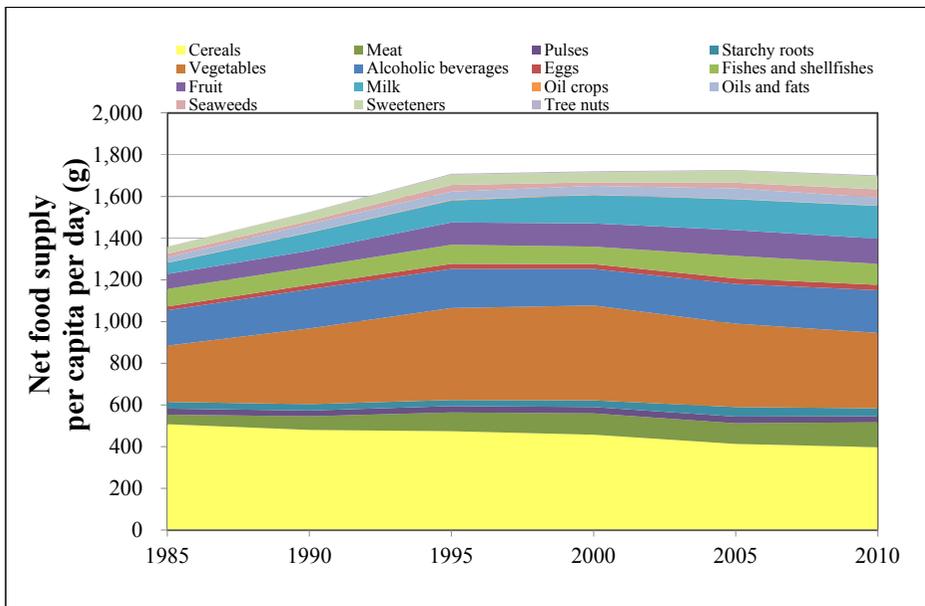


<그림 17> 백미의 물발자국 산정 과정

## 1. 국민 1인당 식품 소비 변화량

- 1인당 식품 소비량의 변화는 단순히 무게 단위의 소비량 뿐 아니라 식품을 생산하기 위하여 사용되는 다양한 자원 소비를 내포하고 있다. 특히 육류의 경우 단위 생산량 대비 곡류보다 많은 양의 가상수가 사용되기 때문에 총 식품 소비량의 감소할지라도 총 가상수 사용량은 증가할 수 있다. 또한 육류의 경우 수입산의 소비가 많기 때문에 가상수의 수입량 역시 변화하게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 곡류, 육류 및 채소류 등의 단위 가상수량을 적용하여 식품 소비패턴 변화에 따른 총 가상수 사용량의 변화를 분석하고자 한다.
- 먼저 식품수급표(한국농촌경제연구원, 2013)의 1인당 1일 식품 소비량 자료에 따르면 1985년 곡류, 육류 및 채소류 등에 의해 약 1인당 약 1,359.3 g의 식품을 소비하는 것으로 나타났다. 식품소비량은 2005년까지 지속적으로 증가하여 최대 1,726.7 g을 소비하는 것으로 나타났으며 2010년에는 소폭 감소하여 약 1,700.3 g의 식품이 소비되는 것으로 나타났다.
- 총 식품 소비량을 세부 항목별로 살펴보면 곡류의 소비량은 1985년 507.9 g/cap/day에서 2010년 397.5 g/cap/day으로 약 100 g/cap/day 이상 감소한 것으로 나타났다. 반면에 육류소비량은 1985년 기준 2010년에는 약 2배 이상 증가한 119.3 g/cap/day으로 나타났다. 현대인의 식품 소비 패턴 변화로 곡류의 소비는 감소하고 육류의 소비는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 채소류의 경우 2000년까지 약 454.6 g/cap/day까지 소비량이 증가하였으나 2010년에는 362.1 g/cap/day을 소비하는 것으로 나타났다.
- 다음으로 곡류 및 육류 등의 세부 항목별 소비량 변화를 살펴보면 곡류 소비량의 감소는 쌀 소비량의 감소에서 가장 두드러지게 나타났다. 1985년 대비 2010 쌀 소비량은 약 130 g/cap/day 감소한 223.2 g/cap/day으로 나타났고, 반면 밀의 소비량은 2010년 91.3으로 소폭 증가한 것으로 나타났다. 1985년대에는 총 곡류 소비량 중

쌀 소비량이 약 69 %였으나 2010년대에는 곡류 소비량이 약 20 % 이상 감소에도 불구하고 쌀 소비량의 비중은 56 %로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 육류의 소비는 육돈의 소비량의 증가하는 것을 확인할 수 있다. 1985년 대비 2010년 육돈의 소비량은 2배 이상 증가한 50.6 g/cap/day으로 총 육류 소비량의 42 %를 차지한다. 또한 육우 및 가금류의 소비량도 증가하는 하는 것을 확인할 수 있다.



<그림 18> 1인당 1일 식품 소비량 변화

(표 25) 1인당 1일 식품 소비량 변화 (g/cap/day)

Crops	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Cereals	507.9	480.7	474.1	457.1	412.4	397.5
Meat	44.7	64.6	89.5	102.8	100.3	119.3
Pulses	29.4	28.1	30.3	29.4	31.3	28.5
Starchy roots	32.5	30.2	30.1	32.2	46.6	37.9
Vegetables	270.1	363.3	439.9	454.6	398.7	362.1
Alcoholic beverages	169.4	187.1	188.8	175.3	191.6	204.0
Eggs	17.1	21.6	23.5	23.5	24.9	27.1
Fishes and shellfishes	84.0	83.6	91.4	84.1	109.4	100.1
Fruit	72.8	79.3	107.1	111.4	122.6	121.0
Milk	52.5	87.1	105.6	135.0	147.9	156.1
Oil crops	1.2	1.8	3.5	1.9	1.9	1.9
Oils and fats	25.3	39.1	38.9	43.6	51.3	38.0
Seaweeds	17.9	15.5	32.1	16.6	26.3	40.2
Sweeteners	32.0	42.0	48.7	48.9	58.1	62.3
Tree nuts	2.1	1.3	4.6	4.1	3.5	4.1
Total	1,358.8	1,525.4	1,708.0	1,720.5	1,726.7	1,700.3

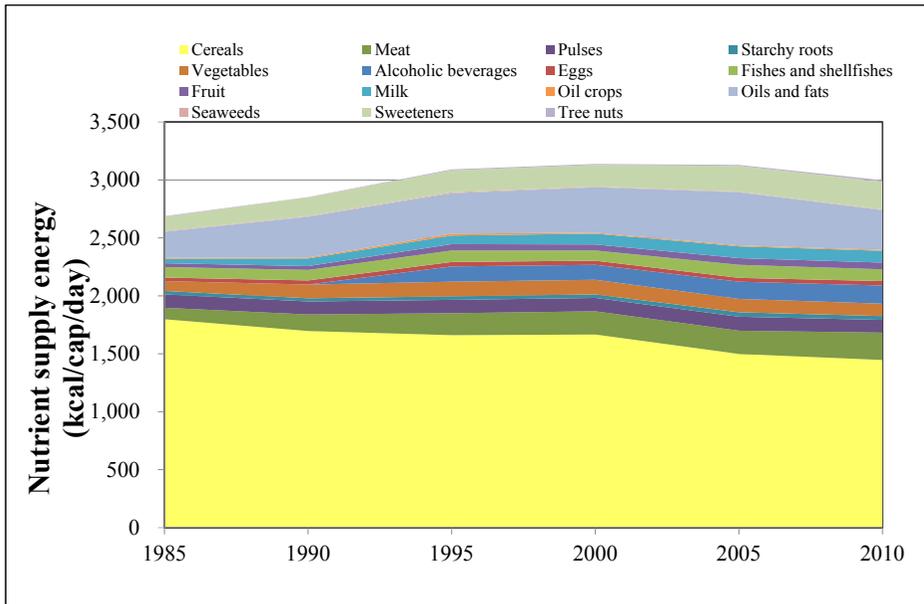
(표 26) 주요 식품의 1인당 1일 소비량 변화 (g/cap/day)

Crops	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
Cereals	Barely	23.1	6.7	5.3	5.0	3.2	3.7
	Others	0.9	0.7	5.6	6.1	7.8	7.1
	Maize	45.5	61.1	66.9	79.0	86.6	72.3
	Rice	350.8	330.9	303.0	268.1	228.1	223.2
	Wheat	87.6	81.4	93.4	99.0	86.7	91.3
Meat	Bovine meat	8.0	11.3	18.2	22.8	17.4	23.1
	Edible viscera	5.2	10.0	20.8	23.0	20.7	23.0
	Pig meat	23.0	32.3	39.0	43.6	46.3	50.6
	Poultry meat	8.4	11.0	11.6	13.5	15.9	22.6
Pulses	Others	1.2	2.7	3.4	4.1	4.4	3.7
	Red beans	2.8	2.7	2.2	2.0	1.9	1.7
	Soybeans	25.3	22.7	24.7	23.3	25.1	23.1
Starchy roots	potatoes	17.3	17.5	19.9	19.7	34.1	24.4
	Sweet potatoes	15.1	12.7	10.2	12.6	12.5	13.5
Vegetables	Vegetables	270.1	363.3	439.9	454.6	398.7	362.1

## 2. 국민 1인당 식품 소비에 따른 칼로리 소비량 변화

- 가상수 사용량은 1인당 칼로리 소비를 위해 사용되는 식품을 기준으로 산정될 수 있다. 이는 칼로리 기반의 가상수 사용량으로써 과거 대비 현재 총 소비 칼로리의 변화뿐 아니라 동일한 칼로리를 소비하기 위해 소비되는 식품의 종류가 변화함에 따라 동일한 칼로리 소비를 위해 1인당 소비하고 있는 가상수 사용량 역시 변화하게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 식품 소비량 뿐 아니라 식품별 칼로리 소비 자료를 기반으로 1인당 칼로리 소비에 따른 가상수 사용량을 산정하고자 한다.
- 현대인들은 다이어트 및 식습관의 변화에 따라 칼로리 소비에 민감하게 반응할 수 있기 때문에 1인당 칼로리 소비를 위해 가상적으로 사용되고 있는 수자원을 대략적으로 파악하고 소비패턴 변화에 따라 수자원의 절약 및 과다 사용을 점검할 수 있는 지표로 본 연구 결과가 활용될 수 있을 것이다.
- 먼저 식품수급표(한국농촌경제연구원, 2013)에 따르면 전체적인 총 소비 칼로리는 1985년 2,686.8 Kcal에서 2010년 2,998.5 Kcal로 약 300 Kcal 이상 증가한 것으로 나타났다. 곡류 및 육류 소비 변화에 따른 소비 칼로리를 세부적으로 살펴보면 먼저 곡물에 의한 1일 1인당 소비 칼로리는 1985년 약 1,798.0 Kcal로 나타났으나 지속적으로 감소되면서 2010년에는 약 1,447.2 Kcal로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 육류 소비에 의한 1인당 1일 소비 칼로리는 1985년 99.7 Kcal에서 2010년 235.4 Kcal로 약 2.3배 증가한 것으로 나타났다.
- 요약하면 곡물 소비에 의한 칼로리는 총 소비 칼로리의 약 48 %를 차지하고 있으나 지속적으로 감소하는 추세이며 육류의 경우 총 소비 칼로리의 약 7.8 %를 차지하고 있으나 지속적으로 증가하는 추세로 나타났다. 채소류의 경우 1995, 2000년대에는 소비 칼로리가 증가하였으나 2010년도에는 다소 감소하는 것으로 나타났다.

- 곡물 소비 칼로리를 보다 세부적으로 살펴보면 1985년대에는 쌀에 의한 칼로리 소비가 1,245.3 Kcal로 가장 많은 비중을 차지하였으나 2000년대에는 약 830.2 Kcal까지 줄어드는 것으로 나타났다. 반면에 밀과 옥수수 소비에 의한 칼로리 소비가 지난 30년간 증가하는 것으로 나타났다. 요약하면 쌀이나 보리에 의한 곡물 칼로리 소비는 밀과 옥수수로 대체되고 있는 추세를 확인할 수 있다. 그러나 밀은 주로 수입에 의존하기 때문에 추후 가상수 수입량 부분에 많은 변화를 발생시킬 수 있다.



<그림 19> 1인당 1일 칼로리 소비량 변화

(표 27) 1인당 1일 칼로리 소비량 변화 (Kcal/cap/day)

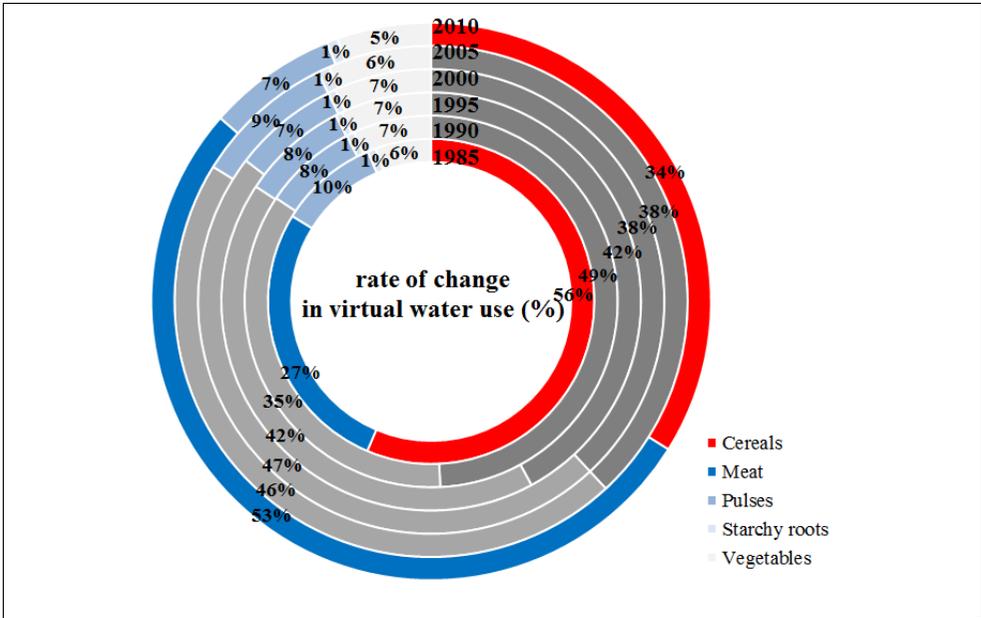
Crops	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Cereals	1,798.0	1,697.2	1,660.3	1,665.1	1,497.8	1,447.2
Meat	98.7	143.4	189.0	201.5	200.2	235.4
Pulses	115.1	112.3	117.0	115.6	121.2	110.8
Starchy roots	29.5	27.2	29.0	29.1	38.5	33.4
Vegetables	86.5	116.4	127.2	126.0	115.7	104.8
Alcoholic beverages	-	-	132.6	129.0	148.0	158.4
Eggs	28.3	35.7	37.2	37.2	34.3	37.4
Fishes and shellfishes	92.3	91.5	99.4	87.0	113.1	101.1
Fruit	31.8	34.2	53.1	53.6	57.8	58.1
Milk	39.7	64.3	74.4	92.1	99.1	101.9
Oil crops	6.6	9.3	18.6	10.0	9.2	9.1
Oils and fats	227.1	351.9	346.2	391.1	459.5	342.9
Seaweeds	5.2	4.5	9.4	4.8	3.4	5.1
Sweeteners	123.6	162.3	188.3	188.4	223.9	238.8
Tree nuts	3.6	2.4	9.9	8.8	9.0	14.1
<b>Total</b>	<b>2,686.3</b>	<b>2,852.6</b>	<b>3,091.5</b>	<b>3,139.2</b>	<b>3,130.6</b>	<b>2,998.5</b>

(표 28) 주요 식품의 1인당 1일 칼로리 소비량 변화 (Kcal/cap/day)

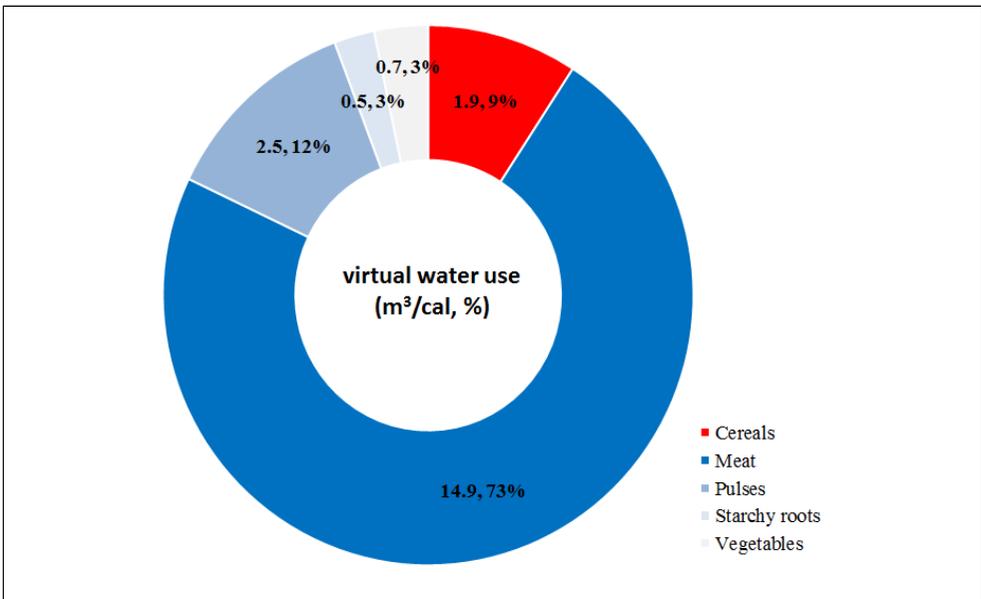
Crops	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
Cereals	Barely	84.5	22.4	18.2	17.1	11.2	12.6
	Others	2.7	2.1	19.5	21.2	28.0	25.5
	Maize	158.9	213.2	225.3	266.1	291.9	243.5
	Rice	1,245.3	1,174.5	1,054.4	997.3	848.4	830.2
	Wheat	306.6	284.9	342.9	363.5	318.3	335.3
Meat	Bovine meat	10.5	14.8	30.4	38.1	29.2	38.8
	Edible viscera	11.9	22.7	36.8	35.2	32.0	35.6
	Pig meat	65.2	91.3	95.7	104.3	110.8	121.1
	Poultry meat	11.1	14.5	26.0	23.9	28.1	40.0
Pulses	Others	3.9	12.2	12.9	18.6	17.5	15.6
	Red beans	8.8	8.5	7.5	7.0	6.4	5.7
	Soybeans	102.4	91.7	96.6	90.1	97.2	89.6
Starchy roots	Potatoes	14.2	14.4	15.9	13.0	22.5	16.1
	Sweet potatoes	15.3	12.8	13.1	16.1	16.0	17.3
Vegetables	Vegetables	86.5	116.4	127.2	126.0	115.7	104.8

### 3. 식품 소비에 따른 가상수 사용량 변화 분석

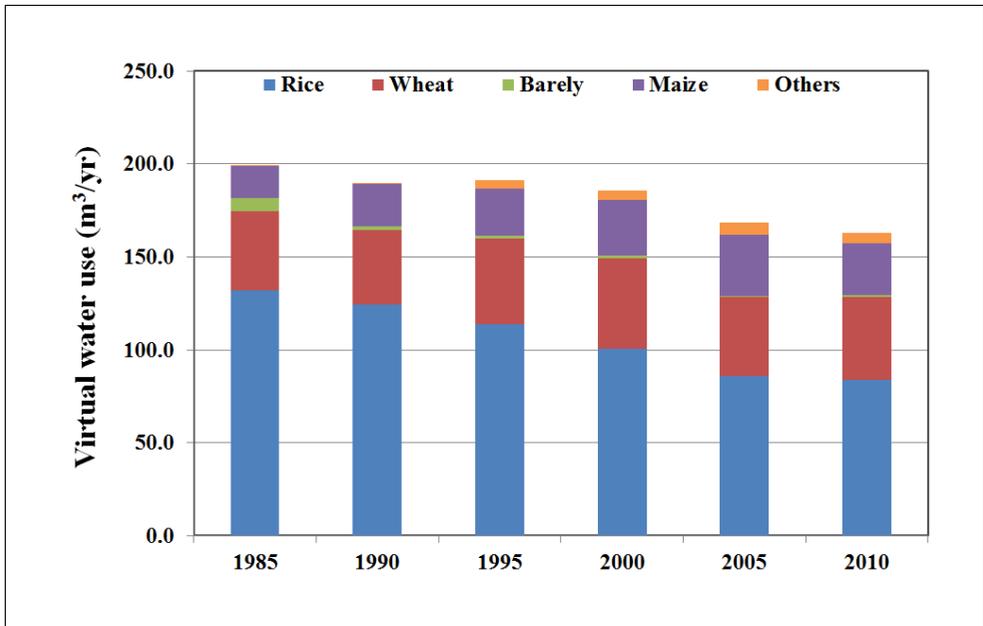
- 본 연구에서는 주요 식품(곡류, 육류, 채소류 등)의 물발자국 산정 결과와 식품수급표의 1인당 식품 소비량을 적용하여 주요 식품의 1인당 소비량에 따른 연평균 가상수 사용량을 산정하였다.
- 1985년 주요 식품 소비에 따라 약 363.5 m<sup>3</sup>/yr의 가상수가 사용되는 것으로 나타났다. 가상수 사용량은 점차 증가하여 2010년에는 553.8 m<sup>3</sup>/yr의 가상수가 사용되었다. 특히, 육류소비에 의한 가상수 사용량의 증가 경향이 뚜렷하게 나타났다.
- 식품별 소비량에 따른 가상수 사용량을 살펴보면 1985년도에는 총 363.5 m<sup>3</sup>/yr의 가상수 사용량 중에서 약 33.3 %인 121.2 m<sup>3</sup>/yr의 가상수가 육류소비에 의해서 사용되는 것으로 나타났고 50 % 이상이 곡류 소비에 의한 가상수 사용으로 나타났다. 그러나 육류소비가 매년 증가하면서 2010년에는 육류 소비에 의한 가상수 사용량은 약 345.3 m<sup>3</sup>/yr로 나타났고, 전체 가상수 사용량의 62.3 %를 차지하는 것으로 나타났다. 반면 곡류 소비에 의한 가상수 사용량은 1985년 대비 약 40 m<sup>3</sup>/yr 줄어든 153.7m<sup>3</sup>/yr으로 나타났다.
- 본 연구에서는 주요 식품(곡류, 육류, 채소류 등)의 물발자국 산정 결과와 식품수급표의 1인당 칼로리 소비량을 적용하여 1칼로리를 소비하기 위해 사용되는 가상수를 산정하였다.
- 1985년 주요 식품소비에 따라 1 칼로리를 소비하기 위해 사용되는 가상수 사용량은 약 26 m<sup>3</sup>/cal으로 나타났고, 2010년에는 소폭 감소한 25.1 m<sup>3</sup>/cal으로 나타났다. 칼로리 기반이기 때문에 시기별 큰 차이를 보이지는 않지만 식품별 차이는 확연하게 나타났다. 곡류의 경우 1칼로리를 소비하기 위하여 평균적으로 1.8 m<sup>3</sup>의 가상수가 사용되지만 육류의 경우 1칼로리를 소비하기 위해서는 곡류의 10배 이상인 20.0 m<sup>3</sup>의 가상수가 사용되는 것으로 나타났다.



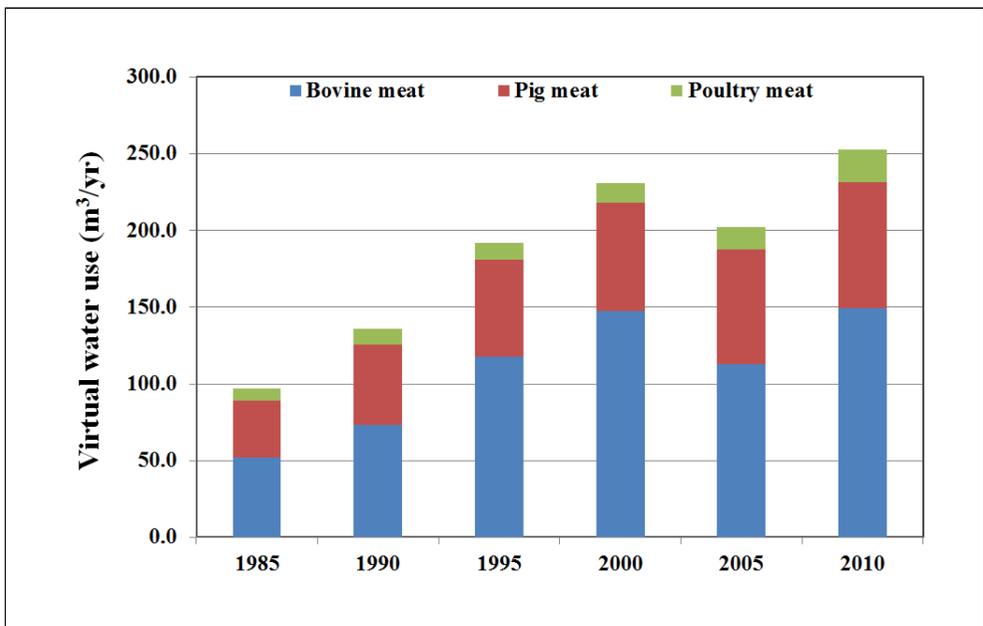
<그림 20> 식품소비에 따른 가상수 사용 비율



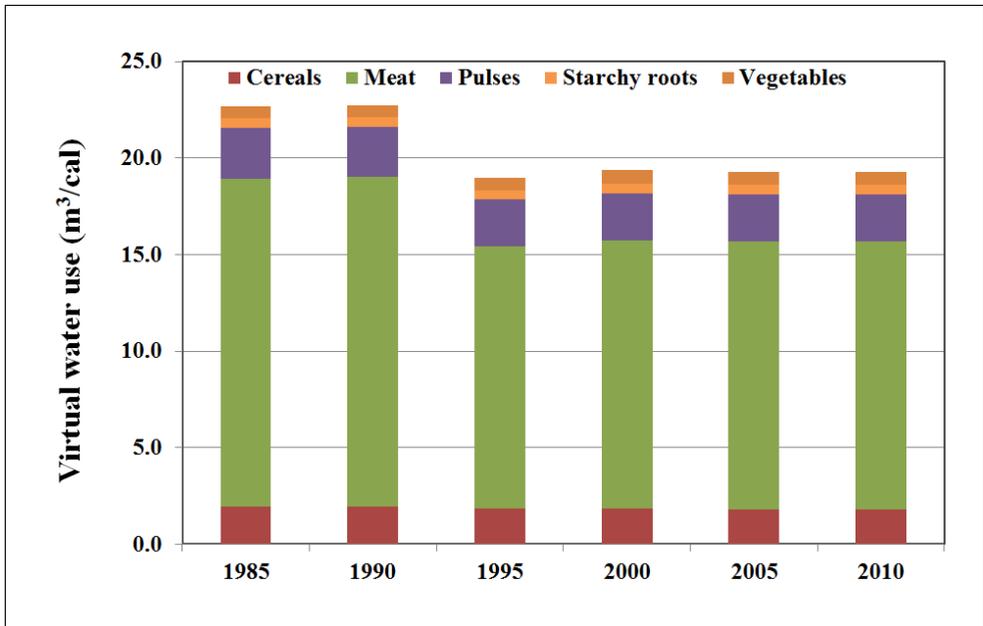
<그림 21> 칼로리 소비에 따른 가상수 사용비율



<그림 22> 식품 소비에 따른 1인당 연평균 가상수 사용량 산정 결과(곡물)



<그림 23> 식품 소비에 따른 1인당 연평균 가상수 사용량 산정 결과(축산)



<그림 24> 칼로리 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과

(표 29) 식품 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과

Crops	Virtual water use by crop consumption (m³/cap/yr)					
	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Cereals	199.5	190.0	191.3	185.8	168.5	163.0
Meat	96.9	135.7	191.8	230.8	202.5	252.6
Pulses	34.9	31.4	37.4	35.8	39.3	36.1
Starchy roots	2.9	2.6	2.4	2.7	3.4	3.0
Vegetables	19.5	26.3	31.8	32.9	28.8	26.2

(표 30) 칼로리 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과

Crops	Virtual water use by calorie consumption (m³/cal)					
	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Cereals	1.9	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8
Meat	17.0	17.0	13.6	13.9	13.9	13.9
Pulses	2.6	2.6	2.4	2.4	2.4	2.4
Starchy roots	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Vegetables	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7

(표 31) 주요 농축산물의 단위 가상수량에 따른 칼로리 공급량

Crops	Calorie consumption by virtual water use (Kcal/m <sup>3</sup> )						
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	Average
Cereals	513.9	508.4	539.3	544.3	552.1	550.3	534.1
Meat	58.8	58.7	73.7	71.9	72.1	72.2	67.2
Pulses	385.9	385.9	410.3	412.6	410.3	409.9	402.1
Starchy roots	1,884.6	1,879.2	2,183.1	2,018.8	2,020.7	2,022.1	1,996.3
Vegetables	1,616.4	1,617.2	1,459.5	1,399.0	1,464.7	1,460.8	1,498.4

(표 32) 식품 소비에 따른 세부곡물의 가상수 사용량 산정 결과

Crops	Virtual water use by crop consumption (m <sup>3</sup> /cap/yr)						
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
Cereals	Rice	131.9	124.4	113.9	100.8	85.8	83.9
	Wheat	42.9	39.9	45.8	48.5	42.5	44.7
	Barely	6.7	1.9	1.5	1.5	0.9	1.1
	Maize	17.3	23.2	25.4	30.0	32.9	27.4
	Others	0.7	0.6	4.6	5.1	6.5	5.9
Meat	Bovine meat	51.8	73.2	117.8	147.6	112.6	149.5
	Pig meat	37.3	52.4	63.2	70.7	75.1	82.0
	Poultry meat	7.8	10.2	10.8	12.6	14.8	21.0
Pulses	Soybeans	30.9	27.7	30.2	28.5	30.7	28.2
	Red beans	3.2	3.1	2.5	2.3	2.2	2.0
	Others	0.7	0.6	4.6	5.1	6.5	5.9
Starchy roots	potatoes	0.9	0.9	1.0	1.0	1.7	1.2
	Sweet potatoes	2.0	1.7	1.4	1.7	1.7	1.8
Vegetables	19.5	26.3	31.8	32.9	28.8	26.2	

(표 33) 칼로리 소비에 따른 세부곡물의 가상수 사용량 산정 결과

Crops	Virtual water use by calorie consumption (m <sup>3</sup> /cal)						
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
	Rice	0.29	0.29	0.30	0.28	0.28	0.28
	Wheat	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37
Cereals	Barely	0.22	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
	Maize	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31
	Others	0.76	0.76	0.65	0.65	0.63	0.63
	Bovine meat	13.51	13.54	10.62	10.61	10.57	10.56
Meat	Pig meat	1.57	1.57	1.81	1.86	1.86	1.86
	Poultry meat	1.93	1.93	1.14	1.44	1.44	1.44
	Soybeans	0.83	0.83	0.86	0.87	0.86	0.86
Pulses	Red beans	1.01	1.01	0.93	0.90	0.94	0.94
	Others	0.76	0.76	0.65	0.65	0.63	0.63
Starchy roots	potatoes	0.17	0.17	0.17	0.21	0.21	0.21
	Sweet potatoes	0.37	0.37	0.29	0.29	0.29	0.29
	Vegetables	0.62	0.62	0.69	0.71	0.68	0.68

#### 4. 식량자급률에 따른 가상수 사용량 변화 분석

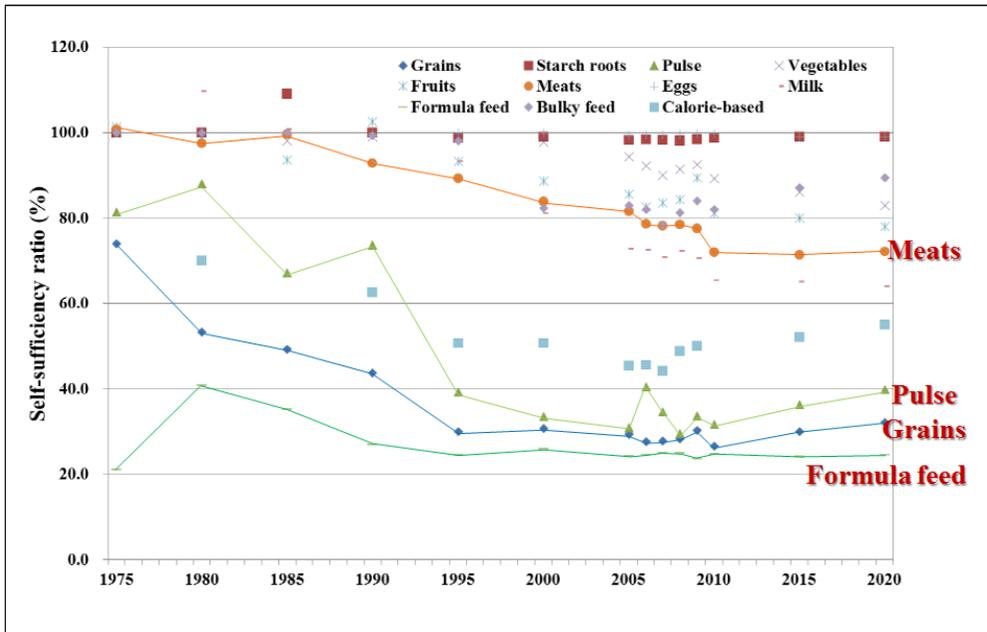
##### 가. 식량자급률에 따른 식품 소비 및 생산량 변화

- 세계 5위권의 식량 수입국이면서 곡물자급률(사료용 포함)이 30 % 이하로 매우 낮은 우리나라로서는 불균형한 국제곡물 수급구조와 곡물생산의 불확실성으로 인해 언제든지 발생 가능한 국제곡물가격 급등 현상은 매우 심각한 문제이다. 특히 2007년 발생한 국제적 식량위기에 이어 2010년부터 다시 국제곡물가격이 상승하는 추세로 전환되자 대내적으로 안정적인 식량공급방안 마련에 대한 요구가 증가하기 시작하였다. 이에 정부는 우리 국민이 필요로 하는 식량의

안정적 공급을 위해서는 일정 수준의 자급률 유지와 증가가 필요하다는 인식하에 2015·2020년 식량자급률 목표치와 자급률 제고 방안을 발표하였다.

- 본 연구에서는 물발자국 개념을 활용하여 2015년과 2020년의 식량자급률 목표를 달성하기 위하여 필요한 잠재적인 농업용수를 축산물 및 사료를 제외한 농산물을 중심으로 분석하였다. 이를 위하여 2015년과 2020년의 부문별 소비량·생산량 목표 및 자급률은 2010년 10월에 한국농촌경제연구원에서 발표한 ‘식량자급률 개념정립 및 새로운 목표치 설정 연구’와 2011년 7월에 농림수산식품부 식량정책과에서 발표한 ‘2015년 식량자급률 목표치 재설정 및 2020년 목표치 신규 설정’ 보도자료를 바탕으로 설정하였다.
- 먼저 우리나라의 품목별 자급률의 변화 추이를 살펴보면 다음과 같다. 곡류(사료 포함)의 경우, 1975년 74.1 %로 매우 높았으나, 이후 지속적으로 감소하여 1995년에 30 % 이하의 자급률을 나타내고, 2010년 기준 26.7 %로 낮아졌다. 이는 육류 생산을 위한 많은 양의 사료용 곡물 수요로 인한 것이다. 한편 두류의 경우, 곡류와 같이 1975년 비교적 높은 81.5 %이었지만 이후 점차 자급률이 감소하여 1995년 40 % 미만으로 떨어지고, 2010년 30% 초반으로 하락하는 추세를 나타내었다. 서류의 경우 1975년부터 2010년까지 98% 이상의 높은 자급률을 나타내었고, 채소류와 과일류는 1975년 각각 100.6 % 및 101.4 %이었지만, 이후 조금씩 비율이 떨어져 2010년에 각각 86.0 % 및 81.1 %로 낮아졌다. 하지만 곡류와 두류와 비교하여 상대적으로 자급률이 높게 유지되는 것으로 나타났다.
- 정부에서 제시한 2015·2020년 농산물 및 식품별 생산 및 소비시나리오 및 식량자급률 목표치를 살펴보면 지난 2006년에 설정한 식량자급률 목표치에서 대폭 상향 조정하고, 새로운 자급률 지표를 도입하여 곡물자급률은 기존 25 %에서 30 %로, 주식자급률은 54 %에서 70 %로, 칼로리 자급률은 47 %에서 52 %로 2015년 목표치를 상향 조정하였다.

- 특히 밀 자급률을 1 %에서 10 %로, 과실류 자급률은 66 %에서 80 %로 목표치를 대폭 높이고, 쌀 자급률도 90 %에서 98 %로 높였다. 또한 콩 등의 대부분 품목들에 대해서도 목표치를 높이고, 사료(전체) 자급률 항목을 신설하였다.
- 분석의 주요 초점은 식량 자급률 제고에 따른 추가적으로 필요한 가상수량이므로 국내 생산량 변화 추이가 중요하다고 할 수 있다. 쌀의 경우 지속적으로 생산량은 감소하고, 밀과 두류의 생산량은 증가하는 것으로 나타났다.
- 그 외 보리와 서류는 감소하는 것으로 목표를 설정하였다. 과일의 생산량이 점차 증가하고, 채소는 반대로 점차 감소하는 목표치를 설정하였다. 위 품목 중 쌀은 국내에서 가장 많은 농업용수를 사용하는 농산물로서, 향후 농업용수 공급 문제에서 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.



<그림 25> 식량자급률 변화 및 목표치 (1975-2010)

(KREI, 2011; KREI and MIFAFF, 2011)

(표 34) 식량자급률에 따른 2015, 2010 식품별 소비 및 생산량

Crop / Food	2015			2020		
	Cons. (1000 tons)	Prod. (1000 tons)	SSR (%)	Cons. (1000 tons)	Prod. (1000 tons)	SSR (%)
White rice	4,367.0	4,280.0	98.0	4,136.0	4,053.0	98.0
Wheat	1,960.0	195.0	9.9	1,890.0	284.0	15.0
Barley	295.0	92.0	31.2	295.0	92.0	31.2
Pulses	468.0	170.0	36.3	498.0	201.3	40.4
Starch roots	851.1	840.0	98.7	851.1	840.0	98.7
Vegetables	11,200.0	9,630.0	86.0	11,200.0	9,300.0	83.0
Fruits	3,625.0	2,900.0	80.0	3,867.0	3,020.0	78.1
Bovine meat	517.0	232.0	44.9	543.0	258.0	47.5
Pig meat	952.0	762.0	80.0	976.0	781.0	80.0
Poultry	635.0	508.0	80.0	701.0	561.0	80.0

#### 나. 식량자급률 달성을 위한 가상수 사용량 산정 결과

- 물발자국 개념을 활용하여 2015년과 2020년의 식량자급률 목표를 달성하기 위하여 필요한 잠재적인 농업용수를 축산물 및 사료를 제외한 농산물을 중심으로 분석하였다. 2015년과 2020년의 부문별 소비량·생산량 목표 및 자급률은 2010년 10월에 한국농촌경제연구원에서 발표한 ‘식량자급률 개념정립 및 새로운 목표치 설정 연구’와 2011년 7월에 농림수산식품부 식량정책과에서 발표한 ‘2015년 식량자급률 목표치 재설정 및 2020년 목표치 신규 설정’ 보도자료를 바탕으로 설정하였다.
- 식량자급률의 목표를 위하여 농산물 생산에 소요되는 잠재적인 용수량은 2015년의 경우, 백미와 보리의 경우 각각 479.8 백만<sup>m</sup> 및 40.3 백만<sup>m</sup>씩 감소하고, 밀은 189.5 백만<sup>m</sup> 증가하였다. 한편 서류와 채소류는 22.4 백만<sup>m</sup> 및 10.1 백만<sup>m</sup>씩 감소하고, 두류와 과실류는 각각 65.5 백만<sup>m</sup> 및 135.0 백만<sup>m</sup>가 추가 소요되는 것으로 추정되었다.

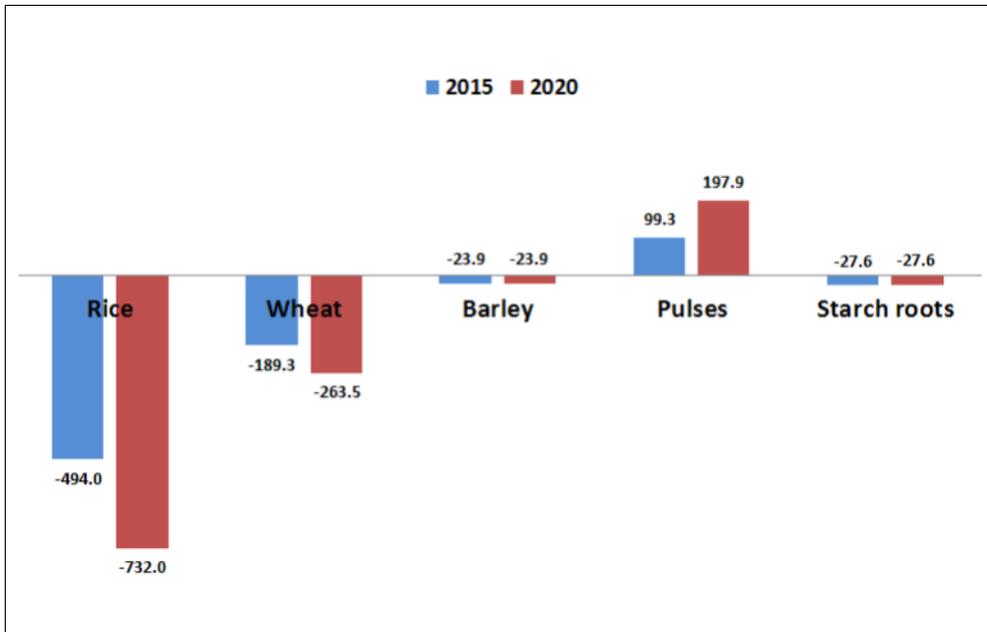
- 2020년의 경우, 백미와 보리의 경우 각각 716.4 백만<sup>m</sup> 및 40.3 백만<sup>m</sup>씩 감소하고, 밀은 283.9 백만<sup>m</sup> 증가하였다. 한편 서류와 채소류는 22.4 백만<sup>m</sup> 및 55.6 백만<sup>m</sup>씩 감소하고, 두류와 채소류는 각각 170.0 백만<sup>m</sup> 및 203.8 백만<sup>m</sup>가 추가 소요되는 것으로 추정되었다.
- 축산물의 경우 자급률 증가에 따라 2015년, 2020년의 생산량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 축산물의 생산 증대는 단순히 가축두수의 증가만이 아니라 가축을 사육하기 위해 소비되는 수자원도 포함한다. 이때 축산물의 국내 생산 증대를 위해 추가적으로 소비되는 수자원을 축산물의 물발자국을 통해 손쉽게 산정할 수 있다. 특히, 축산물의 물발자국은 직접수와 간접수로 구분되기 때문에 각각의 수자원 필요량을 산정할 수 있다. 한우의 경우 식량 자급률 목표를 달성하기 위하여 2015년과 2020년에 각각 5.0, 7.3 Mm<sup>3</sup>의 추가 수자원이 필요한 것으로 나타났다. 이는 축산용수에 해당하는 음용수와 세척수를 의미한다. 그러나 가축은 사료의 공급이 필수적이기 때문에 축산 자급률의 증가는 사료작물의 수급 증가를 동시에 수반한다. 이에 따라 한우의 경우 2015년에는 과거 대비 약 965.1 Mm<sup>3</sup>의 수자원이 사료작물 생산을 위해 소비되는 것으로 나타났다. 이처럼 육류의 자급률 증대 계획의 수립할 때는 가축에 의해 소비되는 수자원 외에 사료작물을 공급하기 위한 수자원 필요량을 동시에 고려할 필요가 있다.
- 본 연구결과에서 알 수 있듯이 식량자급률은 단순히 국내 생산을 증가하고 국외 의존도를 낮춘다는 목표이지만 이를 위해서는 생산증대를 위한 농지외에 수자원의 추가적인 소비가 수반된다. 그러므로 정부의 식량자급률 목표를 달성하기 위해서는 추가적인 수자원의 확보를 동시에 고려할 필요가 있다.
- 물발자국은 식량 안보와 관련된 국가 정책을 수립할 때 거시적인 관점에서 필요한 수자원량을 제시하고 추가적인 수자원 개발의 당위성을 밝히는데 활용될 수 있다. 특히, 물발자국을 활용할 경우 국가 정책과 국민들의 소비패턴을 동시에 고려한 수자원 계획을 수립할 수 있다는 장점이 있다.

(표 35) 식량자급률 달성을 위한 가상수량 산정 결과(농작물)

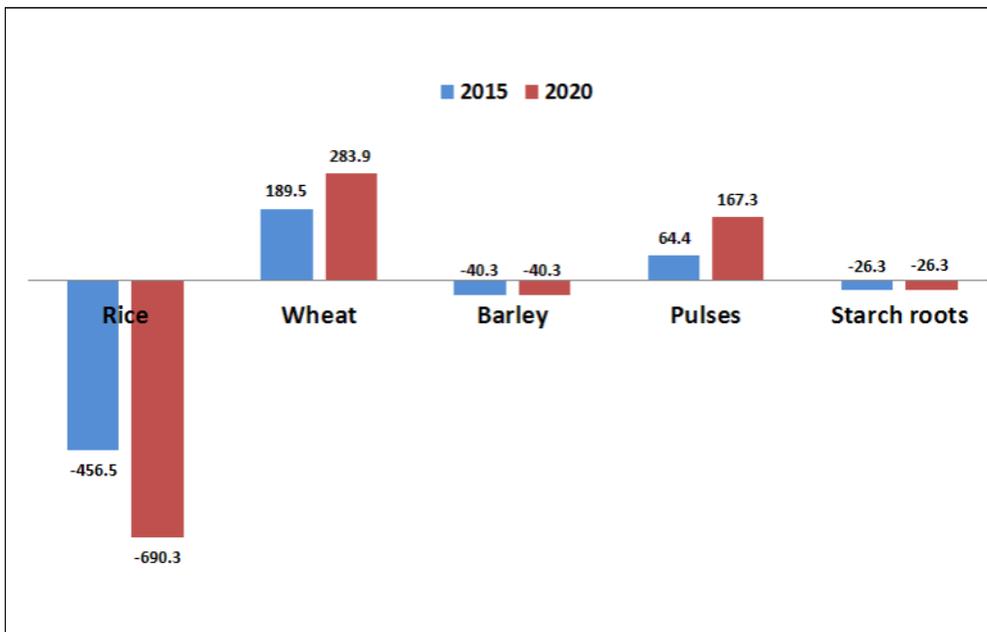
Food	Average in 2006-2010		2015		2020	
	Consumption	Production	Consumption	Production	Consumption	Production
	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )
Rice	4,992.9	4,865.7	4,498.9	4,409.3	4,260.9	4,175.4
Wheat	2,267.3	17.2	2,078.0	206.7	2,003.8	301.1
Barley	258.7	113.5	234.8	73.2	234.8	73.2
Pulses	1,439.5	494.6	1,538.8	559.0	1,637.4	661.9
Starch roots	242.8	238.8	215.2	212.4	215.2	212.4
Vegetables	2,103.7	1,922.9	2,218.7	1,907.7	2,218.7	1,842.3
Fruits	1,655.8	1,611.2	2,192.0	1,753.6	2,338.4	1,826.2

(표 36) 식량자급률 달성을 위한 가상수량 산정 결과(축산물)

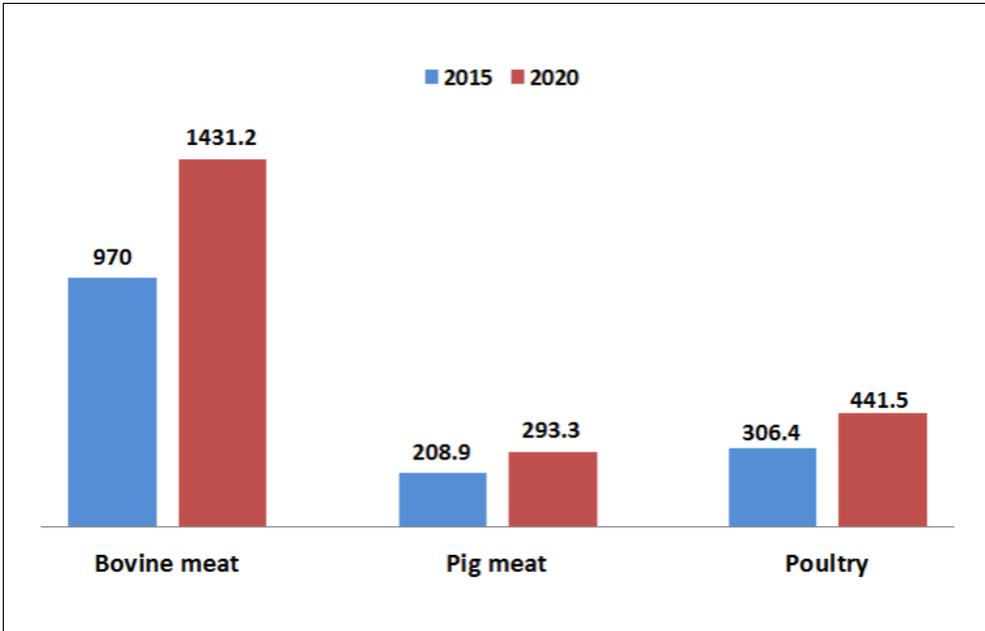
Food	Average in 2006-2010		2015		2020	
	Consumption	Production	Consumption	Production	Consumption	Production
	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )	(Mm <sup>3</sup> )
<b>Bovine meat</b>	6,969.2	3,144.9	9,169.9	4,114.9	9,631.0	4,576.1
Drinking and servicing	35.8	16.2	47.2	21.2	49.5	23.5
Feed crops	6,933.4	3,128.7	9,122.7	4,093.8	9,581.5	4,552.5
<b>Pig meat</b>	4,076.1	3,175.2	4,227.9	3,384.1	4,334.5	3,468.5
Drinking and servicing	119.0	92.7	123.5	98.8	126.6	101.3
Feed crops	3,957.0	3,082.5	4,104.5	3,285.3	4,207.9	3,367.2
<b>Poultry</b>	1,170.3	988.3	1,618.4	1,294.7	1,786.6	1,429.8
Drinking and servicing	3.5	2.9	4.8	3.9	5.3	4.3
Feed crops	1,166.8	985.3	1,613.6	1,290.9	1,781.3	1,425.6



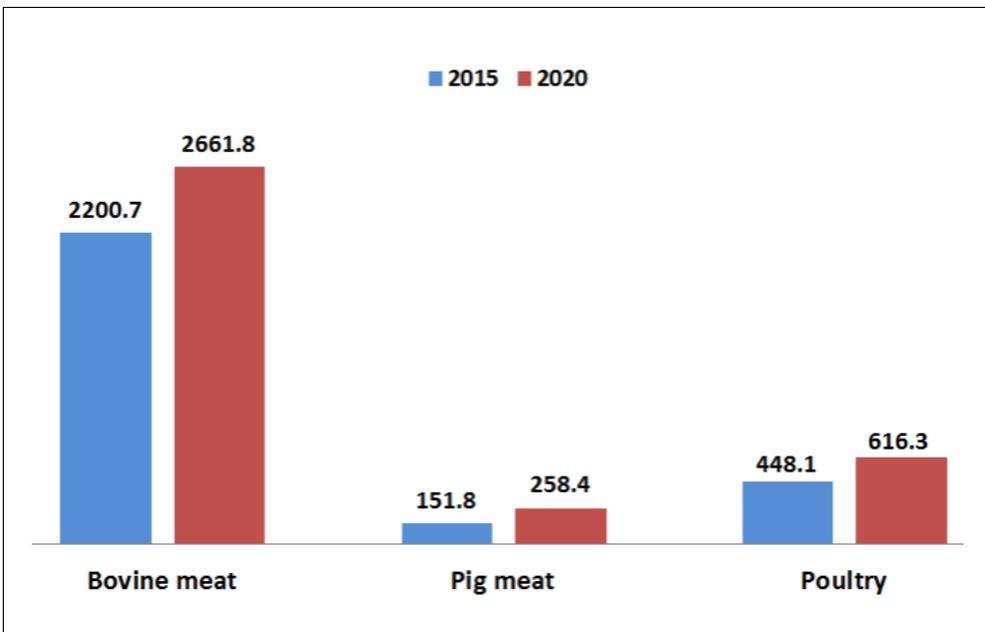
<그림 26> 식량자급률의 곡물 소비를 위한 과거 대비 가상수 필요량



<그림 27> 식량자급률의 곡물 생산을 위한 과거 대비 가상수 필요량



<그림 28> 식량자급률의 축산물 생산을 위한 과거 대비 가상수 필요량



<그림 29> 식량자급률의 축산물 소비를 위한 과거 대비 가상수 필요량

## 5. 식량정책의 부분의 가상수 연구결과 활용 방안

- 물발자국을 활용할 경우 식량정책의 목표 달성을 위해 필수적으로 사용되는 수자원의 정량적인 산정에 기초자료로 활용할 수 있다.
- 물발자국 데이터를 활용할 경우 향후 식량정책의 변화에 대비하여 농업용수관리기관으로서 한국농어촌공사의 선제적 대응이 가능하며 및 민간부분과 식량정책을 물발자국을 통하여 연계함으로써 물 관련 이슈를 선점할 수 있다.
- 식량자급률은 식량안보를 위한 중요한 국가적 사안이지만 이를 달성하기 위해서는 곡물의 생산 증대가 필요하다. 그러나 기존의 식량정책은 생산 증대를 위해 추가적으로 소비되는 수자원에 대한 정량적인 평가가 미흡하였다. 본 연구에서는 식량자급률 목표를 달성하기 위해 추가적으로 필요한 수자원량을 물발자국을 적용하여 쉽게 산정, 제시하였다. 향후 식량안보와 관련된 정책이 추가적으로 수립할 경우 물발자국을 적용하여 생산량과 수자원 확보를 동시에 고려할 필요가 있음을 보여준다.
- 국민들의 식습관의 변화가 수자원의 이용과 연관성이 높다는 점을 홍보하여 수자원의 중요도를 높이는데 활용될 수 있다.
- 현 국가가 목표로 하고 있는 식량자급률을 달성하기 위해서는 식량 생산 뿐 아니라 수자원의 개발이 동시에 수반될 필요가 있으며 거시적인 수자원의 필요량을 보여주는 지표로 활용될 수 있다.

### 제3절 농작물의 가상수 교역량 산정 및 분석

#### 1. 가상수 교역량 산정 방법

- 가상수 교역량은 수출국의 물발자국과 작물 수출입 데이터를 활용하여 산정된다. 본 연구에서는 2006년부터 2010년 동안의 대상작물의 수출입 데이터와 앞서 산정된 국내의 작물별 물발자국과 타 연구에 의한 국외 물발자국 자료를 활용하여 대상작물의 가상수 교역량을 산정하였다. 가상수 교역량은 아래 식과 같이 수출국의 물발자국을 기준으로 산정된다.

$$VWT[n_e, n_i, c] = T[n_e, n_i, c] \times WF[n_e, c]$$

※ 여기서,  $VWT[n_e, n_i, c]$  : Virtual water trade

$T[n_e, n_i, c]$  : Crop trade

$WF[n_e, n_i, c]$  : Water footprint

$n_e$ : exporter,  $n_i$ : importer,  $c$ : crop

- 본 연구에서 대상작물은 1차년도와 동일한 작물이며 국내 물발자국 역시 1차년도의 연구결과를 활용하였고, 국가별 물발자국 자료는 Mekonnen and Hoekstra (2010)의 연구결과를 참조하였다. 국가간 농작물 교역량은 PC-TAS (Personal Computer - Trade Analysis System)의 2006년부터 2010년까지의 자료를 활용하였다. PC-TAS는 HS-code 기준 5300개 생산품의 230개 국가간 최근 5개년 동안의 작물 교역 데이터를 제공한다.

## 2. 우리나라의 가상수 교역량 산정 결과

- 농작물 가상수 교역량 산정결과를 살펴보면 먼저 밀의 경우 2006년부터 2010년동안 약 16 Mton이 수입된 것으로 조사되었고, 각 주요 수입국들의 밀의 물발자국을 적용하여 가상수 수입량을 분석한 결과 약 27 Gm<sup>3</sup>의 녹색 가상수와 1.4 Gm<sup>3</sup>의 청색 가상수가 우리나라로 수입된 것으로 나타났다. 이는 사료용 작물인 옥수수과 대두박을 제외하고 가장 큰 수입량으로서 주로 미국에서 수입되는 것으로 나타났다.
- 논벼의 경우 논벼와 현미, 백미, 쌀가루를 포함한 수출입량으로서 중국으로부터 주로 수입하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 밀과 비교하여 상당히 적은 양을 수입하고 있으며 이에 따라 우리나라의 쌀 자급률이 높은 것으로 사료된다. 그러나 논벼의 경우 청색 물발자국이 높은 작물로서 약 1.5 Mton의 수입으로부터 녹색 가상수 약 1.4 Gm<sup>3</sup>, 청색 가상수 약 0.9 Gm<sup>3</sup>의 가상수가 수입되는 것으로 나타났다.
- 보리의 경우 5년동안 총 166 천ton을 수입하는 것으로 나타났고 이 중에서 94 천ton을 호주로부터 수입한다. 우리나라의 보리 수입량과 호주의 보리 물발자국을 적용하여 보리의 수입량을 가상수 수입량으로 전환한 결과 약 154.0 Mm<sup>3</sup>의 녹색 가상수와 7.4 Mm<sup>3</sup>의 청색 가상수가 수입되는 것으로 분석되었다. 보리의 경우 논벼(쌀), 밀 등의 타 식량작물보다 단위 생산당 필요로 하는 물발자국이 적은 것으로 나타났는데 이에 따라 동일한 양의 식량작물들을 수입할 경우 가장 적은 가상수가 교역되는 것으로 분석되었다.
- 수수, 호밀 등의 기타 식량작물의 경우 총 수입량은 168 천ton이었고, 총 수입 가상수는 녹색 가상수 254.9 Mm<sup>3</sup>, 청색 가상수 7.7 Mm<sup>3</sup>으로 산정되었다.
- 다음으로 우리나라 농작물 교역의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 옥수수와 대두, 대두박 등의 두류작물의 수출입량과 가상수 흐름량을 산정하였다. 사료용 목적으로 주로 수입되고 있는 옥수수의

경우 5년동안 총 45 Mton이 수입되었는데 밀의 약 2.8배에 해당한다. 이중 약 70 % 이상이 미국에서 수입되고 있다. 미국의 약 18.3 Gm<sup>3</sup>의 녹색 가상수와 2.2 Gm<sup>3</sup>의 청색 가상수가 우리나라로 수입되었고, 농작물 중 가장 큰 수입량이다. 미국 외에 중국으로부터 약 5 Mton을 수입하고 있으며 이에 따라 약 4.5 Gm<sup>3</sup>의 가상수가 동시에 수입되는 것으로 산정되었다.

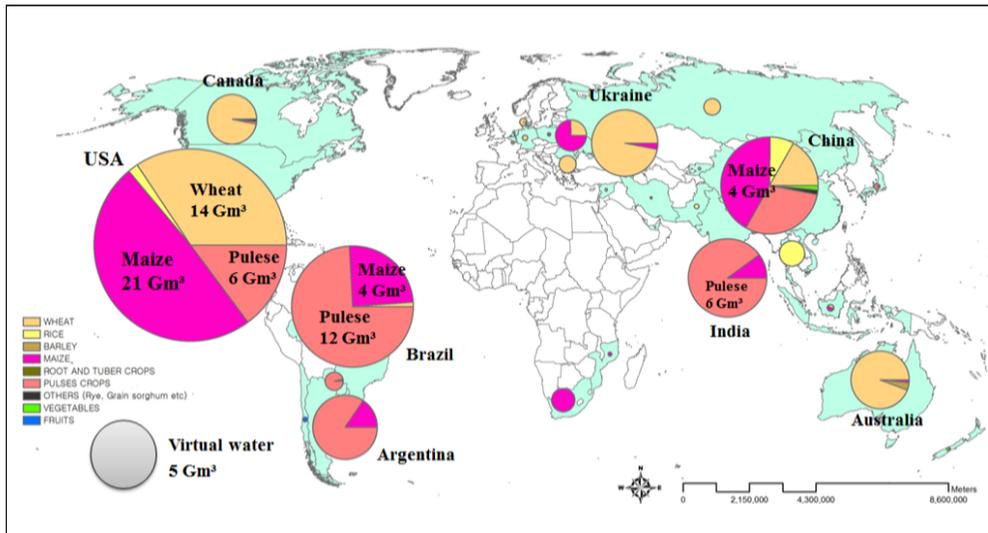
- 대두 및 대두박 등의 두류작물의 경우 옥수수의 약 1/3 수준인 15 Mton이 수입되는 것으로 나타났지만 가상수 수입량을 분석할 경우 옥수수보다 많은 약 3.2 Gm<sup>3</sup>의 가상수가 수입되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 작물마다 각 국가들의 물발자국이 다르기 때문이며 두류작물의 물발자국은 대체적으로 옥수수의 물발자국보다 크게 산정된다. 우리나라는 브라질로부터 두류작물의 수입에 따라 약 12.4 Gm<sup>3</sup>의 녹색 가상수와 4.7 Mm<sup>3</sup>의 청색 가상수가 수입되는 것으로 나타났다. 이와 같은 사료용 작물 수입은 주로 미국과 브라질, 중국의 3개 국가에 집중되는 현상을 보이고 있다.
- 그 외에 감자, 고구마의 서류작물의 경우 약 89 천ton을 미국과 호주로부터 수입하고 있으며 타 작물에 비해 상당히 적은 양이다. 이러한 수입에 따라 약 8.3 Mm<sup>3</sup>의 녹색 가상수와 7.3 Mm<sup>3</sup>의 청색 가상수가 수입되는 것으로 나타났다. 채소류의 경우 약 982 천ton의 작물이 수입되고 이를 가상수량으로 전환할 경우 약 195 Mm<sup>3</sup>의 가상수가 수입되는 것으로 나타났다. 이중에서 약 87 % 이상을 중국으로부터 수입하고 있는 것으로 나타났고, 가상수량으로 산정할 경우 녹색 가상수 168.1 Mm<sup>3</sup>, 청색 가상수 5.1 Mm<sup>3</sup>가 수입되는 것으로 분석되었다. 과수류 역시 중국으로부터 대부분을 수입하고 있으며 전세계로부터 총 181 천ton의 과수류가 수입되고, 이에 따라 녹색 가상수 37.1 Mm<sup>3</sup>, 청색 가상수 14.1 Mm<sup>3</sup>의 가상수가 수입되는 것으로 나타났다.
- 우리나라에서의 농작물 수출의 경우 수입량과 비교하여 양은 작지만 우리나라의 수자원이 사용된 작물이라는 점에서 중요한 의미를 갖게 된다. 우리나라는 주로 일본과 대만에 두류와 채소류, 과수류를 수출하는 것으로 나타났다. 이에 따라 일본과의 농작물

교역에 따라 약 0.3 Gm<sup>3</sup>의 가상수가 수출되는 것으로 나타났고, 말레이시아와의 두류작물 교역으로 0.14 Gm<sup>3</sup>의 가상수가 수출되는 것으로 나타났다.

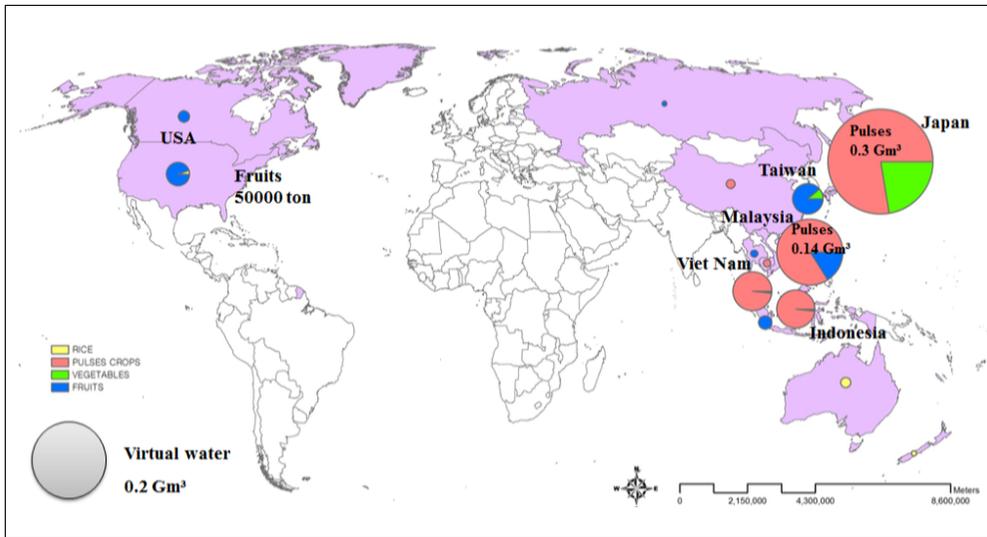
(표 37) 우리나라의 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 결과

Crops	Import (1000 ton / Mm <sup>3</sup> )				Export (1000 ton / Mm <sup>3</sup> )				
	Crop	Green water	Blue water	Total water	Crop	Green water	Blue water	Total water	
Grain crops	Wheat	16,027	27,004	1,433	28,436	0	0	0	0
	Rice	1,497	1,444	892	2,336	6	2	4	6
	Barley	166	203	10	213	0	0	0	0
	Others	168	255	8	263	0	0	0	0
Root and tuber crops	89	8	7	16	0	0	0	0	
Maize	45,136	29,565	2,710	32,275	0	0	0	0	
Pulse crops	15,716	31,729	675	32,403	213	596	0	596	
Vegetables	982	187	8	195	162	100	2	102	
Fruits	181	37	14	51	178	107	0	107	
<b>Total</b>	<b>79,962</b>	<b>90,430</b>	<b>5,756</b>	<b>96,186</b>	<b>559</b>	<b>805</b>	<b>6</b>	<b>811</b>	

※ (2006-2010, Mm<sup>3</sup> : 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)



<그림 30> 우리나라의 작물 교역에 따른 가상수 수입량 (2006-2010)

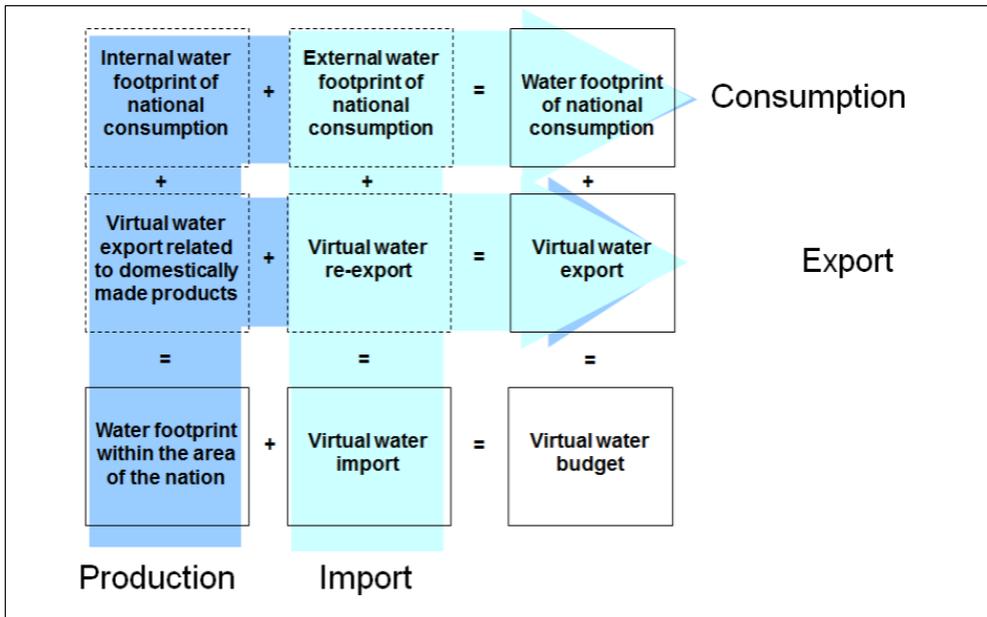


<그림 31> 우리나라의 작물 교역에 따른 가상수 수출량 (2006-2010)

### 3. 우리나라의 국외 가상수 의존도 분석

- 물발자국을 활용하여 국외 가상수 의존도를 평가하기 위해서는 물발자국을 내부와 외부로 구분하여 비교할 필요가 있다. 내부 물발자국(Internal water footprint)은 순수하게 국내 거주자들의 농작물 소비를 위해 국내에서 사용되는 물의 양을 의미하며 총 농작물 생산을 위한 가상수량에서 수출을 위해 생산된 농작물의 가상수량을 제외하여 산정한다. 외부 물발자국(External water footprint)은 국내에서 소비되는 농작물 중 타 국가에서 생산되어 수입되는 농작물의 가상수량을 의미하며 총 수입되는 농작물의 가상수량에서 수입 후 재수출되는 농작물의 가상수량을 제외하여 산정된다. 이는 국내 소비를 위해 국외에 의존하게 되는 가상수량을 의미하게 되며 외부 물발자국이 클수록 국외 가상수에 대한 의존도가 높음을 의미한다.
- 물발자국은 크게 내부와 외부로 구분되고, 내부 물발자국은 자국

민에 의해서만 소비되는 농작물을 생산하기 위해 사용되는 가상수의 양을 의미하며 외부 물발자국은 국내에서 소비되는 농작물 중 타 국가에서 생산되는 농작물의 가상수량을 의미한다. 이에 따라 내부와 외부 물발자국으로부터 국내 총 가상수 소비량이 산출되고 작물별 국외 가상수 의존도를 평가할 수 있다.

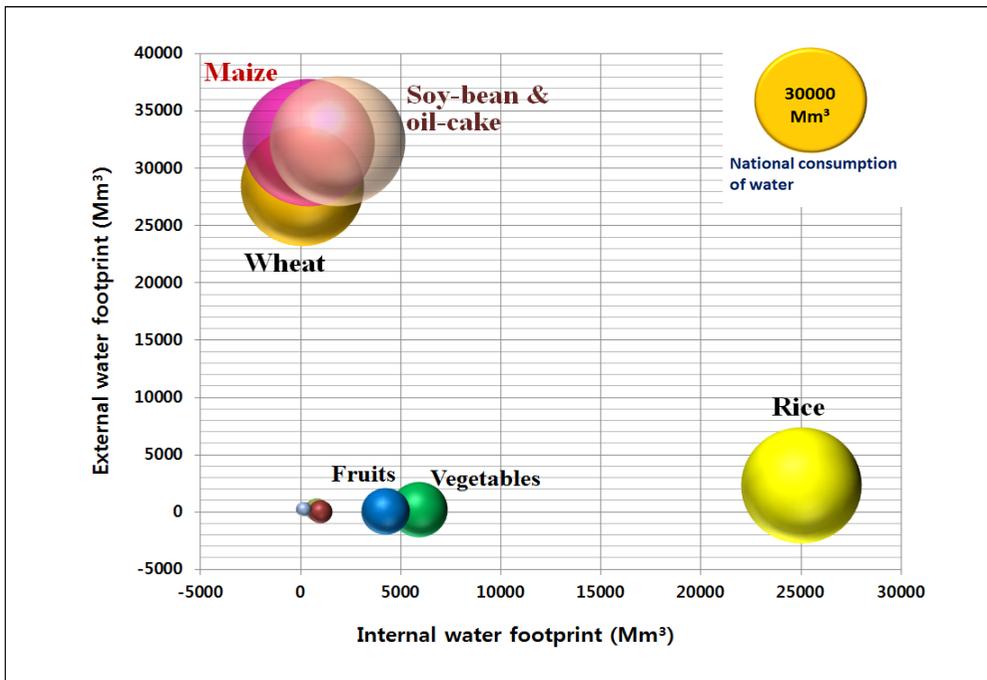


<그림 32> 가상수 수지 분석 (Hoekstra et al., 2011)

- 우리나라는 식량작물로서는 쌀과 밀의 소비가 가장 높으며 밀의 경우 국외 가상수 의존도가 높은 반면 쌀의 경우 내부 수자원 의존적인 것으로 나타났다. 사료용 작물로서 대량 수입되고 있는 옥수수과 두류작물의 경우 90% 이상이 국외의 녹색 가상수 의존적인 것으로 나타났으며 이는 국외 기후변화에 의한 강수량의 변화 등에 민감한 교역구조로 파악된다. 가상수의 흐름을 고려한 우리나라의 국외 가상수 의존도는 상당히 높게 나타났으며 이에 따라 농작물의 교역은 단순히 작물의 생산 및 가격만이 아닌 작물 생산을 위해 소비되는 수자원의 변화도 고려할 필요가 있다.

(표 38) 우리나라의 내·외부 물발자국 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Internal water footprint (Mm <sup>3</sup> )			External water footprint (Mm <sup>3</sup> )			
	Green	Blue	Total	Green	Blue	Total	
Grain crops	Wheat	86	0	86	27,004	1,433	28,436
	Rice	9,495	15,533	25,028	1,444	892	2,336
	Barley	807	0	807	203	10	213
	Others	150	0	150	255	8	263
Root & tuber crops	1,008	0	1,008	8	7	16	
Maize	408	0	408	29,564	2,710	32,274	
Pulse crops	1,840	0	1,840	31,729	675	32,403	
Vegetables	5,254	666	5,921	187	8	195	
Fruits	4,264	0	4,264	37	14	51	
<b>Total</b>	<b>23,314</b>	<b>16,199</b>	<b>39,513</b>	<b>90,430</b>	<b>5,756</b>	<b>96,186</b>	



<그림 33> 우리나라의 내·외부 물발자국 산정 결과 (2006-2010)

#### 4. 우리나라의 가상수 교역에 따른 수자원 대체효과 분석

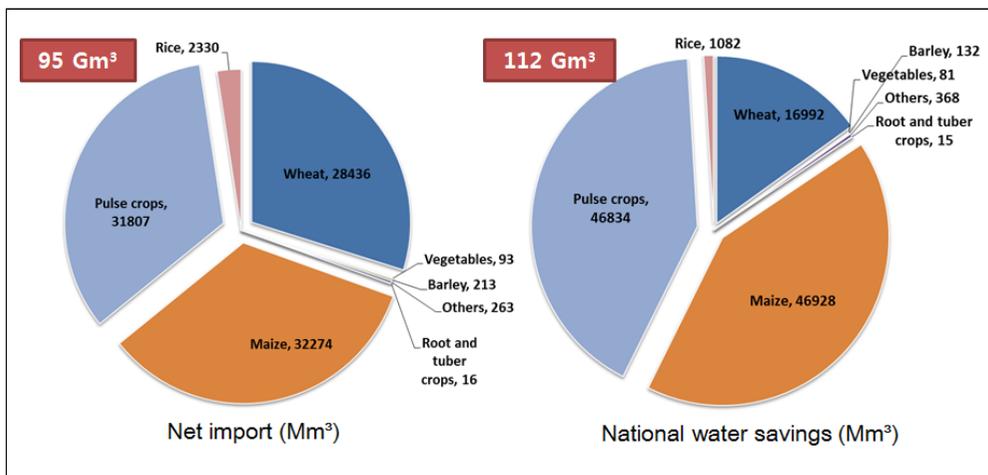
- 농작물의 수입에 의한 국외 가상수 의존도가 높을수록 국외 수자원 변화에 민감한 교역구조를 의미하지만 일부 작물에 대해서는 가상수 수입으로 인하여 국내 수자원이 절약되는 효과를 생각해 볼 수 있다. 현재 수입되고 있는 작물을 국내에서 생산하는 것으로 가정할 경우 추가적인 수자원이 소비되며 이는 국외 가상수 수입에 따라 절약되는 수자원으로 간주될 수 있다. 그러나 수입에 의해 절약되는 가상수량은 국내에서 수입작물을 생산한다는 가상적인 경우를 적용한 것으로서 실제적인 절약효과로는 볼 수 없지만 현재 가상수 수입 작물의 수자원적인 측면에서의 중요도를 판단하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 가상수 수입에 의해 절약되는 수자원은 수입되는 작물량과 국내의 물발자국을 적용하여 아래 식과 같이 산정된다.

$$S_n[n, c] = (T_i[n, c] - T_e[n, c]) \times WF(n, c)$$

- ※ 여기서,  $S_n$  : 수입국에서 절약되는 가상수량,  
 $T_i$  : 작물 수입량,  $T_e$  : 작물 수출량,  
 $WF$  : 물발자국(water footprint),  
 $n$  : 대상 국가,  $c$  : 대상작물

- 우리나라의 경우 사료용 작물의 수입이 국내 생산으로 대체될 경우 곡물 자급률을 상승시킬 수 있다는 긍정적인 효과 외에 약 94 G m<sup>3</sup>의 가상적인 수자원을 추가적으로 사용해야 하는 측면도 고려할 필요가 있다. 사료용 작물이 주로 녹색 물발자국에 의존적이기 때문에 절약 효과 역시 유효우량의 측면에서 산정되지만 우리나라의 경우 충분한 유효우량의 활용이 불가능할 경우 관개수량으로 대체해야 하며 이를 위해서는 관개시설 역시 확충될 필요가 있다.

- 이처럼 국외 가상수 의존도가 높을 경우 국외 수자원 변화에 민감해지는 농작물 교역구조를 발생시키게 되지만 국내 수자원 절약의 측면에서는 일부 작물의 수입은 긍정적인 효과를 발생시킬 수 있다. 또한 우리나라의 경우 밀, 옥수수 등의 수입으로 인한 가상수 절약효과가 가능한 것은 주식인 논벼(쌀)에 대한 국내 자급율 및 내부 물발자국이 높기 때문이다. 논벼(쌀)의 국내 수자원 의존도가 국외 수자원 의존도에 대한 민감성을 둔화시켜주는 작용을 하고 있다. 즉, 타 작물들의 국외 가상수 흐름의 위험성에 따라 농작물 수급이 어려울지라도 논벼(쌀)가 주 식량작물을 보완할 수 있기 때문이다. 가상수 교역에 따른 국내 수자원 절약량 산정결과 2006년부터 2010년 동안 총 112 Gm<sup>3</sup>로 나타났고, 이 중 에서 밀의 교역에 의해 약 17 Gm<sup>3</sup>, 옥수수 및 두류작물에 의해 94 Gm<sup>3</sup>의 가상수가 절약되는 것으로 나타났다.
- 본 연구 결과는 국외 가상수 의존의 긍정과 부정적인 면을 동시에 고려함으로써 교역 대상국의 수자원 부족량 및 기후변화에 대한 수자원 수급 민감도에 따라 국외 의존도를 조정하고, 특정 작물에 대해서는 국외 수입에 의한 국내 수자원 절약 등을 고려하여 수입 의존도를 향상시키는 상호 보완적인 교역구조 구축을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.



<그림 34> 가상수 교역에 따른 수자원 절약량 산정 결과 (2006-2010)

(표 39) 가상수 교역에 따른 수자원 절약량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Net import (1000 ton / Mm <sup>3</sup> )				National water savings (Mm <sup>3</sup> )			
	Quantity	Green water	Blue water	Total water	Green water	Blue water	Total water	
Grain crops	Wheat	16,027	27,004	1,433	28,436	16,992	0	16,992
	Rice	1,491	1,441	889	2,330	547	534	1,082
	Barley	166	203	10	213	132	0	132
	Others	168	255	8	263	368	0	368
Root & tuber crops	89	8	7	16	15	0	15	
Maize	45,136	29,564	2,710	32,274	46,928	0	46,928	
Pulse crops	15503	31,133	675	31,807	46,834	0	46,834	
Vegetables	820	87	6	93	81	0	81	
Fruits	3	-70	14	-56	-26	0	-26	
<b>Total</b>	<b>79,403</b>	<b>89,625</b>	<b>5,750</b>	<b>95,376</b>	<b>111,872</b>	<b>534</b>	<b>112,406</b>	

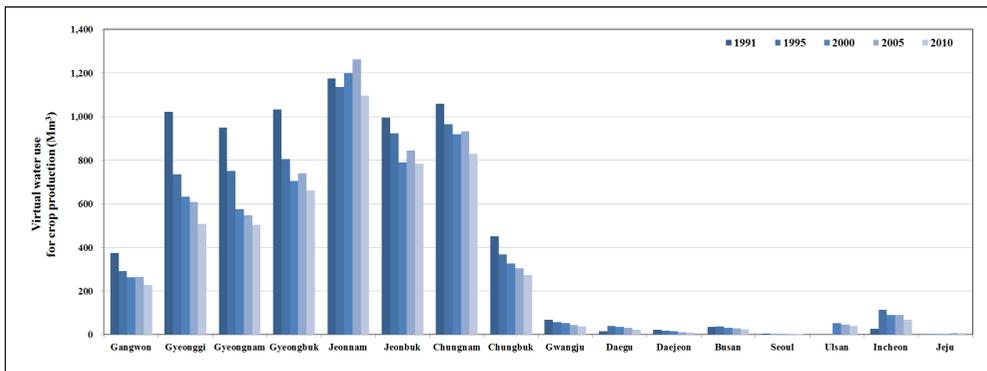
## 5. 농작물 가상수 교역 연구결과의 활용 방안

- 우리나라의 내부 물발자국은 40 Gm<sup>3</sup>, 외부 물발자국으로 96 Gm<sup>3</sup> 국외 가상수 의존도가 70 % 초과한다.
- 주 사료용 작물인 옥수수와 두류작물의 경우 90% 이상이 국외 가상수 의존적인 것으로 나타났다.
- 우리나라의 국외 가상수 의존도가 높은만큼 향후 국외 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조의 변화에 민감하게 반응할 수 있는 수입 정책 수립시 활용이 가능하다.
- 국제적으로 최종 농산물에 소비된 물 소비량에 대한 관심이 높아지고 있는 시점에서 가상수 개념을 활용하여 FTA와 같은 자유무역에 의한 농산물의 수출입 물량에 따른 국제적인 물 수출입량을 파악하고 국제 농산물 거래에 의한 가상수 거래량을 평가할 수 있는 기술 기반이 구축되었다고 볼 수 있다.
- 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조를 고려한 물 관리 정책 수립시 활용 가능하다.
- 우리나라의 국외 가상수 의존도를 낮출 수 있도록 적극적인 수자원 개발이 필요함을 보여주며 이를 위한 객관적인 데이터로 제공 가능하다.
- 또한 가상수 의존도가 집중되는 국가의 기상 및 수자원 부존량 변화를 지속적으로 모니터링하고, 국외 가상수 교역을 다변화 시킬 수 있는 방안을 고려할 필요가 있다.

## 제4절 지역단위 가상수 자급률 평가

### 1. 농산물 생산에 따른 지역별 가상수 사용량 산정

- 지역별 곡류 생산은 상당량의 농업용수 사용을 수반한다. 이에 따라 본 연구에서는 지역별 곡류 생산량과 작물별 가상수량을 적용하여 지역별 곡류 생산을 위해 소비되는 총 가상수량을 산정. 비교 하였다. 이처럼 작물별 가상수 산정결과는 지역 생산량과 쉽게 적용하여 대략적인 지역별 용수 사용량을 추정할 수 있다.
- 생산을 위해 소비되는 총 가상수 사용량 산정결과를 살펴보면 2010년 기준 전라남도와 충청남도의 가상수 사용량이 각각 1,100 Mm<sup>3</sup>, 810 Mm<sup>3</sup>으로 가장 많은 가상수가 사용되는 것으로 나타났다. 전체적으로 작물 생산량의 감소로 총 가상수 사용량이 줄어드는 것으로 나타났다. 특히 경기 지역과 경상북도, 경상남도의 가상수 사용량 감소폭이 가장 큰 것으로 나타났다. 서울특별시 및 광역시를 살펴보면 인천을 제외하고 대부분 60 Mm<sup>3</sup> 이하의 가상수가 곡류 생산을 위해 사용되는 것으로 나타났다.
- 요약하면 곡류 생산에 의해 소비되는 가상수는 지역별로 큰 차이를 나타나고 있으며 대부분의 가상수는 전라도와 충청도 지역에서 소비되는 것을 확인할 수 있으며 1985년 대비 2010년의 가상수 사용량은 대부분의 지역에서 감소하는 것으로 나타났다.



<그림 35> 연도별 곡류 총 생산에 따른 가상수 사용량(쌀, 밀, 옥수수, 보리)

(표 40) 연도별 곡류 생산에 따른 가상수 사용량 (도 기준, Mm<sup>3</sup>)

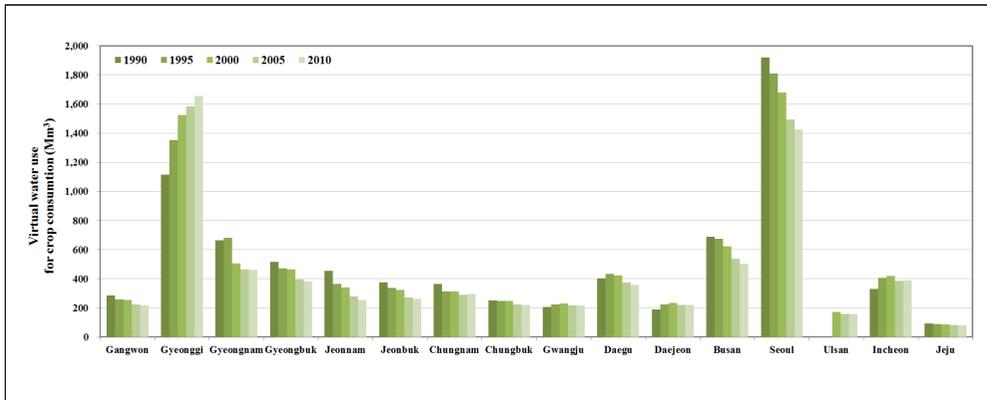
Crops	Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Paddy rice	Gangwon	316.6	254.5	237.8	240.3	200.9
	Gyeonggi	1,015.4	729.5	627.4	602.1	501.8
	Gyeongnam	837.4	686.7	526.3	513.3	470.8
	Gyeongbuk	982.7	785.5	685.9	728.0	653.4
	Jeonnam	1,169.2	1,127.6	1,188.9	1,139.6	1,018.9
	Jeonbuk	964.2	884.4	764.2	800.5	737.2
	Chungnam	1,053.7	960.7	913.9	929.3	827.0
	Chungbuk	435.2	354.9	316.4	290.1	256.9
Wheat	Gangwon	-	0.2	-	-	0.1
	Gyeonggi	-	-	-	-	0.1
	Gyeongnam	0.4	4.3	1.6	2.4	8.9
	Gyeongbuk	0.1	0.7	0.1	0.2	0.4
	Jeonnam	0.0	0.8	0.6	3.2	17.2
	Jeonbuk	0.1	1.5	0.4	1.1	12.1
	Chungnam	0.1	0.1	-	-	-
	Chungbuk	-	-	-	-	0.1
Barely	Gangwon	2.1	0.9	1.0	0.9	0.5
	Gyeonggi	0.7	0.2	0.2	0.7	0.4
	Gyeongnam	107.2	53.9	42.7	28.0	21.0
	Gyeongbuk	42.2	12.4	12.9	6.7	3.2
	Jeonnam	-	-	-	109.0	53.9
	Jeonbuk	29.0	35.4	24.0	40.9	30.9
	Chungnam	2.7	0.9	1.6	1.4	0.5
	Chungbuk	1.1	0.3	0.6	0.8	0.2
Maize	Gangwon	56.2	36.8	25.0	25.2	27.1
	Gyeonggi	6.1	5.4	6.3	6.5	5.6
	Gyeongnam	5.3	5.9	5.0	3.6	2.7
	Gyeongbuk	8.6	6.8	6.5	5.8	5.1
	Jeonnam	5.5	7.9	10.8	10.5	6.8
	Jeonbuk	2.3	2.7	2.5	2.8	3.2
	Chungnam	3.2	3.2	4.1	3.0	2.6
	Chungbuk	15.4	12.4	10.7	14.2	16.2

(표 41) 연도별 곡류 생산에 따른 가상수 사용량 (특별시 및 광역시 기준, Mm<sup>3</sup>)

Crops	Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Paddy rice	Gwangju	67.7	57.1	51.5	43.5	35.3
	Daegu	15.2	38.2	34.1	29.1	20.2
	Daejeon	22.9	18.2	16.5	12.1	8.9
	Busan	35.3	38.4	32.0	28.2	24.2
	Seoul	6.1	4.1	3.6	2.5	1.5
	Ulsan	-	-	52.5	46.2	38.8
	Incheon	27.1	113.0	90.3	88.9	67.8
	Jeju	3.3	0.9	1.3	8.2	7.1
Wheat	Gwangju	-	0.4	0.5	1.7	2.5
	Daegu	-	0.1	0.1	0.0	0.1
	Daejeon	-	-	-	-	-
	Ulsan	-	-	0.1	-	-
	Incheon	-	-	-	-	-
	Jeju	-	-	-	-	0.3
Barely	Daegu	0.3	2.5	2.1	2.3	1.8
	Daejeon	0.1	0.2	-	-	-
	Busan	-	-	-	-	-
	Ulsan	-	-	0.3	0.1	-
	Incheon	-	0.4	0.4	0.4	0.1
Maize	Gwangju	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
	Daegu	-	0.2	0.4	0.6	0.3
	Daejeon	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
	Busan	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2
	Seoul	-	-	-	-	0.1
	Ulsan	-	-	0.9	0.5	0.6
	Incheon	0.1	0.3	0.4	0.5	0.2
	Jeju	0.3	0.5	0.2	0.3	0.5

## 2. 농산물 소비에 따른 지역별 가상수 사용량 산정

- 농산물의 소비는 인구와 관련 있기 때문에 본 연구에서는 1인당 농산물 소비에 따른 가상수 사용량 산정 결과와 지역별 인구수를 적용하여 농산물 소비에 따른 지역별 총 가상수 사용량을 추정하였다.
- 인구가 증가하는 추세인 경기도 지역의 가상수 소비량이 증가하는 것으로 나타났고, 그 외의 대부분의 지역에서는 인구 감소에 따라 가상수 소비량이 감소하는 것으로 나타났다.
- 경기도 지역의 경우 2010년 약 1600 Mm<sup>3</sup> 이상의 가상수가 농산물의 소비에 의해 사용되는 것으로 나타났고, 서울의 경우 약 1400 Mm<sup>3</sup>의 가상수가 사용되는 것으로 나타났다.
- 요약하면 인구감소에 따른 곡물 소비 감소에 따라 경기도 지역을 제외하고 곡류 소비에 의해 사용되는 가상수는 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 향후 수자원 개발 및 관리 측면에서 인구의 증가 및 감소 여부가 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.



<그림 36> 연도별 곡류 소비에 따른 가상수 사용량 (쌀, 밀, 옥수수, 보리)

(표 42) 연도별 지역별 인구수 변화

인구수	1990	1995	2000	2005	2010
전국	43,390,374	44,553,710	45,985,289	47,041,434	47,990,761
서울특별시	10,603,250	10,217,177	9,853,972	9,762,546	9,631,482
부산광역시	3,795,892	3,809,618	3,655,437	3,512,547	3,393,191
대구광역시	2,227,979	2,445,288	2,473,990	2,456,016	2,431,774
인천광역시	1,816,328	2,304,176	2,466,338	2,517,680	2,632,035
광주광역시	1,138,717	1,257,063	1,350,948	1,413,644	1,466,143
대전광역시	1,049,122	1,270,873	1,365,961	1,438,551	1,490,158
울산광역시			1,012,110	1,044,934	1,071,673
경기도	6,154,359	7,637,942	8,937,752	10,341,006	11,196,053
강원도	1,579,859	1,465,279	1,484,536	1,460,770	1,463,650
충청북도	1,389,222	1,395,460	1,462,621	1,453,872	1,495,984
충청남도	2,013,270	1,765,021	1,840,410	1,879,417	2,000,473
전라북도	2,069,378	1,900,558	1,887,239	1,778,879	1,766,044
전라남도	2,506,944	2,066,109	1,994,287	1,815,174	1,728,749
경상북도	2,860,109	2,672,498	2,716,218	2,594,719	2,575,370
경상남도	3,671,509	3,841,553	2,970,929	3,040,993	3,119,571
제주도	514,436	505,095	512,541	530,686	528,411

(표 43) 연도별 곡류 소비에 따른 가상수 소비량 (도 기준, Mm<sup>3</sup>)

Crops	Regions	1990	1995	2000	2005	2010
Paddy rice	Gangwon	196.5	166.9	149.7	125.3	122.8
	Gyeonggi	765.6	870.2	901.0	886.8	939.6
	Gyeongnam	456.8	437.7	299.5	260.8	261.8
	Gyeongbuk	355.8	304.5	273.8	222.5	216.1
	Jeonnam	311.9	235.4	201.0	155.7	145.1
	Jeonbuk	257.4	216.5	190.3	152.5	148.2
	Chungnam	250.5	201.1	185.5	161.2	167.9
	Chungbuk	172.8	159.0	147.4	124.7	125.5
Wheat	Gangwon	49.8	53.0	56.9	49.0	51.7
	Gyeonggi	193.9	276.1	342.4	346.9	395.7
	Gyeongnam	115.7	138.8	113.8	102.0	110.3
	Gyeongbuk	90.1	96.6	104.1	87.0	91.0
	Jeonnam	79.0	74.7	76.4	60.9	61.1
	Jeonbuk	65.2	68.7	72.3	59.7	62.4
	Chungnam	63.4	63.8	70.5	63.0	70.7
	Chungbuk	43.8	50.4	56.0	48.8	52.9
Barely	Gangwon	3.1	2.2	2.1	1.4	1.6
	Gyeonggi	11.9	11.7	12.9	9.7	11.9
	Gyeongnam	7.1	5.9	4.3	2.9	3.3
	Gyeongbuk	5.5	4.1	3.9	2.4	2.7
	Jeonnam	4.9	3.2	2.9	1.7	1.8
	Jeonbuk	4.0	2.9	2.7	1.7	1.9
	Chungnam	3.9	2.7	2.6	1.8	2.1
	Chungbuk	2.7	2.1	2.1	1.4	1.6
Maize	Gangwon	36.6	37.2	44.5	48.0	40.1
	Gyeonggi	142.7	193.8	267.8	339.9	307.0
	Gyeongnam	85.1	97.5	89.0	100.0	85.5
	Gyeongbuk	66.3	67.8	81.4	85.3	70.6
	Jeonnam	58.1	52.4	59.8	59.7	47.4
	Jeonbuk	48.0	48.2	56.5	58.5	48.4
	Chungnam	46.7	44.8	55.1	61.8	54.9
	Chungbuk	32.2	35.4	43.8	47.8	41.0

(표 44) 연도별 곡류 소비에 따른 가상수 소비량 (특별시 및 광역시 기준, Mm<sup>3</sup>)

Crops	Regions	1990	1995	2000	2005	2010
Paddy rice	Gwangju	141.7	143.2	136.2	121.2	123.0
	Daegu	277.2	278.6	249.4	210.6	204.1
	Daejeon	130.5	144.8	137.7	123.4	125.1
	Busan	472.2	434.0	368.5	301.2	284.8
	Seoul	1,319.1	1,164.1	993.4	837.2	808.3
	Ulsan	-	-	102.0	89.6	89.9
	Incheon	226.0	262.5	248.6	215.9	220.9
	Jeju	64.0	57.5	51.7	45.5	44.3
Wheat	Gwangju	35.9	45.4	51.8	47.4	51.8
	Daegu	70.2	88.4	94.8	82.4	85.9
	Daejeon	33.0	45.9	52.3	48.3	52.7
	Busan	119.6	137.7	140.0	117.8	119.9
	Seoul	334.0	369.3	377.5	327.5	340.4
	Ulsan	-	-	38.8	35.1	37.9
	Incheon	57.2	83.3	94.5	84.5	93.0
	Jeju	16.2	18.3	19.6	17.8	18.7
Barely	Gwangju	2.2	1.9	1.9	1.3	1.6
	Daegu	4.3	3.8	3.6	2.3	2.6
	Daejeon	2.0	1.9	2.0	1.4	1.6
	Busan	7.3	5.8	5.3	3.3	3.6
	Seoul	20.5	15.7	14.2	9.2	10.2
	Ulsan	-	-	1.5	1.0	1.1
	Incheon	3.5	3.5	3.5	2.4	2.8
	Jeju	1.0	0.8	0.7	0.5	0.6
Maize	Gwangju	26.4	31.9	40.5	46.5	40.2
	Daegu	51.7	62.0	74.1	80.7	66.7
	Daejeon	24.3	32.2	40.9	47.3	40.9
	Busan	88.0	96.6	109.5	115.5	93.0
	Seoul	245.9	259.2	295.2	320.9	264.1
	Ulsan	-	-	30.3	34.3	29.4
	Incheon	42.1	58.5	73.9	82.8	72.2
	Jeju	11.9	12.8	15.4	17.4	14.5

### 3. 지역별 곡물 가상수의 자급률 평가

- 가상수 자급률은 작물 생산을 위하여 사용된 가상수와 작물 소비를 위하여 사용된 가상수의 비율을 의미한다. 본 연구에서는 주요 4개 작물의 생산 및 소비에 의해 사용되는 가상수를 산정하고 지역별 가상수 자급률을 비교하였다.

#### 가상수 자급률

$$= \text{[생산을 위해 사용된 가상수]} / \text{[소비에 의해 사용된 가상수]}$$

- 쌀의 경우 도 단위에서는 모든 지역에서 가상수 자급률이 100%를 넘는 것으로 나타났다. 특히, 전라남도의 가상수 자급률이 가장 높은 것으로 나타났다. 시기별 결과를 살펴보면 전라도 지역의 가상수 자급률은 시기가 지날수록 증가하는 것으로 나타났고 그 외의 대부분의 지역에서는 쌀 가상수 자급률은 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 서울과 부산 등의 대도시의 경우 자급률이 1% 미만인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도 지역의 수자원이 대부분 대도시민들을 위하여 소비되는 것으로 볼 수 있으며 추후 지역별 수자원의 가치가 고려될 경우 지역간 수자원 이동에 대한 새로운 수자원 관리 정책이 필요할 것으로 판단된다. 또한 대도시 인구의 증가는 농업지역 수자원의 부족을 발생시킬 수 있기 때문에 대도시의 자급률이 낮아질수록 자급률이 높은 지역의 수자원 관리 및 수자원 개발이 필요할 것으로 판단된다.
- 우리나라에서 주로 수입되는 밀과 옥수수는 강원도를 제외한 대부분의 지역에서 자급률이 상당히 낮게 나타났다. 이러한 가상수 자급률은 국외 가상수의 의존도가 높음을 의미하게 때문에 이와 같은 작물의 국내 생산을 높이기 위해서는 추가적인 수자원 확보가 필수적임을 알 수 있다. 보리의 경우 경상도와 전라도의 농업 지역의 수자원을 전국민이 사용하는 형태로 볼 수 있으며 국가적인 차원에서 이와 같은 지역의 수자원 관리에 보다 관심을 가질 필요가 있다.

(표 45) 연도별 곡류 생산 및 소비에 따른 가상수 자급률 (도 기준, %)

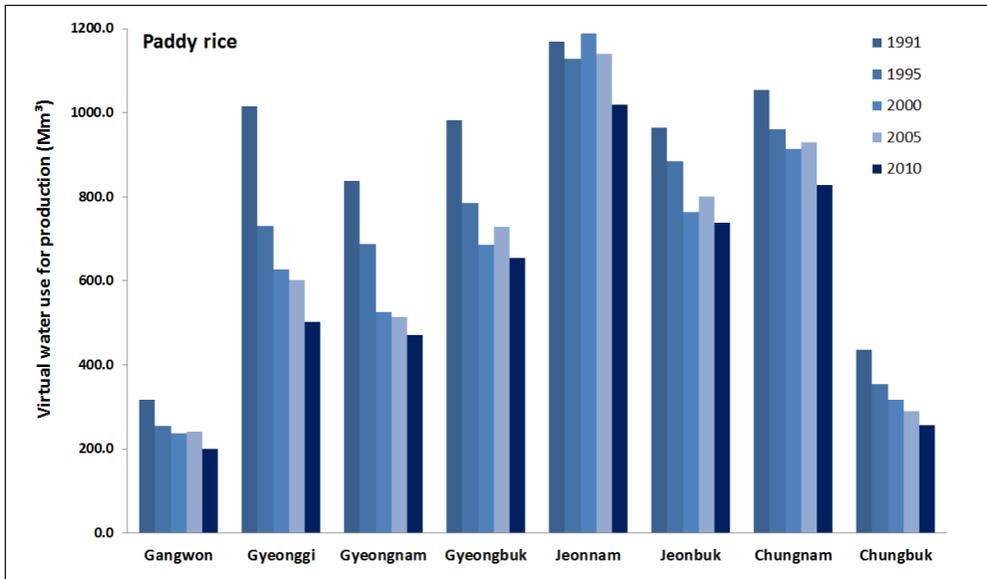
Crops	Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Paddy rice	Gangwon	161.1	152.5	158.9	191.8	163.6
	Gyeonggi	132.6	83.8	69.6	67.9	53.4
	Gyeongnam	183.3	156.9	175.7	196.8	179.8
	Gyeongbuk	276.2	258.0	250.5	327.2	302.4
	Jeonnam	374.9	479.0	591.5	731.9	702.2
	Jeonbuk	374.6	408.5	401.6	524.9	497.4
	Chungnam	420.6	477.7	492.7	576.5	492.6
	Chungbuk	251.9	223.2	214.7	232.6	204.7
Wheat	Gangwon	-	0.4	-	-	0.2
	Gyeonggi	-	-	-	-	0.0
	Gyeongnam	0.3	3.1	1.4	2.4	8.1
	Gyeongbuk	0.1	0.7	0.1	0.2	0.4
	Jeonnam	0.0	1.1	0.8	5.3	28.2
	Jeonbuk	0.2	2.2	0.6	1.8	19.4
	Chungnam	0.2	0.2	-	-	-
	Chungbuk	-	-	-	-	0.2
Barely	Gangwon	67.7	40.9	47.6	64.3	31.3
	Gyeonggi	5.9	1.7	1.6	7.2	3.4
	Gyeongnam	1,509.9	913.6	993.0	965.5	636.4
	Gyeongbuk	767.3	302.4	330.8	279.2	118.5
	Jeonnam	-	-	-	6,411.8	2,994.4
	Jeonbuk	725.0	1,220.7	888.9	2,405.9	1,626.3
	Chungnam	69.2	33.3	61.5	77.8	23.8
	Chungbuk	40.7	14.3	28.6	57.1	12.5
Maize	Gangwon	153.6	98.9	56.2	52.5	67.6
	Gyeonggi	4.3	2.8	2.4	1.9	1.8
	Gyeongnam	6.2	6.1	5.6	3.6	3.2
	Gyeongbuk	13.0	10.0	8.0	6.8	7.2
	Jeonnam	9.5	15.1	18.1	17.6	14.3
	Jeonbuk	4.8	5.6	4.4	4.8	6.6
	Chungnam	6.9	7.1	7.4	4.9	4.7
	Chungbuk	47.8	35.0	24.4	29.7	39.5

(표 46) 연도별 곡류 생산 및 소비에 따른 가상수 자급률 (특별시 및 광역시 기준, %)

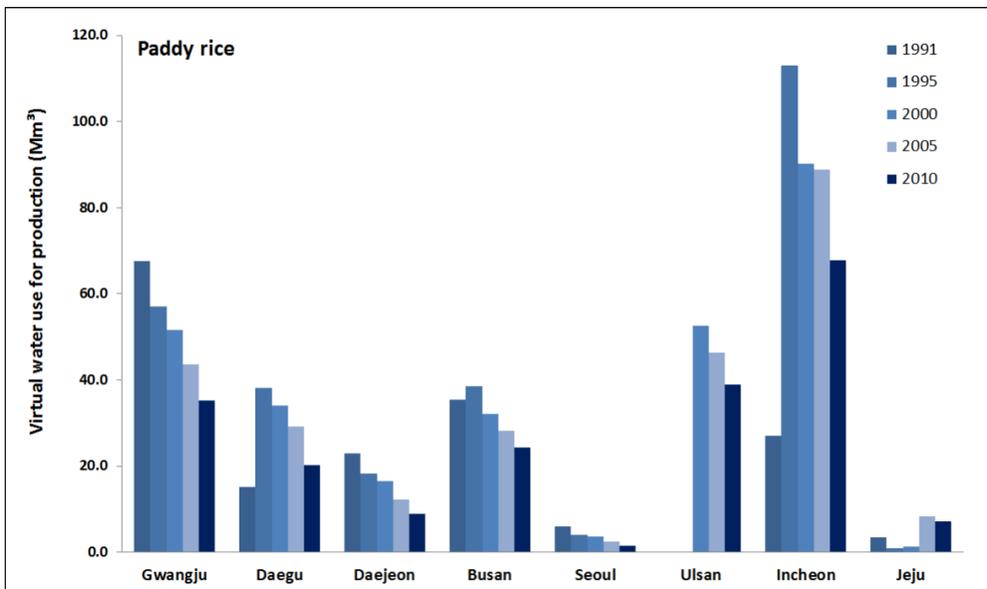
Crops	Regions	1990	1995	2000	2005	2010
Paddy rice	Gwangju	47.8	39.9	37.8	35.9	28.7
	Daegu	5.5	13.7	13.7	13.8	9.9
	Daejeon	17.5	12.6	12.0	9.8	7.1
	Busan	7.5	8.8	8.7	9.4	8.5
	Seoul	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
	Ulsan	-	-	51.5	51.6	43.2
	Incheon	12.0	43.0	36.3	41.2	30.7
	Jeju	5.2	1.6	2.5	18.0	16.0
Wheat	Gwangju	-	0.9	1.0	3.6	4.8
	Daegu	-	0.1	0.1	0.0	0.1
	Daejeon	-	-	-	-	-
	Busan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Seoul	-	-	0.0	-	-
	Ulsan	-	-	0.3	-	-
	Incheon	-	-	-	-	-
	Jeju	-	-	-	-	1.6
Barely	Gwangju	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Daegu	7.0	65.8	58.3	100.0	69.2
	Daejeon	5.0	10.5	-	-	-
	Busan	-	-	-	-	-
	Seoul	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ulsan	-	-	20.0	10.0	-
	Incheon	-	11.4	11.4	16.7	3.6
	Jeju	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maize	Gwangju	0.8	0.6	0.5	0.4	0.2
	Daegu	-	0.3	0.5	0.7	0.4
	Daejeon	0.8	0.6	0.7	0.6	0.5
	Busan	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2
	Seoul	-	-	-	-	0.0
	Ulsan	-	-	3.0	1.5	2.0
	Incheon	0.2	0.5	0.5	0.6	0.3
	Jeju	2.5	3.9	1.3	1.7	3.4

#### 4. 백미의 지역별 녹색 및 청색 가상수의 자급률 평가

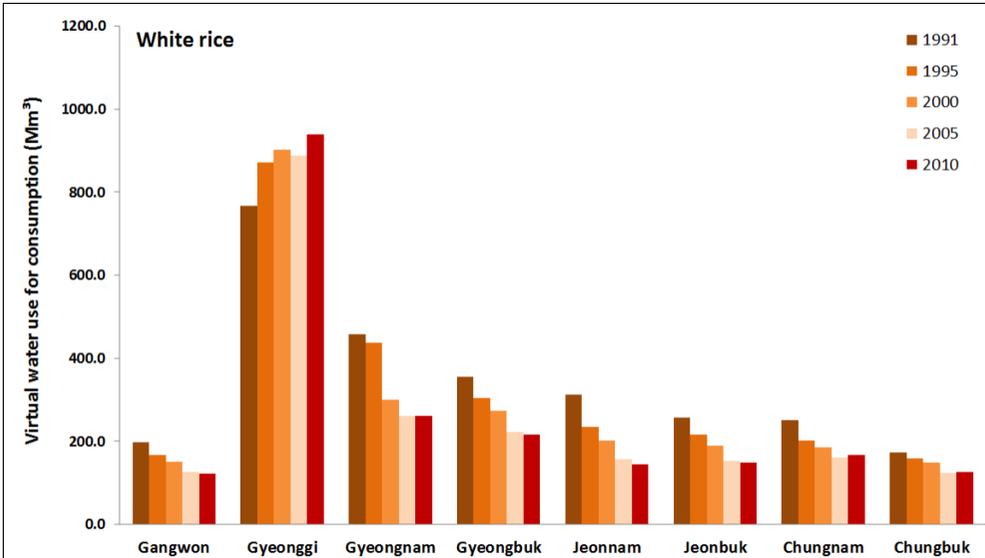
- 물발자국은 용수 공급원에 따라 녹색과 청색 물발자국으로 구분되고, 우리나라에 작물 중에서 관개용수를 가장 많이 사용하는 작물인 쌀에 대하여 녹색과 청색 가상수 자급률을 산정하였다. 특히 청색 물발자국은 관개수량을 의미하기 때문에 자급률의 변화에 따라 지역별 수자원 관리 방안 역시 달라질 수 있다. 또한 쌀의 경우 국내 식량 자급률이 상당히 높기 때문에 생산 및 소비에 따른 수자원 사용량은 대부분 국내 부존량으로 볼 수 있기 때문에 중요성이 더 크다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 국내 자급률이 가장 높은 쌀에 대하여 생산과 소비에 따른 지역별 녹색과 청색 가상수 자급률을 산정하였다.
- 연구결과 전라남도의 쌀 자급률이 가장 높게 나타났고 상대적으로 쌀 생산이 적고, 다수의 인구가 거주하는 대도시의 경우 가상수 자급률이 현저하게 낮게 나타났다. 자급률이 높은 지역은 타 지역의 작물 소비를 위하여 수자원을 활용하는 것으로 볼 수 있으며 특히, 청색 가상수의 자급률이 높은 지역은 농업용 저수지 등의 수자원을 타 지역을 위하여 사용하고 있는 것으로 판단할 수 있다.
- 지역별 가상수 자급률의 차이는 결국 지역간 가상수의 이동을 발생시킨다. 서울의 경우 연평균 1263.6 m<sup>3</sup>의 가상수가 유입되는 것으로 산정되었고, 전남지역의 경우 약 863.2m<sup>3</sup>의 가상수가 유출되는 것으로 산정되었다.
- 각 지역별 수자원의 가치가 높아질수록 가상수 자급률이 낮은 지역의 경우 타 지역과의 수자원 연계 활용을 고려할 필요가 있으며 자급률이 높은 지역은 수자원의 가치 증진을 위해 노력할 필요가 있다.



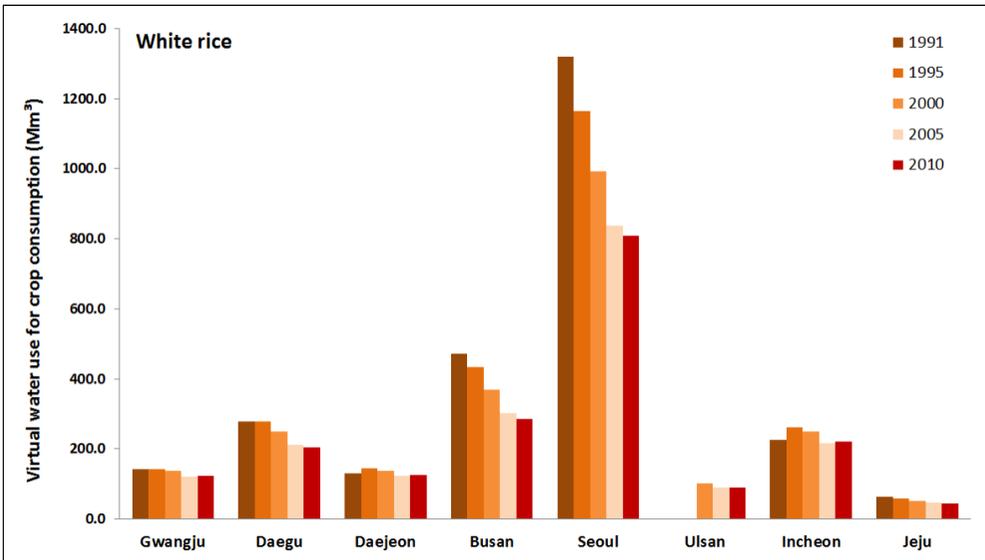
<그림 37> 지역별 백미 생산에 의한 가상수 사용량 (도기준, Mm³)보리



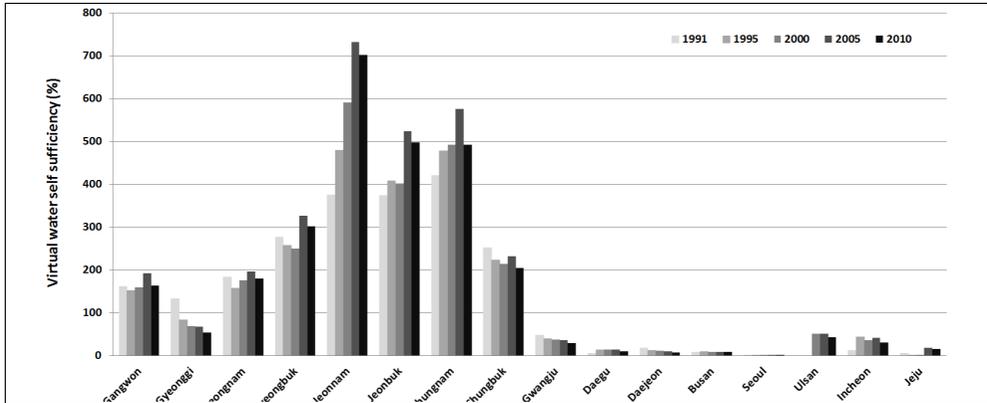
<그림 38> 지역별 백미 소비에 의한 가상수 사용량 (특별시, 광역시 기준, Mm³)



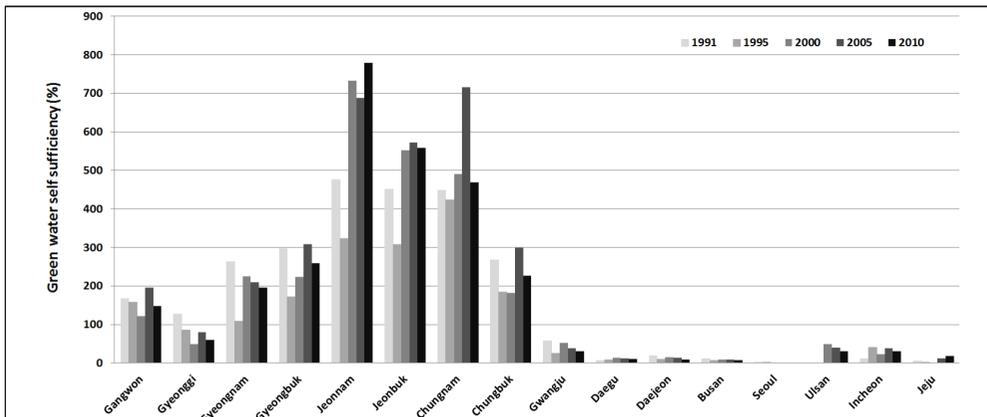
<그림 39> 지역별 백미 소비에 의한 가상수 사용량 (도기준, Mm³)



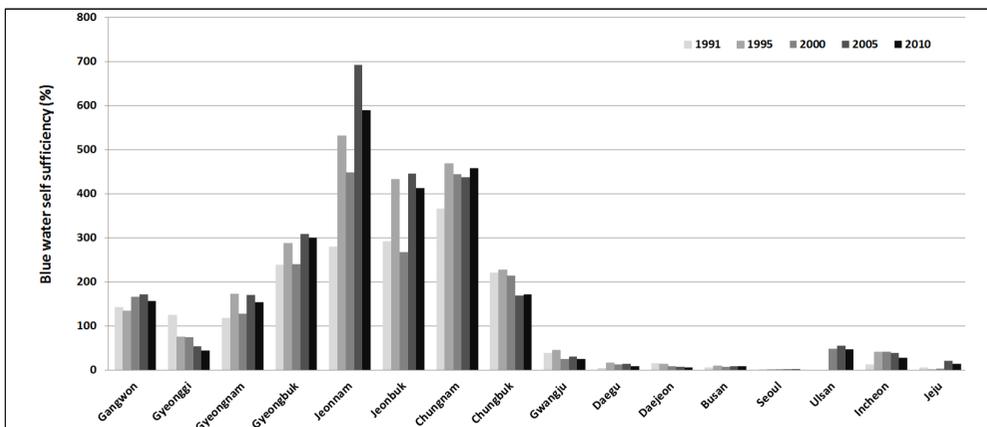
<그림 40> 지역별 백미 소비에 의한 가상수 사용량 (특별시, 광역시 기준, Mm³)



<그림 41> 지역별 가상수 자급률 산정 결과 (백미)



<그림 42> 지역별 녹색 가상수 자급률 산정 결과 (백미)



<그림 43> 지역별 청색 가상수 자급률 산정 결과 (백미)

(표 47) 백미 생산에 의한 가상수 사용량 산정 (Mm<sup>3</sup>)

Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Gangwon	316.6	254.5	237.8	240.3	200.9
Gyeonggi	1,015.4	729.5	627.4	602.1	501.8
Gyeongnam	837.4	686.7	526.3	513.3	470.8
Gyeongbuk	982.7	785.5	685.9	728.0	653.4
Jeonnam	1,169.2	1,127.6	1,188.9	1,139.6	1,018.9
Jeonbuk	964.2	884.4	764.2	800.5	737.2
Chungnam	1,053.7	960.7	913.9	929.3	827.0
Chungbuk	435.2	354.9	316.4	290.1	256.9
Gwangju	67.7	57.1	51.5	43.5	35.3
Daegu	15.2	38.2	34.1	29.1	20.2
Daejeon	22.9	18.2	16.5	12.1	8.9
Busan	35.3	38.4	32.0	28.2	24.2
Seoul	6.1	4.1	3.6	2.5	1.5
Ulsan			52.5	46.2	38.8
Incheon	27.1	113.0	90.3	88.9	67.8
Jeju	3.3	0.9	1.3	8.2	7.1

(표 48) 백미 소비에 의한 가상수 사용량 산정 (Mm<sup>3</sup>)

Regions	1990	1995	2000	2005	2010
Gangwon	196.6	166.9	149.7	125.3	122.8
Gyeonggi	765.8	870.2	901.0	887.0	939.7
Gyeongnam	456.8	437.7	299.5	260.8	261.8
Gyeongbuk	355.9	304.5	273.8	222.6	216.1
Jeonnam	311.9	235.4	201.0	155.7	145.1
Jeonbuk	257.5	216.5	190.3	152.6	148.2
Chungnam	250.5	201.1	185.5	161.2	167.9
Chungbuk	172.9	159.0	147.4	124.7	125.6
Gwangju	141.7	143.2	136.2	121.2	123.1
Daegu	277.2	278.6	249.4	210.7	204.1
Daejeon	130.5	144.8	137.7	123.4	125.1
Busan	472.3	434.0	368.5	301.3	284.8
Seoul	1,319.3	1,164.1	993.4	837.3	808.4
Ulsan			102.0	89.6	89.9
Incheon	226.0	262.5	248.6	215.9	220.9
Jeju	64.0	57.5	51.7	45.5	44.3

(표 49) 백미 생산에 의한 녹색 가상수 사용량 산정 (Mm')

Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Gangwon	124.7	99.7	68.7	92.9	69.2
Gyeonggi	368.9	281.8	169.5	268.7	213.2
Gyeongnam	456.6	180.6	256.2	208.1	194.1
Gyeongbuk	400.2	197.8	232.5	261.1	212.7
Jeonnam	563.5	289.0	559.0	406.8	428.9
Jeonbuk	441.5	252.6	399.0	331.4	313.7
Chungnam	426.2	322.7	345.4	437.7	299.1
Chungbuk	175.6	111.4	101.6	141.6	108.1
Gwangju	30.9	13.9	27.0	17.7	14.4
Daegu	6.6	9.0	13.4	9.2	7.6
Daejeon	9.3	5.5	8.0	6.3	4.2
Busan	19.6	11.0	13.1	9.9	7.7
Seoul	2.0	1.6	1.1	1.0	0.7
Ulsan			18.8	13.4	10.5
Incheon	9.4	39.7	20.9	31.5	25.8
Jeju	1.3	0.3	0.3	2.0	2.9

(표 50) 백미 소비에 의한 녹색 가상수 사용량 산정 (Mm')

Regions	1990	1995	2000	2005	2010
Gangwon	74.6	63.4	56.8	47.6	46.6
Gyeonggi	290.6	330.3	342.0	336.6	356.6
Gyeongnam	173.4	166.1	113.7	99.0	99.4
Gyeongbuk	135.1	115.6	103.9	84.5	82.0
Jeonnam	118.4	89.3	76.3	59.1	55.1
Jeonbuk	97.7	82.2	72.2	57.9	56.3
Chungnam	95.1	76.3	70.4	61.2	63.7
Chungbuk	65.6	60.3	56.0	47.3	47.7
Gwangju	53.8	54.4	51.7	46.0	46.7
Daegu	105.2	105.7	94.7	80.0	77.5
Daejeon	49.5	55.0	52.3	46.8	47.5
Busan	179.3	164.7	139.9	114.3	108.1
Seoul	500.7	441.8	377.0	317.8	306.8
Ulsan	0.0	0.0	38.7	34.0	34.1
Incheon	85.8	99.6	94.4	82.0	83.8
Jeju	24.3	21.8	19.6	17.3	16.8

(표 51) 백미 생산에 의한 청색 가상수 사용량 산정 (Mm')

Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Gangwon	173.1	139.2	153.8	133.2	119.2
Gyeonggi	591.9	405.4	418.6	298.5	257.7
Gyeongnam	334.3	467.9	236.5	275.7	249.5
Gyeongbuk	525.0	544.1	408.3	425.7	403.2
Jeonnam	541.1	776.6	559.0	668.6	530.9
Jeonbuk	466.5	580.7	315.3	422.7	380.1
Chungnam	569.1	584.0	512.1	437.8	477.5
Chungbuk	236.0	224.1	195.4	131.3	133.7
Gwangju	33.0	40.2	21.6	23.4	18.9
Daegu	7.8	27.3	18.8	18.3	11.6
Daejeon	12.3	11.7	7.6	5.1	4.2
Busan	14.0	25.5	17.2	16.9	15.3
Seoul	3.7	2.3	2.3	1.4	0.7
Ulsan			30.8	30.4	26.3
Incheon	16.3	67.1	63.8	52.1	37.9
Jeju	1.9	0.6	0.9	5.9	3.8

(표 52) 백미 소비에 의한 청색 가상수 사용량 산정 (Mm')

Regions	1990	1995	2000	2005	2010
Gangwon	121.9	103.6	92.8	77.7	76.2
Gyeonggi	475.0	539.8	558.9	550.2	582.8
Gyeongnam	283.4	271.5	185.8	161.8	162.4
Gyeongbuk	220.7	188.9	169.8	138.0	134.1
Jeonnam	193.5	146.0	124.7	96.6	90.0
Jeonbuk	159.7	134.3	118.0	94.6	91.9
Chungnam	155.4	124.7	115.1	100.0	104.1
Chungbuk	107.2	98.6	91.5	77.3	77.9
Gwangju	87.9	88.8	84.5	75.2	76.3
Daegu	171.9	172.8	154.7	130.7	126.6
Daejeon	81.0	89.8	85.4	76.5	77.6
Busan	293.0	269.2	228.6	186.9	176.6
Seoul	818.3	722.0	616.2	519.4	501.4
Ulsan	0.0	0.0	63.3	55.6	55.8
Incheon	140.2	162.8	154.2	133.9	137.0
Jeju	39.7	35.7	32.0	28.2	27.5

(표 53) 백미 생산 및 소비에 의한 가상수 자급률 산정 (%)

Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Gangwon	161.1	152.4	158.9	191.8	163.5
Gyeonggi	132.6	83.8	69.6	67.9	53.4
Gyeongnam	183.3	156.9	175.7	196.8	179.8
Gyeongbuk	276.1	258.0	250.5	327.1	302.3
Jeonnam	374.8	479.0	591.4	732.0	702.3
Jeonbuk	374.5	408.4	401.7	524.7	497.4
Chungnam	420.6	477.7	492.6	576.5	492.6
Chungbuk	251.8	223.2	214.6	232.7	204.6
Gwangju	47.8	39.8	37.8	35.9	28.7
Daegu	5.5	13.7	13.7	13.8	9.9
Daejeon	17.5	12.6	12.0	9.8	7.1
Busan	7.5	8.9	8.7	9.4	8.5
Seoul	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
Ulsan			51.5	51.6	43.2
Incheon	12.0	43.0	36.3	41.2	30.7
Jeju	5.2	1.6	2.5	18.0	16.0

(표 54) 백미 생산 및 소비에 의한 녹색 가상수 자급률 산정 (%)

Regions	1990	1995	2000	2005	2010
Gangwon	167.1	157.3	120.9	195.4	148.4
Gyeonggi	126.9	85.3	49.6	79.8	59.8
Gyeongnam	263.4	108.7	225.4	210.2	195.3
Gyeongbuk	296.3	171.2	223.8	309.1	259.3
Jeonnam	476.0	323.5	732.6	688.4	778.8
Jeonbuk	451.8	307.3	552.6	572.2	557.7
Chungnam	448.3	422.7	490.5	715.4	469.3
Chungbuk	267.7	184.6	181.5	299.1	226.9
Gwangju	57.5	25.6	52.3	38.4	30.8
Daegu	6.3	8.6	14.1	11.5	9.7
Daejeon	18.7	10.1	15.3	13.4	8.8
Busan	10.9	6.7	9.4	8.6	7.2
Seoul	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
Ulsan			48.6	39.4	30.7
Incheon	11.0	39.8	22.2	38.4	30.7
Jeju	5.2	1.2	1.7	11.3	17.5

(표 55) 백미 생산 및 소비에 의한 청색 가상수 자급률 산정 (%)

Regions	1991	1995	2000	2005	2010
Gangwon	142.0	134.4	165.7	171.4	156.4
Gyeonggi	124.6	75.1	74.9	54.3	44.2
Gyeongnam	118.0	172.3	127.3	170.4	153.7
Gyeongbuk	237.8	288.1	240.4	308.4	300.7
Jeonnam	279.7	531.8	448.3	692.3	589.9
Jeonbuk	292.1	432.4	267.2	446.6	413.5
Chungnam	366.3	468.2	445.0	437.9	458.5
Chungbuk	220.1	227.3	213.7	169.8	171.7
Gwangju	37.6	45.2	25.6	31.1	24.7
Daegu	4.5	15.8	12.2	14.0	9.2
Daejeon	15.2	13.0	8.9	6.7	5.4
Busan	4.8	9.5	7.5	9.0	8.7
Seoul	0.5	0.3	0.4	0.3	0.1
Ulsan	-	-	48.7	54.7	47.2
Incheon	11.6	41.2	41.4	38.9	27.7
Jeju	4.8	1.7	2.7	20.8	13.8

## 5. 지역단위 가상수 자급률 평가 결과 활용 방안

- 가상수 개념은 작물 생산을 위해 사용되는 가상수 외에 식품소비에 의한 가상수 사용량을 동시에 포함할 수 있으므로 지역별 농작물 소비 대비 생산에 따른 가상수 자급률을 산정할 수 있다.
- 가상수 자급률은 지역별 수자원 활용의 중요성을 보여줄 수 있으며, 타 지역의 수자원 개발 및 활용이 전국 지역들과 연관성이 있다는 점을 시사한다.
- 이에 따라 각 지역별 수자원의 가치가 높아질수록 가상수 자급률이 낮은 지역의 경우 타 지역과의 수자원 연계 활용을 고려할 필요가 있으며 자급률이 높은 지역은 수자원의 가치 증진을 위해 노력할 필요가 있다.
- 농작물 생산지역의 수자원 계획은 단순히 해당지역의 소비만을 고려하는 것에서 확장하여 농작물 소비가 주로 발생하는 대도시 지역 등의 가상수 소비량을 동시에 고려할 수 있도록 수립될 필요가 있다.
- 본 연구의 가상수 자급률 산정 결과는 타 지역의 수자원 소비량을 고려한 해당지역의 수자원 개발을 위한 정량적 지표로서 제시될 수 있다.
- 또한 지역별 물 사용 총량제 등의 물 관리 제도를 도입하기 위한 기초자료로서도 활용 가능하다.

## 제4장 물발자국의 정책적 활용



## 제4장 물발자국의 정책적 활용

### 제1절 물발자국의 정책적 활용 방안

- 물발자국은 한 국가에서 사용되는 물의 이력, 즉 물이 어떻게 사용되고, 어디로 이동하는지에 대하여 정량적으로 제시해준다.
- 산업 측면에서는 용수의 확보가 어려워지고 산업간 물 사용에 있어 갈등이 있는 가운데 원료와 생산 그리고 유통에 이르는 전과정에서의 물 사용량을 평가하여 단계별로 용수의 낭비요소를 없애고 원가를 절감하고 환경 친화적인 재화를 생산할 수 있는 기회를 제공할 수 있다.
- 새만금 개발 등의 범국가적인 사업 및 지역 개발사업 등에 환경성을 평가하는데 있어서 수자원의 지속가능성을 물사용량으로 평가할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있다.

### 제2절 물발자국을 이용한 농업용수 관리

#### 1. 농업 관련 용수별 활용 및 관리 방법과 물발자국의 비교

- 지금까지 우리나라에서 물 사용량을 평가하는 것은 어떤 재화를 생산하는데 국내에서 얼마나 물을 사용되는가를 계상하고, 이에 따라 산업별로 용수사용량을 산정한 후, 이에 따라 산업별로 얼마나 물이 필요한가를 산정하여, 이를 공급하기 위한 수자원 계획을 수립하고 관리하기 위한 것에 초점이 맞춰져 있었다. 하지만 모든 재화와 용역은 최종 소비자에게 전달되기까지 여러 단계를 거쳐서 생산유통되고 이 과정에서 물이 사용되므로 단계별로 물 사용량을 계산하여 적용하면 물이 언제 어디서 얼마나 사용되는가를 평가할 수 있고, 이와 같이 물 사용 과정을 추적하면 최종적으로 각종

재화와 용역에 얼마만큼의 물이 사용되었는가를 물발자국을 통하여 산정할 수 있다.

- 각종 생산품과 서비스에 대한 물 발자국을 산정하면 지금까지 단지 산업별 물수요량을 추정하고 이에 따라 수자원을 개발하던 정책접근과 다른 측면을 살펴볼 수 있는데, 이를 정리하면 표 56과 같다.
- 물발자국을 이용한 농산물의 물발자국 산정은 정책적으로 다른 시사점을 제시하는 바를 살펴보면 첫째로 물은 유한자원으로서 소비패턴과 재화를 흐름에 따라 재조명할 수 있다. 둘째로 물 사용과 관리를 경제적인 관점에서 볼 수 있고 새로운 산업을 창출할 수 있는 기회를 제공할 수도 있다. 셋째로 물 소비자가 농민 뿐 만 아니라 농산물을 소비하는 모든 사람들에게 농업용수의 중요성을 알릴 수 있다. 즉 농산물 소비자 측면의 농업용수 이용 관리 농산물 소비에 따른 농업용수 소비량을 소비자에게 알림으로 인하여 경각심을 고취하고 농업용수의 중요성과 관리의 필요성을 홍보할 수 있다. 마지막으로 농산물 소비는 국내의 용수사용 뿐 만 아니라 국제적으로 수입된 농산물과도 관련되어 있음을 알 수 있다.

(표 56) 농업관련 용수별 활용 및 관리 방법 비교

구 분	농업용수	농어촌용수	농산물 물발자국
개념	농사에 필요한 용수	농업용수, 생활용수, 공업용수 등을 포함한 지역용수의 개념	농산물의 재배와 가공, 소비까지 단계별 물 사용량
산정방법	작물소비수량, 유효수량, 관개효율 등으로 산정	용수별 산정방법 활용	농산물의 재배에서, 가공, 소비에 이르는 단계별 용수 산정
활용내용	수자원장기종합계획/농업생산기반정비사업 등 산업별 용수계획에 활용	농업생산기반정비사업에서 농어촌 용수 계획에 활용	농업용수 계획 뿐만 아니라 가공 및 소비에 이르는 각종 용수 소비량 산정에 활용
산업별 이용	1차 산업	지역에 대한 종합적 용수계획에 이용	1차, 2차, 3차 산업에 이르는 연계 활용 (6차 산업에 활용 가능)
용수 관리 이용 측면	농업용수 이용량/공급량 산정	지역내 용수 수요와 공급 계획에 이용	생산에서 소비에 이르는 각 단계별 용수 수요 추정으로 단계별 용수 공급/수요 관리 가능
수요관리 측면	수요예측과 대응	수요예측과 대응	생산/소비 단계별 수요 관리 가능
관련 물소비자	농민	농촌주민	모든 소비자
효율적 관리 방법	수리시설 개선 물관리 체계 개선 농민 홍보	좌동	농업용수 효율 관리 생산/소비 단계별 물수요 관리 및 효율 개선

## 2. 수자원장기종합계획의 농업용수 부분에서 물발자국의 활용 방안

- 본 연구에서는 농업용수 관리 부분에서 물발자국의 활용 방안을 제안하기 위하여 국가 수자원 관리계획 중 하나인 수자원장기종합계획의 농업용수 수요량과 물발자국을 통한 농업용수 사용량 결과를 비교하였다. 물발자국을 농업용수 분야에서 활용할 경우의 장단점을 제시하고 향후 농업용수 정책에서 물발자국의 활용 가능성을 평가하였다.
- 수자원장기종합계획에서는 당해연도와 한발기준 10년빈도의 농업용수 수요량을 제시하고 있다. 2006년과 2007년의 당해연도 논벼의 경우 각각 82.3억 $m^3$ 과 81.2억 $m^3$ 의 수요량이 제시되었고, 밭작물의 경우 각각 17.5억 $m^3$ 과 17.7억 $m^3$ 의 수요량이 제시되었다. 다음으로 2007년도를 10년 빈도의 가뭄으로 설정하고 기준수요량을 산정한 결과 논벼의 경우 약 127억 $m^3$ , 밭작물의 경우 약 29억 $m^3$ 의 기준수요량이 산출되는 것으로 나타났다.
- 수자원장기종합계획의 농업용수 수요량을 물발자국을 활용한 물사용량 결과와 비교하였다. 먼저 논벼의 물발자국을 활용할 경우 작물 소비만을 고려한 물사용량과 침투량 및 토양잔여수분량을 고려한 물사용량을 구분하여 제시할 수 있다. 또한 청색과 녹색 물발자국에 따라 관개수량과 유효우량을 각각 제시할 수 있다는 장점이 있다. 논벼의 경우 2001년부터 2010년까지 작물 소비개념의 물사용량만을 고려할 경우 관개수량에 해당되는 청색수의 사용량은 연평균 32억 $m^3$ 으로 나타났고, 유효우량에 해당되는 녹색수의 사용량은 20억 $m^3$ 으로 나타났다. 작물 소비 부분과 침투량 및 토양 잔여수분량을 고려할 경우 청색수는 57억 $m^3$ , 녹색수는 35억 $m^3$ 으로 총 92억 $m^3$ 으로 나타났다.
- 이러한 결과를 수자원장기종합계획과 비교하여 차이의 원인을 살펴보면 먼저 수자원장기종합계획의 수요량은 관개에 의해 공급되는 수량으로서 물발자국의 청색수에 해당한다. 그 결과 수자원장기종합계획에서는 2006과 2007년에 평균적으로 약 81억 $m^3$ 의 농업

용수가 사용되고, 물발자국을 기준으로 할 경우 약 57억<sup>m<sup>3</sup></sup>의 농업용수가 사용되는 것으로 나타났다. 수요량의 경우 공급의 관점이므로 수로 손실율과 같은 공급안전율이 고려되었기 때문이며 또한 물발자국의 경우 6개년의 평균값이므로 2006과 2007의 당해연도의 값이 다소 차이가 있을 수 있기 때문으로 판단된다. 만약 배분관리 효율 등의 손실률이 30% 고려된다면 약 74억<sup>m<sup>3</sup></sup>의 물이 평균적으로 사용되는 것으로 판단할 수 있다. 이처럼 물발자국 기준의 수요량은 다양한 결과를 제시할 수 있다. 또한 평균적으로 총 작물 필요수량의 약 60% 이상이 관개에 의해 공급되는 정보도 쉽게 제공할 수 있다.

- 다음으로 물발자국은 10년빈도 한발기준의 수요량에 대한 대략적인 정보 제공이 가능하다. 10년빈도 한발기준의 기준수요량은 가뭄년도에 해당하기 때문에 유효우량에 대한 활용도가 현저히 떨어질 수밖에 없다. 즉, 논벼 물발자국에서 유효우량에 해당되는 녹색 물발자국 부분을 인위적인 관개수량으로 공급해야 하는 경우로 생각할 수 있다. 이에 따라 녹색과 청색 물발자국을 합산한 약 92억<sup>m<sup>3</sup></sup>의 수량과 손실률 30%를 적용하면 총 물사용량은 120억<sup>m<sup>3</sup></sup>이 되며 이는 수자원장기종합계획과 약 7억<sup>m<sup>3</sup></sup>의 차이가 나타난다.
- 결론적으로 농업용수의 약 80%를 차지하는 논 벼의 경우 수자원장기종합계획의 농업용수 수요량과 물발자국의 산정 결과의 비교를 통하여 다소 차이가 발생하지만 이는 공급과 소비라는 관점의 차이에서 발생하는 것으로 볼 수 있으며 이를 감안할 경우 결과 물발자국의 산정결과는 신뢰적인 것으로 판단할 수 있다. 또한 물발자국을 활용한 농업용수 제시는 관개수량과 유효우량을 동시에 제시할 수 있고, 식량자급률 등의 식량정책을 반영할 수 있다는 적용의 유연성을 가지고 있다고 판단된다. 향후 농업수자원 계획 부분에서 기존의 수자원장기종합계획과 본 연구의 물발자국을 연계할 경우 보다 다양한 농업수자원 관련 정책 지표를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

(표 57) 수자원장기종합계획 및 물발자국에 따른 논벼의 농업용수 수요량 산정 결과 비교

수자원장기종합계획 농업용수 수요량 (단위: 백만m <sup>3</sup> /년)				
농업용수 수요량	2006년 기준		2007년 기준	
	당해년도	10년빈도	당해년도	10년빈도
	8,226	12,787	8,120	12,709
물발자국을 활용한 물 사용량 (2001-2010) (단위: 백만m <sup>3</sup> /년)				
구 분	Green	Blue	Grey	Total
작물 소비량	1,972	3,226	317	5,514
침투량 및 토양내 잔여수분량	1,539	2,463		4,002

【주】 당해 년도 : 각 연도의 실제 기상조건에 따라 발생하는 농업용수 수요량  
 10년 빈도 : 당해연도가 10년 빈도의 가뭄에 해당될 경우에 발생하는 농업용수 수요량

### 제3절 물발자국을 이용한 농작물 교역 관리

#### 1. 가상수 교역강도에 따른 교역 중요도 평가

- 농작물 교역을 가상수의 흐름으로 전환하여 각 국가별 가상수 흐름에 대한 우리나라와의 교역 중요도를 평가하고자 하였다. 이를 위하여 2006년부터 2010년 까지 우리나라의 가상수 교역량을 산정하고 대상작물의 국가별 교역강도를 추정하였다.
- 무역 관련 연구에서 국가간 교역의 중요도를 산정하기 위하여 다양한 교역 특화지수들이 산정되고 있다(Kwon et al, 2004; Kwon et al, 2006; Son, 2007; Cho, 2009; Jeong, 2012). 교역 상품간의 비교 우위를 평가하는 현시통상비교우위지수가 많이 활용되고 있으나 가상수 흐름에서는 농작물 간의 비교우위보다는 특정국가와의 가상수 교역강도를 평가하는 교역 집중지수(무역결합도)의 활용이 적합할 것으로 판단되었다(Bowen, 1983; Kim and Kim, 2009;

Son, 2007; Yamazawa, 1970).

- 교역 집중지수는 일국이 특정국가의 교역 상대국으로서 얼마나 중요한 위치에 있는지를 평가하기 위해 각 국가가 세계에서 차지하는 교역비율에 대한 특정 교역국과의 교역비율로 산정된다. 즉, 특정국과의 가상수 흐름량만으로 교역의 중요도를 평가하는 것이 아니라 전세계 가상수 흐름량과 해당 교역역국의 전체 가상수 흐름량을 고려하기 때문에 상대적인 긴밀도를 비교할 수 있다.

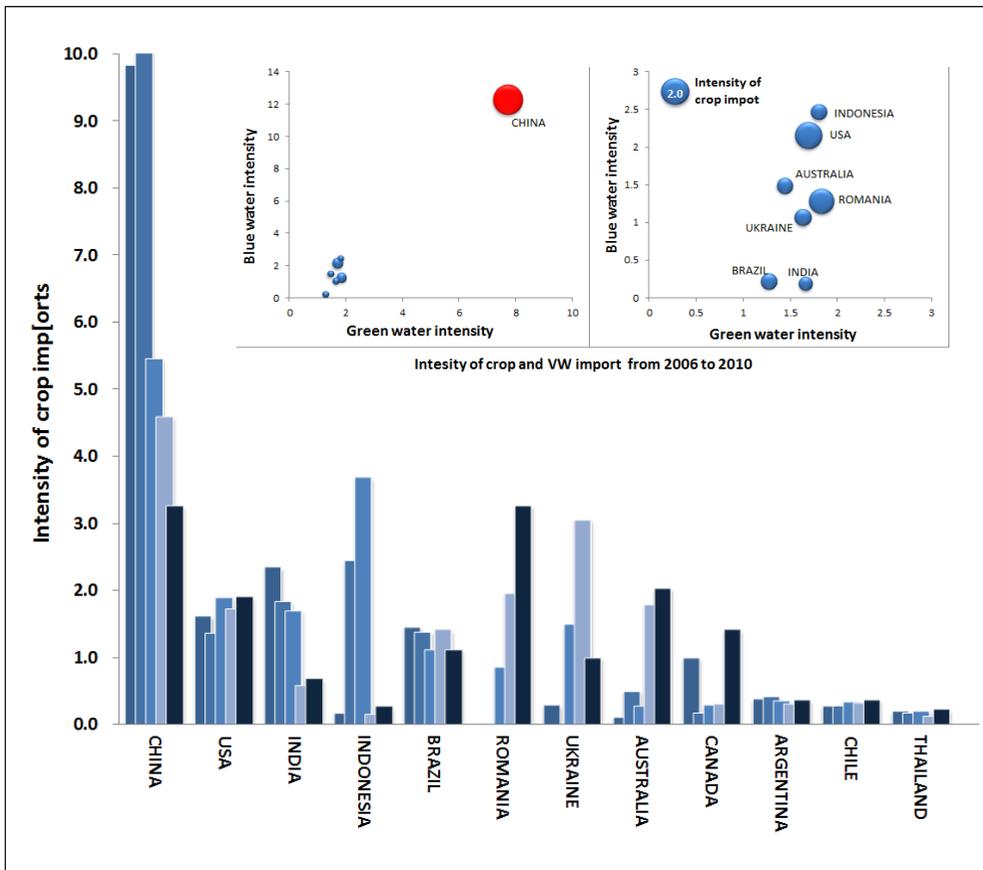
$$TX_{ij} = \frac{X_{ij}/X_i}{M_j/(M_w - M_i)}$$

※ 여기서,  $X_{ij}$ 는 i국가의 j국가에 대한 수출량,  $X_i$ 는 i국가의 총 수출량,  $M_i$ 는 i국가의 총 수입량,  $M_j$ 는 j국가의 총 수입량,  $M_w$ 는 전세계 총 수입량을 의미한다.

## 2. 주요 교역국과의 가상수 교역강도의 정책적 활용

- 주요 농작물 교역국들을 중심으로 가상수 흐름에 대한 우리나라의 상대적 교역강도를 교역 집중지수를 통하여 평가하였다. 우리나라 주요 교역국과 가상수 흐름에 의한 교역 집중지수를 산출한 결과 중국과의 교역 집중지수가 8.09로 타 국가에 비교하여 상당히 중요한 교역관계국임을 보여주고 있다. 다음으로 미국과의 교역 집중지수는 1.72로 높은 집중도를 나타내고 있으며 인도네시아와 루마니아 역시 높은 집중지수를 보이고 있다.
- 우리나라와 교역하는 국가들 중에서 중국, 미국, 인도네시아, 루마니아 등은 우리나라와의 교역강도가 높은 것을 의미한다. 이와 같은 결과는 해당 교역국의 타 국가 수출량과 전세계 수출량 비율을 적용함으로써 상대적인 집중화 정도에 따른 중요도를 의미한다. 예를 들면 우리나라 총 가상수 수입량의 약 10 % 정도가 중국으로부터 수입되고 약 40 % 정도가 미국으로부터 수입되고 있다. 수입량만을 고려한다면 미국과의 긴밀도가 중국보다 높게 나타난다. 그러나 중국의 경우 총 가상수 수출의 20 %가 우리나라에 집중되어 있는 반면 미국의 경우 약 5 % 정도만이 우리나라로 수출되는 것으로 나타났다. 이에 따라 가상수 수출국의 상대적 중요도를 고려할 경우 우리나라의 가상수 흐름의 긴밀도는 중국이 미국보다 높다고 볼 수 있다.
- 우리나라의 가상수 수입국가들과의 중요도를 시기별로 살펴보면 중국의 경우 2006년과 2007년에 교역 집중지수가 상당히 높게 나타났으나 이후 중국의 타 국가로의 수출량이 증가함에 따라 우리나라와의 교역 집중지수가 낮아지게 된 것으로 판단된다. 그러나 여전히 중국은 우리나라 가상수 흐름의 중요국가로 고려될 수 있다. 인도와 인도네시아와의 교역 집중지수는 줄어드는 반면 루마니아와 호주와의 가상수 교역 집중지수는 증가하였다.
- 녹색과 청색 가상수 교역에 대한 교역강도를 산정 결과를 살펴보면 중국을 제외하고 인도네시아, 미국, 호주, 루마니아 등이 유사한

녹색 가상수 집중지수가 산출되었으나 청색 가상수에 대한 집중 지수는 국가별로 차이가 발생하였다. 인도네시아의 청색 가상수 집중지수가 상당히 높은 것으로 나타났고, 인도의 경우 우리나라 외의 타 국가와의 청색 가상수 교역 비율이 높기 때문에 청색 가상수의 집중지수가 가장 낮게 나타났다.



<그림 44> 우리나라 가상수 수입국과의 교역강도 (2006-2010)

(표 58) 우리나라와 농작물 및 가상수 수입국과의 교역강도 산정 결과 (2006-2010)

Countries	Trade Intensity			
	Crop trade	Virtual water import		
		Green	Blue	Total
CHINA	5.54	7.72	12.28	8.09
USA	2.04	1.69	2.16	1.72
ROMANIA	1.88	1.83	1.28	1.83
UKRAINE	1.25	1.63	1.07	1.63
AUSTRALIA	1.21	1.44	1.49	1.46
INDONESIA	1.18	1.80	2.47	1.84
BRAZIL	1.18	1.27	0.22	1.29
INDIA	1.03	1.66	0.19	1.55

(표 59) 우리나라와 가상수 수입국과의 교역강도 산정 결과 (2006-2010)

Countries	Intensity of Virtual water import				
	2006	2007	2008	2009	2010
CHINA	9.85	12.07	5.46	4.59	3.25
USA	1.61	1.36	1.89	1.73	1.90
ROMANIA	0.00	0.00	0.85	1.96	3.27
UKRAINE	0.28	0.00	1.49	3.05	0.99
AUSTRALIA	0.10	0.50	0.26	1.78	2.03
INDONESIA	0.17	2.44	3.68	0.15	0.27
BRAZIL	1.45	1.37	1.11	1.41	1.11
INDIA	2.34	1.83	1.69	0.58	0.67
CANADA	0.99	0.17	0.29	0.30	1.41
CHILE	0.27	0.28	0.34	0.31	0.36
ARGENTINA	0.37	0.42	0.35	0.31	0.36
THAILAND	0.19	0.18	0.20	0.12	0.22

## 제4절 물발자국 표시제도의 시범 운영 방안 제시

### 1. 물발자국 표시제도의 필요성

- 소비자에게 생산품 소비에 의해 사용된 물의 양에 대한 정보를 제공할 수 있다.
- 생산자에게는 물발자국을 통하여 생산과정의 단계별 물사용량을 평가할 수 있다.
- 국가는 내부적으로 제품에 사용되는 산업별 물의 양을 평가 및 조절할 수 있다.
- 국가간 농산물 교역시 가상수 수입/수출이 많은 국가와의 교역에 대비할 수 있는 정책 마련이 가능하다.

### 2. 물발자국 표시제도의 주요 요소

- 물발자국 표시제도는 제품 생산에 사용되는 원료에 대한 표기를 의미하며 이에 따라 물발자국 표시제도는 대상제품, 제품의 원료 구성비, 원료별 물발자국으로 구성된다.
- 물발자국 표시제도의 시범 운영을 위해서는 1차 가공품이 우선 선정될 수 있다. 대형마트에서 유통되고 있는 포장단위의 쌀 또는 밀가루 등의 경우 물발자국 표시제도의 1차 품목으로 선정이 가능하다. 이와 같은 제품은 원료의 구성이 비교적 간단하며 1차 농작물을 원료로 사용하고 있기 때문에 물발자국의 적용이 용이하다.
- 2차, 3차 가공품의 물발자국 표시제도를 운영하기 위해서는 제품 생산 기업별 생산에 사용되는 수량 기준에 대한 표준 프로토콜 정립이 필수적이다. 또한 기업은 생산단계별 가상수 산정, 물사용량 지수 산정 등의 정성적, 정량적인 평가 및 인벤토리 작성을 수행해야 할 것으로 판단된다. 본 연구결과는 이러한 기업들의 표준안으로서 제공될 수 있다.

### 3. 물발자국 표시제도의 활용

- 현재 정보 3.0이 국가 정책으로 제안되면서 물발자국은 농업 수자원의 중요한 정보를 제공하고 국민적 관심을 이끌 수 있는 수단으로 활용될 수 있다.
- 물발자국 표시제도 등의 시범운영을 통하여 실제 농·축산물의 물발자국 산정 결과를 적용하여 국민들이 소비하는 농·축산물의 농업 수자원 사용량의 정보를 간접적으로 제시함으로써 농업 수자원의 중요성을 알릴 수 있다.

## 제5절 물발자국을 활용한 농업용수 활용 평가

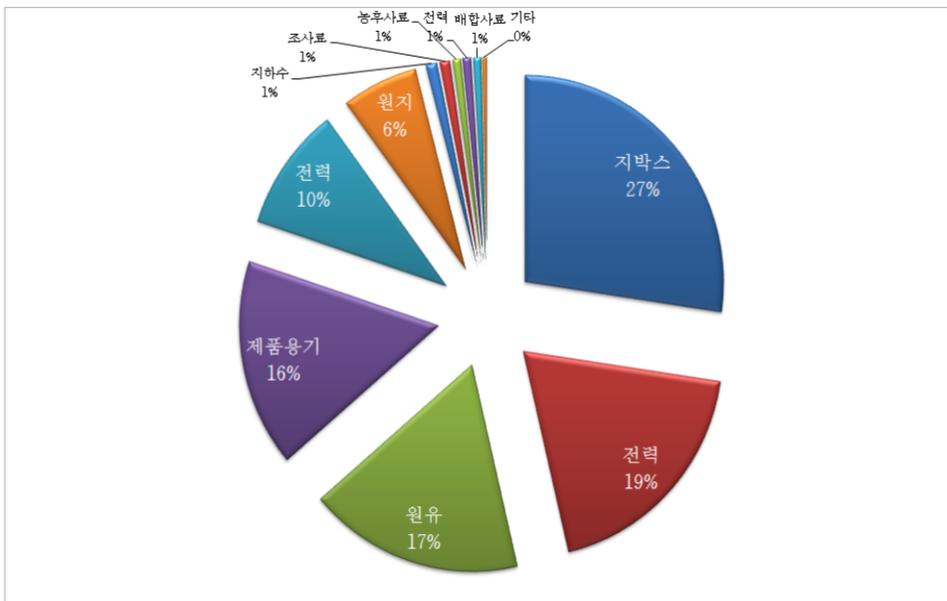
### 1. 농업용수 활용 평가 필요성

- 농업용수의 사전적 정의는 “농작물 생육의 안전을 기하고 농업경영의 합리화를 위하여 농경지에 체계적으로 공급하는 물”을 말한다. 하지만 물발자국이론을 적용하면 농작물 생산을 포함한 1차 산업뿐만 아니라 2, 3차 산업의 생산과정에서 사용되는 농업용수를 확인할 수 있다.
- 한 예로 의류의 경우 원료 중 하나인 솜 등에는 목화를 키우는데 사용된 농업용수가 포함되어 있으므로 전과정 물발자국 평가 시 농업용수가 사용됨을 정량화된 수치로 나타낼 수 있다.
- 즉, 농업용수는 농작물 생산 뿐만 아니라 우리와 밀접하게 관계되어 있는 물품들에도 사용되고 있으며 이를 통해 농업용수에 대한 일반 국민들의 인식 전환의 계기가 될 수 있다. 또한 정책적으로 농업용수의 필요성과 관리에 있어서의 중요성을 알리는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

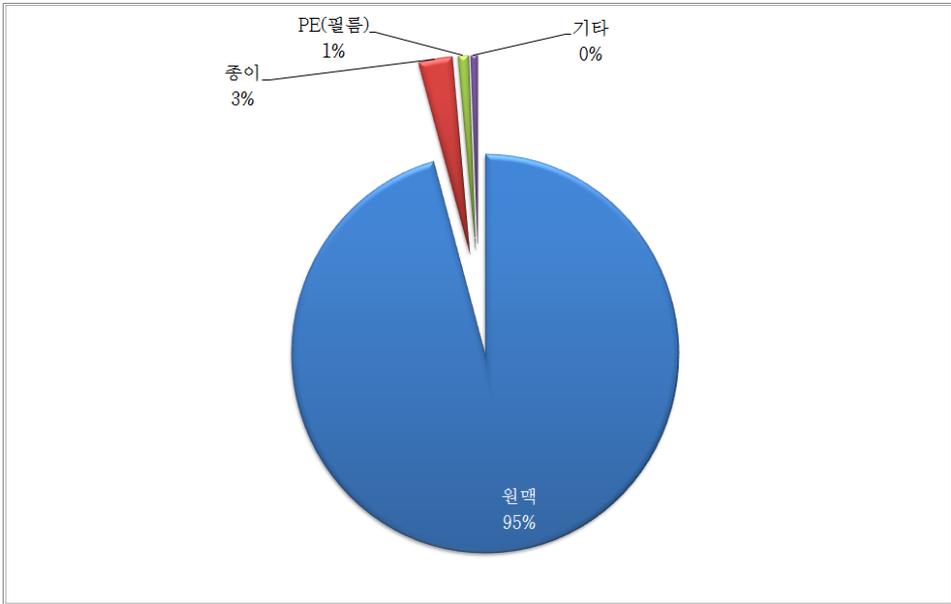
### 2. 농업용수 활용 평가 분석

- 사례연구에서 산정된 물발자국 값을 활용하여 식품산업에서의 농업용수 사용 비중을 평가하였다.
- 밥의 경우 세부적인 데이터의 공개는 어려운 실정이며 결과값들 중 농업용수 사용 비중만을 제시하고자 한다. 밥을 만드는데 있어서는 쌀, 현미 등의 사용으로 총 물발자국 743.96L 중 75.5%에 해당하는 561.86L가 사용되는 것으로 나타났다.
- 우유의 경우 총 317.58L 중 19.5%에 해당하는 61.76L가 사용되는 것으로 나타났다.

- 밀가루의 경우 총 100.94L 중 95.0%에 해당하는 95.86L의 농업용수가 투입되었음을 알 수 있었다. 그만큼 밀의 사용이 크다는 것을 알 수 있다.
- 밀가루와 우유가 들어가는 다양한 식품산업분야에도 적용하게 되면 농업용수가 우리 일상생활에 상당히 밀접한 관계가 있다는 것을 보여줄 수 있다.
- 추가적으로 각 산업별 농업용수의 활용 정도를 물발자국을 통해 분석하고 데이터화 한다면 농업용수에 대한 인식 변화의 계기를 마련하고 유지관리의 중요성을 홍보하는데 객관적 데이터로 활용 가능할 것이다.



<그림 45> 우유에 대한 농업용수 사용비중 평가



<그림 46> 밀가루에 대한 농업용수 사용비중 평가



## 제5장 물발자국 DB 활용 매뉴얼 개발



## 제5장 물발자국 DB 활용 매뉴얼 개발

### 제1절 매뉴얼 개요

#### 1. 국내외 현황

##### 가. 전과정평가를 활용한 LCI D/B 구축 국외 현황

- ISO 14040 시리즈의 전과정평가 국제표준의 제정과 이를 기반으로 하여 LCI DB를 국가별로 구축하여 산업분야 중심으로 전과정평가를 실시하고 있으며 1960년대 미국 코카콜라사의 음료용기에 관한 LCA 수행을 시작으로 1980년대부터 유럽 중심의 LCA 연구가 본격적으로 시작되었다.
- 농식품 분야의 전과정평가 활용은 1990년대부터 음식물의 환경성에 관한 관심 높아지며 일본, 유럽, 덴마크를 중심으로 농식품에 대한 전과정평가 방법론 개발이 시작되었다.
- 네덜란드의 라이덴 대학의 부설 연구기관인 ‘CML’, 영국 크랜필드 대학 부설 ‘Natural Resources Management Center’, 스페인 바르셀로나 국립대학 부설 ‘Environmental Sustainability Scientist’ 연구소 등에서 농업 분야 및 식품 분야의 LCA 방법론 개발에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.
- 유럽은 덴마크, 스위스를 중심으로 600여개의 농식품 관련 LCI DB를 구축하였으며, 매년 업데이트를 통해 데이터 정확도를 높이고 있다.
- 2003년에 설립된 스위스 [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)는 약 4,000여개의 LCI D/B를 구축·제공하고 있으며, 이 중 농업 관련 LCI D/B는 약 300건으로 추정된다.
- 덴마크는 [www.lcafood.dk](http://www.lcafood.dk)를 통해 농산물 및 식품 전반에 대한 약 250여 건의 LCI D/B 및 구축 방법론 제공하며 약 300건의 농산물 관련 데이터 보유하고 있다.

- LCA food 컨퍼런스 개최, DIAS report 발행 등 농식품 부문 LCA 연구 활발히 진행 중에 있다.

#### 나. 전과정평가를 활용한 LCI D/B 구축 국내 현황

- 산업분야 위주인 국가 차원의 전과정평가 활용은 1990년대 후반 전과정평가 개념이 도입되기 시작하여 공산품, 교통, 환경품목 위주로 국가 LCI D/B가 구축되기 시작하였다.
- 현재까지 환경부와 산업통상자원부를 중심으로 417개 항목에 대한 국가 LCI D/B가 구축되어 있으며, 전용 소프트웨어 PASS, TOTAL이 개발·보급되고 있다.

(표 60) 국가 LCI D/B 구축현황(2013년 12월 현재)

전과정단계	데이터범주	개수	전과정단계	데이터범주	개수
물질 및 부품제조	건축자재	26	가공공정	금속가공	13
	고무	8		부품가공	0
	금속	51		플라스틱가공	24
	기초부품	30	수송	육상수송	20
	기초화학물질	92		항공수송	0
	수자원	11		해상수송	22
	에너지	23	폐기	매립	3
	펄프·종이	9		소각	10
	플라스틱	37		재활용	16
	기타	20		기타	2
계	417개				

- 산업분야에 비해 상대적으로 뒤쳐져 있던 농업분야는 2009년부터 2012년까지 농진청을 중심으로 ‘농식품 부문 탄소이력추적 기반구축 연구’를 진행하고 있으며 2011년 12월까지 쌀, 보리, 감자 등 47개 농작물 및 농업용 부직포, 과수봉지·핀 등 7개 기타농자재의 탄소성적 산정 및 LCI D/B를 구축하는 성과를 보였다.

- 동 연구 과제 중 무기질비료와 유기농자재에 대한 탄소성적 및 LCI D/B 구축 또한 각각 14건, 11건의 성과를 나타내는 등 농업 분야는 총 79건의 LCI D/B를 보유하고 있으며 향후 2012년 과제가 완료되는 시점에 15건이 추가될 것으로 예상되므로 최종 94건의 농업분야 탄소성적 및 LCI D/B가 구축될 전망이다.
- 동 연구 외 축산분야, 수산분야의 탄소성적 산정 및 LCI D/B 구축을 위한 연구가 현재 진행 중으로 농·축·수산물 전체에 대한 시스템화가 가능할 것이다.

(표 61) 우리나라 농업분야 탄소성적 및 LCI D/B 구축 현황(2012년 1월)

분류	농작물	비료	유기농자재	기타농자재	합계
탄소성적 및 LCI D/B 구축 건수	47	14	11	7	79

#### 다. 물발자국 확산을 위한 LCI 데이터베이스 구축

- 국내에는 산업통상자원부, 환경부, 농촌진흥청 등의 정부가 500여 개 LCI DB를 구축하였으나, 국외 DB처럼 물의 종류별로 세분화 되어 있지 않으며, 구축된 DB의 수가 매우 부족하다.
- 따라서 물발자국의 확산을 위해선 우선 LCI DB 구축을 통해 기업들이 제품의 물발자국평가를 보다 쉽게 적용할 수 있도록 하는 정책수립이 필요하다.

## 제2절 물발자국 산정 및 활용 매뉴얼 개발

### 1. 물발자국 매뉴얼 일반사항

- 물발자국 활용매뉴얼은 앞서 언급한 국외 연구사례 및 보고서 등을 참조하였으며, 특히 물발자국 국제표준인 ISO 14046과 전과정 평가 국제표준인 ISO 14040시리즈를 기본으로 하여 작성하였다.
- 또한, 탄소발자국 국내 인증제도인 탄소성적표지인증 지침의 일부를 인용 및 참조하여 개발하였다.

### 2. 물발자국 매뉴얼 주요내용

#### 가. 물발자국 매뉴얼 적용범위

- 매뉴얼의 적용범위는 제품(서비스 포함)을 대상으로 하였으며, 제품의 범위는 농수축산물 및 임산물, 내구재 및 비내구재, 생산재, 서비스 등의 모두를 포함하도록 하였다.
- 매뉴얼은 총7항(서문, 0.개요, 1.적용범위, 2.용어정의, 3.원칙, 4.수원, 5. 제품 전과정 물발자국평가 방법론적 기본구조, 6.제품 전과정 물발자국 계산, 7.제품의 물발자국선언)으로 구성되고 물발자국 실행요건과 각 요건에 대한 실행지침 그리고 간단한 사례들을 매뉴얼에 포함하였다.

#### 나. 용어정의

- 매뉴얼에서 핵심적으로 사용되는 30개의 용어에 대한 정의 및 설명을 포함한다.

## 다. 원칙

- 물발자국 산정의 10개의 기본원칙인 전과정 관점, 관련성, 완전성, 일관성, 투명성, 국제표준과의 부합성, 환경적 초점, 상대적 접근 방법 및 기능단위, 반복적 접근, 정확성을 제시하여 매뉴얼에 포함시켰다.

## 라. 수원

- 물의 종류를 담수, 염수, 지표수, 지하수, 해수, 화석수 6개로 구분하고 각각에 대한 의미를 설명하였다.

## 마. 제품 전과정 물발자국평가 방법론적 기본구조

- 물발자국평가를 실행하기 위한 기본원칙과 구조를 정의하였다. 물발자국 수행방법론의 기본구조는 ISO 14044의 전과정평가(LCA)를 준용하였다.

## 바. 제품 전과정 물발자국 계산

- 기능단위
  - 기능단위는 제품에 대한 물발자국평가결과 및 정보를 제시하고 값을 산정하기 위한 기본단위로 제품이 시장에서 판매되는 단위 제품을 기준으로 하였음. 보통 제품 1대 또는 1개로 정의한다.
- 시스템 경계
  - 시스템 경계는 물발자국평가를 위해 대상제품과 관련하여 반드시 포함해야 할 공정과 활동을 정의하는 것으로 시스템 경계를 제품제조전단계, 제조단계, 사용단계 및 폐기단계로 구분하고 각각의 단계에서 물발자국평가를 위해 포함해야 할 공정을 정의하였다.
  - 또한, 시스템 경계내의 모든 공정에 포함된 투입물의 수집대상 범위는 누적질량 기여도 95%이상을 포함토록 규정하였다.

- 데이터 수집
  - 시스템 경계내의 모든 공정에 대해 3년 이내의 1년간 누적 현장데이터를 수집하는 것을 원칙으로 정의하고 수집해야 할 데이터의 종류를 규정하였다.
  - 현장데이터 수집이 불가능한 경우 일반데이터의 사용원칙과 우선순위를 정의하였다.
  - 일반데이터 우선순위 : 해당 국가 공인 데이터 → 국제 공인 데이터 → 해당 분야 공인 데이터
- 데이터 품질
  - 수집해야 하는 데이터의 품질기준 5개(데이터의 시간적 범위, 지역적 범위, 기술적 범위, 일관성, 완전성)를 정의하고 데이터 품질평가를 수행토록 규정하였다.
- 데이터 검증 및 계산
  - 수집한 데이터의 신뢰성 검증 방법으로 물질수지 혹은 물수지를 수행토록 규정하였다.
  - 두 가지 이상의 제품 혹은 부산물이 생산되는 다중산출공정에서의 환경부하를 각각의 제품 등으로 배분하기 위한 할당원칙을 정의하였다. 원칙적으로 공정의 분할 및 확장으로 할당을 피하나 불가피 한 경우 중량 혹은 가격의 할당기준을 적용하도록 하였다.

#### 사. 제품의 물발자국 선언

- 제품 물발자국평가 최종결과의 선언 및 공개는 제품 기능단위를 기준으로 규정하였으며, 전과정단계별로 결과 값 공개토록 하였다.

(표 62) 물발자국 선언 표

제품명	합계	제품제조 전단계	제조단계	사용단계	폐기단계
물발자국(L)					

### 제3절 물발자국 산정 사례연구

#### 1. 밀가루(100mL 기준)

- 본 연구에서는 탄소성적표지 인증을 받은 3개 제품에 대한 데이터에 기반하고 물 발자국 산정매뉴얼을 토대로 하여 산정하였다. 대상제품은 밀가루 1kg 제품 2종과 0.75kg 제품 1종이다. 3개 제품의 생산기업은 다르나 제조공정은 대동소이하다. 전과정 단계는 크게 제품제조전단계와 제품제조단계로 구분이 가능하다.
- 제품제조전단계는 밀가루의 주원료인 밀을 생산하는 공정과 포장재를 생산하는 공정을 포함한다. 제품제조단계는 정선, 분쇄, 사별, 순화 및 포장의 공정을 통해 최종적으로 밀가루가 생산된다. 상세 공정설명은 아래의 표와 같다.

(표 63) 밀가루 생산공정 설명

구분	공정명	세부공정	공정설명
제품제조전단계	밀 생산	-	▪ 파종 -> 수확 -> 건조 -> 보관 -> 출하
	포장재생산	-	▪ 재단 -> 인쇄 -> 합지 -> 건조 -> 출하
	수송	밀	▪ 각 지역 우리밀 농협 보관 SILO 및 창고에 보관된 밀을 트럭을 이용하여 공장입고
		포장재	▪ 트럭을 이용하여 공장입고
제조단계	밀가루 생산	정선	▪ 밀 이외의 헝잡물 제거
		분쇄	▪ 밀을 분쇄하여 피질과 배유부로 분리하는 공정
		사별	▪ 분쇄된 입자를 Size별로 분리·조합하는 공정
		순화	▪ 분쇄된 세모리나를 Size별로 분리하고 피질을 제거하는 공정
		포장	▪ 고객의 요구에 맞게 단량별로 포장하는 공정

## 가. 기능단위 및 시스템 경계

- (기능단위) 기능단위는 각 제품의 용량이 다르므로 통일을 기하기 위하여 “100g의 포장된 밀가루”로 정의하였으며, 이 때 사용된 포장재는 1.62g였다.
- 앞에서 언급한 것처럼 물발자국 산정시 시장에서 판매되는 제품을 기준으로 정의하는 것이 일반적이거나, 본 사례연구에서는 물발자국 산정절차의 타당성 검증을 위해 동일 기능을 갖는 여러 제품들의 데이터를 활용하였으며, 이에 따라 기능단위 또한 일정 용량의 제품을 임의로 선정하였다.
- (시스템 경계) 제품제조전단계와 제품 제조단계를 시스템 경계에 포함시켰으며, 제품 사용단계는 해당사항이 없어 제외하였다. 제품 폐기단계 또한 물발자국 DB의 부재로 시스템 경계에서 제외하였다.

## 나. 데이터 수집 및 계산

- 데이터는 2010년도에 탄소성적표지 인증을 받은 밀가루 3개 제품에 대한 2009년 1년간의 실제 현장 수집 데이터를 활용하였다.
- 제품 제조공정과 포장재 제조공정의 경우 전력을 포함한 에너지, 유틸리티 및 폐기물 발생 데이터는 생산량 기준으로 할당하였다.
- 수집된 데이터는 투입물과 산출물로 구분하였으며, 본 연구에서 산출물은 물발자국 산정과 직접 관련이 없으므로 별도로 표시하지 않았다.
- 밀가루 100g 생산시 소모된 물발자국 계산에 필요한 제조전단계와 제조단계 투입물질 및 투입량을 아래 표에 나타내었으며 표시된 데이터는 누적 기여도 95% 기준을 적용하여 해당되는 물질만을 표시하였다.
- 밀가루 100g 생산시 물발자국은 100g의 밀가루 생산시의 투입물의 사용량과 해당 물질의 물발자국 DB를 곱하여 총 합을 구하였다.

물발자국 DB는 산업연관표에 기반하여 도출한 물발자국 DB를 활용하였다.

(표 64) 밀가루 각 투입물별 물발자국 계산 결과(100g 밀가루 기준)

구분	물질명	사용량 (A)	물발자국 DB (B)	물발자국 (A*B)
제품제조 전단계	LLDPE	1.07E-03 kg	521.573 L/kg	5.58E-01 L
	PE	2.72E-04 kg	522.573 L/kg	1.42E-01 L
	PET	2.27E-04 kg	2,189.132 L/kg	4.97E-01 L
	용제	8.85E-05 kg	320.921 L/kg	2.84E-02 L
	전력	1.43E-06 kWh	632.032 L/kWh	9.05E-04 L
	LNG	1.75E-04 kg	5.973 L/kg	1.04E-03 L
	원맥	9.70E-02 kg	988.280 L/kg	9.59E+01 L
제품제조 단계	용수	6.89E-03 kg	1.000 L/kg	6.89E-03 L
	PE(필름)	1.68E-03 kg	522.573 L/kg	8.79E-01 L
	전력	8.88E-06 kWh	632.032 L/kWh	5.61E-03 L
	종이	2.90E-03 kg	980.944 L/kg	2.84E+00 L
	PE(랩)	1.56E-05 kg	522.573 L/kg	8.13E-03 L
	PE(번들)	2.00E-04 kg	522.573 L/kg	1.05E-01 L
<b>총 물발자국 계산 값</b>				<b>100.94 L</b>

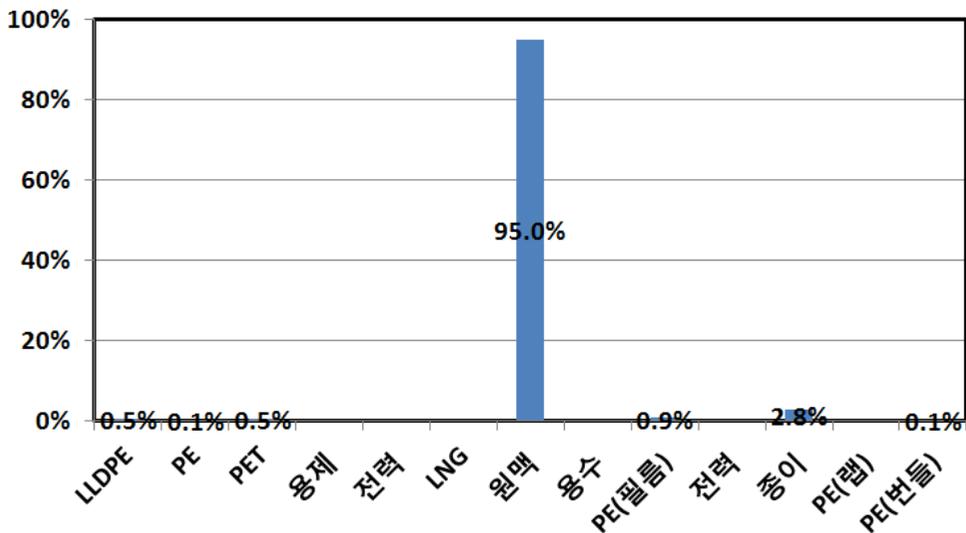
#### 다. 물발자국 정보

- 밀가루 100g의 제조까지 총 필요한 물발자국은 100.94L로 계산되었다. 제품제조전단계는 97.09L로 전체 물발자국의 96.19%를 차지하며, 원맥을 이용하여 밀가루를 만드는 제조단계는 3.85g으로 전체 물발자국의 3.81%를 차지하였다.
- 탄소발자국 계산시에는 제품제조전단계 및 제조단계에서 사용되는 전력으로 인한 환경영향이 높게 나타나는 경향이 있으나, 물발자국 산정 결과는 원료 생산시 소모되는 물발자국이 전체 영향의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

- 투입물질의 기여도를 살펴보면 밀가루의 주성분인 원맥이 전체 물발자국의 95.0%를 차지하며, 종이가 2.8%, PE 필름이 0.9%, 그리고 PET와 LLDPE가 각각 0.5%를 차지하였다. 다시 말해서 밀가루의 주원료로 인한 물발자국이 전체의 95% 이상이며, 포장으로 인한 영향이 나머지의 대부분을 차지하였다.
- 전체 물발자국 중 직접수는 제조단계에서 사용되는 용수에 의한 직접수는 100g의 밀가루 제조시 0.0069L가 사용되며 그 비율은 매우 낮았다.

(표 65) 밀가루의 전과정 단계별 물발자국 선언(100g 밀가루 기준)

제품명	합계	제조전단계	제조단계	사용단계	폐기단계
물발자국(L)	100.94	97.09	3.85	-	-



<그림 47> 투입물질별 물발자국 산정 결과(100g 밀가루 기준)

## 2. 우유(500mL 기준)

- 본 연구에서는 탄소성적표지 인증을 받은 3개 제품에 대한 데이터에 기반하여 물 발자국을 산정하였다. 대상제품은 우유 500mL 3개 제품이며, 생산기업은 다르나 제조공정은 대동소이함. 전과정 단계는 크게 제품제조 전단계와 제품제조단계로 구분하였다.
- 제품제조전단계는 우유의 주원료인 원유를 생산하는 공정과, 포장재인 우유팩 제조공정이 포함되었다. 제품제조단계는 원유 저장, 원유 전처리, 원유 충전, 출하공정을 통해 우유를 생산하였다.

(표 66) 우유 생산공정 설명

구분	공정명	세부공정	공정설명
제품제조전단계	원유 생산	-	▪ 젖소로부터 착유(젓짜기)하여 5℃이하로 냉장 저장하며, 원유 검사를 위한 샘플을 채취하여 차량에 옮기는 집유 과정을 거침
	포장재 생산	-	▪ 천연필프로 만든 판지의 양면에 무독성 폴리에틸렌을 도포하여 만든 원단을 원재료로 하여 인쇄, 타발 및 측면접착공정을 거쳐 생산
	수송(연구범위 제외)	원유	▪ 육로 수송(전용 트럭)으로 공장으로 이동
		포장재	▪ 트럭을 이용하여 공장입고
제조단계	우유 생산	저장	▪ 목장에서 집유된 원유 중에서 검사에 합격된 원유에 한하여 청정(원심분리 공정을 거쳐 원유저장탱크에 5~7℃ 이하로 냉장 저장
		전처리	▪ 150Kg/cm <sup>2</sup> 압력의 균질(지방구 균일화)과 132℃에서 2초간 살균하는 방법인 초고온순간살균법(UHT)을 실시하고 6~7℃ 이하로 냉장 저장
		포장(충진)	▪ 포장재에 우유를 충전하고 불량품을 선별
		출하	▪ 포장된 우유는 10℃ 이하의 냉장 보관

## 가. 기능단위 및 시스템 경계

- (기능단위) 기능단위는 시중에서 판매되는 “500mL 용량의 우유”로 정의하였으며, 제품은 500mL의 우유와 186g의 우유팩으로 구성되어 있다.
- 앞에서 언급한 것처럼 물발자국 산정시 시장에서 판매되는 제품을 기준으로 정의하는 것이 일반적이거나, 본 사례연구에서는 물발자국 산정절차의 타당성 검증을 위해 동일 기능의 동일 용량의 여러 제품들의 평균 데이터를 활용하였음
- (시스템 경계) 제품제조전단계와 제품 제조단계를 시스템 경계에 포함시켰다. 제품 사용단계는 해당사항이 없어 제외하였으며, 제품 폐기단계 또한 물발자국 DB의 부재로 시스템 경계에서 제외하였다.

## 나. 데이터 수집 및 계산

- 데이터는 2009년도와 2013년도에 탄소성적표지 인증을 받은 3개 제품에 대한 실제 현장 수집 데이터를 활용하였다.
- 제품 제조공정과 포장재 제조공정의 경우 전력을 포함한 에너지, 유틸리티 및 폐기물 발생 데이터는 생산량 기준으로 할당하였다.
- 수집된 데이터는 투입물과 산출물로 구분하였으며, 본 연구에서 산출물은 물발자국 산정과 직접 관련이 없으므로 별도로 표시하지 않았다.
- 우유 500mL 생산시 소모된 물발자국 계산에 필요한 제품제조전 단계와 제조단계 투입물질 및 투입량을 아래 표에 나타내었다. 표시된 데이터는 누적 기여도 95% 기준을 적용하여 해당되는 물질만을 표시하였다.
- 우유 500mL 생산시 물발자국은 조사된 투입물의 사용량과 해당 물질의 물발자국 DB를 곱하여 그 총 합을 구하였다. 물발자국 DB는 산업연관표에 기반하여 도출한 물발자국 DB를 활용하였다.

(표 67) 우유제품 생산시 각 투입물별 물발자국 계산 결과(500mL 기준)

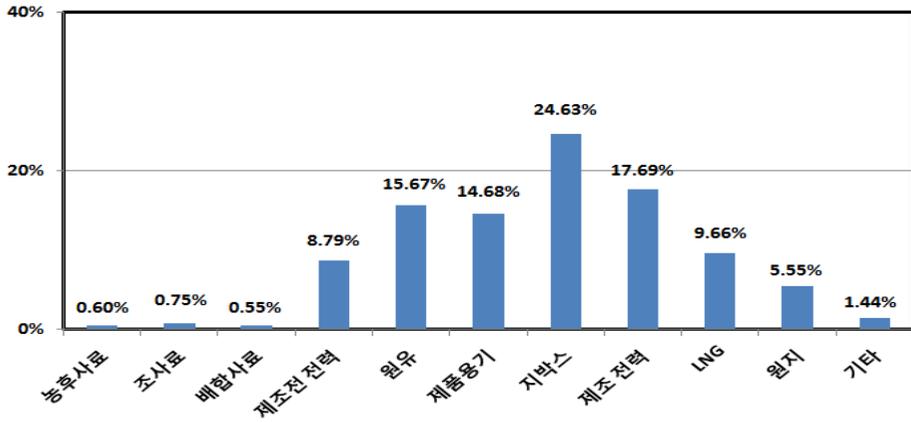
구분	물질명	사용량 (A)	물발자국 DB (B)	물발자국 (A*B)
제조전 단계	농후사료	1.46E-01 kg	14.393 L/kg	2.10E+00 L
	조사료	1.71E-01 kg	15.393 L/kg	2.63E+00 L
	배합사료	1.18E-01 kg	16.393 L/kg	1.93E+00 L
	전력	4.88E-02 kWh	632.032L/kWh	3.09E+01 L
	경유	2.57E-03 L	11.023 L/kg	2.38E-02 L
	등유	6.30E-04 L	9.632 L/kg	4.92E-03 L
	용수	1.10E+00 kg	1.000 L/kg	1.10E+00 L
	상수	1.83E-05 kg	1.000 L/kg	1.83E-05 L
	지하수	6.93E-01 kg	1.000 L/kg	6.93E-01 L
	원유	5.34E-01 kg	103.177 L/kg	5.51E+01 L
	제품용기	1.86E-02 kg	2,773.361 L/kg	5.16E+01 L
	지박스	3.12E-02 kg	2,774.361 L/kg	8.66E+01 L
	랩	4.25E-04 kg	9.281 L/kg	3.94E-03 L
제조단계	상수	2.94E-01 kg	1.000 L/kg	2.94E-01 L
	지하수	2.94E+00 kg	1.000 L/kg	2.94E+00 L
	NH3(냉매)	7.66E-06 kg	4.463 L/kg	3.42E-05 L
	R-22(냉매)	7.67E-06 kg	Data gap	0.00E+00 L
	전력	9.51E-02 kWh	632.032L/kWh	6.01E+01 L
	LNG	8.74E-03 Nm <sup>3</sup>	5.973 L/kg	3.40E+01 L
	원지	1.99E-02 kg	980.944 L/kg	1.95E+01 L
	전력	3.29E-03 kWh	632.032L/kWh	2.08E+00 L
	LNG	1.01E-04 kg	5.973 L/kg	3.92E-04 L
	B-C유	2.38E-05 L	2.391 L/kg	5.40E-05 L
	LPG	6.46E-05 kg	2.615 L/kg	1.69E-04 L
상수	4.18E-04 kg	1.000 L/kg	4.18E-04 L	
총 물발자국 계산 값				351.440 L

## 다. 물발자국 정보

- 500mL 용량의 우유 제조까지 총 필요한 물발자국은 351.440 L로 계산되었다. 제품제조전단계는 232.58 L로 전체 물발자국의 66.18 %를 차지하며, 제조단계는 118.86 L로 33.82 %를 차지하였다.
- 탄소발자국 계산시에는 제품제조전단계 및 제조단계에서 사용되는 전력으로 인한 환경영향이 높게 나타나는 경향이 있으며, 500mL 용량의 우유 또한 제품제조전단계 및 제조단계의 전력이 전체 영향의 25.89 %를 차지하는 것으로 나타났다.
- 투입물질의 기여도를 살펴보면 제품제조전단계의 지박스와 제품 용기 등 포장용기로 138.14L의 물을 사용하여 전체의 39.31% 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 그 다음으로 제조단계의 전력이 60.09L(17.10%), 제조전단계의 원유가 55.09L(15.67%), 제조전단계의 전력이 30.87L(8.79%)를 차지하였다.
- 전체 물발자국 중 직접수는 제조단계에서 사용되는 상수와 지하수가 해당되며, 총 3.23L로 전체 환경영향의 0.92%를 차지하였다.

(표 68) 우유의 전과정 단계별 물발자국 선언(500mL 기준)

제품명	합계	제조전단계	제조단계	사용단계	폐기단계
물발자국(L)	351.44	232.58	118.86	-	-



<그림 48> 투입물질별 물발자국 산정 결과(500mL 용량의 우유)



## 제6장 물발자국 통합정보시스템 구축



## 제6장 물발자국 통합정보시스템 구축

### 제1절 통합정보시스템 개요

#### 1. 개요

- 본 연구를 통해 구축된 물발자국 산정 프로토콜, 인벤토리 DB, 계산절차 등의 공공데이터를 웹사이트를 통해 일반인 및 관련 연구자에게 제공하는 것을 목적으로 구축하였다.
- 추가적으로 간단한 물발자국 계산과 DB공개를 위해 스마트폰에 적용 가능한 애플리케이션(App)을 개발하였다.

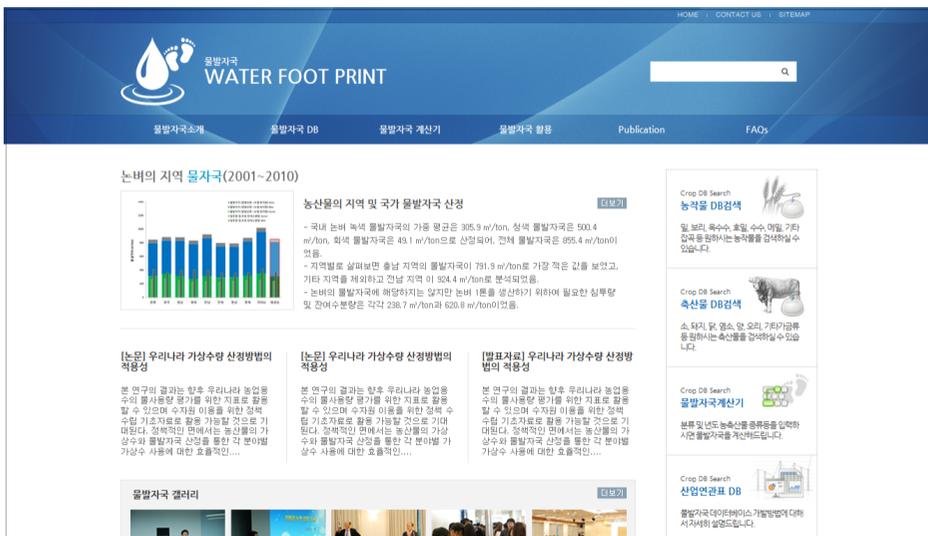
#### 2. 물발자국 통합정보시스템 구성

##### 가. 통합정보시스템 웹페이지 기본사양

- WEB Server 개발 환경
  - Linux version 2.6.29.4-167.fc11.i686.PAE (...redhat.com) (gcc version 4.4.0.20090506 (Red Hat 4.4.0-4) (GCC)) #1 SMP Web..
  - Apache/2.2.4
  - 데이터베이스 클라이언트 버전 : libmysql - 5.0.33
- Database Server 개발 환경
  - 서버: Localhost via UNIX socket
  - 소프트웨어: MySQL
  - 소프트웨어 버전: 5.0.33 - Source distribution
  - 제품 버전: 10
  - 사용자: root@localhost
  - 서버 문자셋: UTF-8 Unicode (utf8)

## 나. 통합정보시스템 웹페이지 설명

- 본 웹페이지의 인터넷 주소는 <http://www.thewfp.com> 이다.
- Site map을 살펴보면 물발자국 소개의 경우 물발자국을 간단한 설명을 도식으로 표현하였다. 또한, 물발자국 배경, 개념, 산정 및 평가단계를 소개하였고 물발자국 연구개요, 국내외동향, 기대효과 등을 설명하였다.
- 물발자국 DB란은 물발자국 DB의 구축절차를 농작물, 축산물의 직접수 산정과정과 산업연관표를 활용한 DB구축 절차를 간략히 소개하였고 각 DB들의 검색을 통해 지역 및 국가 물발자국 DB를 공개 하였다.
- 물발자국 계산기는 물사용량을 일반인이 쉽게 산출하고 이해하도록 구성하였다. 농축산물의 가상수 계산이 가능하도록 하였으며, DB를 활용한 제품단위 물발자국의 계산이 가능하도록 구성하였다.
- 물발자국 활용은 본 연구에서 제시한 활용 방안 결과들을 공유하였으며, Publication, FAQs는 연구성과와 자료들을 공유할 수 있도록 구성하였다.

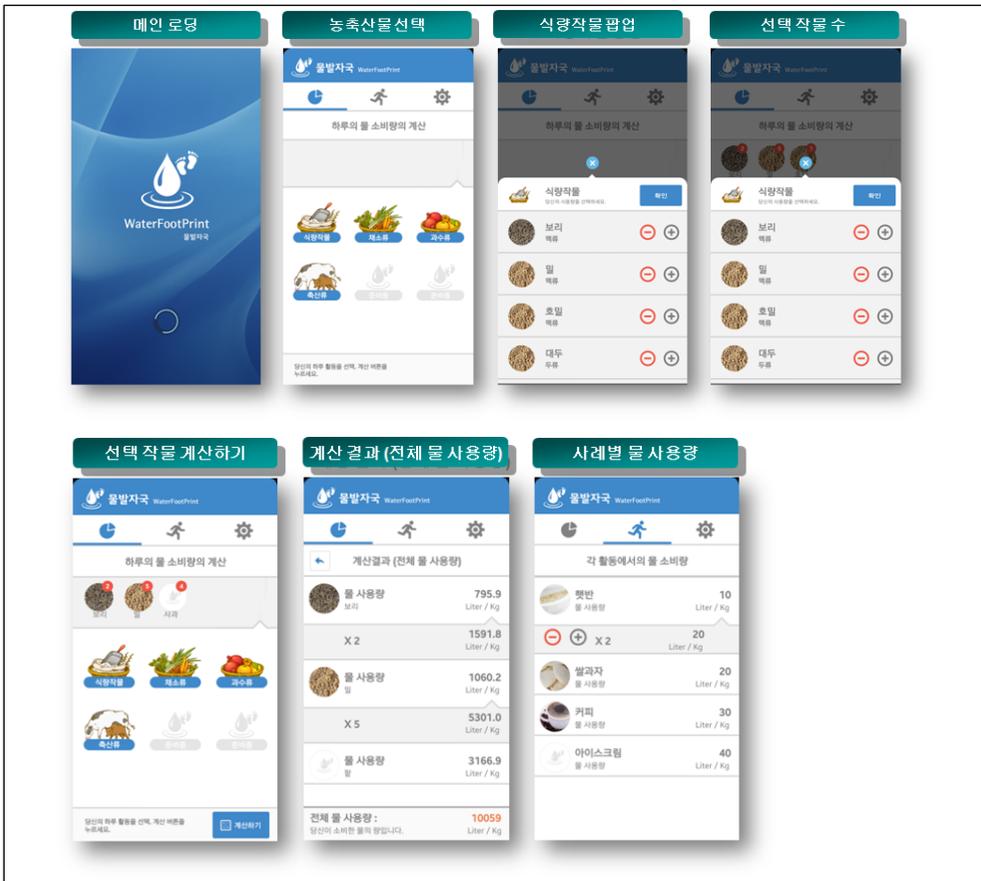


<그림 49> 물발자국 통합정보시스템



## 다. 애플리케이션

- 모바일에서도 일반인이 물사용량을 검색할 수 있도록 구성하였다.
- 국내 주요 농산물 인벤토리 DB를 이용하여 물사용량을 알기 쉽게 설명하기 위한 모바일 애플리케이션이다.
- 식량작물, 채소류, 과수류, 축산물 등 34종의 농축산물을 사용자가 선택하도록 하였다.
- 선택한 작물의 종류와 사용자가 입력 수량을 계산하여 작물별 물 사용량과 전체 사용량을 표시하도록 하였다.



<그림 52> 물발자국 애플리케이션

## 제7장 결 론



## 제7장 결 론

- 본 연구에서는 국내 농산물의 생산 및 가공단계별 물발자국 산정 모델을 구축하고자 하였으며 이를 위하여 농산물의 기초 통계자료 및 영농방식에 관한 데이터베이스를 구축하고, 주요 농산물의 생산 및 가공단계의 컴포넌트(Green, Blue, Grey water)별 물발자국을 산정하는 모델을 구축하고 농업용수 및 식량정책 부분에 물발자국의 적용방안을 제시하고자 하였다. 또한 물발자국 인증제 등의 정책적 활용방안을 제안하고자 하였다.
- 본 연구의 결과는 향후 우리나라 농업용수의 물사용량 평가를 위한 지표로 활용할 수 있으며 수자원 이용을 위한 정책 수립 기초자료로 활용 가능할 것으로 기대된다. 정책적인 면에서는 농산물의 가상수와 물발자국 산정을 통한 각 분야별 가상수 사용에 대한 효율적인 국가물관리계획 및 정책 수립을 위한 지원 체계 구축을 위한 기초자료로서 활용 가능하고, 가상수 이력제와 가상수 마일리지 등의 물발자국 정보를 활용한 국내 물관리 정책에 대한 지원 및 방향 제시를 위한 근거자료로서 활용 가능할 것이다.
- 또한 농산물 생산과정의 물 이력 추적에 의한 생산 단계별 물 사용량을 평가하고 영농방식의 변화 및 품종, 생산과정의 변화에 따른 최종 농산물의 물 사용량 변화의 평가에 활용할 수 있으며, 향후 농식품과 농산물의 판매와 소비에 따른 물 소비수량을 생산자와 소비자가 알 수 있도록 하여 물 절약의 중요성을 계몽하는데 활용할 수 있을 것으로 사료된다.
- 각 연구결과들의 다양한 분야에서의 활용방안 및 정책적인 활용방안을 정리하면 아래와 같다.

- **식량정책의 수립에 가상수 연구결과 활용 방안**
  - 물발자국을 활용할 경우 식량정책의 목표 달성을 위해 필수적으로 사용되는 수자원의 정량적인 산정을 위한 기초자료 제공이 가능함.
  - 물발자국 데이터를 활용할 경우 향후 식량정책의 변화에 대비하여 농업용수관리기관으로서 한국농어촌공사의 선제적 대응이 가능하며 및 민간부분과 식량정책을 물발자국을 통하여 연계함으로써 물 관련 이슈를 선점할 수 있음.
  - 국민들의 식습관의 변화가 수자원의 이용과 연관성이 높다는 점을 홍보하여 수자원의 중요도를 높이는데 활용될 수 있음.
  - 현재 국가가 목표로 하고 있는 식량자급률을 달성하기 위해서는 식량 생산 뿐 아니라 수자원의 개발이 동시에 수반될 필요가 있으며 거시적인 수자원의 필요량을 보여주는 지표로 활용될 수 있음.
- **농작물 가상수 교역 연구결과의 활용 방안**
  - 우리나라의 내부 물발자국은 40 Gm<sup>3</sup>, 외부 물발자국으로 96 Gm<sup>3</sup> 국외 가상수 의존도가 70 %를 초과함.
  - 주 사료용 작물인 옥수수과 두류작물의 경우 90% 이상이 국외 가상수 의존적임.
  - 우리나라의 국외 가상수 의존도가 높은만큼 향후 국외 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조의 변화에 민감하게 반응할 수 있는 수입 정책 수립시 활용이 가능함.
  - 국제적으로 최종 농산물에 소비된 물 소비량에 대한 관심이 높아지고 있는 시점에서 가상수 개념을 활용하여 FTA와 같은 자유무역에 의한 농산물의 수출입 물량에 따른 국제적인 물 수출입량을 파악하고 국제 농산물 거래에 의한 가상수 거래량을 평가할 수 있는 기술 기반이 구축되었다고 볼 수 있음.
  - 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조를 고려한 물 관리 정책 수립시 활용 가능함.
  - 우리나라의 국외 가상수 의존도를 낮출 수 있도록 적극적인 수자원 개발이 필요함.

- 또한 가상수 의존도가 집중되는 국가의 기상 및 수자원 부족량 변화를 지속적으로 모니터링하고, 국외 가상수 교역을 다변화시킬 수 있는 방안을 고려할 필요가 있음.
- **지역단위 가상수 자급률 평가 결과 활용 방안**
  - 가상수 개념은 작물 생산을 위해 사용되는 가상수 외에 식품소비에 의한 가상수 사용량을 동시에 포함할 수 있으므로 지역별 농작물 소비 대비 생산에 따른 가상수 자급률을 산정할 수 있음.
  - 가상수 자급률은 지역별 수자원 활용의 중요성을 보여줄 수 있으며, 타 지역의 수자원 개발 및 활용이 전국 지역들과 연관성이 있다는 점을 시사함.
  - 이에 따라 각 지역별 수자원의 가치가 높아질수록 가상수 자급률이 낮은 지역의 경우 타 지역과의 수자원 연계 활용을 고려할 필요가 있으며 자급률이 높은 지역은 수자원의 가치 증진을 위해 노력할 필요가 있음.
  - 농작물 생산지역의 수자원 계획은 단순히 해당지역의 소비만을 고려하는 것에서 확장하여 농작물 소비가 주로 발생하는 대도시 지역 등의 가상수 소비량을 동선에 고려할 수 있도록 수립될 필요가 있음.
  - 본 연구의 가상수 자급률 산정 결과는 타 지역의 수자원 소비량을 고려한 해당지역의 수자원 개발을 위한 정량적 지표로서 제시될 수 있음.
  - 또한 지역별 물 사용 총량제 등의 물 관리 제도를 도입하기 위한 기초자료로서도 활용 가능함.
- **물발자국 표시제도 시범운영을 통한 농축산물 생산단계별 물 사용량 평가**
  - 농축산물 생산과정의 물 이력 추적에 의한 생산 단계별 물 사용량 평가하고 이를 활용한 농산물의 생산에 있어서 효율적인 물 이용 방안 도출함으로써 향후 영농방식의 변화 및 품종, 생산과정의 변화에 따른 최종 농산물의 물 사용량 변화의 평가에 활용할 수 있음.

- **기업 및 국가 단위의 물발자국 활용**
  - 403개 산업의 물발자국 인벤토리 자료를 물발자국 표시제도의 DB로 활용하여 원료와 생산 그리고 유통에 이르는 과정에서의 물 사용량을 평가.
  - 생산단계별 용수의 낭비요소 제거, 원가 절감, 환경 친화적인 재화 생산의 기회 제공.
  - 향후 물발자국의 인증의 주요 요소: 기업이나 농축산물 생산에 사용되는 수량 기준에 대한 표준 프로토콜 부합여부에 대한 평가와 배출 수질에 대한 평가.
  - 국제적으로는 물발자국에 대한 프로토콜 셋업이 진행될 필요가 있음.
  - 기업 부분에서는 생산단계별 가상수 산정, 물사용량 지수 산정 등의 정성적, 정량적인 평가 및 인벤토리 작성 수행이 필요함.
  
- **정부와 산업체의 수자원 협력체계 구축시 연결고리로 활용**
  - 기업과 정부가 협력하여 수자원 이용의 효율성을 높이기 위해 물발자국 인증제를 도입할 수 있으며, 이때 물발자국 데이터는 기업과 정부의 중요한 연결고리 역할을 수행할 수 있음.
  - 새만금 개발 및 지역개발사업 등에 환경성을 평가하는데 있어서 수자원의 지속가능성을 물사용량으로 평가할 수 있는 기초 자료를 제공함.

## 참 고 문 헌



## <참 고 문 헌>

- 국토해양부, 수자원공사 (2011). 2011 물과 미래, pp. 1.
- 국토해양부, 수자원공사 (2014). 2014 물과 미래, pp. 1-25.
- 건설교통부 (2006). 수자원장기 종합계획 (2006~2020): 제4편 물이용종합계획, pp. 219-386
- 국토해양부 (2012). 제4차 수자원장기종합계획 제2차 수정계획(2011-2020), pp. 18.
- 농림부. 농업생산정비계획설계기준(관개편). 1998.
- 농촌진흥청. (2009). 품목별 관리메뉴얼, <http://www.rda.go.kr/jsp/rda/index.jsp>, Accessed 2009. 04. 07.
- 박필주, 김만영, 이일석. (2009). "산업연관표(2003년)를 활용한 산업별 CO2 배출 원단위 분석" **자원환경경제연구**, Vol. 18, No. 2, pp. 279-309.
- 수자원공사. (2006). 수자원장기종합계획(2006-2020). 건설교통부.
- 수자원공사. (2011). 수자원장기종합계획(2011-2020) 수립을 위한 연구보고서. 건설교통부.
- 스마트에코(주). (2014). Water Footprint Guideline in Product & Organization
- 안재현, 이재근, 이승호, 홍일표. (2010). 우리나라 가상수량 산정방법의 적용성 평가. **한국수자원학회논문집** 43 (6): 583-595.
- 원현규, 김영환, 장광민, 김철민, 이경학 (2011). 경제림육성단지 관리방안과 장기 경영계획 모델. **국립산림과학원**, pp. 59-62.
- 유승환, 최진용, 김태곤, 임정빈, 전창후. (2009). 한국의 농산물 가상수 산정. **한국수자원학회논문집** 42 (11): 911~920
- 주상언 (2011). 산업연관표를 이용한 산업간 물 발자국(Water footprint) 산정에 대한 연구. 석사학위논문, 수원대학교, pp. 20-28.
- 통계청 (2004). 2003 산업총조사 보고서.
- 한국농어촌공사 (2001). 수리시설물 모의조작시스템(HOMWRS) 사용자 설명서.
- 한국인정원 (1998). 환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침
- 한국은행 (2008). 2005년 산업연관표.
- 한국환경산업기술원 (2011). 환경성적표지 개선방안 연구(물발자국 포함)
- 한국환경산업기술원 (2013). 탄소성적표지인증제도 인증작성지침

- 환경부 (2005). 2005 전국 오염원조사 보고서.
- Ahn, J.H., J.G. Lee, S.H. Lee, I.P. Hong, 2010, Evaluation of virtual water calculation method in Korea, *Journal of the Korean Water Resources Association* Vol. 43(6), 583-595 pp.
- Aldaya, M.M., and A.Y. Hoekstra, 2010, The water footprint for Italians to eat pasta and pizza, *Agr. Syst.*, Vol. 103, 351-360 pp.
- Aldays, M.M., J.A. Allan, and A.Y. Hoekstra, 2010, Strategic importance of green water in international crop trade, *Ecological Economics*, Vol. 69, 887-894 pp.
- Allan, J.A., 1993, Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible In: *Priorities for water resources allocation and management*, ODA, London, 13-26 pp.
- Barrat, A., M. Barthelemy, R. Pastor-Satorras, and A. Vespignani, 2004, The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of sciences*, Vol. 101(11), 3747-3752 pp.
- Berrittella, M., A.Y. Hoekstra, K. Rehdanz, R. Roson, and R.S.J. Tol, 2007, The economic impact of restricted water supply: a computable general equilibrium analysis. *Water Res.* Vol 42, 1799-1813 pp.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., and Hwang, D.-U., 2006, Complex networks: structure and dynamics. *Physics Reports*, 424, 175-308 pp.
- Bonacich, P., 1987, Power and centrality: a family of measures. *American Journal of Sociology* Vol. 92, 1170 - 1182 pp.
- Borgatti, S.P., 2005, Centrality and network flow. *Social Networks* Vol. 27(1), 55 - 71 pp.
- Borgatti, S.P., and M.G. Everett, 2006, A Graph-theoretic perspective on centrality. *Social Networks*, Vol. 28, 466-484 pp.
- Borgatti, S.P., K. Carley, and D. Krackhardt,, 2006. Robustness of centrality measures under conditions of imperfect data. *Social Networks* Vol. 28(2), 124 - 136 pp.
- Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra, 2003, Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products, *Value of*

- Water Research Report Series No. 13, UNESCO-IHE.
- Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra, 2004, Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE.
- Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra, 2007, The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands, *Eccological Economics*, Vol. 64, 109–118 pp.
- Chapagain, A.K. 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.
- Chen, Z.M., and G.Q. Chen, 2013, Virtual water accounting for the globalized world economy: National water footprint and international virtual water trade, *Ecological Indicators*, Vol. 28, 142–149 pp.
- Cho, S.S., C.S. Suh, and S.W. Kang, 2009, Dynamic analysis on export performances of OECD countries. *Journal of Korea Trade Research Association*, Vol. 34(5), 249–269 pp.
- Cho, S.Y., 2009, Analysis of trade structure and tariff rate on trade effect in individual industry. Hanyang University.
- Duarte, R., J. Sanchez-Choliz, and J., Bielsa, 2002, Water use in the Spanish economy: an input-output approach, *Rcol. Econ.*, Vol. 43, 71–85 pp.
- Ercin, A.e., M.M. Aldaya, and A.Y. Hoekstra, 2009, A pilot in corporate water footprint accounting and impact assessment: The water footprint of a sugarcontaining carbonated beverage. Value of Water Research Report Series No. 39, UNESCO-IHE.
- Estrada, E., and J.A. Rodriguez-Velazquez, 2005. Subgraph centrality in complex networks. *Physical Review*, E7.
- Fader, M., D. Gerten, M. Thammer, J. Heinke, H. Lotze-Campen, W. Lucht, and W. Cramer, 2011, Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 15, 1641–1660 pp.
- Freeman, L.C., 1978, Centrality in social networks: conceptual clarification. *Social Networks* Vol. 1, 215 - 239 pp.
- Freeman, L.C., 2004, *The Development of Social Network Analysis: A Study*

- in the Sociology of Science. BookSurge, North Charleston, SC.
- Freeman, L.C., S.P. Borgatti, and D.R. White, 1991, Centrality in valued graphs: a measure of betweenness based on network flow. *Social Networks* Vol. 13 (2), 141 - 154 pp.
- Freeman, S.C., and L.C. Freeman, 1979, The networkers network: A study of the impact of a new communications medium on sociometric structure. *Social Science Research Reports* S46. University of California, Irvine, CA.
- Gerbens-Leenes, P.W., A.R. van Lienden, A.Y. Hoekstra, and Th.H. van der Meer, 2012, Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030, *Global Environmental Change*, Vol. 22, 764-775 pp.
- Gerbens-Leenes, P.W., and A.Y. Hoekstra, 2012, The water footprint of sweeteners and bio-ethanol, *Environment International*, Vol. 40, 202-211 pp.
- Guan, D., and K. Hubacek, 2007, Assessment of regional trade and virtual water flows in China. *Ecol. Econ.*, Vol. 61, 159-170 pp.
- Hoekstra, A.Y., 2003, Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Value of Water Research Report Series No. 12*, UNESCO-IHE.
- Hoekstra, A.Y., 2006, The global dimension of water governance: Nine reasons for global arrangements in order to cope with local water problems. *Value of Water Research Report Series No. 20*, UNESCO-IHE.
- Hoekstra, A.Y., A.K. Chapagain, and M.M. Aldaya, 2011, *The water footprint assesment manual*, Earthscan, London, UK.
- Hoekstra, A.Y., and P.Q. Hung, 2002, A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of Water Research Report Series No. 11*, UNESCO-IHE.
- Hubacek, K., D. Guan, J. Barrett, and T. Wiedmann, 2009, Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: ecological and water footprints, *Journal of Cleaner Production.*, Vol. 17, 1241-1248.
- International Trade Centre (ITC) UNCTAD/GATT, 2011, PC-TAS (The Personal Computer Trade Analysis System).

- Irwin, M., and H. Hughes, 1992, Centrality and the structure of urban interaction: measures, concepts, and applications. *Social Forces*, Vol. 71(1), 17-51 pp.
- ISO 14044, Environmental Management–Life cycle assessment - Critical Review processes and reviewer competencies - Additional requirement and guidelines to ISO 14044
- ISO 14046, Environmental Management–Water footprint– Principles, requirements and guidelines
- ISO/TS 14067, Environmental Management–Greenhouse gases - Carbon footprint of product - Requirement and guidelines for quantification and communication.
- Jang, M.W., J.Y. Choi, and J.J. Lee, 2007, A spatial reasoning approach to estimating paddy rice water demand in Hwanghaenam-do, North Korea. *Agricultural Water Management* Vol. 89, 185-198 pp.
- Jefferies, D. I. Muñoz, J. Hodges, V.J. King, M. Aldaya, A.E. Ercin, L.M. Canals, and A.Y. Hoekstra, 2012, Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 33, 155-166 pp.
- Jeong, J.H., 2012, An analysis on the trade effect of FTA using intensity of trade. *International Commerce and Information Review*, Vol. 14(1), 141-170 pp.
- Jeswani, H.K., and A. Azapagic, 2011, Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19, 1288-1299 pp.
- Kim, S., and G. Kim., 2009, Change in trade intensity between Korea and the major EU countries in the manufacturing sector. *The journal of contemporary European studies*, Vol. 27(1), 51-88 pp.
- Kim, S.M., and E.H. Shin, 2002, A longitudinal analysis of globalization and regionalization in international trade: a social network approach, Vol. 81(2), 445-471 pp.

- Kim, Y. H., 2007, Social network analysis. Pakyoungsa.
- Korea Rural Economic Institute (KREI) and Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), 2011. A study on conceptualization of food self-sufficiency rate and re-establishing its target in Korea
- Korea Rural Economic Institute (KREI), 2011. Statistics of food demand and supply
- Kwon, T.H., and K.W. Ju, 2004, A comparison of the degree of concentration in the export market of Korea, U.S.A., Japan and China measured by Gini coefficient. *Journal of Korea Trade Research Association*, Vol. 29(5), 59-81 pp.
- Kwon, T.H., and K.W. Ju, 2006, Change of trade structure among Korea and East Asian countries and their determinants. *Journal of Korea Trade Research Association*, Vol. 31(2), 5-30 pp.
- Lee, H.Y., and H.J. Kim, 2006, The Transformation of the Spatial Structure by Commuting Flows in the Capital Region Using Network Analysis, 1980-2000. *Journal of Korean Planners Association*, Vol. 41(1), 133-151 pp.
- Lee, N.H., 1988, Simulating daily operation of water management system of irrigation districts. Seoul National University.
- Lee, S.H., J.Y. Choi, S.H. Yoo, and Y.G. Oh, 2013, Evaluating spatial centrality for integrated tourism management in rural areas using GIS and network analysis. *Tourism Management*, Vol. 34, 14-24 pp.
- Liu, J., A.J. Zehnder, and H. Yang, 2009, Global consumptive water use for crop production: The importance of green water, virtual water, *Water Resour. Res.* 45.
- Mao, X., and Z. Yang, 2012, Ecological network analysis for virtual water trade system: A case study for the Baiyangdian Basin in Northern China, *Ecological Informatics*, Vol. 10, 17-24 pp.
- Mekonnen, M.M. and A.Y. Hoekstra, 2010, The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, *Value of Water Research Report Series No. 47*, UNESCO-IHE.
- Mekonnen, M.M. and 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.
- Mekonnen, M.M., A.Y. Hoekstra, and R. Becht, 2012, Mitigating the water footprint of export cut flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya, *Water Resources Manage*, Vol. 26, 3725-3742 pp.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF) (2011) Major statistics for food, agriculture, forestry and fisheries. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (in Korean).
- Ministry of Construction and Transportation (MCT), 2006. Comprehensive Water Resources Plan -Water Vision 2020.
- Newman, M.E.J., 2001, Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. *Physical Review E* Vol. 64.
- Newman, M.E.J., 2004, Analysis of weighted networks. *Physical Review E* Vol. 70.
- Novo, P., A. Garrido, and C. Varela-Ortega, 2009, Are virtual water “flows” in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity?, *Ecological Economics*, Vol. 68, 1454-1464 pp.
- Oki, T., M. Sato, A. Kawamura, M. Miyake, S. Kanae, and K. Musiake, 2003, Virtual water trade to Japan and in the world. In: Hoekstra, A.Y. (Ed.), *Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12*, UNESCO-IHE.
- Opsahl, T., and P. Panzarasa, 2009, Clustering in weighted networks. *Social Networks* Vol. 31 (2), 155 - 163 pp.
- Richards, W.D., and A.J. Seary, 2000, Eigen analysis of networks, *Journal of Social Structure*.
- Ruhnau, B., 2000, Eigenvector-centrality – a node-centrality? *Social Networks* Vol. 22, 357 - 365 pp.
- Rural Development Administration (RDA), 2009, Crop management manual.
- Scott, J., 2000, *Social Network Analysis: A Handbook*. SAGE Publications India Pvt Ltd.
- Siebert, S., and Doll, 2010, Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, Vol. 384, 198-217 pp.

- Smith, D., and M. Timberlake, 2002, Hierarchies of dominance among world cities: a network approach, in Sassen, S. (ed.), *Global Networks Linked Cities*, Routledge, New York, 117-143 pp.
- Smith, D.A., and D.R. White, 1992, Structure and dynamics of the global economy: network analysis of international trade, 1965-1980. *Social Forces*, Vol. 70(4), 857-893 pp.
- Son, I.T., 2007, Trade structure of Korea-China-Japan and ASEAN, and Its implications on Korea's FTA strategy. *Journal of Korea Trade Research Association*, Vol. 32(3), 269-292 pp.
- The world bank, Trends in the global demand for food, <http://go.worldbank.org/D8VH8Y32D0>, accessed 2012.02.24
- Wang, Z., K. Huang, S. Yang, Y. Yu, 2013, An input-output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of Beijing, China, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 42, 172-179 pp.
- Wasserman, S., and K. Faust, 1994, *Social Network Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- Water Footprint Network, 2011, *The Water Footprint Assessment Manual* WD2/ISO TR 14073, Environmental Management-Water footprint -Illustrative examples on how to apply ISO 14046
- World Bank, 2010, *World Development Indicator*, The World Bank Group.
- Yang, H., L. Wang, K.C. Avvaspour, and A.J.B. Zehnder, 2006, Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* Vol. 10, 443-454 pp.
- Yang, S., and D. Knoke, 2001, Optimal connections: strength and distance in valued graphs. *Social Networks* Vol. 23, 285 - 295 pp.
- Yoo, S.H., J.Y. Choi, and M.W. Jang, 2006, Estimation of paddy rice crop coefficients for FAO Penman-Monteith and modified Penman method. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 48(1) 13-23 pp.
- Yoo, S.H., J.Y. Choi, T. Kim, J.B. Im, and C.Chun, 2009, Estimation of Crop Virtual Water in Korea, *JKWRA*, Vol. 42(11), 911-920 pp.
- Yu, Y., K. Hubacek, K. Feng, and D. Guan, 2010, Assessing regional and

- global water footprint for the UK. *Rcol. Econ.* Vol. 69, 1140–1147 pp.
- Zeitoun, M., J.A. Allan, and Y. Mohieldeen, 2010, Virtual water ‘flows’ of the Nile Basin, 1998–2004: a first approximation and implications for water security. *Global Environ. Change.* Vol. 2(20), 229–242 pp.
- Zhan-Ming, C., and G.Q. Chen, 2013, Virtual water accounting for the globalized world economy: National water footprint and international virtual water trade, *Ecological Indicators*, Vol. 28, 142–149 pp.
- Zhao, X., B. Chen, and Z.F. Yang, 2009, National water footprint in an input-output framework—a case study of China 2002, *Ecol. Model.* Vol. 220, 245–253 pp.



## 부 록



- 부록 1 논벼 물발자국 산정결과
- 부록 2 밭작물 물발자국 산정결과
- 부록 3 물발자국 물사용강도
- 부록 4 농작물 가상수 교역량
- 부록 5 식품수급표에 따른 1인당 작물 및 칼로리 소비량
- 부록 6 주요 작물의 지역별 가상수 사용량
- 부록 7 연구 목표 달성도 및 실적



## **부록 1 논벼 물발자국 산정결과**



## <논벼 물발자국>

### ● 시기 및 지역별 물발자국 (중발산량 + 오염 회석량)

시기 및 지역별 녹색 물발자국

Green water footprint (m <sup>3</sup> /ton) (중발산량 + 오염 회석량)	
구분	1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010
논벼	
강원	376.7 346.5 534.4 266.0 388.3 252.1 318.6 427.1 284.7 223.0 240.8 313.0 336.2 312.9 325.9 370.3 297.2 308.0 302.7 292.7
경기	378.4 334.6 388.2 307.4 375.7 293.1 318.5 455.2 253.2 215.3 306.8 315.1 330.2 313.8 385.6 343.6 346.4 384.6 361.7 378.2
경남	567.3 267.7 551.0 203.0 253.8 232.7 313.1 404.4 403.6 397.5 289.2 340.9 515.4 239.5 356.2 302.9 257.7 212.4 288.7 359.9
경북	385.9 242.6 478.9 173.9 236.0 209.0 266.7 384.4 297.8 253.3 209.7 251.5 430.4 271.2 305.7 270.2 249.8 247.8 244.7 265.5
광주	443.2 333.7 439.2 335.7 251.8 373.7 339.3 426.4 380.4 476.3 271.6 312.6 486.9 265.9 380.3 366.0 274.7 262.4 367.3 372.0
대구	478.4 243.2 520.0 219.0 266.7 245.1 277.6 403.3 317.7 364.4 236.0 278.2 498.1 262.5 301.8 243.6 207.1 225.5 249.8 360.2
대전	386.7 239.7 413.2 204.0 296.1 297.5 321.7 324.5 266.7 413.5 274.6 285.5 397.5 236.7 409.9 298.2 312.6 353.9 276.2 389.6
부산	686.1 289.3 507.3 194.4 316.8 323.8 342.8 497.9 431.6 375.7 340.7 336.1 616.1 256.6 340.2 281.6 268.5 263.6 342.2 343.1
서울	385.5 443.3 460.2 295.7 426.8 348.4 334.3 573.7 284.3 244.3 319.4 334.8 329.2 373.9 355.5 396.9 377.2 434.4 450.1 449.3
울산	
	426.5 436.5 340.7 210.0 306.3 518.4 258.5 296.0 287.2 265.9 312.0 252.7 274.0
인천	393.2 334.8 408.3 274.4 342.1 255.4 305.1 416.6 226.6 185.8 344.5 288.3 343.3 308.4 293.9 337.5 354.0 353.6 367.5 344.7
전남	464.1 265.9 437.7 248.6 246.0 288.6 287.3 371.6 345.4 386.7 283.7 350.7 472.9 235.8 324.9 327.4 286.5 222.5 294.3 374.6
전북	378.0 235.7 358.1 226.8 244.1 272.5 272.0 336.3 275.4 368.0 255.0 247.8 416.2 227.6 343.3 301.1 278.1 254.2 233.1 336.9
제주	487.4 415.5 548.0 438.8 336.6 382.3 292.9 334.0 519.3 325.8 542.9 625.5 584.4 339.8 472.1 553.7 580.6 371.7 537.8 717.5
충남	366.5 258.7 344.5 226.9 324.1 240.6 275.6 371.6 228.6 272.9 238.0 273.9 369.7 265.9 374.4 281.4 302.0 257.7 275.2 277.0
충북	406.8 287.2 407.5 286.1 306.2 263.7 275.0 413.2 226.3 240.5 293.6 304.9 377.9 283.7 406.8 303.3 330.8 285.4 273.8 357.0

Blue water footprint (m <sup>3</sup> /ton) (증발산량 + 오염 회석량)																				
구분	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
농버																				
강원	523.0	510.4	562.3	662.2	542.3	541.5	494.6	373.3	486.1	499.3	649.8	504.0	419.7	482.6	467.2	450.2	450.6	476.5	463.2	504.3
경기	607.1	553.2	466.9	683.6	540.5	550.4	583.8	423.7	559.0	531.8	660.3	509.1	439.3	492.0	428.4	548.6	429.4	413.6	489.8	457.1
경남	415.3	667.9	405.1	956.0	657.6	585.3	562.7	406.5	419.9	367.0	532.2	608.9	411.7	580.9	471.9	523.3	536.4	572.1	463.5	462.7
경북	506.3	615.1	519.0	915.5	649.1	625.7	565.2	436.3	468.8	444.7	649.2	553.8	382.1	512.7	498.5	525.0	497.7	508.8	480.5	503.2
광주	473.5	659.0	490.0	851.1	726.4	495.3	615.8	437.5	512.6	380.5	638.6	576.1	358.2	595.4	503.9	448.1	520.8	643.2	486.5	487.9
대구	562.8	793.0	541.7	1158.2	803.9	731.0	655.5	614.5	601.5	514.1	640.4	695.5	494.5	617.0	598.9	688.3	665.6	666.9	553.0	555.6
대전	514.2	618.0	414.9	848.1	625.1	547.9	534.1	411.8	457.0	393.8	572.0	474.4	333.5	567.3	335.0	483.6	414.2	464.3	509.0	391.6
부산	488.6	682.0	387.5	1111.5	733.2	618.8	590.7	468.5	397.6	492.8	567.7	639.1	388.0	618.1	583.3	664.4	608.8	585.9	551.5	677.8
서울	709.6	529.3	486.6	817.4	598.0	568.4	773.5	533.5	663.8	531.3	568.7	447.8	397.7	496.4	470.9	554.5	502.3	490.2	510.2	453.5
울산								406.4	358.3	557.9	674.8	547.3	529.5	623.4	670.7	637.1	599.1	524.2	565.5	687.8
인천	677.9	621.9	467.4	733.5	578.4	577.9	620.3	447.7	599.7	566.3	797.1	507.4	400.3	483.4	486.8	579.3	437.1	488.7	582.7	507.5
전남	445.7	662.3	419.3	857.7	660.9	517.4	582.9	430.4	482.5	386.7	700.6	592.0	396.8	637.7	534.0	526.4	562.8	627.8	508.7	463.7
전북	399.4	551.6	339.8	702.1	561.3	486.2	505.3	366.2	446.2	290.8	543.2	541.8	348.4	524.4	437.9	447.9	450.3	491.3	443.5	408.2
제주	726.4	820.1	532.7	1202.9	776.1	868.5	817.2	641.1	441.8	847.4	1031.1	1128.5	949.6	1218.1	1416.6	1122.5	1096.5	1039.6	867.0	922.6
충남	489.4	597.0	419.1	743.9	586.6	572.2	528.2	399.5	504.0	404.6	616.5	486.1	342.5	487.1	374.5	481.5	402.3	454.9	457.7	442.3
충북	546.6	645.7	494.4	784.2	615.9	600.5	634.6	407.9	541.8	462.6	712.7	517.2	384.0	541.3	377.3	565.4	448.0	501.0	542.5	441.4

Grey water footprint (m <sup>3</sup> /ton) (중발산량 + 오염 회석량)																					
구분	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
논벼																					
강원	56.8	54.9	77.2	55.2	60.9	51.8	49.4	53.2	50.5	49.5	48.4	53.3	53.4	51.2	49.7	52.6	52.8	49.7	46.7	53.0	
경기	55.9	51.4	53.3	53.7	56.5	49.1	48.1	50.7	48.4	49.9	49.3	49.8	52.9	49.4	50.0	50.2	52.3	47.9	48.2	54.9	
경남	57.8	55.9	66.9	55.1	53.7	48.7	49.7	53.3	53.5	52.1	48.2	55.4	57.5	49.2	50.6	50.1	52.2	46.3	47.3	50.2	
경북	55.5	52.3	70.1	52.5	52.0	48.4	47.4	54.2	50.1	49.2	47.1	50.1	55.5	47.9	48.3	48.3	50.3	45.7	44.2	46.9	
광주	53.2	55.8	59.0	53.0	53.1	48.6	47.6	51.4	52.2	50.9	47.7	53.9	56.0	49.9	52.9	49.7	51.9	49.3	49.5	51.9	
대구	58.9	57.0	67.1	56.1	55.2	50.3	50.2	60.0	54.1	51.7	48.5	54.8	64.1	49.9	50.4	50.9	52.2	45.8	44.4	49.5	
대전	55.5	51.1	54.3	49.8	52.6	46.8	45.8	48.9	45.7	48.2	44.9	48.9	51.8	47.3	48.1	48.1	50.0	49.5	46.6	49.0	
부산	60.0	57.0	60.6	54.0	55.2	48.4	47.5	56.0	50.4	51.0	48.9	55.8	61.7	50.1	51.4	50.4	51.3	45.8	49.8	52.1	
서울	59.0	53.4	52.1	54.8	58.5	50.3	54.0	58.9	56.0	50.1	51.1	51.0	52.4	50.5	50.6	50.8	54.3	47.9	50.2	54.9	
울산								56.2	51.7	51.8	48.9	51.9	63.8	50.5	53.6	51.7	55.0	48.6	51.3	53.7	
인천	56.5	53.6	51.9	53.5	53.6	47.2	48.0	49.4	48.5	49.1	51.1	46.3	48.1	47.6	48.8	52.3	53.2	47.5	51.8	54.3	
전남	53.3	52.7	56.8	52.5	52.8	47.1	44.8	49.3	51.0	48.9	50.0	54.9	54.7	50.5	51.4	51.8	55.6	50.1	49.9	51.8	
전북	48.1	46.2	48.3	48.0	49.4	45.1	44.9	47.5	45.3	45.9	44.4	48.8	51.7	44.9	48.1	46.0	49.3	44.5	42.1	46.5	
제주	69.1	67.0	71.7	69.1	59.0	63.2	54.4	54.4	62.2	64.6	77.2	94.5	84.5	78.6	94.1	88.6	90.2	79.0	75.9	87.9	
충남	50.2	49.7	51.7	50.6	54.2	46.2	44.3	47.9	45.5	44.6	44.2	47.0	49.2	44.9	46.0	45.4	47.7	44.0	43.0	46.8	
충북	54.8	52.8	56.5	53.4	53.3	48.7	47.3	50.6	46.8	45.8	45.9	48.8	53.4	48.8	49.6	50.0	52.5	47.5	46.4	49.9	

Water footprint (m <sup>3</sup> /ton) (증발산량 + 오염 회석량)																				
구분	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
농버																				
강원	956.4	911.8	1173.9	983.3	991.5	845.4	862.5	853.6	821.3	771.9	939.1	870.4	809.2	846.6	842.9	873.1	800.6	834.2	812.6	850.0
경기	1041.4	939.1	908.4	1044.6	972.7	892.5	950.4	929.6	860.5	797.0	1016.4	874.0	822.4	855.2	864.1	942.4	828.1	846.1	899.6	890.2
경남	1040.4	991.5	1023.0	1214.1	965.1	866.7	925.6	864.2	877.0	816.6	869.5	1005.2	984.5	869.5	878.7	876.3	846.4	830.8	799.5	872.9
경북	947.7	910.0	1068.0	1141.9	937.1	883.1	879.3	874.9	816.7	747.1	906.0	855.4	867.9	831.7	852.5	843.5	797.9	802.3	769.5	815.6
광주	970.0	1048.4	988.2	1239.8	1031.3	917.6	1002.7	915.4	945.2	907.7	957.8	942.6	901.0	911.2	937.2	863.7	847.4	954.9	903.2	911.8
대구	1100.1	1093.2	1128.8	1433.3	1125.9	1026.4	983.3	1077.8	973.4	930.2	924.9	1028.6	1056.6	929.4	951.1	982.9	924.9	938.2	847.1	965.4
대전	956.3	908.9	882.3	1101.9	973.7	892.2	901.6	785.2	769.4	855.5	891.6	808.8	782.8	851.3	793.0	829.9	776.9	867.7	831.9	830.2
부산	1234.7	1028.4	955.4	1359.9	1105.2	990.9	981.1	1022.3	879.6	919.5	957.4	1031.1	1065.8	924.8	974.8	996.4	928.7	895.2	943.4	1072.9
서울	1154.1	1026.0	998.9	1167.9	1083.3	967.1	1161.8	1166.2	1004.1	825.6	939.2	833.6	779.3	920.7	877.0	1002.2	933.8	972.5	1010.6	957.6
울산											889.0	846.5	950.4	933.7	905.5	1111.7	932.4	1020.3	976.0	920.0
인천	1127.5	1010.3	927.6	1061.4	974.1	880.5	973.4	913.7	874.8	801.3	1192.8	842.0	791.7	839.4	829.5	969.1	844.3	889.9	1002.0	906.5
전남	963.0	980.9	913.9	1158.7	959.7	853.0	915.1	851.3	879.0	822.4	1034.3	997.5	924.4	924.0	910.2	905.6	904.8	900.3	852.9	890.0
전북	825.5	833.5	746.2	976.9	854.8	803.8	822.2	750.0	766.9	704.8	842.6	838.4	816.3	796.9	829.4	795.0	777.7	790.0	718.7	791.7
제주	1282.9	1302.5	1152.4	1710.8	1171.7	1314.1	1164.5	1029.5	1023.3	1237.8	1651.2	1848.6	1618.5	1636.6	1982.8	1764.9	1767.2	1490.3	1480.7	1728.0
충남	906.1	905.3	815.3	1021.3	965.0	859.0	848.1	819.0	778.2	722.1	898.7	807.0	761.4	798.0	794.9	808.3	752.0	756.5	775.9	766.0
충북	1008.2	985.7	958.4	1123.7	975.4	912.9	956.9	871.6	814.9	749.0	1052.2	870.9	815.2	873.8	833.7	918.7	831.3	833.8	862.7	848.2

● 시기 및 지역별 물발자국 (칩투량 및 토양 잔여수분량)

시기 및 지역별 녹색 물발자국 (칩투량 및 토양 잔여수분량)

Green water footprint (m <sup>3</sup> /ton) (칩투량 및 토양 잔여수분량)																					
구분	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
논벼																					
강원	325.6	304.8	483.8	208.5	328.6	205.9	261.0	383.8	262.2	215.9	158.0	280.6	326.2	275.5	287.5	297.5	297.0	240.0	220.5	267.7	
경기	273.8	254.6	300.0	208.6	284.0	191.7	203.1	337.7	207.4	198.8	161.7	248.5	303.0	257.8	333.2	206.9	330.2	283.9	238.9	344.3	
경남	435.7	215.8	464.8	103.7	186.1	170.6	203.0	359.2	344.8	361.3	238.1	249.3	368.2	181.6	276.0	222.1	229.0	149.1	240.6	281.7	
경북	315.7	200.5	413.3	92.4	178.9	145.3	185.0	338.1	262.6	245.9	158.7	211.9	377.1	218.0	243.3	203.1	225.4	187.1	191.8	209.2	
광주	331.1	240.7	326.9	152.6	159.3	270.7	173.6	336.0	287.9	354.4	166.1	220.3	363.1	182.5	283.8	261.8	246.1	161.1	257.9	275.5	
대구	349.1	173.9	374.8	82.6	158.3	144.6	168.0	314.3	234.4	271.5	181.3	192.8	389.7	180.7	204.7	153.9	152.1	122.1	172.7	227.7	
대전	311.5	189.8	329.7	105.7	204.9	215.0	195.0	292.0	243.0	308.4	178.5	256.1	372.2	165.8	365.0	213.5	294.1	270.4	217.0	302.3	
부산	447.1	219.3	407.0	72.1	192.6	170.8	188.7	371.4	351.1	258.8	240.0	231.2	392.7	190.3	211.9	162.6	212.3	159.1	231.6	196.6	
서울	241.7	312.1	262.7	167.0	275.2	197.0	181.6	366.7	231.0	216.8	192.8	304.4	316.0	286.0	303.7	206.0	330.5	230.6	273.8	384.5	
울산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	381.9	380.5	242.6	156.9	238.6	342.6	194.2	196.3	184.8	232.7	215.5	212.5	185.2	
인천	239.9	242.7	279.8	175.7	239.4	150.9	180.1	310.7	179.6	167.5	136.8	214.2	291.7	246.0	257.7	208.5	337.8	219.0	230.7	302.1	
전남	343.6	194.8	343.5	119.0	172.7	210.9	155.4	311.3	271.2	321.7	179.6	243.4	342.5	164.7	241.6	237.9	252.3	155.2	241.7	280.8	
전북	309.7	182.4	304.6	131.6	184.0	212.2	185.8	310.4	234.3	338.7	182.7	190.3	348.4	165.7	268.3	222.5	249.4	176.7	192.7	263.5	
제주	363.2	288.3	458.3	146.1	222.9	202.8	138.1	252.0	386.3	241.0	332.6	353.6	324.4	196.3	257.0	313.4	396.7	264.8	378.5	439.1	
충남	279.3	200.5	297.1	144.7	250.4	164.8	179.3	302.1	202.3	242.2	142.0	229.6	342.9	209.1	320.3	195.4	278.5	208.3	199.6	242.2	
충북	303.1	213.0	319.0	162.6	218.9	179.5	158.8	334.9	196.8	209.1	139.4	242.4	346.9	214.3	359.2	196.0	302.9	212.7	181.9	289.7	

Blue water footprint (m <sup>3</sup> /ton) (침투량 및 토양 잔여수분량)																					
구분	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
농버																					
강원	421.3	442.3	505.6	514.9	456.0	440.1	398.8	325.6	438.6	475.4	417.7	449.1	402.4	421.9	407.6	352.4	449.3	375.3	337.1	457.5	
경기	437.1	422.6	363.4	454.4	410.9	360.3	366.3	313.3	458.0	488.1	336.2	395.0	400.6	406.5	370.6	332.4	408.1	307.4	323.8	416.8	
경남	323.7	539.6	342.3	466.7	482.0	433.7	361.6	361.6	359.2	319.5	437.5	442.2	295.6	442.1	363.3	381.5	475.5	404.1	388.0	354.8	
경북	413.7	507.2	448.2	469.6	482.3	434.4	388.2	383.4	414.3	424.7	484.8	459.1	332.7	406.8	387.7	387.0	442.0	379.9	383.9	393.8	
광주	353.7	475.4	364.8	387.0	459.6	358.7	315.0	344.7	388.0	283.1	390.5	406.1	267.1	408.5	376.0	320.5	466.4	394.9	341.6	361.2	
대구	409.7	566.6	389.8	435.6	479.3	433.4	396.6	476.7	442.9	377.6	490.3	477.4	386.7	424.6	404.3	431.6	487.8	361.2	381.5	349.9	
대전	414.2	489.4	331.1	439.2	432.7	395.9	323.8	370.5	416.4	293.6	371.8	425.7	312.3	397.4	298.3	346.1	389.6	354.7	399.9	303.8	
부산	319.9	517.3	310.8	407.2	449.6	328.8	326.0	349.5	323.2	339.7	401.4	439.1	247.8	458.3	364.1	383.3	481.2	351.9	376.3	390.1	
서울	444.9	372.8	277.8	461.6	385.6	321.4	420.2	341.0	539.5	471.4	343.3	407.1	381.7	379.7	402.3	287.8	440.1	260.3	310.3	388.0	
울산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	363.9	312.1	396.6	503.6	426.0	349.8	468.2	444.2	409.8	524.3	362.2	475.9	464.8	
인천	413.1	454.2	317.9	463.7	404.7	342.1	361.0	333.0	474.9	505.1	312.9	378.0	339.5	385.6	428.2	358.1	416.2	295.8	361.6	446.7	
전남	334.2	488.8	332.5	412.8	456.3	381.3	311.2	357.3	381.5	314.7	428.3	413.0	285.4	442.5	391.2	380.3	488.8	431.7	419.9	345.4	
전북	323.9	423.2	288.7	407.4	414.0	374.6	338.1	336.5	379.1	273.9	380.9	417.0	290.8	382.8	338.7	331.4	403.3	344.5	367.6	316.5	
제주	539.4	568.7	443.1	398.7	505.0	451.8	378.4	478.7	328.2	615.3	614.3	636.3	527.0	687.4	735.0	619.4	730.2	725.6	601.2	549.2	
충남	373.4	457.0	359.9	470.3	447.4	389.3	343.9	327.1	438.2	355.4	364.8	410.5	316.8	381.5	320.2	335.5	368.6	364.5	337.3	387.3	
충북	409.7	481.2	384.4	444.0	436.8	400.8	363.3	334.1	467.4	405.9	330.0	411.5	351.3	403.6	333.6	364.1	408.2	370.9	359.3	355.9	

Water footprint (m <sup>3</sup> /ton) (침투량 및 토양 잔여수분량)																					
구분	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
논벼																					
강원	746.9	747.1	989.4	723.3	784.5	646.0	659.8	709.4	700.8	691.3	575.7	729.6	728.7	697.3	695.1	649.9	746.4	615.3	557.6	725.2	
경기	710.9	677.2	663.4	663.0	695.0	552.1	569.4	651.0	665.5	686.9	497.9	643.5	703.6	664.3	703.8	539.3	738.3	591.4	562.7	761.1	
경남	759.4	755.4	807.1	570.4	668.1	604.3	564.6	720.7	704.0	680.8	675.6	691.5	663.8	623.7	639.3	603.6	704.5	553.2	628.5	636.6	
경북	729.4	707.7	861.5	561.9	661.2	579.7	573.2	721.5	676.9	670.6	643.4	671.0	709.7	624.8	631.0	590.0	667.4	567.0	575.7	603.1	
광주	684.8	716.1	691.7	539.6	618.9	629.3	488.6	680.7	675.9	637.6	556.6	626.4	630.3	591.0	659.8	582.4	712.5	556.0	599.4	636.7	
대구	758.8	740.5	764.7	518.2	637.6	578.1	564.7	791.0	677.3	649.0	671.6	670.2	776.4	605.3	609.0	585.5	639.8	483.3	554.3	577.6	
대전	725.6	679.2	660.8	544.9	637.7	610.9	518.8	662.4	659.4	602.0	550.3	681.8	684.5	563.1	663.3	559.6	683.6	625.1	616.9	606.0	
부산	767.0	736.6	717.8	479.3	642.1	499.6	514.7	720.8	674.3	598.5	641.4	670.2	640.5	648.6	576.1	545.8	693.5	511.1	607.9	586.7	
서울	686.5	685.0	540.5	628.6	660.7	518.4	601.8	707.7	770.5	688.2	536.1	711.5	697.7	665.7	706.0	493.9	770.6	490.9	584.1	772.5	
울산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	745.9	692.6	639.2	660.5	664.6	692.4	662.4	640.5	594.6	757.0	577.6	688.4	650.0	
인천	653.0	696.9	597.8	639.4	644.0	493.0	541.2	643.8	654.4	672.6	449.7	592.2	631.2	631.6	685.9	566.7	754.0	514.8	592.3	748.8	
전남	677.8	683.6	676.1	531.8	629.0	592.2	466.6	668.7	652.6	636.4	608.0	656.4	628.0	607.2	632.8	618.2	741.2	586.9	661.6	626.3	
전북	633.6	605.5	593.3	539.0	598.0	586.8	523.8	646.9	613.4	612.6	563.6	607.3	639.2	548.5	607.0	553.9	652.7	521.2	560.4	580.0	
제주	902.6	857.0	901.4	544.8	727.9	654.6	516.5	730.7	714.5	856.4	946.9	990.0	851.4	883.6	992.1	932.8	1126.9	990.4	979.6	988.4	
충남	652.6	657.5	656.9	615.0	697.8	554.1	523.2	629.3	640.5	597.6	506.8	640.1	659.7	590.6	640.5	530.9	647.1	572.8	536.9	629.5	
충북	712.8	694.2	703.4	606.7	655.7	580.2	522.2	669.1	664.2	615.0	469.4	653.9	698.1	618.0	692.8	560.1	711.0	583.6	541.2	645.6	



## 부록 2 발작물 물발자국 산정결과



## <밭작물 물발자국>

### ● 기간별 밭작물 평균 물발자국

식량작물의 물발자국 산정 결과

(단위: m<sup>3</sup>/ton)

작 물	평균 물발자국				
	91-00	96-05	01-10	91-10	
맥류	보리	744.1	722.9	795.9	770.0
	밀	1004.6	1102.8	1060.2	1032.4
	호밀	2467.8	1931.5	1741.5	2401.7
두류	대두	3661.0	3608.7	3346.7	3503.8
	팥	3155.3	3242.5	3166.9	3161.1
	녹두	4356.1	4216.1	4085.6	4220.8
	기타두류	3003.0	2814.4	2553.0	2778.0
식량작물	수수	2794.8	2741.6	2627.1	2715.4
	옥수수	1174.3	1151.5	1039.7	1107.0
	조	2368.3	2444.4	2295.3	2333.7
	메밀	2702.6	2709.8	2683.1	2692.9
	기타잡곡	2151.4	2181.0	2010.0	2080.7
서류	고구마	333.3	333.6	370.0	351.7
	감자	152.7	143.5	135.8	144.2

채소류의 물발자국 산정 결과

(단위: m<sup>3</sup>/ton)

작 물	평균 물발자국				
	91-00	96-05	01-10	91-10	
과채류	수박	164.8	140.5	111.7	138.2
	참외	112.0	101.1	96.1	104.0
	딸기	133.6	114.9	101.7	117.6
	오이	78.8	58.8	50.8	64.8
	호박	186.5	150.9	129.3	157.9
	토마토	38.7	31.3	28.4	33.5
근채류	무	75.0	73.1	69.4	72.2
	당근	146.4	116.0	106.9	126.7
채소류	배추	43.1	44.3	42.4	42.7
	양배추	85.5	72.7	65.1	75.3
	시금치	45.3	44.3	43.9	44.6
	상추	147.7	125.6	112.9	130.3
	고추	1902.5	1416.2	1133.4	1518.0
조미채소	마늘	484.4	467.2	432.6	458.5
	파	271.3	278.9	258.3	279.1
	양파	98.2	97.2	90.5	94.3
	생강	663.5	583.5	494.9	579.2

과수류 및 특용작물의 물발자국 산정 결과

(단위: m<sup>3</sup>/ton)

작 물	평균 물발자국				
	91-00	96-05	01-10	91-10	
과수류	사과	545.8	508.3	511.9	528.8
	배	601.5	575.4	400.3	500.9
	복숭아	621.1	597.0	575.7	598.4
	포도	394.4	314.4	280.9	337.7
	감귤	268.6	277.3	235.4	252.0
	감	980.0	842.1	676.5	828.3
	자두	825.1	688.1	674.6	749.9
	기타과수	1391.2	1508.2	1482.0	1461.1
특용작물	유채	2983.4	3867.5	4412.8	3660.5
	참깨	5135.4	5033.6	5556.5	5346.0
	들깨	5185.5	5082.8	4550.4	4868.0
	땅콩	2737.6	2613.9	2383.4	2560.5

● 연도별 발작물 물발자국 (1991-2010)

발작물의 녹색 물발자국 산정 결과

Green water footprint (m <sup>3</sup> /ton)		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
구분	물	1109	941	1002	878	779	904	864	1019	1032	1517	1160	1114	1083	1138	1186	997	934	881	1022	1075
	보리	834	736	886	824	681	276	882	1108	313	901	369	902	908	822	748	873	750	762	800	1023
	옥수수	1387	1083	1019	1288	1114	1166	1199	1108	1224	1145	1307	1151	1061	1144	1010	976	919	920	946	963
	호밀	3710	2912	2043	2995	2411	435	2745	3179	1562	2686	1742									
	수수	2764	3069	2597	3377	2845	2645	2764	2633	2764	2491	3254	2765	2524	2743	2832	2587	2047	2561	2330	
	메밀	2818	2806	2707	3076	2647	2534	2693	2909	2324	2811	3013	2669	2712	2810	2922	2088	2667	2265	2823	2861
	기타잡곡	1983	2339	1925	2683	2011	1998	2139	2043	2370	2024	2347	2416	1727	2329	2419	1330	1759	1768	1956	2051
	감자	181	171	146	157	147	147	136	149	148	148	155	138	137	142	139	130	126	117	135	139
	고구마	303	350	308	441	330	313	362	305	316	304	343	318	331	328	416	381	380	389	402	412
	쌀	2913	2786	2733	4382	3303	2718	3259	3067	3123	3238	3924	3491	3385	3050	3129	2985	2786	2968	2860	3080
	기타부류	2903	3013	2762	3852	2785	2845	2971	2828	3027	3046	2805	2993	2542	2711	2376	2350	2540	2351	2349	2512
	대두	3445	3306	3301	4817	3554	3276	3604	3579	3924	3802	3945	3766	3774	3329	3087	3023	3329	2988	2715	3511
	명콩	2973	2640	2799	2969	2756	2687	2728	2633	2761	2432	2859	2490	2716	2206	2627	2396	2280	2295	2071	1894
	유채	2805	2700	2366	3056	2604	2617	3637	4134	2889	3026	3952	5004	6042	4261	3113	4456	4210	4237	4439	
	참깨	5594	4821	7221	5062	4912	4404	4590	5364	5721	3665	4683	5310	7746	4597	4256	5902	4818	4365	7857	6032
	배추	39	41	35	44	41	41	43	40	40	35	45	42	42	41	40	40	36	37	35	37
	상추	60	69	54	55	52	42	40	36	33	23	21	24	21	21	21	23	17	20	17	13
	시금치	27	29	30	25	23	24	29	25	21	26	26	24	20	26	22	26	26	28	24	20
	토마토	9	9	5	5	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	호박	148	124	107	143	101	99	103	74	75	70	60	70	67	72	66	71	82	71	65	63
	오이	40	28	28	30	18	17	16	15	10	9	10	8	8	8	9	9	8	8	8	6
	고추	2505	2215	2068	2385	1968	1932	1786	1579	1254	1333	1393	1400	1144	1169	1173	1112	947	959	992	1046
	파	265	284	244	311	285	272	285	261	261	245	261	232	210	227	246	219	212	223	239	227
	양파	106	96	96	102	90	93	100	95	97	107	106	95	91	95	93	95	82	84	80	85
	마늘	518	499	433	569	452	478	506	483	441	465	520	447	430	455	447	448	383	389	387	420
	당근	191	170	145	190	148	127	111	150	129	102	123	104	100	109	104	103	105	104	109	107
	감귤	231	207	219	283	262	328	271	318	257	310	298	265	238	258	230	224	193	225	200	222
	사과	685	560	578	692	536	497	470	542	473	424	550	462	515	578	571	516	482	479	472	483
	배	417	457	467	635	656	639	667	732	766	579	514	487	601	393	376	352	305	285	308	383
	복숭아	691	685	583	715	604	578	570	570	618	597	712	628	588	598	510	505	508	491	492	724
	자두	936	958	963	1087	808	792	670	665	704	688	759	614	598	722	689	700	649	652	673	690
	딸기	42	37	31	23	14	11	10	9	8	7	4	4	7	3	3	5	6	3	2	2
	포도	472	494	447	489	394	362	352	335	313	285	316	301	289	305	286	270	280	258	259	265
	수박	122	123	106	91	89	81	67	57	48	37	30	25	23	19	16	15	14	13	14	11
	참외	52	39	29	26	17	13	11	9	7	6	7	5	4	4	6	3	3	3	2	2
	감	1028	924	1201	1154	991	990	965	863	868	814	934	811	850	738	587	604	539	538	564	600
	기타과수	655.8	670.4	615.8	832.4	728.8	633.6	686.4	1442.2	1413.4	1317.9	2428.6	1472.1	1606.0	1463.6	1155.5	1615.3	1849.6	1563.7	795.3	870.8
	생강	2108.3	2181.4	2029.3	2869.0	2043.1	2259.5	2745.8	2354.7	2826.2	2265.4	2069.3	2750.7	2176.8	2574.4	2420.9	458.3	410.2	424.2	471.5	481.9
	조	4342.6	4575.1	4077.4	5351.5	4189.2	3980.9	4474.2	4199.8	4234.2	4135.7	4867.6	4314.7	3716.7	4196.8	4040.4	3694.7	3799.2	2232.4	2145.6	
	녹두																				
	들깨	5124.6	5497.0	5048.5	5885.3	5459.0	4961.2	5157.5	4649.5	5208.4	4864.2	5510.3	5069.2	4991.8	5217.1	5198.6	4063.4	3683.1	4108.2	3852.1	3710.6

발작물의 청색 물발자국 산정 결과

Blue water footprint (m <sup>3</sup> /ton)		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
구분	발																					
보리	발																					
옥수수	발																					
호밀	발																					
수수	발																					
메밀	발																					
기타잡곡	발																					
감자	발																					
고구마	발																					
쌀	발																					
기타두류	발																					
대두	발																					
땅콩	발																					
유채	발																					
참깨	발																					
배추	발																					
상추	발																					
시금치	발																					
토마토	발																					
호박	발																					
오이	발																					
고추	발																					
파	발																					
양파	발																					
마늘	발																					
당근	발																					
감	발																					
사과	발																					
배	발																					
복숭아	발																					
자두	발																					
딸기	발																					
포도	발																					
수박	발																					
참외	발																					
감	발																					
기타과수	발																					
생강	발																					
조	발																					
녹두	발																					
들깨	발																					

발작물의 물발자국 산정 결과

Water footprint (m <sup>3</sup> /ton)		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
구분	리	1109	941	1002	878	779	904	864	1019	1032	1517	1160	1114	1093	1138	1186	997	934	881	1022	1075
	보리	834	736	886	824	681	276	882	1108	313	901	369	902	908	822	748	873	750	762	800	1023
	옥수수	1387	1093	1019	1288	1114	1166	1199	1108	1224	1145	1307	1151	1061	1144	1010	976	919	920	946	963
	호밀	3710	2912	2043	2905	2411	435	2745	3179	1562	2686	1742	2765	2524	2743	2832	2587	2047	2561	2330	2861
	수수	2764	3069	2597	3377	2845	2645	2764	2633	2764	2491	3254	2669	1727	2329	2419	1330	1759	1768	1956	2051
	메밀	2818	2806	2707	3076	2647	2534	2693	2609	2324	2811	3013	2416	137	142	139	130	126	117	135	139
	기타잡곡	1983	2339	1925	2683	2011	1998	2139	2043	2370	2024	2347	2416	1727	2329	2419	1330	1759	1768	1956	2051
	감자	181	171	146	157	147	147	145	136	149	148	155	138	137	142	139	130	126	117	135	139
	고구마	303	350	308	441	330	313	362	305	316	304	343	318	331	328	416	381	380	389	402	412
	팥	2913	2786	2733	4382	3303	2718	3259	3067	3123	3268	3924	3491	3395	3050	3129	2985	2786	2968	2860	3080
	기타두류	2903	3013	2762	3852	2785	2845	2971	2828	3027	3046	2805	2993	2542	2711	2376	2330	2540	2351	2349	2512
	대두	3445	3306	3301	4817	3554	3276	3604	3579	3924	3802	3945	3766	3774	3329	3087	3023	3329	2988	2715	3511
	땅콩	2973	2640	2799	2969	2756	2687	2728	2633	2761	2432	2859	2490	2716	2206	2627	2396	2280	2295	2071	1894
	유채	2805	2700	2366	3056	2604	2617	3637	4134	2889	3026	3952	5004	6042	4261	3113	4456	4210	4237	4439	6032
	참깨	5594	4821	7221	5062	4912	4404	4590	5364	5721	3665	4683	5310	7746	4597	4256	5902	4818	4365	7857	6032
	배추	42	43	37	47	44	44	47	45	44	38	48	45	46	44	43	43	38	39	37	41
	상추	156	166	145	179	158	149	138	135	131	119	129	126	110	108	110	107	100	104	115	119
	시금치	43	46	46	45	44	44	47	49	42	45	43	45	37	48	41	44	46	51	45	38
	토마토	48	45	42	43	41	33	34	33	33	36	30	31	27	29	27	27	27	27	29	28
	호박	220	207	191	223	189	174	180	163	166	153	137	148	130	137	123	120	131	121	125	122
	오이	102	91	89	99	83	67	71	69	59	58	55	52	51	54	51	50	50	51	49	45
	고추	2505	2215	2068	2385	1968	1932	1786	1579	1254	1333	1393	1400	1144	1169	1173	1112	947	959	992	1046
	파	265	284	244	311	285	272	285	261	261	245	284	263	240	256	276	250	242	250	265	256
	양파	106	96	96	102	90	93	100	95	97	107	106	95	91	95	93	95	82	84	80	85
	마늘	518	499	433	569	452	478	506	483	441	465	520	447	430	455	447	448	383	389	387	420
	당근	191	170	145	190	148	127	111	150	129	102	123	104	100	109	104	103	105	104	109	107
	감귤	231	207	219	283	262	328	271	318	257	310	298	265	238	258	230	224	193	225	200	222
	사과	685	560	578	692	536	497	470	542	473	424	550	462	515	578	571	516	482	479	472	493
	배	417	457	467	635	656	639	667	732	766	579	514	487	601	393	376	352	305	285	308	383
	복숭아	691	685	583	715	604	578	570	570	618	597	712	628	588	598	510	505	508	491	492	724
	자두	936	958	963	1087	808	792	670	665	704	668	759	614	598	722	689	700	649	652	673	690
	딸기	162	153	146	144	128	119	121	123	121	120	112	112	107	113	102	98	97	97	93	85
	포도	472	494	447	489	394	362	352	335	313	285	316	301	289	305	286	270	260	258	259	265
	수박	168	177	167	176	164	179	167	151	159	141	133	135	118	111	112	104	104	99	105	97
	참외	131	125	103	138	114	113	109	94	103	89	110	98	89	94	112	92	93	91	88	93
	감	1028	924	1201	1154	991	990	965	863	868	814	934	811	1606	1464	1155	1615	1850	1564	795	871
	기타과수	656	670	616	832	729	634	686	620	636	555	641	542	491	562	467	458	410	424	471	482
	생강	2108	2181	2029	2869	2043	2250	2746	2355	2826	2265	2069	2751	2177	2574	2421	2124	2164	2232	2146	0
	녹두	4343	4575	4077	5351	4189	3981	4474	4200	4254	4136	4868	4315	3717	4197	4040	3695	3799	4097	3999	4131
	들깨	5125	5497	5048	5885	5459	4961	5158	4649	5208	4864	5510	5069	4992	5217	5199	4063	3683	4108	3952	3711



### 부록 3 물발자국 물사용강도



Water use intensity at 403 sectors by form of water use

Name of Sector	Water use intensity (m <sup>3</sup> /million won)								Domestic product (mill won)
	Total water use	Direct water	Indirect water	Total cons.	Total non-cons.	Total green	Total blue		
Rice	1,599	1,574	25	649	950	594	1,005	8,361,859	
Barley	741	696	45	732	9	732	9	245,150	
Wheat	1,128	1,070	58	1,118	11	1,120	8	7,046	
Misc. cereals	1,848	1,826	22	1,843	4	1,844	4	62,025	
Vegetables	272	230	42	230	42	201	71	7,699,790	
Fruits	424	414	10	417	6	418	6	2,871,554	
Pulses	1,045	1,005	39	1,035	10	1,034	10	544,768	
Potatoes	599	535	64	587	12	587	13	377,840	
Oleaginous crops	882	870	11	879	2	879	2	308,594	
Cultivated medicinal herb	76	39	37	38	38	54	22	1,187,728	
Other edible crops	1,413	1,405	8	1,256	157	1,227	217	23,164	
Cotton and hemp	458	446	12	317	141	452	6	2,382	
Leaf tobacco	298	282	16	208	90	289	9	196,522	
Horticultural specialities	43	34	9	32	11	27	16	1,827,985	
Natural rubber	-	-	-	-	-	-	-	-	
Seeds and seedlings	13	-	13	4	9	6	7	48,107	
Other Inedible crops	103,263	103,249	14	103,253	10	103,255	8	1,847	
Dairy farming	125	16	109	65	60	58	67	1,703,812	
Beef cattle	121	12	109	62	60	55	66	2,823,471	
Pigs	96	28	68	47	49	38	58	3,749,118	
Poultry and birds	47	11	36	23	24	20	27	3,077,610	
Other animals	57	-	57	40	17	39	18	403,287	
Operation of timber tract	28,712	28,813	1,899	28,706	6	28,707	5	348,491	
Raw timber	10,016	-	10,016	10,010	6	10,011	5	133,183	
Edible forest products	8	-	8	6	2	6	2	675,417	
Misc. forest products	26	-	26	19	7	19	7	184,269	
Fishing	22	-	22	14	8	15	7	3,565,813	
Aquaculture	4,194	3,772	421	91	4,103	4,020	174	1,484,068	
Agr. for. and fishing serv	27	-	27	6	21	7	20	1,030,536	
Amhractic	163	9	154	146	17	146	17	258,439	
Bituminous coal	-	-	-	-	-	-	-	-	
Crude petroleum	16	-	16	2	14	1	15	25,005	
Natural gas	16	-	16	2	14	1	15	172,577	
Iron ores	11,526	11,510	16	9	11,517	10	11,515	13,277	
Copper ores	8	-	8	3	5	4	4	18	
Lead and zinc ores	8	-	8	3	5	4	4	81	
Misc. non-ferrous metal	62	45	17	13	49	13	48	4,950	
Sand and gravel	48	13	35	6	42	5	43	549,332	
Crushed and broken stone	38	5	33	5	32	4	34	907,232	
Other bulk stones	12	3	9	4	8	5	7	92,959	
Limestone	13	1	12	6	6	7	5	854,708	
Materials for ceramics	18	8	11	6	12	6	12	198,798	
Crude salt	14	1	13	8	6	9	5	79,114	
Misc. non-metallic mineral	47	2	45	35	12	37	10	74,493	
Slaughtering and meat processing	96	2	94	47	49	39	56	6,698,964	
Poultry slaughtering and processing	44	2	43	19	26	16	28	1,788,402	
Prepared meat products	35	4	31	15	21	15	21	1,339,582	
Milk	75	4	71	36	39	32	43	2,033,378	
Milk products	41	4	36	19	22	17	24	2,204,046	
Ice cream	29	3	27	17	17	12	17	1,177,418	
Fish fillets and fish cake	77	6	71	9	68	61	16	630,470	
Canned seafoods	277	7	271	11	266	255	23	271,522	
Frozen fish and seafoods	220	1	219	14	206	203	17	2,029,409	
Salted, dried and smoked seafoods	140	4	137	9	131	125	16	811,232	
Misc. processed seafoods	1,059	10	1,049	28	1,031	1,000	59	922,210	
Polished rice	1,488	0	1,487	604	884	553	935	8,585,160	
Polished barley	471	0	471	465	6	465	6	168,646	
Flour and cereal preparations	31	2	29	15	16	15	16	1,026,880	
Raw sugar	-	-	-	-	-	-	-	-	
Refined sugar	13	7	6	2	11	2	11	816,107	
Starches	46	1	45	36	10	36	10	428,615	
Glucose, glucose syrup	52	15	37	21	31	20	32	594,373	
Bakery products	104	6	98	53	51	50	54	4,021,889	
Confectionery products	27	3	25	17	10	17	11	1,289,308	
Noodles	35	6	29	15	20	18	17	1,662,881	
Fermented seasonings	124	107	16	10	113	8	116	293,540	
Other seasonings	60	3	58	31	30	37	24	1,872,331	
Soy sauce and bean paste	123	4	119	85	38	83	40	743,294	
Animal and marine fats and oils	66	2	64	27	39	32	34	200,632	
Vegetable fats and oils, animal	84	3	81	73	11	72	12	1,305,853	
Canned or cured fruits and vegetables	112	5	107	90	22	83	28	1,667,000	
Coffee and tea	42	4	37	30	12	28	14	1,035,486	
Cinching products	44	2	42	22	22	29	15	620,523	
Malt and yeast	370	3	367	357	13	357	13	176,491	
Bean curd	192	14	178	171	21	171	21	398,656	
Misc. foodstuffs	153	4	149	91	62	92	61	2,984,539	
Ethyl alcohol for beverages	232	14	219	138	95	128	105	306,460	
Blended and distilled alcoholic beverages	35	1	33	18	17	17	18	2,539,137	

Name of Sector	Water use intensity (m <sup>3</sup> /million won)								Domestic product (million won)
	Total water use	Direct water	Indirect water	Total cons.	Total non-cons.	Total green	Total blue		
Beer	19	2	17	12	6	12	6	3,158,086	
Other liquors	57	2	55	28	29	27	30	1,203,089	
Soft drinks	27	2	25	15	12	14	13	3,479,432	
Spring water and manuf.	59	11	48	9	50	2	56	295,332	
Prepared livestock feeds	44	2	42	28	16	28	16	4,577,727	
Tobacco products	13	0	12	8	5	11	2	6,889,437	
Woolen yarn	18	4	14	3	15	2	16	292,400	
Cotton yarn	17	4	13	2	14	1	15	971,209	
Silk and hempen yarn	73	0	73	37	36	49	24	16,102	
Regenerated fiber yarn	14	2	12	3	11	2	12	18,965	
Synthetic fiber yarn	18	2	16	3	15	2	16	582,232	
Thread and other fiber ya	25	7	19	4	22	2	23	803,127	
Woolen fabrics	38	9	29	5	33	3	35	461,506	
Cotton fabrics	30	7	22	4	26	2	28	727,162	
Silk and hempen fabrics	30	4	26	3	27	1	29	183,313	
Regenerated fiber fabrics	63	9	54	7	56	2	61	428,712	
Synthetic fiber fabrics	72	9	63	8	64	2	70	3,281,713	
Other fiber fabrics	63	2	61	7	56	2	61	742,171	
Knitted fabrics	47	1	46	5	41	2	45	3,713,678	
Fiber bleaching and dycr	275	67	208	25	249	3	272	2,366,934	
Knitted wearing apparels	38	2	36	5	33	2	35	2,119,113	
Knitted clothing accesso	44	2	42	5	39	3	41	743,595	
Textile wearing apparels	29	2	27	4	25	3	26	11,198,268	
Other clothing accessori	26	1	25	4	22	3	23	688,577	
Leather wearing apparels	6	1	5	1	5	1	5	217,480	
Fur wearing apparels	6	0	6	2	5	2	5	298,031	
Textile products	31	1	29	5	26	4	27	3,825,707	
Misc. textile products	22	2	21	5	18	4	18	2,548,829	
Cordage, rope, and fishn	13	1	12	3	10	3	10	505,296	
Leather	14	9	5	2	12	1	12	1,479,840	
Fur	6	1	5	2	4	2	4	136,187	
Luggage and handbags	15	1	14	3	12	2	12	828,578	
Leather footwear	12	1	11	2	10	2	9	1,075,167	
Textile footwear and oth	14	2	12	2	11	2	12	1,034,686	
Other leather products	29	2	27	4	25	3	26	1,163,844	
Lumber	607	11	606	601	5	601	5	1,175,150	
Plywood	112	2	110	107	6	105	7	710,287	
Reconstituted and dema	118	2	116	109	9	107	11	696,802	
Wooden products for co	81	1	80	74	7	74	7	966,485	
Wooden containers	211	1	210	204	6	204	6	991,324	
Other wooden products	180	1	178	172	7	172	8	174,671	
Pulp	67	20	47	47	20	35	32	336,907	
Newsprint	42	21	21	14	28	10	33	1,011,741	
Printing paper	12	5	8	3	9	3	10	2,961,440	
Other raw paper and pap	32	11	21	13	19	10	22	2,493,414	
Corrugated paper and se	17	2	15	6	11	5	12	2,987,994	
Paper containers	15	1	14	5	10	5	10	1,638,375	
Stationery paper and off	12	1	11	4	9	3	9	739,544	
Sanitary paper products	33	22	12	6	27	4	29	1,260,435	
Other paper products	13	1	13	4	9	4	9	1,359,353	
Printing	9	0	9	2	7	3	6	6,625,411	
Reproduction of record	11	1	10	2	9	3	8	399,243	
Coal briquettes	230	3	227	199	30	199	30	119,231	
Coke and other coal prod	2	-	2	1	1	1	1	2,295,596	
Naphtha	2	1	1	0	2	0	2	9,655,175	
Gasoline	2	1	1	0	1	0	1	12,260,751	
Jet oil	2	1	1	0	2	0	2	6,027,441	
Kerosene	2	1	1	0	2	0	2	4,897,357	
Light oil	2	1	1	0	2	0	2	23,807,428	
Heavy oil	2	1	1	0	2	0	2	9,875,959	
Liquefied petroleum gas	2	1	1	0	2	0	2	3,574,565	
Lubricants	5	1	4	1	4	1	4	2,780,255	
Misc. petroleum refin	3	0	3	1	2	1	2	1,410,055	
Petrochemical basic prod	4	2	2	1	3	0	3	19,845,036	
Petrochemical intermedia	9	5	5	2	8	1	8	14,547,625	
Coal chemicals	13	6	7	3	10	2	11	83,306	
Other basic organic chem	12	5	7	2	10	2	10	3,496,360	
Industrial gases	12	4	8	2	10	2	10	1,092,269	
Basic inorganic chemical	14	6	8	3	12	2	12	3,067,049	
Synthetic resins	9	3	6	2	7	1	7	21,428,127	
Synthetic rubber	9	3	6	2	8	2	7	1,503,205	
Regenerated cellulose fib	42	9	33	22	20	16	26	139,485	
Synthetic fibers	23	16	7	5	18	2	21	3,610,546	
Nitrogen compounds	8	0	8	2	6	2	6	358,714	
Fertilizers	15	8	7	4	11	3	12	1,612,788	
Pesticides and other agr	9	1	8	2	7	2	6	1,186,155	
Medicaments	14	2	12	4	10	5	9	11,747,418	
Cosmetics and dentific	13	1	12	4	8	5	7	4,034,582	
Soap and detergents	20	3	17	8	12	8	12	1,890,120	

Name of Sector	Water use intensity (m <sup>3</sup> /million won)						Domestic product (mill won)	
	Total water use	Direct water	Indirect water	Total cons.	Total non-cons.	Total green		Total blue
Dyes, pigments, and tints	17	9	8	2	15	2	15	1,394,140
Paints, varnishes, and all	10	2	8	3	7	3	7	3,448,991
Printing ink	11	2	10	4	8	3	8	738,583
Adhesives, gelatin and st	13	3	10	4	9	3	10	1,201,013
Explosives and fireworks	18	8	10	5	13	3	14	219,693
Recording media for elec	11	5	5	2	9	2	9	397,495
Photographic chemical p	9	1	8	2	6	3	6	305,885
Misc. chemical products	10	3	6	2	8	2	8	4,346,327
Primary plastic products	10	2	8	2	8	2	8	7,145,354
Industrial plastic produc	9	1	8	2	7	2	7	21,521,204
Household articles of pla	9	1	7	2	7	2	7	960,051
Tires and tubes	9	1	8	2	7	2	7	4,362,072
Industrial rubber produc	11	2	9	3	8	2	8	3,422,851
Misc. rubber products	13	4	9	4	10	3	10	496,854
Sheet glass and primary	21	3	18	6	15	6	15	529,365
Industrial glass products	13	5	8	3	10	3	10	5,844,444
Household glass produc	21	7	15	4	18	4	18	134,309
Industrial pottery produc	23	4	19	6	17	5	17	190,921
Pottery, china and earthe	19	2	17	6	12	7	12	508,110
Refractory ceramic produ	14	4	10	5	9	5	9	840,838
Clay products for constr	14	3	11	5	8	5	9	520,728
Cement	21	6	15	4	18	3	18	2,757,391
Ready-mixed concrete	21	5	16	4	17	3	18	6,397,513
Concrete blocks, bricks,	20	2	17	5	15	5	16	2,182,458
Lime, gypsum, and plaste	21	4	17	11	11	10	11	635,500
Cut stone & stone produ	11	2	9	4	8	4	7	1,086,217
Asbestos and mineral wo	20	10	10	4	15	4	16	159,988
Abrasives	17	2	15	3	14	3	14	335,034
Asphalts	15	3	12	3	12	3	12	1,117,338
Misc. nonmetallic minera	11	2	9	3	7	4	7	528,351
Pig iron	22	0	22	2	20	2	20	8,716,774
Ferrous alloys	7	2	4	1	5	1	5	316,792
Steel ingots and semifin	19	7	12	1	17	2	17	19,096,276
Steel rods and bars	15	0	15	2	13	2	13	7,415,124
Section steel	14	0	13	2	12	2	11	2,262,357
Rails and wires	15	0	15	2	13	2	13	2,168,302
Hot rolled steel plates ar	12	0	12	1	10	2	10	20,532,325
Steel pipe and tubes, exc	10	1	9	2	8	2	8	6,328,691
Cold rolled steel sheet, s	7	0	7	1	6	2	6	11,713,263
Iron foundries and found	18	3	15	3	15	3	15	3,046,774
Forgings	13	1	12	2	11	3	10	1,691,517
Coated steel plates	9	1	8	2	7	2	6	8,639,873
Misc. primary iron and s	10	1	9	2	8	2	8	6,355,162
Copper ingots	3	2	2	1	3	1	3	2,373,481
Aluminum ingots	9	0	9	3	6	4	5	2,408,925
Lead and zinc ingots	10	6	4	2	8	2	8	1,351,228
Gold and silver ingots	2	0	2	1	2	1	2	1,144,135
Other nonferrous metal	5	0	4	1	3	2	3	963,439
Primary copper products	7	2	5	2	5	2	5	4,843,634
Primary aluminum produ	8	4	5	2	6	2	6	4,176,636
Other nonferrous metal	7	0	6	2	5	2	4	1,619,457
Metal products for const	12	1	11	3	9	3	9	4,059,617
Metal products for struc	11	1	10	3	9	3	8	10,562,140
Metal tanks and reservoi	12	1	11	3	9	3	8	2,088,456
Metal cans, barrels, and	10	2	8	3	7	3	7	1,745,798
Handtools	16	1	14	6	9	6	9	1,459,154
Bolts, nuts, screws, rivet	17	1	16	4	13	6	11	2,494,455
Fabricated wire products	17	2	15	5	12	6	11	4,098,918
Fastening metal product	11	1	10	2	9	3	8	1,799,717
Treatment and coating of	25	5	21	4	21	3	23	5,987,483
Household metallic uten	14	3	11	4	11	4	10	943,322
Misc. fabricated metal p	11	1	10	3	8	3	8	8,357,551
Internal combustion engi	10	1	9	2	7	2	7	3,816,717
Valves	14	3	11	3	11	4	11	2,341,202
Bearings, gears, gearing	10	1	10	3	7	3	7	2,611,383
Conveyors and conveyin	11	1	10	3	7	4	7	5,643,952
Air-conditioning equipm	10	2	8	2	8	3	7	7,322,281
Boiler	10	1	9	2	8	3	8	2,063,853
Heating apparatus and co	11	2	9	2	8	3	8	646,403
Pumps and compressors	10	1	8	2	7	2	7	3,692,276
Filtering or purifying ma	11	1	10	3	8	3	8	3,051,372
Misc. machinery and equ	11	1	11	3	8	4	8	3,845,695
Metal cutting-type mach	11	1	10	3	8	3	8	4,139,188
Metal forming machines	11	1	11	3	8	3	8	1,986,244
Agricultural implement	11	2	9	3	8	3	8	1,816,555
Construction and mining	10	1	10	3	8	3	7	4,881,580
Food processing machine	13	2	11	3	10	4	9	395,195
Textile machinery	12	2	10	4	8	4	8	1,011,537
Metal molds and industr	12	1	11	3	9	3	9	5,998,969

Name of Sector	Water use intensity (m <sup>3</sup> /million won)								Domestic product (million won)
	Total water use	Direct water	Indirect water	Total cons.	Total non-cons.	Total green	Total blue		
Printing machinery	12	2	10	3	9	3	9	590,653	
Machinery for manufactur	10	1	10	3	8	3	7	6,746,498	
Misc. machinery and equ	10	1	9	3	7	3	7	7,014,984	
Motors and generators	10	1	9	3	7	3	7	3,479,240	
Electric transformers	8	1	8	3	6	3	5	1,192,752	
Capacitors and rectifiers	8	0	7	2	5	3	5	2,290,736	
Electric transmission and	8	1	7	2	6	3	6	9,274,706	
Insulated wires and cable	9	1	8	4	5	4	4	6,103,079	
Batteries	8	1	8	2	6	3	6	2,653,057	
Electric lamps and electr	11	2	9	2	8	3	8	3,597,020	
Misc. electric equipment	10	1	8	2	7	3	7	4,402,788	
Electron tubes	18	8	8	2	15	3	15	2,544,203	
Digital display	10	3	7	2	8	2	8	32,693,326	
Semiconductor devices	6	1	5	1	5	1	4	2,903,392	
Integrated circuits	6	2	4	1	5	1	4	34,320,356	
Electric resistors and sto	11	4	6	2	9	2	9	1,440,629	
Electric coils, transform	10	1	9	3	7	3	7	737,738	
Printed circuit boards	11	4	7	2	9	2	9	7,123,015	
Misc. electronic compon	8	2	6	2	6	2	6	2,805,226	
Television	7	1	6	1	5	2	5	5,768,863	
Electric household audio	7	1	6	2	5	2	5	2,229,099	
Other audio and visual eq	7	1	7	2	6	2	5	2,262,919	
Line telecommunication	8	1	7	1	6	2	5	3,484,713	
Wireless telecommunicat	6	0	6	1	5	2	4	33,372,902	
Wireless communication	6	0	6	1	5	2	4	4,399,743	
Computer and periphera	4	1	3	1	3	1	3	9,498,135	
Office machines and dev	8	1	7	2	6	2	5	1,408,160	
Household refrigerators	8	1	8	2	6	2	6	4,149,382	
Household laundry equip	9	1	8	2	7	2	6	2,026,158	
Household electric cook	10	1	9	2	7	3	7	1,395,125	
Other household electric	8	0	8	2	6	2	6	2,585,216	
Medical instruments and	9	1	8	2	7	3	6	2,128,725	
Industrial automatic reg	9	1	8	2	6	3	6	1,712,142	
Measuring and analytica	9	1	8	2	6	3	6	3,224,091	
Cinema-graph cameras	9	0	9	2	7	2	6	2,076,264	
Other photographic and	12	2	10	2	10	3	9	2,074,706	
Watches and clocks	6	1	5	1	5	2	5	244,758	
Passenger automobiles	9	1	8	2	6	3	6	44,326,186	
Buses and vans	9	1	8	2	6	3	6	2,611,929	
Trucks	9	1	8	2	7	3	6	3,558,672	
Motor vehicles with speed	10	3	8	3	8	3	8	555,980	
Motor vehicle engines	9	0	9	2	7	2	6	7,181,302	
Motor vehicle chassis, bo	9	1	8	2	7	2	7	47,860,142	
Trailers and containers	13	2	11	4	9	5	9	101,131	
Steel ships	8	1	7	3	5	3	5	20,027,134	
Other ships	11	1	11	6	6	6	5	1,491,927	
Ship repairing and ship r	14	3	10	4	9	4	9	1,703,782	
Railroad vehicles and par	10	1	8	2	7	2	7	1,105,996	
Aircraft and parts	6	0	5	2	4	2	3	1,629,668	
Motorcycles and parts	10	2	9	3	8	3	7	383,548	
Bicycles and parts and a	12	3	9	3	10	3	9	92,350	
Wood furniture	30	2	29	23	8	22	8	3,642,087	
Metal furniture	16	2	14	6	10	6	10	1,123,463	
Other furniture	25	1	24	14	11	14	11	3,597,920	
Toys and games	15	2	13	3	12	2	12	572,885	
Sporting and athletic goo	26	2	24	14	13	13	13	644,465	
Musical instruments	20	3	17	12	8	11	9	352,417	
Pens, pencils, and other	18	3	14	8	10	8	10	577,014	
Jewelry and plated ware	15	4	11	1	14	8	6	471,966	
Models and decoration	14	2	12	3	11	5	9	1,588,332	
Misc. manufacturing pro	23	3	20	4	20	11	12	1,055,066	
Hydroelectric power gen	5	0	5	2	3	2	3	355,254	
Fire power generation	4	2	2	1	3	1	3	14,926,259	
Nuclear power generatio	6	1	5	2	4	2	4	10,282,873	
Other generation	4	0	4	1	2	2	2	1,920,580	
Manufactured gas supply	1	0	1	0	1	0	0	13,191,608	
Steam and hot water sup	10	4	6	1	9	1	9	2,062,609	
Water supply	2,536	2,082	454	254	2,282	2	2,535	3,650,145	
Residential building cons	10	-	10	5	5	5	5	40,671,663	
Non-residential building	10	-	10	5	5	5	5	46,442,846	
Building repairs	14	-	14	9	5	9	5	9,775,965	
Road construction	10	-	10	4	6	4	6	17,097,539	
Railroad construction	11	-	11	3	7	4	7	2,418,912	
Subway construction	11	-	11	3	8	4	7	814,232	
Breakwater, pier, and ha	9	-	9	3	6	4	6	1,220,581	
Airport construction	8	-	8	3	6	3	5	555,714	
Dam, levee, and flood co	19	-	19	13	5	14	5	3,611,356	
Water main line and drui	8	-	8	3	5	3	5	3,599,857	
Land clearing and reclar	12	-	12	7	5	8	4	1,360,571	

Name of Sector	Water use intensity (m <sup>3</sup> /million won)								Domestic product (mill won)
	Total water use	Direct water	Indirect water	Total cons.	Total non-cons.	Total green	Total blue	Total grey	
Land leveling and athletics	19	-	-	19	13	6	14	6	6,023,966
Electric power plant construction	8	-	-	8	2	6	3	5	4,202,272
Communications line construction	11	-	-	11	3	7	4	6	3,843,909
Installation of machinery	10	-	-	10	3	7	3	7	4,251,165
Misc. construction	15	-	-	15	7	8	7	8	4,683,024
Wholesale trade	9	0	-	9	3	7	3	6	57,747,390
Retail trade	11	-	-	11	3	8	3	8	48,820,272
Restaurants	188	-	-	188	61	128	102	87	32,591,674
Drinking places	58	-	-	58	32	26	38	19	8,980,208
Other food service	115	-	-	115	40	75	61	54	9,937,775
Accommodation	15	-	-	15	6	38	2	41	5,214,763
Railroad passenger transport	44	-	-	44	2	8	2	8	3,534,312
Railroad freight transport	12	-	-	12	3	10	3	9	315,398
Road passenger transport	4	-	-	4	1	3	1	3	15,151,845
Road freight transport	6	-	-	6	2	4	2	4	18,255,413
Door to door transport	7	-	-	7	2	5	2	4	1,275,118
Coastal and inland water	9	-	-	9	2	7	3	6	1,148,974
Oceangoing transport	2	-	-	2	1	2	1	1	18,835,483
Air transport	5	-	-	5	1	3	1	3	9,643,078
Supporting land transport	5	-	-	5	1	3	1	3	3,566,948
Supporting water transport	14	-	-	14	3	11	4	10	663,306
Supporting air transport	9	-	-	9	2	7	1	8	849,021
Cargo handling	15	-	-	15	4	10	5	9	1,905,811
Warehousing and storage	18	-	-	18	5	13	5	13	938,485
Other services incidental	14	-	-	14	4	10	5	9	2,653,148
Postal services	5	-	-	5	1	4	1	3	2,591,396
Telecommunications	7	-	-	7	2	5	3	4	28,713,289
High-speed network services	13	-	-	13	3	11	3	10	6,971,239
Value added communication services	8	-	-	8	2	6	3	5	2,239,953
Information services	6	-	-	6	1	4	2	4	1,969,585
Terrestrial broadcasting	11	-	-	11	2	8	3	8	3,508,407
Broadcasting via cable, satellite and other	13	-	-	13	3	10	4	9	3,074,327
Central bank and banking	7	-	-	7	1	5	1	5	28,515,068
Non-bank depository institutions	6	-	-	6	1	5	2	4	12,705,408
Other financial brokerage	7	-	-	7	2	5	2	5	11,948,846
Life insurance	10	-	-	10	2	8	2	7	13,384,217
Non-life insurance	13	-	-	13	3	10	4	9	8,161,747
Services auxiliary to financial institutions	4	-	-	4	1	3	1	3	13,438,571
Owner-occupied housing	2	-	-	2	1	1	1	1	57,868,281
Renting and subdividing	29	-	-	29	5	24	4	26	28,101,405
Services related to real estate	2	-	-	2	0	1	0	1	18,415,689
Research institutes(public)	19	3	-	16	4	16	4	15	3,956,355
Research institutes(private)	8	-	-	8	2	6	2	6	429,818
Research institutes(communal)	8	-	-	8	2	6	3	5	536,540
Research and experimental development	22	-	-	22	6	17	7	14	15,838,790
Legal and accounting services	9	-	-	9	2	7	3	7	6,755,587
Market research and marketing	7	-	-	7	2	5	3	4	4,538,200
Advertising services	14	-	-	14	4	10	4	10	7,461,894
Architectural engineering	15	-	-	15	4	11	6	9	4,515,155
Other engineering services	10	-	-	10	3	7	4	6	9,971,655
Computer software development	8	-	-	8	2	6	3	5	16,725,812
Computer related services	9	-	-	9	2	7	3	6	4,671,852
Renting of machinery and equipment	7	-	-	7	2	6	2	5	3,364,029
Cleaning and disinfection services	8	-	-	8	2	7	2	7	4,602,960
Provision of human resources	9	-	-	9	2	7	3	6	3,908,573
Misc. business services	12	-	-	12	3	9	4	8	13,190,101
Public government	18	-	-	18	5	13	6	12	38,205,221
Local government	14	-	-	14	4	10	5	9	30,667,608
Education(public)	12	-	-	12	3	9	4	8	27,001,843
Education(private, non-profit)	9	-	-	9	2	7	3	6	17,204,993
Education(commercial)	16	-	-	16	3	13	3	13	13,531,637
Medical and health services	16	-	-	16	3	13	3	13	1,748,907
Medical and health services(public)	20	-	-	20	4	16	4	16	14,683,528
Medical and health services(private)	14	1	-	14	3	12	3	11	27,941,327
Social work activities(public)	19	-	-	19	3	16	3	16	2,533,579
Social work activities(private)	26	-	-	26	6	20	7	18	4,199,558
Sanitary services(public)	31	1	-	31	5	26	5	27	2,652,674
Sanitary services(communal)	14	-	-	14	3	11	3	10	4,136,272
Newspapers	24	-	-	24	7	16	8	15	2,192,527
Publishing	12	-	-	12	3	8	4	8	5,828,549
Library, museum and sports	15	-	-	15	4	11	4	11	1,952,396
Library, museum and sports services	21	-	-	21	4	17	9	12	360,149
Motion picture production	13	-	-	13	3	10	3	10	2,551,093
Motion picture exhibition	12	-	-	12	2	9	2	9	880,690
Theatrical producers, bus	16	-	-	16	3	13	3	13	1,756,290
Sports organizations and services	20	-	-	20	4	17	4	17	7,476,900
Misc. amusement and recreation	20	-	-	20	6	14	7	13	8,551,218
Business and professional services	30	-	-	30	10	20	15	15	1,789,999
Other membership organizations	36	-	-	36	11	25	17	19	5,952,625

Name of Sector	Water use intensity (m <sup>3</sup> /million won)							Domestic product (million won)
	Total water use	Direct water	Indirect water	Total cons.	Total non-cons.	Total green	Total blue	
Motor repair services	17	5	11	3	14	3	13	7,274,821
Other personal repair services	13	-	13	3	11	3	10	2,292,781
Laundry and cleaning services	65	3	61	8	56	3	61	1,254,944
Barber and beauty shops	48	-	48	6	41	3	45	4,076,878
Domestic services	10	-	10	2	8	3	7	318,966
Other personal services	37	-	37	5	32	3	34	4,054,196
Office supplies	11	-	11	3	8	3	8	3,486,924
Business consumption excluding office supplies	130	-	130	45	85	70	59	34,923,327
Nonclassifiable activities	177	124	52	32	144	22	98	2,453,864

## 부록 4 농작물 기상수 교역량



## <농작물 가상수 교역량>

### ● 우리나라의 농작물 가상수 교역량

우리나라의 가상수 교역량 산정 결과 (2006-2010) ( $Mm^3 : 10^6 m^3$ )

Crops	Import (1000 ton / $Mm^3$ )				Export (1000 ton / $Mm^3$ )				
	Crop	Green water	Blue water	Total water	Crop	Green water	Blue water	Total water	
Grain crops	Wheat	16027	27004	1433	28436	0	0	0	0
	Rice	1497	1444	892	2336	6	2	4	6
	Barley	166	203	10	213	0	0	0	0
	Others	168	255	8	263	0	0	0	0
Root and tuber crops	89	8	7	16	0	0	0	0	
Maize	45136	29565	2710	32275	0	0	0	0	
Pulse crops	15716	31729	675	32403	213	596	0	596	
Vege s	982	187	8	195	162	100	2	102	
Fruits	181	37	14	51	178	107	0	107	
Total	79962	90430	5756	96186	559	805	6	811	

우리나라의 가상수 수입량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Import from	Import (1000 ton)	Virtual water import (Mm <sup>3</sup> )			
			Green	Blue	Total	
Grain Crops	Wheat	USA	7326	13695.5	673.3	14368.8
		Ukraine	2760	4761.0	52.0	4812.9
		Canada	1984	2651.6	9.4	2661.0
		Australia	1774	3544.3	29.2	3573.5
		China	1392	1142.2	648.3	1790.4
	Total		16027	27003.6	1432.7	28436.3
	Rice	China	813	593.3	265.7	859.0
		USA	431	241.4	483.8	725.2
		Thailand	246	601.7	123.8	725.4
	Total		1497	1443.7	892.5	2336.2
	Barley	Australia	94	154.0	7.4	161.4
		China	51	28.3	1.4	29.8
		Canada	13	11.6	0.1	11.7
		Total		166	202.9	10.1
	Others	China	119	149.6	2.9	152.5
Canada		22	40.5	0.4	40.9	
USA		21	51.4	4.2	55.6	
Total			168	254.9	7.7	262.6
Root and Tuber crops	USA	48	2.5	4.2	6.8	
	Australia	30	1.5	3.0	4.5	
	Total		89	8.3	7.3	15.6
Maize	USA	35061	18316.9	2218.9	20535.8	
	China	5201	4115.3	383.4	4498.8	
	Brazil	2552	4136.0	1.4	4137.4	
	Romania	780	790.5	15.1	805.6	
	Argentina	686	717.1	9.6	726.7	
Total		45136	29565.5	2709.5	32275.0	
Pulse crops	Brazil	6313	12407.5	4.7	12412.2	
	USA	3911	5829.3	345.2	6174.4	
	Argentina	2271	3944.2	10.0	3954.2	
	India	1760	6193.9	32.9	6226.8	
	China	1253	2922.4	279.6	3202.0	
Total		15716	31728.6	674.7	32403.3	

우리나라의 가상수 수입량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Import from	Import (1000 ton)	Virtual water import (Mm <sup>3</sup> )		
			Green	Blue	Total
Vege s	China	860	168.1	5.1	173.3
	New Zealand	83	12.9	1.1	14.0
	USA	28	3.7	1.0	4.7
	<b>Total</b>	<b>982</b>	<b>200.0</b>	<b>7.7</b>	<b>195</b>
Fruits	Chile	134	28.0	0.5	28.4
	USA	38	6.1	9.1	15.2
	Iran	7	1.4	4.3	5.8
	<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>37.1</b>	<b>14.1</b>	<b>51</b>

우리나라의 가상수 수출량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Export to	Export (1000 ton)	Virtual water import (Mm <sup>3</sup> )		
			Green	Blue	Total
Rice	Australia	4	1.5	2.5	4.0
	USA	1	0.4	0.6	1.0
	New Zealand	1	0.4	0.6	1.0
	<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>2.7</b>	<b>3.8</b>	<b>6</b>
Pulses crops	Japan	119	332.7	-	332.7
	Malaysia	51	142.6	-	142.6
	Vietnam	21	58.7	-	58.7
	Indonesia	20	55.9	-	55.9
	<b>Total</b>	<b>213</b>	<b>596.1</b>	<b>-</b>	<b>596</b>
Vege s	Japan	109	95.3	0.7	96.0
	Taiwan	43	4.1	0.7	4.7
	Singapore	3		0.3	0.3
	Canada	2	0.1	-	0.1
	<b>Total</b>	<b>160</b>	<b>99.8</b>	<b>1.8</b>	<b>102</b>
Fruits	Taiwan	75	32.6	-	32.6
	USA	50	21.0	-	21.0
	Malaysia	19	27.1	-	27.1
	<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>102.7</b>	<b>-</b>	<b>102</b>

● 전세계 농작물 가상수 교역량

전세계 가상수 교역량 산정 결과 (2006-2010) (M: 10<sup>6</sup>, G: 10<sup>9</sup>)

Crops	Amount of trade (Mton / Gm <sup>3</sup> )			
	Quantity	Green water	Blue water	Total water
Grain crops				
Wheat	674.9	1023.8	34.0	1057.8
Rice	148.8	246.9	136.7	383.5
Barley	124.9	136.1	5.3	141.3
Others	37.0	46.3	2.1	48.4
Root and tuber crops	44.8	4.5	1.8	6.2
Maize	531.2	423.0	28.5	451.5
Pulse crops	712.6	1329.6	30.8	1360.4
Vege s	156.7	21.1	6.9	28.0
Fruits	105.3	43.2	14.7	58.0
<b>Total</b>	<b>2536.1</b>	<b>3274.5</b>	<b>260.8</b>	<b>3535.2</b>

전세계 가상수 수입량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Importers	Import (Mton)	Virtual water import (Gm <sup>3</sup> )			
			Green	Blue	Total	
Grain crops	Wheat	EGYPT	43.9	82.7	2.0	84.7
		ITALY	33.8	37.4	1.7	39.1
		BRAZIL	30.2	53.7	1.3	55.0
		JAPAN	28.3	49.5	1.9	51.4
		ALGERIA	28.2	23.9	1.4	25.3
		SPAIN	24.7	27.0	0.7	27.7
		NETHERLANDS	23.2	14.3	0.8	15.1
		INDONESIA	18.9	32.2	0.9	33.1
	<b>Total</b>		674.9	1023.8	34.0	1057.8
	Rice	PHILIPPINES	8.8	14.7	3.9	18.7
COTE D'IVOIRE		6.1	11.6	5.3	16.8	
SAUDI ARABIA		5.4	9.5	5.6	15.1	
NIGERIA		5.4	12.8	3.2	16.0	
UNITED ARAB EM.		5.1	8.2	8.4	16.6	
IRAN ISLAM. REP		5.0	8.8	6.5	15.4	
IRAQ		4.8	8.5	4.1	12.6	
SOUTH AFRICA		4.5	10.1	3.7	13.8	
MEXICO		4.2	1.9	3.7	5.5	
<b>Total</b>		148.8	246.9	136.7	383.5	
Barley	SAUDI ARABIA	35.8	50.0	1.8	51.8	
	NETHERLANDS	9.6	5.1	0.3	5.4	
	GERMANY	8.6	4.9	0.2	5.1	
	BELGIUM	7.0	3.8	0.1	3.8	
	CHINA	6.7	8.2	0.3	8.5	
	JAPAN	6.2	8.0	0.5	8.6	
<b>Total</b>		124.9	136.1	5.3	141.3	
Others	MEXICO	9.2	9.8	0.6	10.4	
	JAPAN	5.9	6.5	0.3	6.8	
	SPAIN	4.3	4.1	0.2	4.3	
	NETHERLANDS	2.4	3.8	0.1	4.0	
	GERMANY	2.2	3.0	0.1	3.0	
	CHILE	1.7	1.7	0.0	1.8	
	SUDAN	1.3	1.6	0.1	1.6	
<b>Total</b>		37.0	46.3	2.1	48.4	
Root and Tuber crops	NETHERLANDS	8.1	0.7	0.1	0.8	
	SPAIN	3.8	0.3	0.1	0.4	
	BELGIUM	3.6	0.3	0.1	0.3	
	GERMANY	2.7	0.3	0.1	0.4	
	ITALY	2.3	0.2	0.1	0.2	
	UNITED KINGDOM	2.0	0.2	0.1	0.3	
	RUSSIAN FED	1.9	0.2	0.2	0.4	
	USA	1.9	0.3	0.1	0.3	
<b>Total</b>		44.8	4.5	1.8	6.2	

전세계 가상수 수입량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Importers	Import (Mton)	Virtual water import (Gm <sup>3</sup> )		
			Green	Blue	Total
Maize	JAPAN	86.7	48.0	5.4	53.4
	KOREA REP.	45.1	29.6	2.7	32.3
	MEXICO	43.4	22.8	2.7	25.5
	EGYPT	25.7	18.3	1.8	20.1
	SPAIN	23.9	22.0	1.3	23.3
	TAIWAN (POC)	23.2	16.4	1.4	17.8
	COLOMBIA	17.4	13.6	0.8	14.5
	IRAN ISLAM. REP	16.3	21.4	0.3	21.7
Total		531.2	423.0	28.5	451.5
Pulse crops	CHINA	203.2	383.3	9.0	392.3
	NETHERLANDS	49.5	92.3	0.7	93.1
	GERMANY	31.8	57.2	1.5	58.7
	SPAIN	31.4	59.1	0.5	59.6
	JAPAN	29.5	55.6	2.5	58.2
	MEXICO	26.0	39.1	2.3	41.4
	FRANCE	21.8	38.6	1.5	40.0
	ITALY	21.0	39.1	0.6	39.6
Total		712.6	1329.6	30.8	1360.4

전세계 가상수 수입량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Importers	Import (Mton)	Virtual water import (Gm <sup>3</sup> )		
			Green	Blue	Total
Vege s	USA	27.3	3.7	1.4	5.1
	GERMANY	15.7	0.9	0.4	1.3
	UNITED KINGDOM	9.1	0.8	0.3	1.1
	RUSSIAN FED	8.3	1.1	0.6	1.7
	FRANCE	7.9	0.5	0.3	0.9
	CANADA	7.8	0.8	0.5	1.3
	NETHERLANDS	5.9	0.8	0.2	1.0
	MALAYSIA	3.8	0.8	0.1	0.9
	JAPAN	3.4	0.8	0.1	0.9
Total		156.7	21.1	6.9	28.0
Fruits	RUSSIAN FED	12.2	7.1	2.0	9.2
	GERMANY	10.2	3.3	1.0	4.2
	UNITED KINGDOM	8.0	2.5	1.0	3.6
	NETHERLANDS	6.2	1.9	0.7	2.6
	USA	5.7	1.7	0.5	2.2
	FRANCE	4.9	1.5	0.7	2.2
	VIET NAM	2.3	2.2	0.1	2.3
Total		105.3	43.2	14.7	58.0

전세계 가상수 수출량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Exporters	Export (Mton)	Virtual water export (Gm <sup>3</sup> )			
			Green	Blue	Total	
Grain crops	Wheat	USA	152.0	284.2	14.0	298.2
		CANADA	101.0	135.0	0.5	135.5
		FRANCE	85.2	49.5	0.1	49.7
		RUSSIAN FED	64.5	148.3	2.0	150.3
		ARGENTINA	37.3	66.0	0.4	66.4
		GERMANY	36.6	21.9	0.0	21.9
		<b>Total</b>	674.9	1023.8	34.0	1057.8
	Rice	THAILAND	44.4	117.1	24.1	141.2
		USA	19.9	10.5	21.0	31.5
		VIET NAM	19.9	29.4	4.6	34.0
		INDIA	18.8	37.8	12.3	50.1
		PAKISTAN	16.7	16.1	53.0	69.1
		CHINA	4.9	3.8	1.7	5.5
		URUGUAY	4.1	4.3	3.6	7.9
		ITALY	3.8	3.1	2.4	5.5
		<b>Total</b>	148.8	246.9	136.7	383.5
	Barley	FRANCE	24.9	13.2	0.1	13.3
		UKRAINE	22.7	31.9	0.4	32.3
		AUSTRALIA	13.9	22.8	1.1	23.9
		RUSSIAN FED	9.7	21.3	0.5	21.8
		GERMANY	9.4	4.7	0.7	5.5
CANADA		9.4	8.4	0.1	8.4	
	<b>Total</b>	124.9	136.1	5.3	141.3	
Others	USA	18.3	19.7	1.3	21.1	
	ARGENTINA	5.2	5.4	0.1	5.5	
	GERMANY	3.9	3.4	0.2	3.5	
	POLAND	1.7	2.3	0.0	2.3	
	CHINA	1.0	1.4	0.0	1.4	
	FRANCE	1.0	1.6	0.1	1.6	
	<b>Total</b>	37.0	46.3	2.1	48.4	
Root and Tuber crops	FRANCE	9.5	0.8	0.2	0.9	
	GERMANY	7.5	0.6	0.1	0.7	
	NETHERLANDS	4.2	0.3	0.0	0.3	
	BELGIUM	3.6	0.3	0.0	0.3	
	CANADA	2.0	0.3	0.1	0.3	
	USA	1.9	0.1	0.2	0.3	
	CHINA	1.8	0.4	0.0	0.4	
	<b>Total</b>	44.8	4.5	1.8	6.2	

전세계 가상수 수출량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Exporters	Export (Mton)	Virtual water export (Gm <sup>3</sup> )		
			Green	Blue	Total
<b>Maize</b>	USA	284.5	148.7	18.0	166.7
	ARGENTINA	66.8	69.9	0.9	70.8
	BRAZIL	39.9	64.7	0.0	64.7
	FRANCE	30.3	12.9	2.8	15.7
	HUNGARY	18.9	12.0	0.0	12.0
	UKRAINE	16.7	17.7	1.4	19.1
	INDIA	10.7	23.9	1.1	25.0
	CHINA	8.5	6.7	0.6	7.3
<b>Total</b>		531.2	423.0	28.5	451.5
<b>Pulse crops</b>	USA	230.2	348.6	20.7	369.3
	BRAZIL	193.8	399.4	0.2	399.6
	ARGENTINA	169.0	311.2	0.8	312.0
	INDIA	23.8	83.7	0.5	84.2
	NETHERLANDS	23.3	41.1	1.4	42.6
	PARAGUAY	21.8	51.8	0.0	51.8
<b>Total</b>		712.6	1329.6	30.8	1360.4

전세계 가상수 수출량 산정 결과 (2006-2010)

Crops	Exporters	Export (Mton)	Virtual water export (Gm <sup>3</sup> )		
			Green	Blue	Total
<b>Vege s</b>	MEXICO	20.0	2.4	1.3	3.7
	SPAIN	19.9	1.1	1.0	2.1
	NETHERLANDS	18.9	0.8	0.1	0.9
	CHINA	18.3	4.4	0.1	4.6
	USA	9.7	1.0	0.6	1.6
	INDIA	8.1	1.6	0.4	1.9
	TURKEY	4.3	0.4	0.3	0.7
	ITALY	3.5	0.4	0.1	0.5
<b>Total</b>		156.7	21.1	6.9	28.0
<b>Fruits</b>	SPAIN	13.3	4.2	2.7	6.9
	CHINA	11.2	9.5	0.4	9.9
	CHILE	9.6	2.3	0.7	3.0
	ITALY	9.4	2.6	0.5	3.1
	USA	8.3	1.3	2.0	3.3
	NETHERLANDS	5.5	2.3	0.2	2.6
SOUTH AFRICA	4.6	1.3	1.0	2.3	
<b>Total</b>		105.3	43.2	14.7	58.0

## **부록 5 식품수급표에 따른 1인당 작물 및 칼로리 소비량**



## <식품수급표에 따른 1인당 작물 및 칼로리 소비량>

식품수급표에 따른 1인당 작물 소비량 (g/yr)

Crops	1985	1990	1995	2000	2005	2010	Average
<b>Cereals</b>	507.9	480.7	474.1	457.1	412.4	397.5	454.9
Barely	23.1	6.7	5.3	5.0	3.2	3.7	7.8
Cereals, others	0.9	0.7	5.6	6.1	7.8	7.1	4.7
Maize	45.5	61.1	66.9	79.0	86.6	72.3	68.6
Rice	350.8	330.9	303.0	268.1	228.1	223.2	284.0
Wheat	87.6	81.4	93.4	99.0	86.7	91.3	89.9
<b>Meat</b>	44.7	64.6	89.5	102.8	100.3	119.3	86.9
Bovine meat	8.0	11.3	18.2	22.8	17.4	23.1	16.8
Edible viscera	5.2	10.0	20.8	23.0	20.7	23.0	17.1
Pig meat	23.0	32.3	39.0	43.6	46.3	50.6	39.1
Poultry meat	8.4	11.0	11.6	13.5	15.9	22.6	13.8
<b>Pulses</b>	29.4	28.1	30.3	29.4	31.3	28.5	29.5
Pulses, other	1.2	2.7	3.4	4.1	4.4	3.7	3.2
Red beans	2.8	2.7	2.2	2.0	1.9	1.7	2.2
Soybeans	25.3	22.7	24.7	23.3	25.1	23.1	24.0
<b>Starchy roots</b>	32.5	30.2	30.1	32.2	46.6	37.9	34.9
potatoes	17.3	17.5	19.9	19.7	34.1	24.4	22.2
Sweet potatoes	15.1	12.7	10.2	12.6	12.5	13.5	12.8
<b>Vege s</b>	270.1	363.3	439.9	454.6	398.7	362.1	381.5
<b>Eggs</b>	17.1	21.6	23.5	23.5	24.9	27.1	23.0
<b>Fishes and shellfishes</b>	84.0	83.6	91.4	84.1	109.4	100.1	92.1
Fishes	62.0	57.5	59.3	55.4	73.9	62.1	61.7
Shellfishes	22.1	26.1	32.1	28.7	35.5	38.0	30.4
<b>Fruit</b>	72.8	79.3	107.1	111.4	122.6	121.0	102.4
<b>Milk</b>	52.5	87.1	105.6	135.0	147.9	156.1	114.0
Condensed milk	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Milk	50.2	83.5	102.6	132.0	144.9	153.8	111.2
Modified milk powder	1.3	1.6	1.6	1.3	0.9	0.8	1.2
Skim milk powder	0.4	1.2	1.0	1.2	1.5	1.1	1.0
Whole milk powder	0.5	0.7	0.1	0.3	0.4	0.2	0.4
<b>Oil crops</b>	1.2	1.8	3.5	1.9	1.9	1.9	2.1
Oil crops, other	0.4	0.6	1.5	0.4	0.9	1.0	0.8
sesame	0.9	1.2	2.0	1.5	1.0	1.0	1.3

1인당 작물 소비에 따른 에너지 공급량 (Kcal/yr)

Crops	1985	1990	1995	2000	2005	2010	Average
<b>Cereals</b>	1798.0	1697.2	1660.3	1665.1	1497.8	1447.2	1627.6
Barely	84.5	22.4	18.2	17.1	11.2	12.6	27.7
Cereals,others	2.7	2.1	19.5	21.2	28.0	25.5	16.5
Maize	158.9	213.2	225.3	266.1	291.9	243.5	233.2
Rice	1245.3	1174.5	1054.4	997.3	848.4	830.2	1025.0
Wheat	306.6	284.9	342.9	363.5	318.3	335.3	325.2
<b>Meat</b>	98.7	143.4	189.0	201.5	200.2	235.4	178.0
Bovine meat	10.5	14.8	30.4	38.1	29.2	38.8	27.0
Edible viscera	11.9	22.7	36.8	35.2	32.0	35.6	29.0
Pig meat	65.2	91.3	95.7	104.3	110.8	121.1	98.1
Poultry meat	11.1	14.5	26.0	23.9	28.1	40.0	23.9
<b>Pulses</b>	115.1	112.3	117.0	115.6	121.2	110.8	115.3
Pulses, other	3.9	12.2	12.9	18.6	17.5	15.6	13.4
Red beans	8.8	8.5	7.5	7.0	6.4	5.7	7.3
Soymeans	102.4	91.7	96.6	90.1	97.2	89.6	94.6
<b>Starchy roots</b>	29.5	27.2	29.0	29.1	38.5	33.4	31.1
potatoes	14.2	14.4	15.9	13.0	22.5	16.1	16.0
Sweet potatoes	15.3	12.8	13.1	16.1	16.0	17.3	15.1
<b>Vege s</b>	86.5	116.4	127.2	126.0	115.7	104.8	112.8
<b>Eggs</b>	28.3	35.7	37.2	37.2	34.3	37.4	35.0
<b>Fishes and shellfishes</b>	92.3	91.5	99.4	87.0	113.1	101.1	97.4
Fishes	75.4	70.1	71.7	62.7	84.7	71.1	72.6
Shellfishes	16.9	21.4	27.7	24.3	28.4	30.1	24.8
<b>Fruit</b>	31.8	34.2	53.1	53.6	57.8	58.1	48.1
<b>Milk</b>	39.7	64.3	74.4	92.1	99.1	101.9	78.6
Condensed milk	0.5	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7
Milk	29.1	48.4	61.6	79.2	87.0	92.3	66.2
Modified milk powder	5.9	7.7	7.8	6.2	4.4	4.0	6.0
Skim milk powder	1.4	4.1	3.6	4.4	5.2	3.9	3.8
Whole milk powder	2.7	3.3	0.7	1.6	1.9	1.1	1.9
<b>Oil crops</b>	6.6	9.3	18.6	10.0	9.2	9.1	10.5
Oil crops, other	1.7	2.8	7.4	1.7	3.6	3.8	3.5
sesame	4.9	6.5	11.3	8.3	5.6	5.3	7.0

작물별 소비에 따른 에너지 공급량 (Kcal/g)

Crops	1985	1990	1995	2000	2005	2010	Average
<b>Cereals</b>	17.4	17.1	17.5	17.7	17.8	17.8	17.5
Barely	3.7	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4	3.5
Cereals, others	3.2	3.1	3.5	3.5	3.6	3.6	3.4
Maize	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Rice	3.6	3.5	3.5	3.7	3.7	3.7	3.6
Wheat	3.5	3.5	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6
<b>Meat</b>	7.7	7.7	8.1	7.4	7.4	7.4	7.6
Bovine meat	1.3	1.3	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6
Edible viscera	2.3	2.3	1.8	1.5	1.5	1.5	1.8
Pig meat	2.8	2.8	2.5	2.4	2.4	2.4	2.6
Poultry meat	1.3	1.3	2.2	1.8	1.8	1.8	1.7
<b>Pulses</b>	10.4	11.7	11.1	11.8	11.3	11.5	11.3
Pulses, other	3.3	4.6	3.8	4.5	4.0	4.2	4.1
Red beans	3.1	3.1	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3
Soybeans	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
<b>Starchy roots</b>	1.8	1.8	2.1	1.9	1.9	1.9	1.9
potatoes	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
Sweet potatoes	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2
<b>Vege s</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Eggs</b>	1.7	1.6	1.6	1.6	1.4	1.4	1.5
<b>Fishes and shellfishes</b>	2.0	2.0	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0
Fishes	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2
Shellfishes	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>Fruit</b>	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>Milk</b>	17.3	17.2	17.1	17.5	17.4	17.3	17.3
Condensed milk	3.4	3.3	3.2	3.3	3.3	3.2	3.3
Milk	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Modified milk powder	4.7	4.7	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
Skim milk powder	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Whole milk powder	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0
<b>Oil crops</b>	10.2	10.2	10.5	9.5	9.4	9.4	9.9
Oil crops, other	4.7	4.7	4.9	3.9	3.9	3.9	4.3
sesame	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.6	5.5

식품 소비에 따른 세부곡물의 가상수 사용량 산정 결과

Crops		Virtual water use by crop consumption (m <sup>3</sup> /cap/yr)					
		1985	1990	1995	2000	2005	2010
Cereals	Rice	131.9	124.4	113.9	100.8	85.8	83.9
	Wheat	42.9	39.9	45.8	48.5	42.5	44.7
	Barely	6.7	1.9	1.5	1.5	0.9	1.1
	Maize	17.3	23.2	25.4	30.0	32.9	27.4
	Others	0.7	0.6	4.6	5.1	6.5	5.9
Meat	Bovine meat	51.8	73.2	117.8	147.6	112.6	149.5
	Pig meat	37.3	52.4	63.2	70.7	75.1	82.0
	Poultry meat	7.8	10.2	10.8	12.6	14.8	21.0
Pulses	Soybeans	30.9	27.7	30.2	28.5	30.7	28.2
	Red beans	3.2	3.1	2.5	2.3	2.2	2.0
	Others	0.7	0.6	4.6	5.1	6.5	5.9
Starchy roots	potatoes	0.9	0.9	1.0	1.0	1.7	1.2
	Sweet potatoes	2.0	1.7	1.4	1.7	1.7	1.8
Vege s		19.5	26.3	31.8	32.9	28.8	26.2

칼로리 소비에 따른 세부곡물의 가상수 사용량 산정 결과

Crops		Virtual water use by calorie consumption (m <sup>3</sup> /cal)					
		1985	1990	1995	2000	2005	2010
Cereals	Rice	0.29	0.29	0.30	0.28	0.28	0.28
	Wheat	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37
	Barely	0.22	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
	Maize	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31
	Others	0.76	0.76	0.65	0.65	0.63	0.63
Meat	Bovine meat	13.51	13.54	10.62	10.61	10.57	10.56
	Pig meat	1.57	1.57	1.81	1.86	1.86	1.86
	Poultry meat	1.93	1.93	1.14	1.44	1.44	1.44
Pulses	Soybeans	0.83	0.83	0.86	0.87	0.86	0.86
	Red beans	1.01	1.01	0.93	0.90	0.94	0.94
	Others	0.76	0.76	0.65	0.65	0.63	0.63
Starchy roots	potatoes	0.17	0.17	0.17	0.21	0.21	0.21
	Sweet potatoes	0.37	0.37	0.29	0.29	0.29	0.29
Vege s		0.62	0.62	0.69	0.71	0.68	0.68

## 부록 6 주요 작물의 지역별 가상수 사용량



## <주요 작물의 지역별 가상수 사용량>

### ● 시기/지역별 주요 작물 생산량

논벼의 지역별 연도별 생산량(1000 ton)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
강원	331	326	224	298	257	291	306	285	299	308	313	282	272	276	285	259	256	265	280	236
경기	975	1022	970	931	750	823	829	781	821	787	794	768	699	726	697	664	624	673	662	564
경남	805	781	638	741	712	759	738	636	633	645	702	595	539	616	584	587	567	629	608	539
경북	1037	1018	737	929	838	897	930	820	896	918	976	896	781	890	854	831	803	875	894	801
광주	70	61	56	60	55	60	58	54	55	57	61	53	47	52	46	45	41	43	43	39
대구	14	11	9	10	34	39	39	33	37	37	40	34	27	32	31	30	28	28	25	21
대전	24	24	22	22	19	21	20	19	21	19	20	17	15	16	15	13	12	12	12	11
부산	29	28	26	27	35	37	37	33	36	35	36	31	26	30	29	27	26	29	27	23
서울	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2
울산	0	0	0	0	0	0	0	52	55	55	59	53	41	49	45	44	41	44	41	38
인천	24	25	25	23	116	125	119	115	117	113	110	117	111	112	107	91	88	94	83	75
전남	1214	1199	1105	1200	1175	1372	1456	1352	1336	1446	1456	1252	1205	1305	1252	1215	1120	1219	1212	1145
전북	1168	1182	1114	1100	1035	1092	1103	1046	1099	1084	1128	1006	927	1053	965	998	936	1026	1062	931
제주	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	4	4	4	4	6	4

밀의 지역별 연도별 생산량(ton)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
강원	16	5	7	120	268	251	150	45	32	5	42	27	92	36	60	10	50			
경기		7	29	4	16	146	57	121	62	8	10		66	24						35
경남	381	328	593	1129	5047	3839	3704	1861	2115	1000	1160	1472	2764	2798	1970	2202	2317	3201	5054	8938
경북	57	39	24	365	709	954	612	159	389	88	46	115	244	135	178	41	39	159	17	475
광주				495	797	862	697	457	337	558	1252	1984	2221	1418	1161	1344	1769	2618	2269	
대구			7	56	187	10	42	178	59	29	6	14	39	23	18				63	61
대전			29	18																
울산							73	60	37	34	43	58	23	34						
인천										3	30									
전남		17	268	254	1069	864	842	744	1313	386	773	1678	2756	3522	2435	1865	1892	2429	5139	13473
전북	52	35	129	165	2442	3631	998	913	909	397	188	1114	2148	3362	1417	518	1674	2791	5725	13558
제주										14				354	156				100	188
충남	40	121	401	42	110	123	177	126	91	6	16	77	16	11			7		11	11
충북	5		29	70	21	113	55	20	16	10	5			10					55	58

보리의 지역별 연도별 생산량(ton)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
강원	2208	2021	2131	1426	1476	1448	1704	1470	1673	1304	1412	1639	993	845	1213	734	878	804	852	611
경기	734	1008	971	699	217	276	185	120	188	216	508	643	493	1371	858	578	606	397	774	388
경남	122600	108429	89984	63896	64559	54420	43892	32565	45943	35813	40626	40910	31811	30625	33675	29685	34883	35652	36903	22339
경북	49772	35369	32512	19228	15859	12338	9444	7835	12458	12164	12588	12349	7828	7003	8361	8166	7836	8029	5605	3834
대구	320	158	88	39	3057	1596	1447	1474	1886	1603	2431	2660	2523	2377	2885	3828	4586	4451	2353	2244
대전	112	209	365	175	206	66	66	16	14	57	57	9	4	15	29	11	11	7		
부산							92	92	269	258	105	4	5							
울산							83	358	329	235	122	108	133	146	93	138	87	31	22	
인천	3	4			383	440	374	371	493	420	331	445	536	528	383	356	704	370	399	66
전남						155404	124926	164505	119974	132251	138810	104551	115466	109477	96473	41993				
전북	41057	40735	42730	37650	64894	77925	22756	36774	61177	32381	91386	49401	37545	57985	68825	45111	56303	66773	52947	35338
충남	2914	2168	1768	3510	1000	3540	1694	1430	1714	1580	2817	3077	1173	1638	1932	566	477	572	395	611
충북	1384	920	871	261	351	388	172	223	614	669	1340	823	490	970	1100	390	618	364	889	284

옥수수 지역별 연도별 생산량(ton)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
강원	44088	59052	51020	55918	42769	37624	47839	43088	40831	28946	27559	34748	34750	37701	29267	27282	34447	35466	32034	32449
경기	5321	4298	4558	5303	3916	3738	5550	5646	6258	4545	2738	5762	4719	5644	7417	6097	6616	5655	5400	4925
경남	1489	1901	1903	1905	4253	3597	1788	3103	2249	2159	2762	3761	1865	2133	1936	1877	2467	3140	2165	1928
경북	5885	6521	5472	5066	6066	6330	6490	6847	6400	5823	5532	5847	5824	3942	4430	3910	4547	6493	6148	4276
광주	60	91	76	52	49	136	36	74	254	159	172	158	189	189	140	130	181	85	82	48
대구	4	15	14	15	137	223	62	171	103	163	366	228	166	320	417	211	266	392	207	203
대전	43	64	62	104	66	107	109	114	96	77	108	96	234	211	190	177	212	170	129	121
부산	14	20	18	190	336	265	148	168	238	238	143	221	123	127	154	233	280	372	245	160
서울	17	10	17	29	13	14	35	35	46	29	18	34	31	37	49	53	46	56	39	53
울산								377	256	244	326	236	263	239	368	375	252	231	342	471
인천	83	61	88	74	140	202	378	325	303	278	260	294	265	241	627	588	485	394	292	173
전남	1885	1736	2383	2481	2605	2963	4859	3691	3907	7647	4398	5856	5590	6980	5522	3772	3966	4204	4083	4167
전북	681	779	824	1082	866	815	1030	868	1065	1692	2338	1821	1877	1968	1735	1715	1950	2051	2161	2561
제주	58	69	100	106	99	39	80	117	10	70	96	66	14	151	132	193	91	106	161	324
충남	823	909	1117	1071	782	969	1183	1099	1113	1077	822	818	758	2085	3825	884	958	1308	1125	941
충북	14155	16677	14455	15182	12368	15146	17176	14480	16204	11058	9580	13277	13574	15648	17261	17126	26749	32707	22362	21539

● 시기/지역별 주요 작물 생산을 위한 가상수 사용량

논벼의 지역별 연도별 생산에 따른 가상수 사용량(Mm<sup>3</sup>)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
강원	316.6	296.9	263.5	292.9	254.5	246.3	264.3	243.7	245.9	237.8	294.1	245.7	219.7	234.0	240.3	226.2	204.8	221.3	227.6	200.9
경기	1015.4	960.2	881.3	972.8	729.5	734.2	787.6	726.0	706.5	627.4	807.2	670.8	575.2	620.5	602.1	625.7	516.9	569.6	595.6	501.8
경남	837.4	774.1	652.6	900.2	686.7	657.7	682.8	550.1	555.4	526.3	610.0	598.1	530.6	535.4	513.3	514.7	479.7	522.7	486.4	470.8
경북	982.7	926.5	786.6	1061.1	785.5	792.5	817.5	717.2	731.7	685.9	884.6	766.3	677.7	740.2	728.0	700.7	640.7	701.9	687.9	653.4
광주	67.7	63.9	55.1	74.5	57.1	55.2	58.5	49.1	51.8	51.5	58.1	49.9	42.4	47.8	43.5	38.9	35.0	40.7	38.7	35.3
대구	15.2	12.5	10.4	14.5	38.2	40.1	38.5	35.8	35.8	34.1	36.8	34.7	28.0	29.6	29.1	29.7	26.3	26.3	21.4	20.2
대전	22.9	22.0	19.8	24.6	18.2	18.6	18.5	14.9	16.0	16.5	17.9	14.1	11.8	13.6	12.1	10.9	9.7	10.8	10.6	8.9
부산	35.3	28.3	24.5	36.9	38.4	36.8	36.1	33.5	31.5	32.0	34.4	31.6	27.2	27.5	28.2	26.7	24.3	25.9	25.1	24.2
서울	6.1	5.6	5.3	5.2	4.1	4.3	4.6	4.4	3.9	3.6	4.0	3.5	2.7	2.8	2.5	3.3	2.7	3.3	1.9	1.5
울산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.2	46.7	52.5	48.1	45.3	45.8	46.2	42.8	38.1	39.3	35.5	38.8
인천	27.1	25.0	23.3	24.7	113.0	110.3	115.8	104.8	102.1	90.3	131.2	98.7	87.6	93.8	88.9	88.5	74.0	83.3	82.7	67.8
전남	1169.2	1175.9	1010.0	1390.8	1127.6	1170.5	1332.0	1150.7	1174.7	1188.9	1506.2	1248.7	1114.0	1205.5	1139.6	1100.8	1013.5	1097.6	1033.6	1018.9
전북	964.2	985.1	831.2	1074.6	884.4	877.5	907.2	784.7	842.6	764.2	950.2	843.7	756.6	839.2	800.5	793.3	727.6	810.2	763.3	737.2
제주	3.3	2.1	1.3	2.3	0.9	1.1	0.9	0.8	0.9	1.3	4.4	4.2	4.6	7.2	8.2	6.0	6.7	5.7	8.4	7.1

밀의 지역별 연도별 생산에 따른 가상수 사용량(Mm<sup>3</sup>)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
강원	0.02	0.01	0.01	0.13	0.24	0.22	0.12	0.05	0.03	0.00	0.00	0.06	0.04	0.10	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.07
경기	0.00	0.01	0.03	0.00	0.02	0.13	0.05	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
경남	0.41	0.36	0.57	1.06	4.31	3.77	3.29	1.74	2.16	1.61	1.58	1.96	3.52	3.35	2.39	2.35	2.31	3.25	5.38	8.94
경북	0.07	0.05	0.03	0.37	0.68	1.04	0.64	0.20	0.39	0.14	0.06	0.15	0.29	0.18	0.21	0.04	0.04	0.16	0.03	0.44
광주	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.57	0.74	0.77	0.60	0.51	0.61	1.43	2.14	2.56	1.66	1.21	1.19	1.50	2.67	2.46
대구	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.22	0.01	0.06	0.20	0.10	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.16	0.07
대전	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
울산	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
인천	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
전남	0.00	0.01	0.26	0.22	0.83	0.69	0.75	0.79	1.28	0.58	0.85	1.66	2.94	4.35	3.17	2.00	2.11	2.35	5.68	17.22
전북	0.06	0.03	0.11	0.14	1.50	2.65	0.81	0.80	0.80	0.42	0.20	1.03	2.36	2.80	1.06	0.42	1.22	2.06	4.93	12.07
제주	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.29
충남	0.06	0.11	0.79	0.04	0.09	0.13	0.16	0.19	0.08	0.01	0.02	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
충북	0.00	0.00	0.03	0.07	0.02	0.11	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07

보리의 지역별 연도별 생산에 따른 가상수 사용량(Mm<sup>3</sup>)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
경원	2.1	1.3	1.4	1.2	0.9	0.8	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.6	1.2	0.7	0.7	0.9	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5
경기	0.7	0.8	0.7	0.6	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.7	0.6	0.4	1.1	0.7	0.5	0.4	0.4	0.8	0.4
경남	107.2	85.5	86.8	58.7	53.9	49.5	40.5	38.4	39.7	42.7	45.7	41.4	30.6	29.8	28.0	25.8	27.2	28.9	30.3	21.0	21.0
경북	42.2	27.0	25.9	16.8	12.4	10.2	7.5	6.8	10.3	12.9	13.7	10.0	6.6	6.1	6.7	6.0	6.0	6.0	6.5	5.2	3.2
대구	0.3	0.1	0.1	0.0	2.5	1.7	1.3	1.6	2.0	2.1	2.7	2.4	2.1	2.1	2.3	3.2	3.6	3.6	3.6	2.9	1.8
대전	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
부산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
울산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
인천	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	0.1
전남	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	152.2	114.0	115.4	109.0	99.3	93.5	89.3	84.8	53.9
전북	29.0	24.3	30.1	25.6	35.4	42.5	19.8	41.6	37.9	24.0	59.3	39.5	30.4	36.9	40.9	33.7	35.8	41.9	34.4	30.9	30.9
충남	2.7	2.2	3.6	10.4	0.9	4.7	1.8	1.4	1.4	1.6	2.9	2.6	0.9	1.3	1.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.5
충북	1.1	0.6	0.7	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.4	0.6	1.2	0.7	0.4	0.4	0.7	0.8	0.3	0.4	0.2	0.6	0.2

옥수수 지역의 연도별 생산에 따른 가상수 사용량(Mm<sup>3</sup>)

지역	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
강원	56.2	48.8	39.3	52.6	36.8	33.4	41.9	34.6	36.8	25.0	27.9	31.7	29.1	30.8	25.2	23.6	29.3	30.9	27.1	27.1
경기	6.1	6.4	6.1	7.5	5.4	5.0	7.3	7.6	8.8	6.3	6.3	6.8	6.1	7.4	6.5	6.0	6.5	6.2	6.0	5.6
경남	5.3	7.4	6.2	8.7	5.9	6.3	6.3	5.6	5.7	5.0	4.5	5.3	3.5	4.4	3.6	2.6	3.4	3.2	2.8	2.7
경북	8.6	7.6	5.2	9.0	6.8	6.8	7.8	7.5	7.7	6.5	7.3	7.1	6.3	7.8	5.8	4.5	5.4	7.3	6.3	5.1
광주	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1
대구	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3
대전	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
부산	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.4	0.2
서울	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
울산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.9	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6
인천	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
전남	5.5	5.7	6.3	8.9	7.9	8.8	11.6	10.8	11.5	10.8	8.4	10.4	9.5	13.2	10.5	6.2	7.2	8.0	7.2	6.8
전북	2.3	2.5	2.4	3.2	2.7	2.7	3.2	2.3	2.9	2.5	2.7	2.9	2.5	3.6	2.8	2.5	2.8	3.0	2.9	3.2
제주	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.2	0.4	0.6	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.5
총합	3.2	3.8	3.9	4.8	3.2	3.7	5.0	4.0	4.5	4.1	3.8	3.3	2.7	3.9	3.0	2.5	2.7	3.7	3.1	2.6
총부	15.4	17.4	13.2	17.6	12.4	15.5	18.8	13.5	16.8	10.7	11.2	14.2	12.9	15.2	14.2	12.7	16.9	20.8	15.3	16.2

## 부록 7 연구 목표 달성도 및 실적



## □ 연구(내용 및 범위)계획 대비 실적

연구계획서	연구결과보고서	달성도
○물발자국 DB	○국내의 특수성을 반영한 물발자국 산정 및 DB 구축을 완료함	100%
○물발자국 활용 매뉴얼 작성	○물발자국 산정 및 활용 매뉴얼을 누구나 쉽게 물발자국을 산정할 수 있도록 개발	100%
○정책적 활용방안 제시	○물발자국의 정책적 활용 방안에 대해 구체적으로 제시	100%
○물발자국 통합정보시스템 구축	○물발자국 통합정보시스템 구축 완료	100%

## □ 논문게재 및 발표 실적

### 1) 논문 게재 실적

학술지명	제 목	게재 연월일	권(호) 페이지	발행 기관	국 명	SCI 게재 여부
한국농공학 회지	한국의 밭작물 생산에서의 물 발자국 산정	'14.05.26	56(3)	한국농공학 회	한국	
한국수자원학 회 논문집	산업연관분석을 활용한 물발자국 인벤토리 개발	'13.04.30	Vol.46(4) 401-412	한국 수자원 학회	한국	등재지
ICID 특별판	Regional Analysis of Virtual Water Flow in view of the Crop Consumption	'15.08 예정	-	ICID	인도	SCI(E)

2) 학술회의 발표 실적

학술회의명	제 목	계 재 연월일	발 기 행 관	국 명
2014 ASABE	Analyzing the global virtual water trade intensity relating to global droughts	'14.07.15	ASABE	캐나다
22 <sup>nd</sup> ICID Congress	Regional Analysis Of Virtual Water Flow Considering Crop Consumption	'14.09.14	ICID	한국
22 <sup>nd</sup> ICID Congress	Evaluation Of Virtual Water Dependency And The Centralization Of Virtual Water Trade	'14.09.14	ICID	한국
한국농공학회	물발자국 통합정보시스템 구축	'14.10.16	한국농공학회	한국
한국농공학회	식품소비패턴과 인구변화를 고려한 지역단위 가상수 사용량 및 자급율 분석	'14.10.16	한국농공학회	한국
2014 PAWEES	analyzing regional virtual water budget considering regional virtual water flow and food consumption pattern	'14.10.30	PAWEES	대만
11차 INWEPF 국제심포지엄	Water Footprint Application for Agricultural Water Resources Management	'14.11.05	베트남 수자원연구원	베트남
한국수자원학회	산업연관분석을 활용한 물발자국 인벤토리 개발	'13.05.24	한국수자원학회	한국
한국수자원학회	농산물 물발자국 기반 가상수 교역구조 분석을 통한 국외 가상수 의존성 평가	'13.05.24	한국수자원학회	한국
한국수자원학회	농산물 소비량을 고려한 지역 및 유역별 가상수 이동 분석	'13.05.24	한국수자원학회	한국
2013 IWA-Aspire	Uncertainty of water requirement estimation in the water footprint inventory in agricultural sector	'13.09.08	세계물협회	한국
한국농공학회	물발자국 데이터베이스 개발과 활용(특별세션)	'13.10.30	한국농공학회	한국
한국농공학회	전세계 농작물 가상수 교역 네트워크의 중심성 분석	'13.10.30	한국농공학회	한국
한국농공학회	국내 물발자국 산정 및 적용 방법에 관한 연구	'13.10.30	한국농공학회	한국

학술회의명칭	제 목	계 재 연월일	발 기 행 관	국 명
SWG Intl workshop	Application of Life Cycle Assessment in the Water Supply System to Evaluate Environmental Impacts: A case study of dam and pumping station	'13.11.12	스마트워터 그리드사업단	한국
한국물환경학회 대한상수도학회	Water use intensity development using Water Footprint concept and Input-Output table in Korea	'12.03.21	한국물환경학회	한국
한국수자원학회	농·축산물 교역에 따른 물발자국 산정	'12.05.17	한국수자원학회	한국
한국농공학회	한국의 주요 농산물 Green 및 Blue water 산정	'12.09.18	한국농공학회	한국
한국농공학회	농산물의 내·외부 물발자국 산정 연구	'12.09.18	한국농공학회	한국
Eco-balance 2012	The development of water inventory database considering water consumption	'12.11.23	에코밸런스	일본

#### ☐ 홍보실적(전문지 게재, 매스컴 발표 등)

제목	보도일자	보도매체	비고
물발자국 지수(Water foot print index)의 국내외 연구 현황과 시사점	'14.03.12	국회입법 조사처	세미나
한국농공학회 지속가능한 수자원 이용을 위한 물발자국 연구 특별세션 개최	'13.10.30	특별세션	
가상수와 물발자국	'12.03	물과미래	
가상수에서 물발자국까지(1)	'12.07	물과미래	
가상수에서 물발자국까지(2)	'12.08	물과미래	

#### 1) 지속가능한 수자원이용을 위한 심포지엄(농업분야 물발자국 도입 및 활용방안)

- 일시 및 장소 : '12. 8. 9(목) 10:00~13:00 (서울대학교 호암교수회관)
- 발표자(5명)
  - 서울대학교 최진용 교수
  - 농어촌연구원 김영득 과장
  - 일본 동경도시대학교 Norihiro Itsubo교수, Yuya Ono

- 농촌진흥청 김진호 연구사 (스마트에코 김익 대표이사)
- 한국농촌경제연구원 김윤형 박사

- 토론자(6명)

- 좌장 : 박성제 원장 (미래자원연구원)
- 김성률 주무관 (농림수산식품부)
- 이동률 실장 (한국건설기술연구원)
- 노태호 연구위원 (한국환경정책평가연구원)
- 이일석 박사 (한국생산기술연구원)
- 이태호 과장 (한국농어촌공사)

2) 기사내용

- 연합뉴스 : 농업분야 물발자국 도입 논의 심포지엄
- Food news : ‘농업분야 물발자국 도입과 활용방안’ 심포지엄 개최
- Food in Korea : ‘농업분야 물발자국 도입과 활용방안’ 심포지엄 개최

## 연구 참여자

목 차	소속	참여자
1장 서론	농어촌연구원	신안국
2장 물발자국 산정 및 DB구축	농어촌연구원	김영득 이성희
	서울대학교 산학협력단	최진용 이상현
3장 수자원 관리를 위한 물발자국 적용	농어촌연구원	신안국 김광용
	서울대학교 산학협력단	최진용 이상현
4장 물발자국의 정책적 활용	농어촌연구원	신안국 김진택
	서울대학교 산학협력단	최진용 이상현
5장 물발자국 DB 활용 매뉴얼 개발	농어촌연구원	신안국 최원우
6장 물발자국 통합정보 시스템 구축	농어촌연구원	신안국 문성근
7장 결론	농어촌연구원	신안국

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

### ■ 발 행 처

연구과제명 : 지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용(최종)	
발 행 일	2014. 12
발 행 인	박 정 환
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 391번지 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055
■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	