

발 간 등 록 번 호

11-1543000-000295-01

<http://rri.ekr.or.kr>

지속가능한 수자원 이용을 위한 물발자국 산정 및 적용(Ⅱ)

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

2013. 12



농림축산식품부

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs



한국농어촌공사

ISO 9001 / ISO 14001 인증

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

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

2013년 12월 31일

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원

연구책임자 : 김경묵

연구원 : 김진택

김영득

이성희

문성근

공동연구기관 : 서울대학교 산학협력단

연구책임자 : 최진용

연구원 : 남원호

이상현

홍은미

박나영

위촉연구원 : 박경성

요 약 문

1. 과제명: 지속가능한 수자원이용을 위한 물발자국 산정 및 적용

2. 연구기간: 2013. 2 - 2013. 12

3. 연구개요

3.1 연구목적

- 연구의 목적은 물발자국 DB를 개발하고, 적용성 등을 분석하여 물발자국 제도 도입의 기초자료를 제공하기 위한 것이다.
- 2차년도 목표는 첫째, 1차년도에 개발한 물발자국 DB 기초 자료를 고도화하고, 둘째, 기 개발된 DB를 활용해 농산물 가상수 교역분석과 제품단위의 물발자국 산정 등과 같은 적용성을 분석하여 물발자국 활용방안을 제시하는데 있다.

3.2 연구방법

3.2.1 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 산정함.

3.2.2 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석

- 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석
 - 국내 및 국외의 농작물 물발자국 자료와 우리나라의 농작물 교역 자료를 활용하여 2006년부터 2010년까지 주요 작물에 대한 가상수 교역량을 산정함. 국가별 물발자국은 국외의 연구결과를 활용하고

국가간 농작물 교역량 자료는 PC-TAS의 자료를 활용함.

- 우리나라의 국외 가상수 의존도를 평가하기 위하여 작물별 가상수 교역량 및 소비량을 바탕으로 내외부 물발자국을 산정함.

○ 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석

- 전세계 가상수 교역량은 앞서 조사한 기초자료를 바탕으로 수출국의 물발자국과 수출량을 기준으로 산정됨.
- 전세계 가상수 교역의 중심지 분석은 가상수 교역 네트워크를 활용하여 연결중심지를 분석하도록 한다. 이때 식량작물과 사료작물로 주로 교역되는 작물을 구분하여 연도별 연결중심지의 변화를 분석함.

3.2.3 국내 식량정책과 물발자국에 따른 농업용수 소비량 분석

○ 국내 농작물 소비에 따른 1인당 물발자국 추정

- 식품수급표와 작물별 물발자국 결과를 적용하여 국내 농작물 소비에 따른 1인당 물발자국을 산정함.

○ 식량자급률과 물발자국에 따른 농업용수 소비량 변화 분석

- 식량자급률을 바탕으로 2015, 2020년의 생산 및 소비시나리오 자료와 작물별 물발자국을 적용하여 자급률 변화에 따른 농업용수의 추가적인 사용량을 산정함.

3.2.4 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정

- 물 사용량이 많은 공산품중 세탁기의 원료취득, 제조 및 사용단계의 물발자국을 산정하고, 농산물 가공품인 두부와 건강음료의 원료취득과 제조의 물발자국을 산정함.

○ 제품단위 산정식 : $WF_j = \sum WF_i \times M_{ij}$

여기서, WF_j : 제품 j의 물발자국

WF_i : 물질(에너지) i의 물 인벤토리 (1차년도 개발 DB)

M_{ij} : 제품 j의 물질(에너지) i 투입량

3.3 기대효과 및 실용화 방안

3.3.1 기대효과

- 기술적 측면
 - 국제 농축산물 거래시 수자원량을 기준으로 정량적인 거래량을 평가 기반 구축
 - 제품단위 물발자국 산정 사례분석을 통해 물발자국 제도 도입 기반 구축
- 정책적 측면
 - 농축산물의 물발자국 산정을 통한 각 분야별 용수이용에 대한 효율적이고 지속가능한 국가 물관리 계획 및 정책 수립을 위한 지원 체계 구축 가능
 - 주요 교역국들의 수자원 부존량 변화와 가상수 수출입량 변화를 고려한 안정적인 농축산물 교역 대책 수립
 - 물발자국 인증제 및 마일리지 등을 통한 녹색기술의 적용을 위한 근거자료 마련

3.3.2 활용방안

- 농축산물의 교역을 물의 개념으로 표준화함으로써 국제적인 가상수 교역의 중심지 및 주요 교역국의 수자원 공급의 안정성 등을 고려한 국제 교역 변화 예측 등에 활용
- 국내의 식량정책 수립시 수자원 이용도의 변화를 물발자국의 변화를 통하여 제시할 수 있으며, 이에 따라 정책 수립시 필요한 수자원의 정량적인 평가
- 향후 농식품과 농산물의 생산과 소비에 따른 물 소비량을 사용자가 알 수 있도록 하여 물 사용 효율이 높은 제품을 사용할 수 있도록 하는 물질약 정책도구로서 활용
- 환경성적표지제도의 일환으로서 물발자국 인증제도 도입시 기초 자료로서 제품단위 물발자국 산정에 활용

4. 연구결과

4.1 축산물의 물발자국 산정방안 정립

- 물발자국 구성 : 음용수, 세척수, 사료소비에 따른 간접수

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

- 축산물의 물발자국 산정

- 한우(거세우)의 물발자국: 17736.7 m³/ton
- 양돈(비육돈)의 물발자국: 4441.4 m³/ton
- 닭(육계)의 물발자국: 2548.7 m³/ton

4.2 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석

4.2.1 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석

- 우리나라의 국외 가상수 의존도 분석

- 내부 물발자국: 40 Gm³, 외부 물발자국: 96 Gm³
⇒ 국외 가상수 의존도: 70 % 초과
- 주 사료용 작물인 옥수수 및 두류작물의 경우 90% 이상이 국외 가상수 의존적임

- 가상수 교역에 따른 국내 수자원 절감량 산정결과

- 2006년부터 2010년 동안 총 112 Gm³의 가상수 절약
(밀의 교역 : 17 Gm³, 옥수수 및 두류작물 : 94 Gm³)

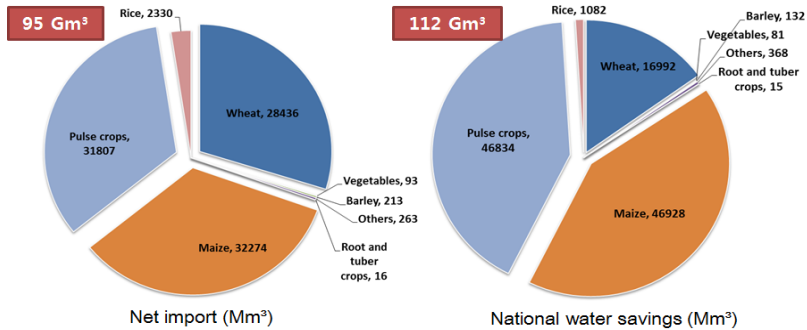


Fig. 1 Water savings of virtual water trade in Korea

4.2.2 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석

○ 전세계 가상수 교역 구조의 중심지 변화 분석

- 식량용 곡물(밀, 쌀, 보리, 기타 잡곡)의 경우 2006년과 2008년 미국의 외향 연결중심성이 가장 높게 나타남. 러시아는 2008년에는 낮은 연결중심성이 산정되었으나 2009년에는 높게 나타남. 호주와 우크라이나는 2006년 이후 외향 연결중심성이 점차 증가함.
- 사료용 작물 (옥수수, 대두, 대두박)의 경우 2008년 미국의 외향 연결중심성이 높고, 2009년에는 아르헨티나의 중심성이 급격히 낮아짐. 브라질의 외향 연결중심성은 조금씩 증가하는 추세로 나타남. 내향 연결중심성은 주 수입국인 중국이 가장 높고, 점차적으로 증가함

→ 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조를 고려한 물 관리 정책 수립시 활용

- 우리나라의 국외 가상수 의존도가 높은만큼 향후 국외 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조의 변화에 민감하게 반응할 수 있는 수입 정책 수립시 활용 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.

4.3 국내식량정책과 물발자국에 따른 농업용수 사용량 변화 분석

4.3.1 국내의 1인당 농산물 소비에 따른 물발자국 추정

- 1985년: 264.9 m³/yr, 1995년: 275.4 m³/yr → 다소 증가하거나 비슷한 수준 유지
- 2005년과 2010년: 각각 252.6 m³/yr, 240.7 m³/yr → 감소 경향

4.3.2 식량자급률의 목표를 위하여 농산물 생산에 소요되는 잠재적 농업용수량 산정 결과

- 2015년: 백미, 보리의 경우 각각 479.8 백만 m^3 , 40.3 백만 m^3 씩 감소. 밀은 189.5 백만 m^3 증가 2020년: 백미, 보리의 경우 각각 716.4 백만 m^3 , 40.3 백만 m^3 씩 감소. 밀은 283.9 백만 m^3 증가

→ 미래의 식량정책 달성을 위해 추가적으로 사용되는 용수량 추정

- 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 물관련 이슈를 선점할 수 있음.

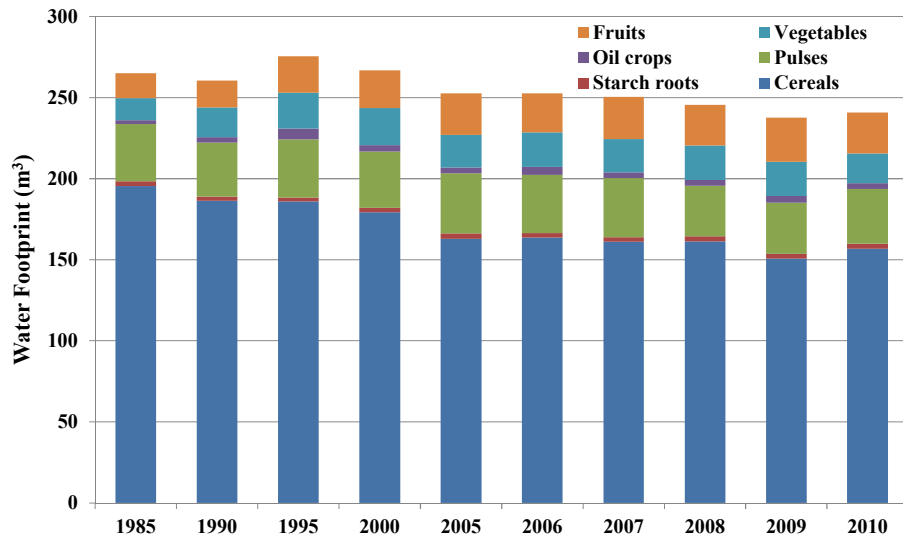


Fig. 2 Total water footprint for the net food supply per capita for crop categories during 1985-2010

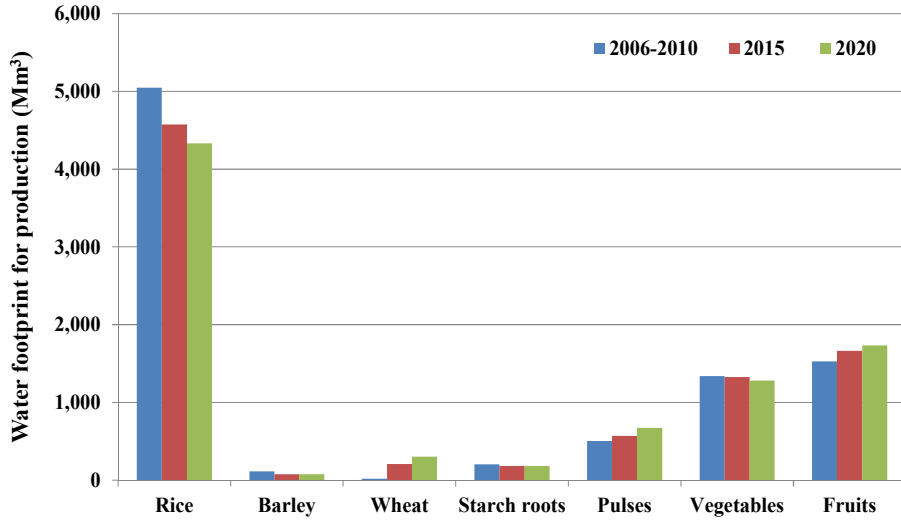


Fig. 3 Water footprint for production during 2006–2010 (average), 2015 and 2020.

4.4 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정

4.4.1 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정

- 대상제품 : 옥수수 수염차, 두부, 세탁기
- 선정원칙 : 생산, 사용단계 물사용량이 많은 농산물 가공품/공산품
- 범 위 : 원료취득, 제조, 사용(폐기단계 제외)
- 물발자국 기초원단위: 1차년도 물사용강도 및 단가자료 이용해
사용량 원단위 이용
- 자료수집 : 물품 자재표(BOM) 및 문헌자료
- 물발자국 산정식 : $WFI_j = \sum M_{ij} \times WFI_i$

WFI_j : 제품 j의 물발자국

M_{ij} : 제품 j에서 물질 i의 투입량

WFI_i : 물질 i의 물발자국 원단위

여기서, WFI_i 는 1차년도에 산정한 물사용강도($m^3/원$)에 단가 자료 곱하여 산출함. 이 연구에서 사용한 단가 자료는 한국은행에서 발간한 산업연관표상의 2003년 기준 공급액 자료임.

4.4.2 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 결과

- 두부 100g 생산에 필요한 물사용량은 총 1,448 L이고 이중 두부제조와 포장을 위해 사용된 직접수는 21L에 불과하고, 원료물질 취득, 즉 콩재배에 필요한 물사용량이 1,427 L로 분석되었다. 직접수중 수세와 기기바닥세정에 필요한 물이 90.8%를 차지하고 침지를 비롯한 다른 공정에서 물사용량은 미미한 것으로 분석되었다.
- 340mL의 옥수수수염차를 제조하는데 총 124.2L의 물이 필요하고, 이중 직접수는 0.97 L, 간접수는 123.3 L가 소요되는 것으로 분석되었다. 간접수가 전체 물사용량의 99%이상의 차지하고 직접수는 1%미만이다. 99%의 간접수중 가장 많은 부분을 차지하는 공정은 제품을 담은 PET를 생산하는데 많은 간접수가 필요하기 때문이다.
- 세탁기 한 대를 5년간 사용할 경우, 총 물사용량은 108,804 L로 분석되었고, 직접수와 간접수가 각각 80,607 L, 28,197 L로 직접수가 74%이었다. 단계별 물사용량을 살펴보면, 원료취득단계 20%, 제조단계 1%, 사용단계 79%로 분석되었으므로 사용단계의 물사용량의 절감이 중요한 것으로 판단된다. 기존의 세탁기 사례분석결과(김우람, 2011)와 비교해 보면, 원료취득단계의 물사용량은 이번 연구의 결과가 15.7%정도 크게 나타났고, 사용단계는 이번 연구결과가 작게 나타났는데, 이는 이 연구에서 개발된 물사용계수(DB)가 기존의 LCI DB의 물사용계수가 낮게 나타나기 때문이다.

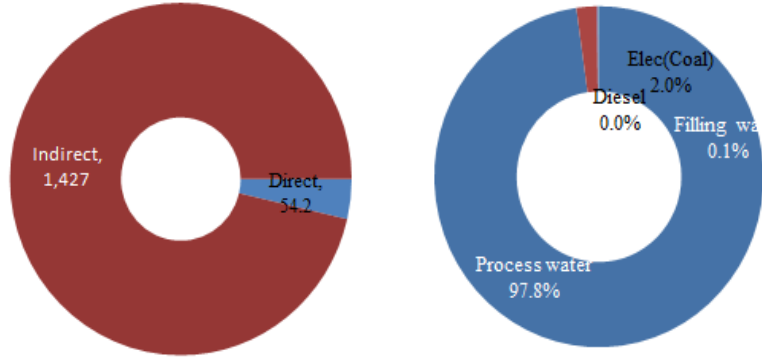


Fig. 4 Water footprint inventory of bean curd production

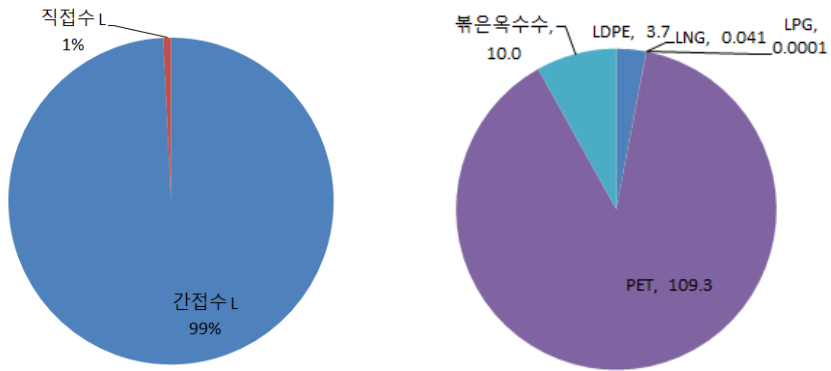


Fig. 5 Water footprint inventory of corn tea production (unit: L)

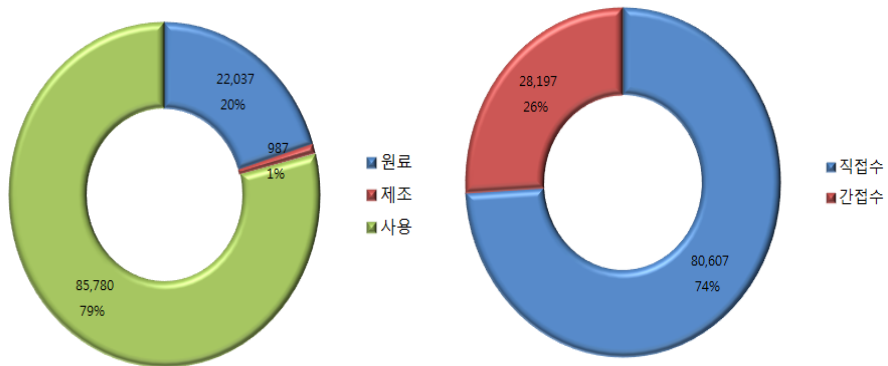


Fig. 6 Water footprint inventory of washing machine (unit: L)

4.5 물발자국의 정책적 활용 방안

4.5.1 기업/제품 단위의 물발자국 활용

- 원료와 생산 그리고 유통에 이르는 과정에서의 물 사용량을 평가
- 생산단계별 용수의 낭비요소 제거, 원가 절감, 환경 친화적인 재화 생산의 기회 제공

4.5.2 국가 단위의 물발자국 인증제 도입

- 인증제를 통한 농축산물 생산과정의 물 이력 추적에 의한 제조단계별 물 사용량 평가
- 지속가능한 수자원 이용 달성을 위한 정부와 산업체의 협력 체계 구축시 연결고리로 활용
- 사업 및 지역개발의 지속가능성 평가를 위한 물발자국 데이터의 활용

4.6 결 론

본 연구에서는 1차년도에 개발한 물발자국 DB 기초 자료를 고도화하고, 기 개발된 DB를 활용하여 농산물 가상수 교역분석과 제품단위의 물발자국 산정 등과 같은 적용성을 분석하여 물발자국 활용방안을 제시하고자 하였다. 본 연구의 결과는 향후 각 분야별 물발자국과 지역 및 국가간 가상수 교역을 고려한 효율적인 국가 물관리계획 및 정책 수립의 지원 체계 구축을 위한 기초자료로 활용 가능하고, 물발자국 인증제도 등의 물발자국 정보를 활용한 국내 물관리 정책에 대한 지원 및 방향 제시를 위한 근거자료로서 활용 가능할 것이다. 또한 제품단위 생산과정의 물 이력 추적이 가능하며 이에 따라 생산 단계별 물 사용량을 평가하여 효율적인 수자원 활용에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

S u m m a r y

1. Project: Water footprint estimation and application for sustainable water resources use

2. Period: February 2013 - December 2013

3. Research overview

3.1 Objectives

○ Objectives

- 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 2nd research period are
 - to polish water footprint database developed in the 1st year,
 - to analyze virtual water flow by trading of agricultural products and food policy in Korea, and
 - to suggest an application method by providing case studies of water footprint of products.

3.2 The contents of research

3.2.1 Water footprint of live animals

3.2.2 Virtual water trade in agricultural products

○ Virtual water trade in Korea

- Global virtual water trade

3.2.3 Analysis of virtual water use from water footprint and food self-sufficiency

3.2.4 Calculation of water footprint of products using inventory database.

3.2.5 Application of water footprint in Korea

4. Results

4.1 Water footprint of live animals

- The components of water footprint of live animals

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

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

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

- Estimation of water footprint of live animals

- Beef cattle : 17736.7 m³/ton
- Swine : 4441.4 m³/ton
- Broiler chicken : 2548.7 m³/ton

4.2 Virtual water trade in agricultural products

4.2.1 Virtual water trade in Korea

- Evaluation of water dependence by internal and external water footprint in Korea
 - Internal water footprint: 40 Gm³, External water footprint: 96 Gm³
⇒ Water dependence : over 70 %

- Maize and pulse crops : over 90%
- Water savings of virtual water trade in Korea
 - Water savings from 2006 to 2010 : 112 Gm³
(wheat: 17 Gm³, maize and pulse crops: 94 Gm³)

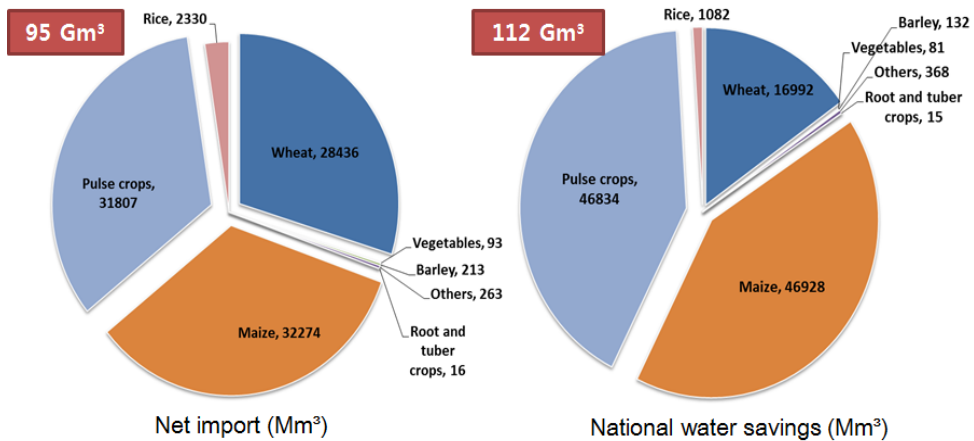


Fig. 1 Water savings of virtual water trade in Korea

4.2.2 Global virtual water trade

- Analysis of centrality of global virtual water trade
 - Grain crops (wheat, rice, barely etc.)
 - High degree centrality in 2006, 2008 : USA
 - The degree centrality of Australia and Ukraine have been risen since 2006.
 - Forage crops (maize, pulse crops)
 - High out-degree centrality country : USA, Argentina, Brazil
 - High in-degree centrality country : China, Korea, Japan

4.3 Analysis of virtual water use from water footprint and food self-sufficiency

- Population growth and life-style change
 - ⇒ Affecting the demand and supply of food, and land and water use
- Increase in population, rapid industrialization and urbanization during the last half century in Korea
 - ⇒ higher foods demand & decreased arable lands
- Food self-sufficiency ratio (SSR) in South Korea
 - ⇒ SSR for grain (including feed): 56% (1980) to 27% (2010)
 - ⇒ wheat, maize and beans: 0.5%, 1.0% and 9.8% in 2010

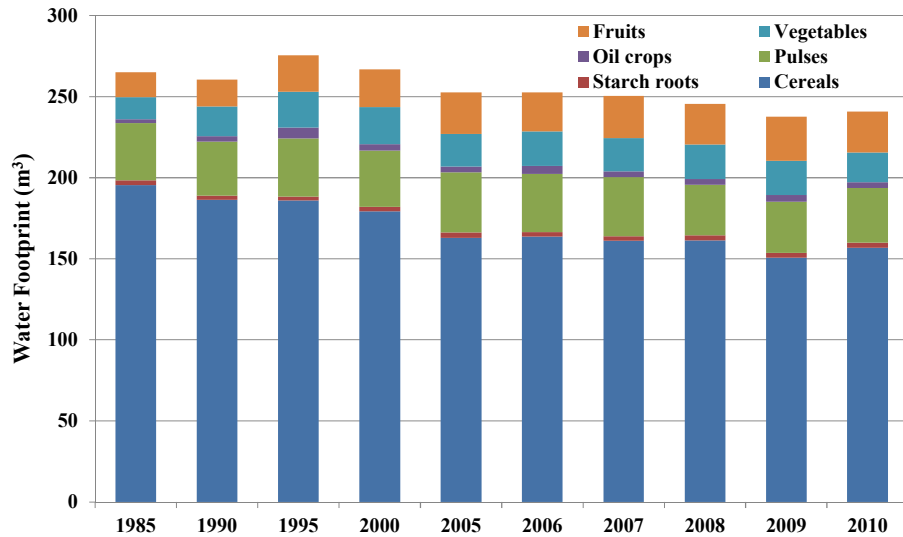


Fig. 2 Total water footprint for the net food supply per capita for crop categories during 1985-2010

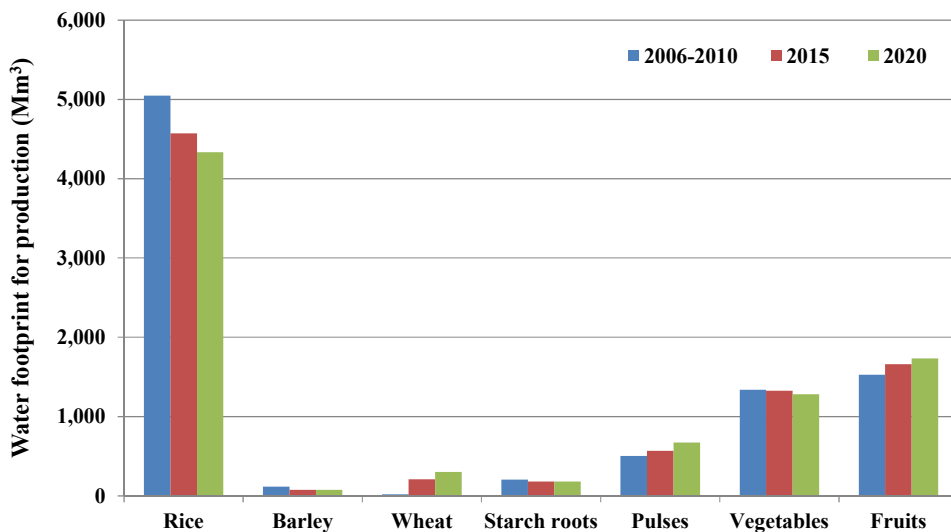


Fig. 3 Water footprint for production during 2006-2010 (average), 2015 and 2020.

4.4 Estimation of water footprint of products using water inventory

4.4.1 Estimation of water footprint of agricultural products and industrial product

- Target products: corn tea, bean curd and laundry machine
- Principle of selection : products requiring more water at production and usage phase.
- Scope : raw material acquisition, production and use (exception disposal)
- Water inventory : database developed in the 1st year study.
- Data collection : Bill Of Material, consulting data and literatures
- Equation of calculation : $WFI_j = \sum M_{ij} \times WFi$

WFI_j: water footprint of product j

M_{ij}: input i of for product j

WFi: water inventory for input i

where, WFI_i can be obtained from the multiplication of M_{ij} by WFi. Unit

price used in the WFi is based on the Input Output table issued in 2003 by Bank of Korea.

4.4.2 Water footprint of agricultural products and industrial product

- Total water footprint of 100g-bean curd is 1,448 L, where direct water for production and packing 21L, water for material acquisition, ie cultivation water for bean is 1,427 L. Out of total direct water in the production of bean curd 90.8% was used for washing and cleaning floor.
- Water footprint of bottled 340mL-corn tea is 124.2L, where direct one is 0.97 L, and indirect 123.3 L. 99% of total water is indirect water, which is embodied water of product. Key user in the indirect water is PET production for plastic bottle.
- 108,504 L of water is needed for one laundry machine using for 5 years. Indirect and direct water are 28,197 L and 80,607 L respectively, which is accounting for 74%. Raw material acquisition, production and use phase are 20%, 1% and 79% respectively. it seems to be important to reduce water use at usage phase overall. Comparing with Kim's study (Kim, 2011), water footprint in this study was 15.7% higher than the previous study at material aquisition phase and shows a lower water at usage phase. It can be interpreted that water database developed in this study is lower than the previous study.

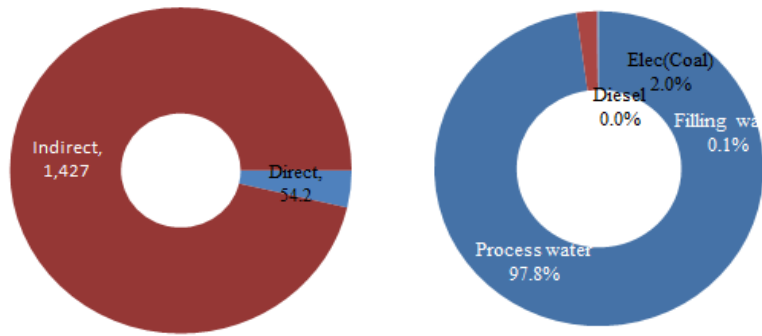


Fig. 4 Water footprint inventory of bean curd production

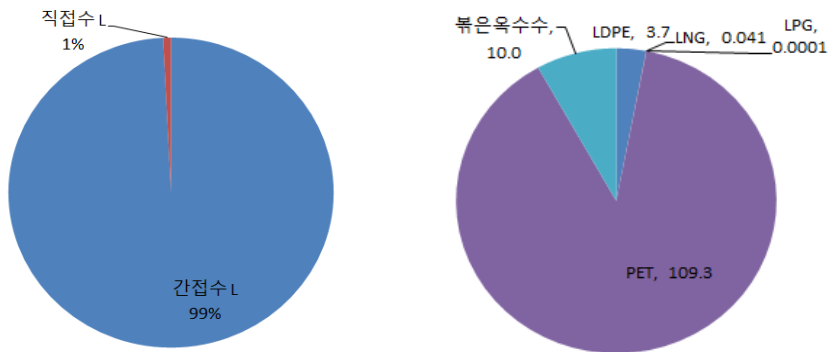


Fig. 5 Water footprint inventory of corn tea production (unit: L)

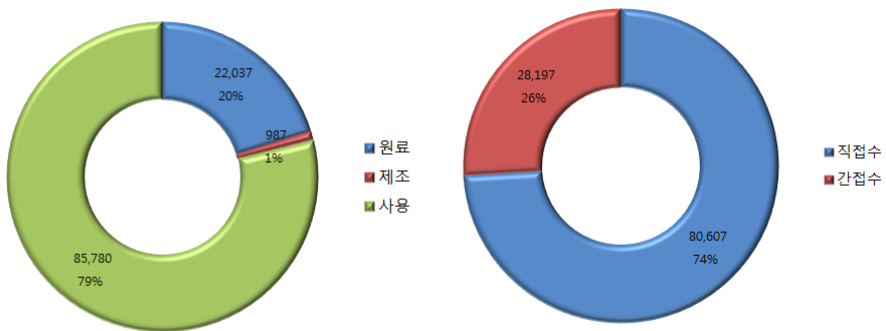


Fig. 6 Water footprint inventory of washing machine (unit: L)

4.5 Application of water footprint in Korea

4.5.1 Water footprint of product and corporate

- Assessment of WFP of product and water saving plan setting
- Sustainability assessment of a corporate
- Certification for WFP and company impression for eco-friendly

4.5.2 Water footprint scheme

- Assessment of water use in processes and provision information for water saving
- Environment impact and environment friendly corporate and products
- Detail information in terms of processes, commodity and consumption, not by industrial sectors
- Water resources planning considering heavy trade countries

4.6 Conclusions

The objectives of this study is to polish water footprint database developed in the 1st year and to provide a basic data for water footprint scheme by testifying applicability of the database in Korea. It can be used for a basic data of national water management plan and policy formulation considering virtual water and water footprint. In addition, it will be useful for driving water footprint certification scheme for sustainable water management. Water footprint can provide information on how human activity relates to water use in holistic view with traceability for efficient water management.

목 차

1. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구내용	3
1.3 연구방법	4
1.4 기대효과 및 실용화 방안	7
2. 축산물의 물발자국 산정방안 정립	9
2.1 축산물의 물발자국 3요소	9
2.2 축산물의 물발자국 산정 방법	10
2.3 축산물의 물발자국 산정 결과	11
3. 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석 ..	20
3.1 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석	21
3.2 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석	39
4. 국내 식량정책과 물발자국에 따른 농업용수 사용량 변화 분석	69
4.1 국내의 1인당 농작물 소비에 따른 물발자국 추정	69
4.2 식량자급률과 물발자국에 따른 농업용수 사용량 변화 분석 ..	74
5. 농업분야의 불확실성 분석	81
5.1 불확실성 분석	81

5.2 민감도 분석	84
5.3 불확실성 분석결과	88
6. 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정 · 90	
6.1 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 방법 · 90	
6.2 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 결과 ... 94	
7. 물발자국의 정책적 활용 방안	98
7.1 물발자국의 활용과 산업	98
7.2 물발자국 인증 도입과 전망	99
8. 결 론	101
부 록	106

표 목 차

Table 1 Water from drinking and servicing	12
Table 2 Live weight of animal at slaughter and carcass	12
Table 3 Breeding period and amount of feed	13
Table 4 Water footprint of feed crops	13
Table 5 Total water from drinking and servicing of beef cattle ..	15
Table 6 Total water from feeding of beef cattle	15
Table 7 Water footprint of beef cattle	15
Table 8 Total water from drinking and servicing of swine	17
Table 9 Total water from feeding of swine	17
Table 10 Water footprint of swine	17
Table 11 Total water from drinking and servicing of broiler chicken ..	19
Table 12 Total water from feeding of broiler chicken	19
Table 13 Water footprint of broiler chicken	19
Table 14 Study crops and HS-code (I)	24
Table 15 Study crops and HS-code (II)	25
Table 16 Trade of crops and VW in Korea from 2006 to 2010	26
Table 17 Imports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010 ..	26
Table 18 Imports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010 ..	27
Table 19 Imports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010 ..	27
Table 20 Exports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010 ..	28
Table 21 Internal and external water footprint in Korea from 2006 to 2010 ..	35

Table 22 Net imports and national water savings of virtual water trade in Korea	38
Table 23 Trade of crops and VW in World	42
Table 24 Exports of crops and VW in the World (1)	43
Table 25 Exports of crops and VW in the World (2)	44
Table 26 Exports of crops and VW in the World (3)	44
Table 27 Imports of crops and VW in the World (1)	45
Table 28 Imports of crops and VW in the World (2)	46
Table 29 Imports of crops and VW in the World (3)	46
Table 30 Degree centrality of VWT (' 06-' 10)	52
Table 31 Grain crops and HS-code	58
Table 32 Forage crops and HS-code	64
Table 33 The per capita net food supply for 12 food categories in 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2006-2010	70
Table 34 The green, blue and grey water footprint of crops	71
Table 35 Water footprint for the net food supply per capita for crop categories during the years 1985-2010)	72
Table 36 Green, blue and grey water footprint for the net food supply per capita during 1985-2010.	73
Table 37 Domestic consumption (Cons.) and production (Prod.) scenarios and food self-sufficiency rate (SSR) for the years 2015 and 2020	77
Table 38 Virtual water use (VWU) for consumption and production during 2006-2010 (average), 2015 and 2020	79
Table 39 Difference between the average VWU for production in 2005-2009 and 2015 (or 2020)	80

Table 40 Data quality assessment criteria by Pedigree matrix	86
Table 41 Data quality assessment result of agricultural sectors	87
Table 42 Probability distribution and simulation condition	87
Table 43 Functional unit and data collection	93
Table 44 Direct water use for 100g bean curd production	94
Table 45 Input materials and energy for bean curd production	94
Table 46 Results of water use for bean curd by unit process	94




그림 목 차


Fig. 1 Water footprint system	2
Fig. 2 Flowchart of research project	6
Fig. 3 Components of water footprint of animal	9
Fig. 4 Import of crops in Korea from 2006 to 2010	29
Fig. 5 Import of VW in Korea from 2006 to 2010	29
Fig. 6 Export of crops in Korea from 2006 to 2010	30
Fig. 7 Export of VW in Korea from 2006 to 2010	30
Fig. 8 Import of GW and BW in Korea from 2006 to 2010	31
Fig. 9 Export of GW and BW in Korea from 2006 to 2010	31
Fig. 10 Calculation scheme for assessing the WF of national consumption	33
Fig. 11 Internal and external water footprint in Korea from 2006 to 2010	35
Fig. 12 Water savings of virtual water trade in Korea	38
Fig. 13 Comparison between crop export and water use for export	39

Fig. 14 Exports of crops in the World from 2006 to 2010	47
Fig. 15 Exports of VW in the World from 2006 to 2010	47
Fig. 16 Imports of crops in the World from 2006 to 2010	48
Fig. 17 Imports of VW in the World from 2006 to 2010	48
Fig. 18 Exports of GW and BW in the World from 2006 to 2010 ..	49
Fig. 19 Imports of GW and BW in the World from 2006 to 2010 ..	49
Fig. 20 Out-Degree centrality of VWT (' 06-' 10)	53
Fig. 21 In-Degree centrality of VWT (' 06-' 10)	53
Fig. 22 Out-Degree centrality of GWT (' 06-' 10)	54
Fig. 23 In-Degree centrality of GWT (' 06-' 10)	54
Fig. 24 Out-Degree centrality of BWT (' 06-' 10)	55
Fig. 25 In-Degree centrality of BWT (' 06-' 10)	55
Fig. 26 Out-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010 (Grain crops) ..	59
Fig. 27 In-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010 (Grain crops) ..	59
Fig. 28 Degree centrality of VWT in 2006 (Grain crops)	60
Fig. 29 Degree centrality of VWT in 2007 (Grain crops)	60
Fig. 30 Degree centrality of VWT in 2008 (Grain crops)	61
Fig. 31 Degree centrality of VWT in 2009 (Grain crops)	61
Fig. 32 Degree centrality of VWT in 2010 (Grain crops)	62
Fig. 33 Out-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010	65
Fig. 34 In-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010	65
Fig. 35 Degree centrality of VWT in 2006	66
Fig. 36 Degree centrality of VWT in 2007	66
Fig. 37 Degree centrality of VWT in 2008	67
Fig. 38 Degree centrality of VWT in 2009	67
Fig. 39 Degree centrality of VWT in 2010	68

Fig. 40 Total water footprint for the net food supply per capita for crop categories during 1985-2010.	73
Fig. 41 Trends in food self-sufficiency rates (SSR) during the year 1975-2010 and targets food SSRs during the years 2015 and 2020 ..	75
Fig. 42 Water footprint for production during 2006-2010 (average), 2015 and 2020.	80
Fig. 43 Water footprint reports from multinational corporation such as Coca-Cola Enterprises and UPM	81
Fig. 44 Product water footprint verification statement of DA.AI by TÜVRheinland	83
Fig. 45 Sensitivity analysis of crop water requirement of rice (Penman Monteith equation)	88
Fig. 46 Sensitivity analysis of Crop water requirement estimation	89
Fig. 47 Production process of bean curd and corn tea	91
Fig. 48 Production process of washing machine (김우람, 2011, p 48)	93
Fig. 49 Water footprint inventory of bean curd production	95
Fig. 50 Water footprint inventory of corn tea production (unit: L)	95
Fig. 51 Water footprint inventory of washing machine (unit: L) ..	96
Fig. 52 Comparison of water use of washing machine with previous study	97
Fig. 53 Water footprint reports from multinational corporation such as Coca-Cola Enterprises and UPM	98
Fig. 54 Product water footprint verification statement of DA.AI by TÜVRheinland	100

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

1.1.1 연구배경

- 물발자국은 전통적인 물 관련 통계자료가 제공하지 못하는 원료생산, 공급, 소비에 이르는 전 과정에서 인간의 활동과 관련된 물의 양을 계산한 값으로 물의 이력을 내포하기 때문에 수자원관리의 새로운 패러다임을 제시하고 있다.
- 물발자국은 1993년 앨런교수가 가상수의 이론을 처음 제시한 이후(Allan 1993, 1994), 2002년부터UNESCO-IHE, WFN(Water Footprint Network)를 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 국제표준화기구(ISO)는 2009년 물발자국 표준화작업을 착수하여 2013년 현재 ISO WG-8에서 최종규격안(Draft International Standard)을 작성하여 국제표준으로 제정을 준비하고 있다.
- 국제사회의 이러한 요구에 부응하고 물발자국 제도를 국내에 도입하기 위해서는 물발자국 데이터베이스(인벤토리)의 개발이 필수적인데, 국내에는 이에 대한 연구가 매우 제한적이다.
- 특히, 수자원장기종합계획(2012)에 따르면 농업용수의 양 전체 용수수요의 62%를 차지하고 있고 농업분야에서는 직접수가 차지하는 비율이 높으므로 농업분야의 물발자국 기초자료의 구축이 중요하다.
- 또한 농산물 가상수 교역의 개념은 수자원과 식량안보를 동시에 고려한 교역 정책 수립시 수자원과 작물 수입량의 관

계를 보여주는 지표로서 활용될 수 있으므로 이에 대한 분석이 절실하다.

1.2.1 연구목적

- 연구의 목적은 물발자국 DB를 구축하고, 적용성 등을 분석하여 물발자국 제도의 도입의 기초자료로 제공하기 위한 것이다.
- 2차년도 세부목표는 첫째, 1차년도에 개발한 물발자국 DB 기초 자료를 고도화하고, 둘째, 기 개발된 DB를 활용해 농산물 가상수 교역분석과 제품단위의 물발자국 산정 등과 같은 적용성을 분석하여 물발자국 활용방안을 제시하는데 있다.

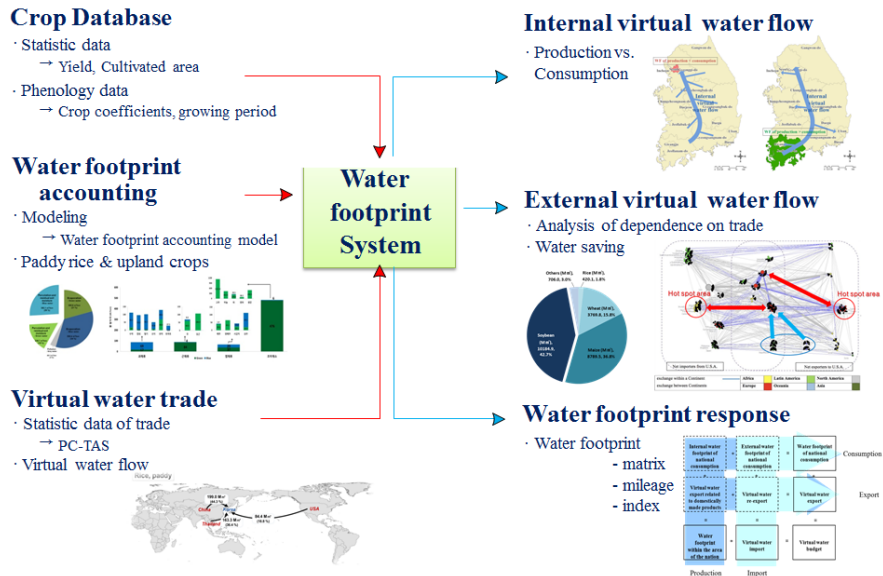


Fig. 1 Water footprint system

1.2 연구 내용

1.2.1 축산물의 물발자국 산정방안 정립

- 축산물의 물발자국 3요소
- 축산물의 물발자국 산정

1.2.2 농작물 교역과 물발자국에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석

- 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석
- 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석

1.2.3 국내 식량정책과 물발자국에 따른 농업용수 소비량 변화 분석

- 국내의 1인당 농작물 소비에 따른 물발자국 추정
- 식량자급률과 물발자국에 따른 농업용수 소비량 변화 분석

1.2.4 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정

- 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 방법
- 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 결과

1.2.5 물발자국의 정책적 활용 방안

- 물발자국의 활용과 산업
- 물발자국 인증 도입과 전망

1.3 연구방법

1.3.1 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 산정함.

1.3.2 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 산정함. 국가별 물발자국은 국외의 연구 결과를 활용하고 국가 간 농작물 교역량 자료는 PC-TAS의 자료를 활용함.
- 우리나라의 국외 가상수 의존도를 평가하기 위하여 작물별 가상수 교역량 및 소비량을 바탕으로 내·외부 물발자국을 산정함.

○ 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석

- 전세계 가상수 교역량은 앞서 조사한 기초자료를 바탕으로 수출국의 물발자국과 수출량을 기준으로 산정됨.
- 전세계 가상수 교역의 중심지 분석은 가상수 교역 네트워크를 활용하여 연결중심지를 분석하도록 한다. 이때 식량작물과 사료작물로 주로 교역되는 작물을 구분하여 연도별 연결중심지의 변화를 분석하도록 함.

1.3.3 국내 식량정책과 물발자국에 따른 농업용수 소비량 변화 분석

- 국내 농작물 소비에 따른 1인당 물발자국 추정
 - 식품수급표와 작물별 물발자국 결과를 적용하여 국내 농작물 소비에 따른 1인당 물발자국을 산정하고자 함.
- 식량자급률과 물발자국에 따른 농업용수 소비량 변화 분석
 - 식량자급률을 바탕으로 2015, 2020년의 생산 및 소비시나리오 자료와 작물별 물발자국을 적용하여 자급률 변화에 따른 농업용수의 추가적인 사용량을 산정하고자 함.

1.3.4 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정

- 물 사용량이 많은 공산품중 세탁기의 제조, 사용단계에서 물발자국을 산정함으로써 1차년도에 개발한 물발자국 데이터베이스의 적용성을 평가함.

1.3.5 물발자국의 정책적 활용 방안

- 물발자국의 정책적인 활용을 위하여 다국적 기업의 물발자국 활용 사례를 검토하고 물발자국 인증제도의 추세와 향후 적용 가능성 등을 제시하도록 함.

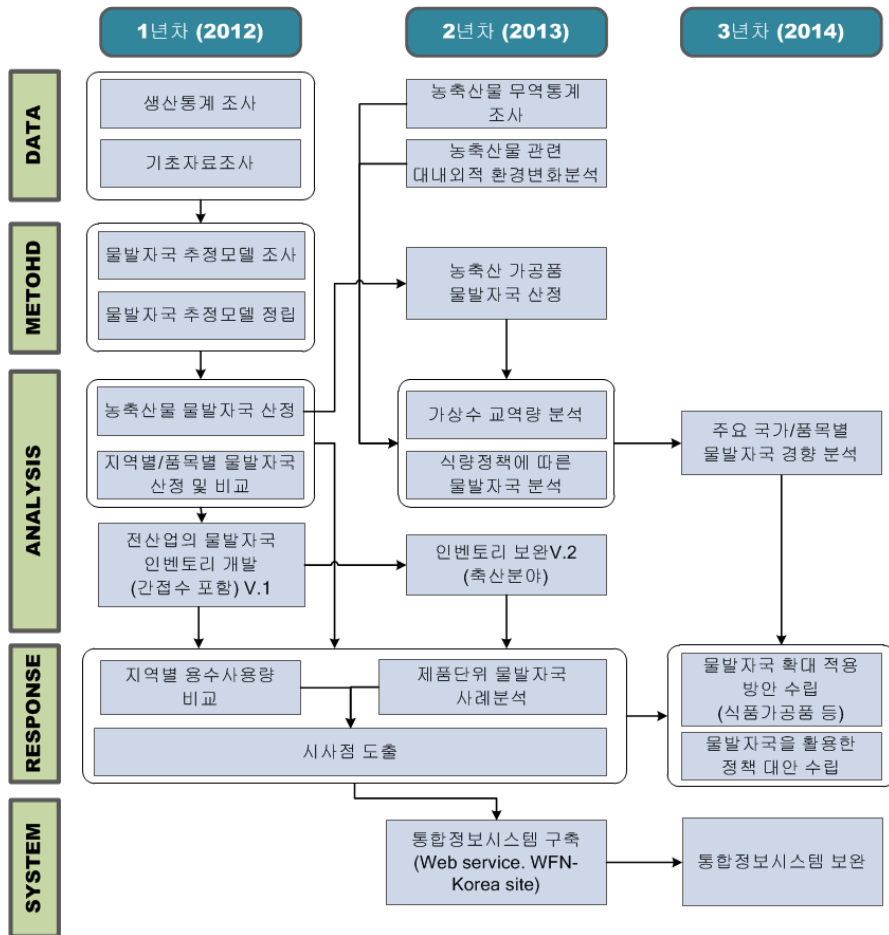


Fig. 2 Flowchart of research project

1.4 기대효과 및 실용화 방안

1.4.1 기대효과

- 기술적 측면
 - 국내 농업 정책 및 국제 교역 변화에 따른 농업용수 부분의 국내 수자원 의존도 등의 평가를 위한 지표
 - 국제 농축산물 거래시 수자원량을 기준으로 정량적인 거래량을 평가할 수 있는 기술 기반 구축
- 정책적 측면
 - 농축산물의 물발자국 산정을 통한 각 분야별 용수이용에 대한 효율적이고 지속가능한 국가 물관리 계획 및 정책 수립을 위한 지원 체계 구축 가능
 - 식량정책과 수자원 이용을 연계할 수 있는 정책 수립시 기초자료로 활용
 - 주요 교역국들의 수자원 부존량 변화와 가상수 수출입량 변화를 고려한 안정적인 농축산물 교역 대책 수립
 - 물발자국 인증제 및 마일리지 등을 통한 녹색기술의 적용을 위한 근거자료 마련

1.4.2 활용방안

- 우리나라의 현재 가상수 교역 수준을 평가하고, 전세계 가상수 교역과 비교하여 교역의 의존도 등을 보완할 수 있는 교역 정책 수립시 활용 가능함.
- 농축산물의 교역을 물의 개념으로 표준화함으로써 국제적인 가상수 교역의 중심지 및 주요 교역국의 수자원 공급의 안정성 등을 고려한 국제 교역 변화 예측 등에 활용될 수 있음.

- 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 사용자가 알 수 있도록 하여 물 사용 효율이 높은 제품을 사용할 수 있도록 하는 물질약 정책도구로서 사용할 수 있음
- 환경성적표지제도의 일환으로서 물발자국 인증제도 도입시 기초 자료로서 제품단위 물발자국 산정에 활용

2. 축산물의 물발자국 산정방안 정립

2.1 축산물의 물발자국 3요소

- 축산물의 물발자국은 3가지 종류로 구분된다. 이를 산정하기 위해서 먼저 직접수로서 가축이 마시는 음용수와 축사 청소 등에 쓰이는 세척수가 산정되고, 다음으로 간접수로서 사료작물에 대한 가상수를 산정한다. 즉, 축산물의 물발자국은 가축이 소비하는 사료에 대한 가상수를 포함한다. 이를 위하여 가축별 배합사료 및 조사료의 급여량과 배합사료의 작물비율을 사전에 조사하여 적용하였다.

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

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

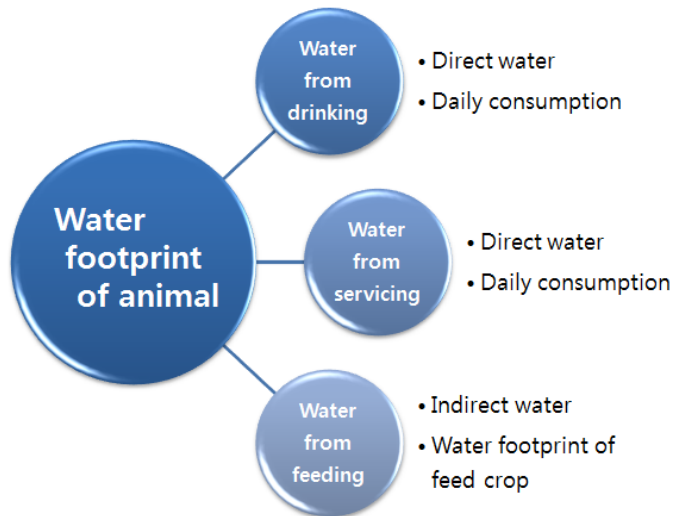


Fig. 3 Components of water footprint of animal

2.2 축산물의 물발자국 산정 방법

2.2.1 음용 및 세척수에 의한 물발자국 (직접수)

- 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, 수자원장기종합 계획 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.

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

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

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

2.2.2 사료 소비에 의한 물발자국 (간접수)

- 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 산정할 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 $q_{dmixing}$ 은 측정 자료의 부족으로 제외하였다.

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

2.3 축산물의 물발자국 산정 결과

2.3.1 기초자료 조사

- 본 연구에서는 한우(거세우), 돼지(비육돈), 닭(육계)의 물발자국을 산정하였다. 기초자료로서 사육 기간과 사료 급여에 대한 사양관리는 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 참조하였으

며, 모든 축종에 동일하게 적용하였다. 사료내 배합된 작물들과 조사료(건초)의 물발자국은 1차년도 연구 결과 및 국외의 연구결과를 활용하였다. 본 연구에서 적용된 기초 자료를 아래와 같다.

Table 1 Water from drinking and servicing

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

Table 2 Live weight of animal at slaughter and carcass

구 분	한우 (비육우) ¹		돼지 ²		닭 ³	
	생 체	지 육	생 체	지 육	생 체	지 육
중 량 (kg)	702	435.2	114	87.8	2.452	1.742

¹축산물품질평가원, 식육포장처리업체 5개소 조사결과('09~'10.3) 및 '12.7~8월 유통실태 조사 결과 감안

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

³닭도체 각 호수별 등급별 부위별 수율조사, 2005년도 현장연구보고서, 축산물품질평가원

Table 3 Breeding period and amount of feed

축종	자축	중축	성축	합계
한우 (거세우)				
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
돼지 (비육돈)				
주령	7 (0-6주령)	9 (7-15주령)	11 (16-26주령)	27
배합사료 급여량 (kg/일)	0.75	1.80	2.65	5.20
닭 (육계)				
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)

Table 4 Water footprint of feed crops

Feed crops	Mixing ratio (%)	Water footprint (m ³ /ton)
Maize	36.0	1039.7
Wheat	17.0	1060.2
Formula feed		
Rice straw	1.9	1060.6
Soybean meal	14.2	2796.0
Palm&Rapeseed residues	9.1	876.0 ¹
Others (Molasses etc.)	9.5	182.0 ¹
Forage (Dry hay)	-	494 ²

¹ Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010)

² Hoekstra A.Y. and Hung P. Q. (2002)

2.3.2 한우(거세우)의 물발자국 산정 결과

- 본 연구에서는 한우(거세우)의 물발자국을 산정하기 위하여 비육우를 대상으로 설정하였다. 먼저 사육 기간과 사료 급여에 대한 사양관리는 전라남도 녹색축산육성기금 조례 시행규칙의 별표(5)를 참조하였다. 또한 한우 1마리당 도축시 지육 무게는 축산물 품질평가원의 연구 결과를 활용하였고, 1마리당 일일 음용수와 세척수 사용량은 국내 연구자료가 부족하여 국외의 연구결과를 활용하였다.
- 먼저 축산물의 물발자국 중 직접수에 해당하는 일일 소비되는 음용수와 세척수는 각각 최대 38, 11 l/day/animal 이며 일일 소비수와 총 사육기간, 도체량을 적용하여 한우 지육 1톤 당 사용되는 음용수와 세척수를 산정한 결과 각각 70.6 m³/ton, 20.6 m³/ton 으로 나타났다.
- 간접수인 사료 소비에 따른 물발자국을 산정하기 위하여 사료 급여 사양기준을 적용하였다. 배합사료의 배합비율의 경우 축종별 배합비율 자료의 습득이 용이하지 않기 때문에 본 연구에서는 일반적인 배합사료에 대한 배합비율 조사 결과를 활용하였다. 또한 조사료의 경우 본 연구에서는 건초를 공급하는 것으로 가정하였다. 각 사료들의 성분 작물에 대한 가상수량은 1차년도 연구결과를 활용하였으며, 기타 두류작물 및 조사료의 건초 등은 국외의 연구결과를 활용하였다.
- 사료 소비에 의한 비육우 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 2283.2 m³/animal, 소맥류 1099.4 m³/animal, 대두박 2421.9 m³/animal으로 산정되었고, 지육량 440 kg을 적용한 비육우의 지육에 대한 사료소비에 의한 간접수 사용량은 약 17645.5 m³/ton으로 산정되었다.

- 음용수와 세척수, 사료 소비에 의한 간접수를 총 합산한 비육우의 국내 물발자국 산정결과 약 17736.7 m³/ton 으로 나타났고 우리나라의 축산 가상수에 대한 국외 연구결과인 10586.0 m³/ton과 비교할 때 약 7150.7 m³/ton의 차이가 발생하였고 이는 배합사료의 비율 등의 사료 소비량의 차이에 의한 것으로 판단된다.

Table 5 Total water from drinking and servicing of beef cattle

Kind of animal: Beef cattle (Farming system: Industrial)	Water from drinking		Water from servicing	
	Clave	Adult	Clave	Adult
Age (month)	4	30	4	30
Daily consumption (l/day/bird)	5	38	2	11
Live weight of animal at slaughter (ton)	0.44			
Total water required (m ³ /ton)	1.4	69.2	0.6	20.0
	70.6		20.6	

Table 6 Total water from feeding of beef cattle

Feed crop	Feed quantity (ton/animal)	WF of crop (m ³ /ton)	Water from feeding	
			(m ³ /animal)	(m ³ /ton)
Maize	2.20	1039.7	2283.2	5246.3
Wheat	1.04	1060.2	1099.4	2526.3
Rice straw	0.12	1060.6	122.9	282.5
Soybean meal	0.87	2796	2421.9	5565.0
Palm&Rapeseed residues	0.56	876	486.3	1117.3
Others (Molasses etc.)	0.58	182	105.5	242.3
Forage (Dry hay)	2.35	494	1160.2	2665.8
Total water required (m ³ /ton)				17645.5

Table 7 Water footprint of beef cattle

Animal	Water from			Water footprint	
	drinking	servicing	feeding	This study	Reference
Beef cattle	70.6	20.6	17645.5	17736.7	10586.0 ¹

¹ Hoekstra A.Y. and Hung P. Q. (2002)

2.3.3 돼지(비육돈)의 물발자국 산정 결과

- 본 연구에서는 돼지(비육돈)의 물발자국을 산정하기 위하여 비육돈을 대상으로 설정하였다. 먼저 사육기간은 6.2개월로 설정하였고, 사료 급여에 대한 사양관리는 농촌진흥청의 비육돈 사양관리 자료를 참조하였다. 또한 비육돈 1마리당 도축시 지육 무게는 축산물품질평가원의 연구 결과를 활용하였고, 1마리당 일일 음용수와 세척수 사용량은 국내 연구자료의 부족으로 국외의 연구결과를 활용하였다.
- 먼저 축산물의 물발자국 중 직접수에 해당하는 일일 소비되는 음용수와 세척수는 각각 최대 14, 50 l/day/animal 이며 일일 소비수와 총 사육기간, 도체량을 적용하여 비육돈 지육 1톤 당 사용되는 음용수와 세척수를 산정한 결과 각각 28.4 m³/ton, 101.3 m³/ton 으로 나타났다.
- 간접수인 사료 소비에 따른 물발자국을 산정하기 위하여 사료 급여 사양기준을 적용하였다. 배합사료의 배합비율의 경우 축종별 배합비율 자료의 습득이 용이하지 않기 때문에 본 연구에서는 일반적인 배합사료에 대한 배합비율 조사 결과를 활용하였다. 각 사료들의 성분 작물에 대한 가상수량은 1차년도 연구결과를 활용하였으며, 기타 두류작물 등은 국외의 연구결과를 활용하였다.
- 사료 소비에 의한 비육돈 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 132.6 m³/animal, 소맥류 63.8 m³/animal, 대두박 140.6 m³/animal으로 산정되었고, 지육량 87.8 kg을 적용한 비육돈의 지육에 대한 사료소비에 의한 간접수 사용량은 약 4311.4 m³/ton으로 산정되었다.
- 음용수와 세척수, 사료 소비에 의한 간접수를 총 합산한 비육돈의

국내 물발자국 산정결과 약 4441.4 m³/ton 으로 나타났고 우리나라의 축산 가상수에 대한 국외 연구결과인 2802.0 m³/ton과 비교할 때 약 1639.1 m³/ton의 차이가 발생하였고 이는 배합사료의 비율 등의 사료 소비량의 차이에 의한 것으로 판단된다.

Table 8 Total water from drinking and servicing of swine

Kind of animal: Swine (Farming system: Industrial)	Water from drinking		Water from servicing	
	Piglet	Adult	Piglet	Adult
Age (month)	0.4	6.2	0.4	6.2
Daily consumption (l/day/bird)	1.8	14.0	5.0	50.0
Live weight of animal at slaughter (ton)	0.088			
Total water required (m ³ /ton)	0.3	28.2	0.7	100.6
	28.4		101.3	

Table 9 Total water from feeding of swine

Feed crop	Feed quantity (kg/animal)	WF of crop (m ³ /ton)	Water from feeding	
			(m ³ /animal)	(m ³ /ton)
Maize	0.13	1039.7	132.6	1510.0
Wheat	0.06	1060.2	63.8	727.1
Rice straw	0.01	1060.6	7.1	81.3
Soybean meal	0.05	2796	140.6	1601.7
Palm&Rapeseed residues	0.03	876	28.2	321.6
Others (Molasses etc.)	0.03	182	6.1	69.8
Total water required (m ³ /ton)				4311.4

Table 10 Water footprint of swine

Animal	Unit: m ³ /ton				
	Water from			Water footprint	
	drinking	servicing	feeding	This study	Reference
Swine	28.4	101.3	4311.4	4441.1	2802.0 ¹

¹ Hoekstra A.Y. and Hung P. Q. (2002)

2.3.4 닭(육계)의 물발자국 산정 결과

- 본 연구에서는 닭(육계)의 물발자국을 산정하였다. 먼저 사육기간은 1.6개월로 설정하였고, 사료 급여에 대한 사양관리는 농촌진흥청의 가금 사양관리 자료를 참조하였다. 또한 닭 1마리당 도축시 지육 무게는 축산물 품질평가원의 연구 결과를 활용하였고, 1마리당 일일 음용수와 세척수 사용량은 국내 연구자료의 부족으로 국외의 연구결과를 활용하였다.
- 먼저 축산물의 물발자국 중 직접수에 해당하는 닭 1마리당 일일 소비되는 음용수와 세척수는 각각 최대 0.18, 0.09 l/day/bird 이며 일일 소비수와 총 사육기간, 도체량을 적용하여 지육 1톤 당 사용되는 음용수와 세척수를 산정한 결과 각각 5.1 m³/ton, 2.5 m³/ton 으로 나타났다.
- 간접수인 사료 소비에 따른 물발자국을 산정하기 위하여 사료 급여 사양기준을 적용하였다. 배합사료의 배합비율의 경우 축종별 배합비율 자료의 습득이 용이하지 않기 때문에 본 연구에서는 일반적인 배합사료에 대한 배합비율 조사 결과를 활용하였다. 각 사료들의 성분 작물에 대한 가상수량은 1차년도 연구결과를 활용하였으며, 기타 두류작물 등은 국외의 연구결과를 활용하였다.
- 사료 소비에 의한 준육용계 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 1.6 m³/bird, 소맥류 0.7 m³/bird, 대두박 1.6 m³/bird으로 산정되었고, 지육량 1.74 kg을 적용한 준육용계의 지육에 대한 사료 소비에 의한 간접수 사용량은 약 2541.1 m³/ton으로 산정되었다.
- 음용수와 세척수, 사료 소비에 의한 간접수를 총 합산한 준육용계 지육의 국내 물발자국 산정결과 약 2548.7 m³/ton 으로 나타

났고 우리나라의 축산 가상수에 대한 국외 연구결과인 1849.0 m³/ton과 비교할 때 약 699.7 m³/ton의 차이가 발생하였고 이는 배합사료의 비율 등의 사료 소비량의 차이에 의한 것으로 판단된다.

Table 11 Total water from drinking and servicing of broiler chicken

Kind of animal: Broiler chicken (Farming system: Industrial)	Water from drinking		Water from servicing	
	Chick	Adult	Chick	Adult
Age (week)	0.0	1.6	0.0	1.6
Daily consumption (l/day/bird)	0.0	0.2	0.0	0.1
Live weight of animal at slaughter (ton)	0.002			
Total water required (m ³ /ton)	0.0	5.1	0.0	2.5
	5.1		2.5	

Table 12 Total water from feeding of broiler chicken

Feed crop	Feed quantity (kg/bird)	WF of crop (m ³ /ton)	Water from feeding	
			(m ³ /bird)	(m ³ /ton)
Maize	1.49	1039.7	1.6	890.0
Wheat	0.70	1060.2	0.7	428.5
Rice straw	0.08	1060.6	0.1	47.9
Soybean meal	0.59	2796	1.6	944.0
Palm&Rapeseed residues	0.38	876	0.3	189.5
Others (Molasses etc.)	0.39	182	0.1	41.1
Total water required (m ³ /ton)				2541.1

Table 13 Water footprint of broiler chicken

Animal	Water from			Water footprint	
	drinking	servicing	feeding	This study	Reference
Broiler chicken	5.1	2.5	2541.1	2548.7	1849.0 ¹

¹ Hoekstra A.Y. and Hung P. Q. (2002)

3. 농작물 교역에 따른 가상수 교역량 산정 및 분석

- 국가간의 가상수 흐름은 향후 수자원의 중요도가 높아질수록 농작물 교역의 중요한 제한요소로 적용될 수 있기 때문에 작물별 물발자국을 산정하고 및 주요 교역국과의 가상수 흐름량과 국외 가상수 의존도를 평가할 필요가 있다. 또한 가상수 교역을 통한 국내 수자원 대체효과를 분석하여 가상수 교역의 중요도를 평가할 필요가 있다.
- 이에 본 연구에서는 우리나라와 전세계의 논벼 및 주요 작물에 대한 물발자국을 농작물 교역에 적용하여 우리나라와 주요 교역국과의 가상수 교역량을 산정하고자 하였다. 산정된 교역량을 바탕으로 작물별 내·외부 물발자국을 산정하고 가상수 교역의 국외 의존도를 평가하고자 하였다. 또한 가상수 교역의 긍정적인 효과 중 국내 수자원 대체효과를 분석하기 위하여 주요 교역국과의 순수입량이 국내 생산으로 대체될 경우를 가정하여 가상수 수입에 따른 절약되는 국내 수자원량을 산정하였다.
- 또한 전세계 농작물 가상수 교역량을 산정하여 시기별 가상수 교역의 네트워크 연결 중심지의 변화를 분석하였다.

3.1 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석

3.1.1 우리나라의 농작물 가상수 교역량 산정

- 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.

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

$VWFT[n_e, n_i, c]$: 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

- 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.
- 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 Gm³의 녹색 가상수와 1.4 Gm³의 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 Gm³, 청색 가상수 약 0.9 Gm³의 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 Mm³의 녹색 가상수와 7.4 Mm³의 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 천ton 이었고, 총 수입 가상수는 녹색 가상수 254.9 Mm³, 청색 가상수 7.7 Mm³으로 산정되었다.
- 다음으로 우리나라 농작물 교역의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 옥수수과 대두, 대두박 등의 두류작물의 수출입량과 가상수 흐름량을 산정하였다. 사료용 목적으로 주로 수입되고 있는 옥수수의 경우 5년동안 총 45 Mton이 수입되었는데 밀의 약 2.8 배에 해당한다. 이중 약 70 % 이상이 미국에서 수입되고 있다. 미국의 약 18.3 Gm³의 녹색 가상수와 2.2 Gm³의 청색 가상수가 우리나라로 수입되었고, 농작물 중 가장 큰 수입량이다. 미국 외에 중국으로부터 약 5 Mton을 수입하고 있으며 이에 따라 약 4.5 Gm³의 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 Gm³의 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 Gm³의 녹색 가상수와 4.7 Mm³의 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 Mm³의 녹색 가상수와 7.3 Mm³의 청색 가상수가 수입되는 것으로 나타났다. 채소류의 경우 약 982 천ton의 작물이 수입되고 이를 가상수량으로 전환할 경우 약 195 Mm³의 가상수가 수입되는 것으로 나타났다. 이 중에서 약 87 % 이상을 중국으로부터 수입하고 있는 것으로 나타났고, 가상수량으로 산정할 경우 녹색 가상수 168.1 Mm³, 청색 가상수 5.1 Mm³가 수입되는 것으로 분석되었다. 과수류 역시 중국으로부터 대부분을 수입하고 있으며 전 세계로부터 총 181 천ton의 과수류가 수입되고, 이에 따라 녹색 가상수 37.1 Mm³, 청색 가상수 14.1 Mm³의 가상수가 수입되는 것으로 나타났다.
- 우리나라에서의 농작물 수출의 경우 수입량과 비교하여 양은 상당히 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 Gm³의 가상수가 수출되는 것으로 나타났고, 말레이시아와의 두류작물 교역으로 0.14 Gm³의 가상수가 수출되는 것으로 나타났다.

Table 14 Study crops and HS-code (I)

Crops	HS-code	Crop description	
Grain crops	Wheat	100190	Wheat nes and meslin
		100110	Durum wheat
	Rice	100610	Rice in the husk (paddy or rough)
		100620	Rice, husked (brown)
		100630	Rice, semi-milled or wholly milled
		100640	Rice, broken
	Barley	100300	Barley
	Others	100200	Rye
		100700	Grain sorghum
		100810	Buck wheat
		100890	Cereals unmilled nes
	Root and tuber crops	070190	Potatoes, fresh or chilled nes
071420		Sweet potatoes, fresh or dried, whether or not sliced or pelleted	
Maize	100590	Maize(corn) nes	
	100510	Maize(corn) seed	
Pulse crops	071332	Beans, small red(Adzuki)	
	071390	Leguminous vegetables	
	120100	Soya-beans	
	230400	Soya-bean oil-cake&oth solid residues	

Table 15 Study crops and HS-code (II)

Crops	HS-code	Crop description
	070490	Cabbages
	070511	Cabbage lettuce(headlettuce)
	070970	Spinach, N-Z spinach & orache spinach
	070200	Tomatoes
	070700	Cucumbers and gherkins
	070960	Peppers of the genus Capsicum
	070310	Onions and shallots
Vegetables	071220	Onions dried but not further prepared
	070320	Garlic
	070610	Carrots and turnips
	081010	Strawberries
	080711	Watermelons
	080719	Melons
	091010	Ginger
	070990	Others (pumpkin)
	080520	Mandarins
	080810	Apples
Fruits	080820	Pears and quinces
	080930	Peaches including nectarines
	080940	Plums and sloes ,fresh
	080610	Grapes

Table 16 Trade of crops and VW in Korea from 2006 to 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	
Vegetables	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	

Table 17 Imports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010

Crops	Import from	Import (1000 ton)	Virtual water import (Mm^3)			
			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
Grain Crops	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	213.0	
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	

Table 18 Imports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010

Crops	Import from	Import (1000 ton)	Virtual water import (Mm ³)		
			Green	Blue	Total
Root and	USA	48	2.5	4.2	6.8
Tuber crops	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

Table 19 Imports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010

Crops	Import from	Import (1000 ton)	Virtual water import (Mm ³)		
			Green	Blue	Total
Vegetables	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
	Total	982	200.0	7.7	195
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
	Total	181	37.1	14.1	51

Table 20 Exports of crops and VW in Korea from 2006 to 2010

Crops	Export to	Export (1000 ton)	Virtual water import (Mm ³)		
			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
	Total	6	2.7	3.8	6
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
	Total	213	596.1	-	596
Vegetables	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
	Total	160	99.8	1.8	102
Fruits	Taiwan	75	32.6	-	32.6
	USA	50	21.0	-	21.0
	Malaysia	19	27.1	-	27.1
	Total	175	102.7	-	102

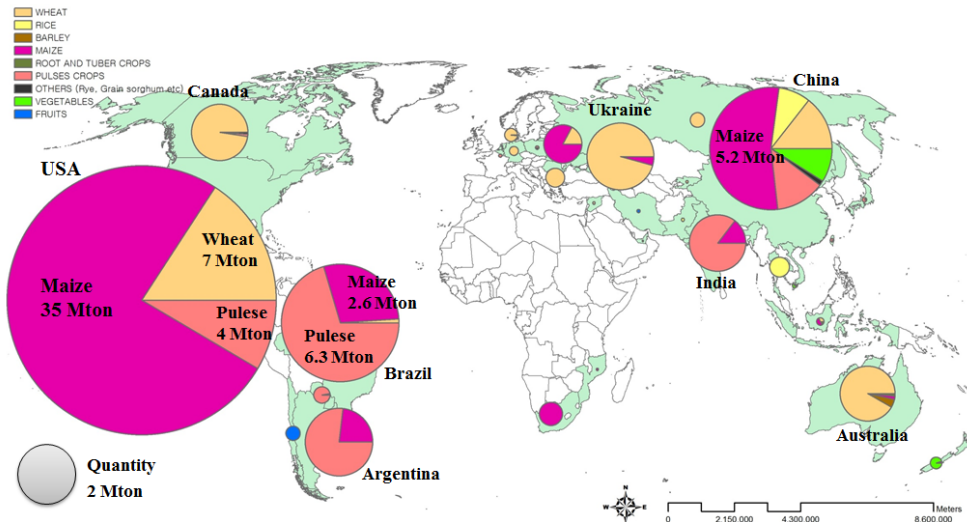


Fig. 4 Import of crops in Korea from 2006 to 2010

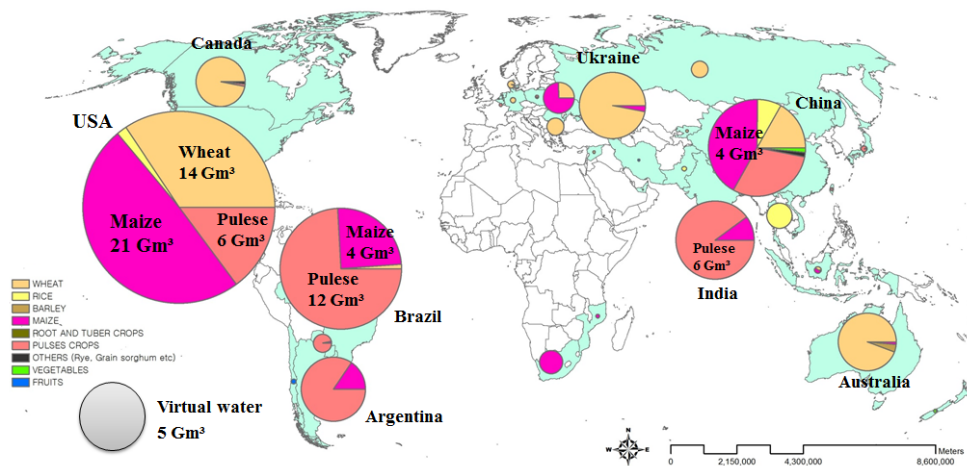


Fig. 5 Import of VW in Korea from 2006 to 2010

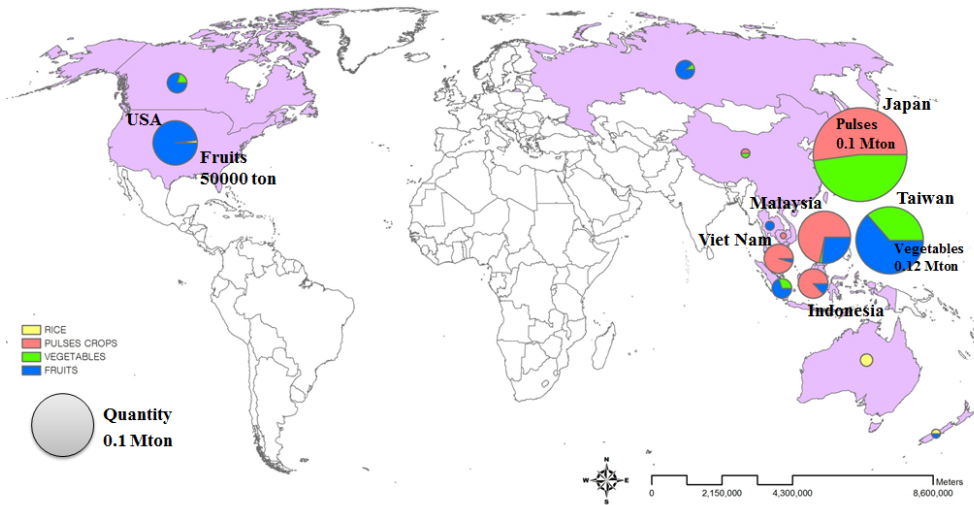


Fig. 6 Export of crops in Korea from 2006 to 2010

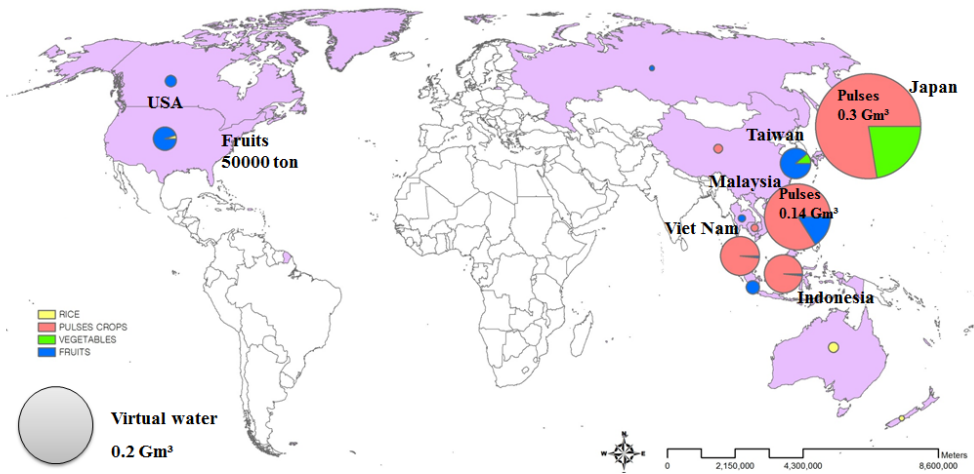


Fig. 7 Export of VW in Korea from 2006 to 2010

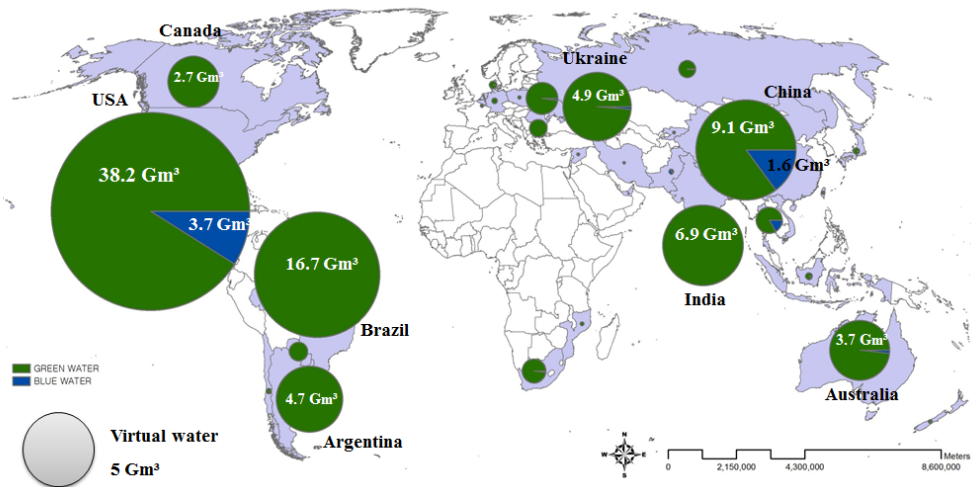


Fig. 8 Import of GW and BW in Korea from 2006 to 2010

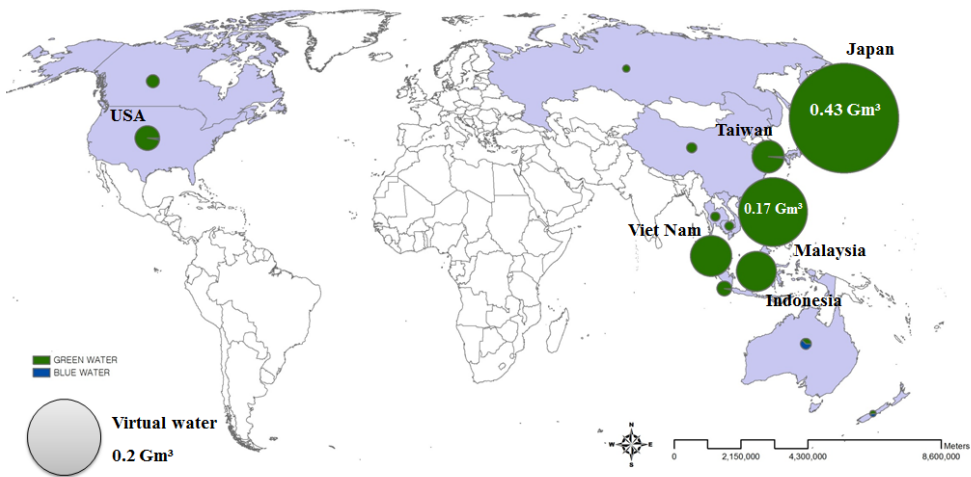


Fig. 9 Export of GW and BW in Korea from 2006 to 2010

3.1.2 내·외부 물발자국을 통한 국외 가상수 의존도 분석

1) 내·외부 물발자국

- 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 자국민에 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.

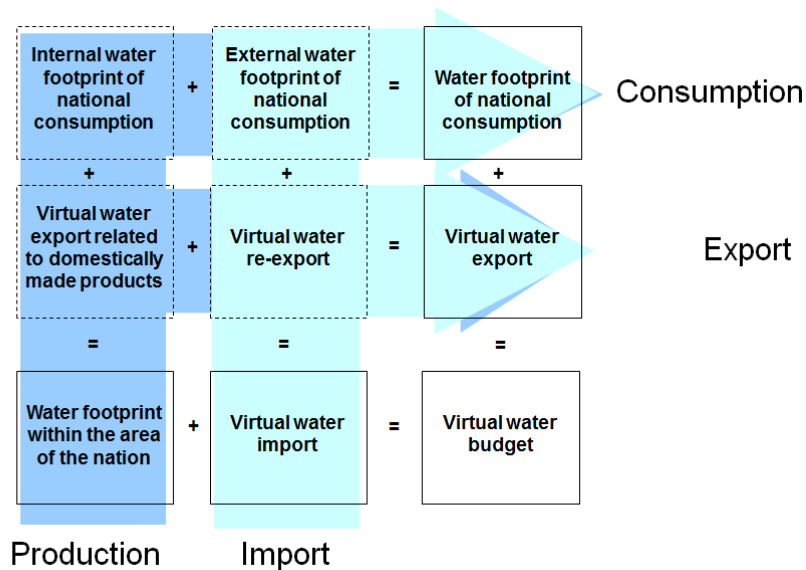


Fig. 10 Calculation scheme for assessing the WF of national consumption (Hoekstra et al., 2011)

2) 국외 가상수 의존도 분석

- 식량작물 중 밀의 경우 내부 물발자국이 86 Mm³이지만 외부 물발자국은 28,436 Mm³으로 국외 가상수 의존도가 상당히 높은 것으로 나타났다. 국내에서 소비되는 밀의 대부분이 국외 수입에 의존하고 있으며 이에 따라 가상수 역시 국외 의존적이기 때문에 수출국의 가뭄 등에 따른 수자원량 변화에 대하여 민감하게 대응할 필요가 있다. 수자원은 작물의 생산을 위해 절대적으로 필요한 자원으로서 필요한 물발자국을 충족할 만큼의 수자원이 충족되지 않을 경우 생산량과 수출량 저하로 연결되고 이는 곧 우리나라의 밀 수급에 큰 문제를 발생시킬 수 있기 때문이다. 또한 전 세계적으로 수자원의 가치가 높아지고, 수출국에서 밀 생산을 위해 소모되는 청색 가상수에 대한 가치를 고려하게 될 경우 밀 가격 상승 등이 발생하여 현재의 수입구조가 취약해질 수 있다. 그러나 논벼(쌀)의 경우 국내 소비량의 대부분을 국

내 수자원을 활용하여 생산되기 때문에 가상수에 대한 자급률이 높게 나타났다. 논벼(쌀)의 내부 물발자국은 25,028 Mm³이지만 외부 물발자국은 2,336 Mm³으로 산정되었고, 이와 같은 결과는 국외의 수자원 변화에도 안정적인 논벼(쌀) 수급이 가능함을 의미한다.

- 주 사료용 작물인 옥수수과 두류의 경우 대부분 국외 가상수 의존적이다. 특히 옥수수의 경우 외부 물발자국은 총 물발자국의 98% 이상을 차지하고 있다. 비록 식량작물이 아닌 사료용 작물이지만 우리나라 축산분야의 중요한 요소이므로 국외 의존도에 대한 위험성을 인지하고 주 수입국의 수자원 변화에도 민감하게 반응할 수 있는 농작물 교역구조를 구축할 필요가 있다.
- 서류 작물의 역시 논벼(쌀)과 동일하게 내부 물발자국이 크게 나타났으며 이는 국내 수자원에 의존적인 것으로 파악되었다. 채소류와 과수류는 대부분 내부 물발자국에 의해 국내 소비가 이루어지고 있으며 특히 채소류의 경우 시설재배지에서 재배되는 작물에 의해서 청색 내부 물발자국이 약 666 Mm³으로 산정되었다.
- 대상작물들의 총 내부 물발자국은 40 Gm³이고 외부 물발자국은 96 Gm³으로 산정되었고, 국내에서 소비되는 대상 농작물에 대한 국외 가상수 의존도가 70 %를 초과하는 것으로 나타났다. 또한 녹색 물발자국에 대한 국외 의존도가 약 80 %에 도달하였다.
- 본 연구에서는 가상수 수출입의 양적인 측면에 의한 의존도를 살펴보았다. 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.

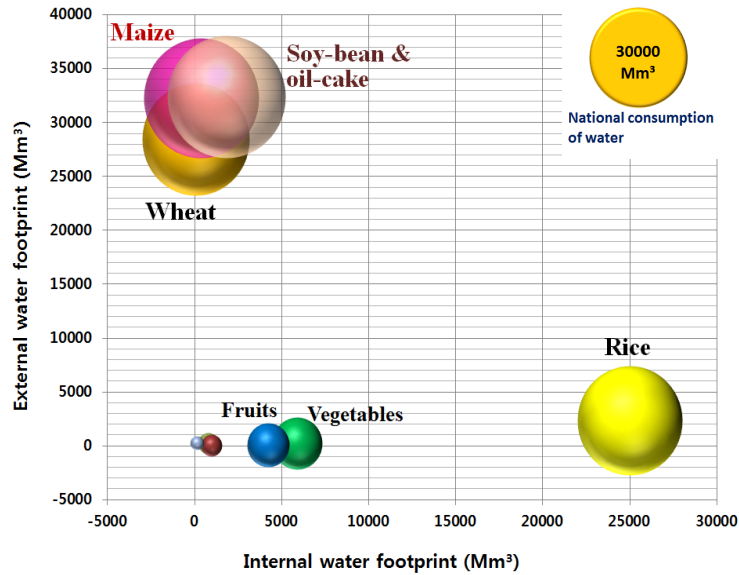


Fig. 11 Internal and external water footprint in Korea from 2006 to 2010

Table 21 Internal and external water footprint in Korea from 2006 to 2010

Crops	Internal water footprint (Mm³)			External water footprint (Mm³)			
	Green	Blue	Total	Green	Blue	Total	
Grain crops	Wheat	86	0	86	27004	1433	28436
	Rice	9495	15533	25028	1444	892	2336
	Barley	807	0	807	203	10	213
	Others	150	0	150	255	8	263
Root & tuber crops	1008	0	1008	8	7	16	
Maize	408	0	408	29564	2710	32274	
Pulse crops	1840	0	1840	31729	675	32403	
Vegetables	5254	666	5921	187	8	195	
Fruits	4264	0	4264	37	14	51	
Total	23314	16199	39513	90430	5756	96186	

3.1.3 가상수 교역에 따른 국내 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.

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

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 Gm³의 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)이 주 식량작물을 보완 및 대체할 수 있기 때문이다. 가상수 교역에 따른 국내 수자원 절약량 산정결과 2006년부터 2010년 동안 총 112 Gm³로 나타났고, 이 중에서 밀의 교역에 의해 약 17 Gm³, 옥수수 및 두류작물에 의해 94 Gm³의 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 기초자료로 활용될 수 있다.

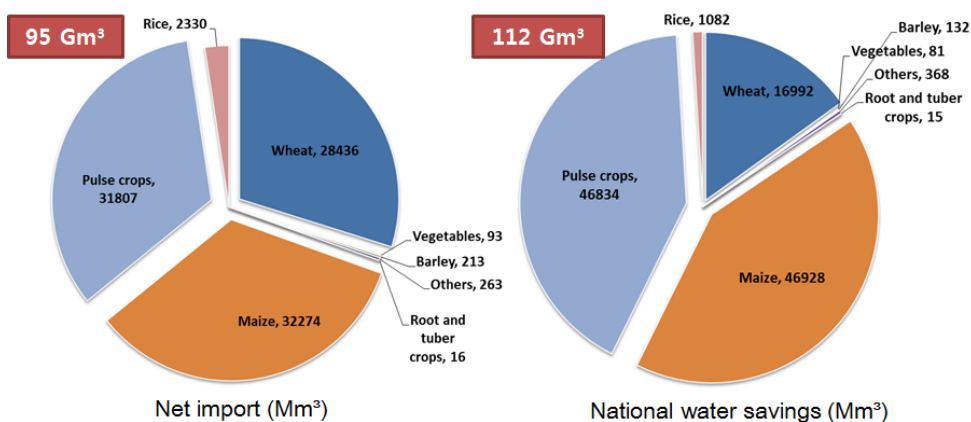


Fig. 12 Water savings of virtual water trade in Korea

Table 22 Net imports and national water savings of virtual water trade in Korea

Crops	Net import (1000 ton / Mm ³)				National water savings (Mm ³)			
	Quantity	Green water	Blue water	Total water	Green water	Blue water	Total water	
Wheat	16027	27004	1433	28436	16992	0	16992	
Grain crops	Rice	1491	1441	889	2330	547	534	1082
	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	45136	29564	2710	32274	46928	0	46928	
Pulse crops	15503	31133	675	31807	46834	0	46834	
Vegetables	820	87	6	93	81	0	81	
Fruits	3	-70	14	-56	-26	0	-26	
Total	79403	89625	5750	95376	11187	534	11240	
					2		6	

3.2 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정 및 분석

3.2.1 전세계의 농작물 가상수 교역량 산정

- PC-TAS의 2006년부터 2010년 동안의 대상작물의 전세계 수출입 데이터와 앞서 산정된 국내의 작물별 물발자국과 Hoekstra et. al. (2011)의 국외 물발자국 자료를 활용하여 대상작물의 전세계 가상수 흐름량을 산정하였다.
- 국외 가상수 흐름량 산정 결과로부터 농작물 수출량과 가상수 수출량을 국가별로 비교하여 수출량 당 물발자국의 상대적인 크기를 비교하였다. 미국, 아르헨티나, 브라질 등은 타 국가들과 비교하여 대상작물들의 수출량이 많고, 물발자국의 크기가 큰 작물의 수출이 주를 이루는 것으로 나타났다. 중·소규모의 대상작물 수출국 중에서 캐나다, 러시아, 인도, 태국 등은 상대적으로 물발자국의 크기가 큰 작물이 수출되는 것으로 나타났다. 이에 반하여 프랑스, 독일의 경우 타 국가와 비교하여 물발자국이 비교적 작은 농작물을 수출하는 것으로 나타났다.

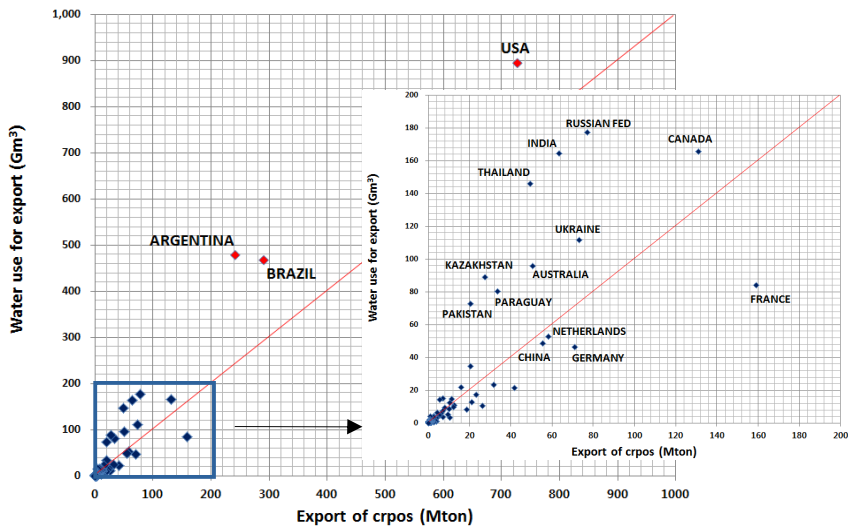


Fig. 13 Comparison between crop export and water use for export

- 대상작물들의 교역에 의한 전세계 가상수 흐름량을 살펴보면 식량작물로 주로 활용되는 곡물의 가상수 흐름은 주로 미국 및 태국, 인도, 프랑스 등의 국가에서 수출되어 중동 국가 및 북유럽 국가로 수입되는 것으로 분석되었다.
- 밀의 경우 2006년부터 2010년까지 총 674.9 Mton이 거래되었으며 이에 따라 1,023.8 Gm³의 녹색 가상수와 34.0 Gm³의 청색 가상수의 흐름이 발생한 것으로 산정되었다. 주로 미국과 캐나다에서 대량의 밀이 수출되었고, 이집트와 이탈리아, 브라질에서 대량의 밀을 수입하는 것으로 나타났다.
- 논벼(쌀)의 경우 태국에서 주로 수출되고 있으며 약 141.2 Gm³의 가상수가 국외로 수출되는 것으로 나타났다. 논벼(쌀)의 경우 관개시설에 의해 인위적으로 공급되는 수량인 청색 가상수의 흐름이 타 작물에 비하여 상당히 많은 것으로 나타났다. 전세계적으로 5년 동안 약 136.7 Gm³의 청색 가상수가 이동되는 것으로 나타났으며 이에 따라 관개시설에 의한 용수 공급이 가상수 흐름 구조를 변화시킬 수 있는 중요한 요소임을 확인할 수 있다.
- 보리의 경우 프랑스와 우크라이나에서 주로 수출되며 이에 따라 각각 13.3 Gm³, 32.3 Gm³의 가상수가 수출되는 것으로 나타났다. 유럽국가에서 수출된 보리의 가상수의 상당량이 사우디아라비아로 수입되는 것으로 나타났다.
- 옥수수의 경우 미국의 가상수 수출량은 약 166.7 Gm³으로서 밀과 함께 가장 많은 가상수를 수출하고 있는 것으로 나타났다. 그 외에 아르헨티나, 브라질 등 남아메리카 국가에서 주로 옥수수 교역에 의해 자국의 가상수를 타 국가로 수출하며 이와 같은 사료용 작물에 의한 가상수는 주로 일본과 한국으로 수입되고 있다. 특히 우리나라의 경우 옥수수 수입이 세계에서 두 번째로 많은 국가로서 전 세계 옥수수 교역에 의한 가상수 수입량의 약 7 %에 해당하는 32.3 Gm³의 가상수가 수입되는 것으로 나타났

다. 전 세계 두류작물의 총 가상수 수입량의 약 29 % 인 392.3 Gm³의 가상수가 중국으로 수입되는 것으로 나타났다. 특히 두류작물은 전 세계 작물 수입량이 712.6 Mton 이지만 물발자국이 크기 때문에 가상수 수입량은 1,360.4 Gm³로 타 작물들 보다 상당히 많은 양이 수출입 되는 것으로 나타났다.

- 서류작물의 경우 교역량이 44.8Mton으로 타 작물과 비교하여 크지 않았으며 주로 프랑스, 독일 등 유럽국가에서 생산되어 네덜란드, 스페인 등의 유럽국가로 수출되는 것으로 나타났다. 이에 따라 가상수 흐름은 타 작물들과 달리 유럽권역에서 주로 흐름이 발생하는 것을 나타났다. 채소류의 가상수 흐름량은 약 28.6 Gm³ 이었고, 과수류의 경우 약 58.0 Gm³으로 나타났으나 과수류의 경우 약 14.7 Gm³의 청색 가상수의 흐름이 발생하는 것으로 나타났다.
- 대상작물 교역에 의한 전세계 녹색과 청색 가상수의 흐름량을 살펴보면 5년 동안 미국에서 약 816.2 Gm³의 녹색 가상수와 78.3 Gm³ 청색 가상수가 타 국가로 흘러가는 것으로 나타났고, 477.2 Gm³과 462.7 Gm³의 녹색 가상수가 각각 브라질과 아르헨티나로부터 수출되는 것으로 나타났다.
- 아시아권내에서는 인도와 태국의 녹색 가상수 및 청색 가상수의 수출이 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 수출된 가상수는 농작물의 교역에 따라 중국으로 약 404.7 Gm³의 녹색 가상수가 수입되고 172.8 Gm³ 녹색 가상수와 13.6 Gm³의 청색 가상수가 일본으로 수입되는 것으로 나타났다. 우리나라 역시 세계 6번째의 가상수 수입국으로 나타났다.
- 유럽권내에서는 네덜란드가 131.4 Gm³의 녹색 가상수를 수입하고 스페인에서는 117.2 Gm³의 녹색 가상수를 농작물 교역을 통하여 가상적으로 수입하고 있는 것으로 나타났다.

Table 23 Trade of crops and VW in World

(M: 10⁶, G: 10⁹)

Crops	Amount of trade (Mton / Gm ³)				
	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	
Vegetables	156.7	21.1	6.9	28.0	
Fruits	105.3	43.2	14.7	58.0	
Total	2536.1	3274.5	260.8	3535.2	

Table 24 Exports of crops and VW in the World (1)

Crops	Exporters	Export (Mton)	Virtual water export (Gm ³)			
			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
	Total		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	
Total		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	
Total		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	
Total		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	
Total		44.8	4.5	1.8	6.2	

Table 25 Exports of crops and VW in the World (2)

Crops	Exporters	Export (Mton)	Virtual water export (Gm ³)		
			Green	Blue	Total
Maize	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
Total		531.2	423.0	28.5	451.5
Pulse crops	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
Total		712.6	1329.6	30.8	1360.4

Table 26 Exports of crops and VW in the World (3)

Crops	Exporters	Export (Mton)	Virtual water export (Gm ³)		
			Green	Blue	Total
Vegetables	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
Total		156.7	21.1	6.9	28.0
Fruits	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
Total		105.3	43.2	14.7	58.0

Table 27 Imports of crops and VW in the World (1)

Crops	Importers	Import (Mton)	Virtual water import (Gm ³)			
			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
	Total	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
	Total	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
	Total	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
	Total	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
	Total	44.8	4.5	1.8	6.2	

Table 28 Imports of crops and VW in the World (2)

Crops	Importers	Import (Mton)	Virtual water import (Gm ³)		
			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

Table 29 Imports of crops and VW in the World (3)

Crops	Importers	Import (Mton)	Virtual water import (Gm ³)		
			Green	Blue	Total
Vegetables	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
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

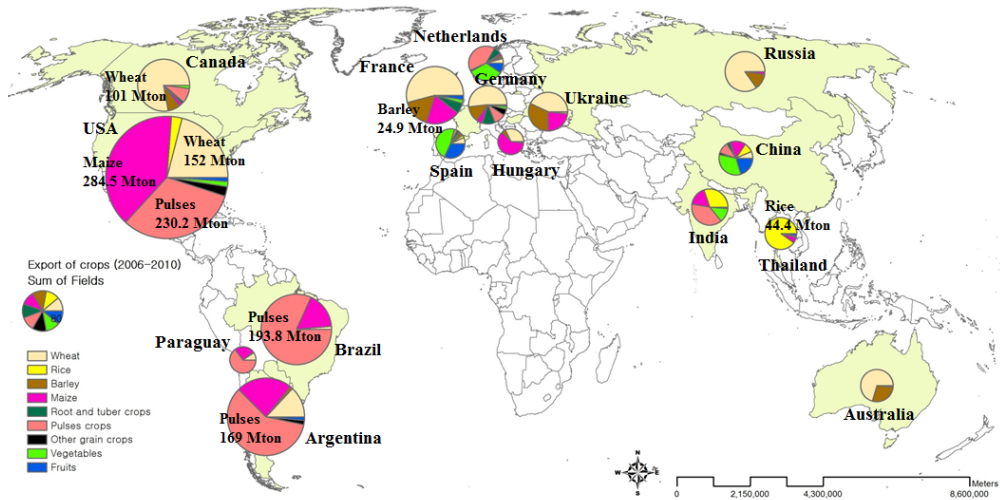


Fig. 14 Exports of crops in the World from 2006 to 2010

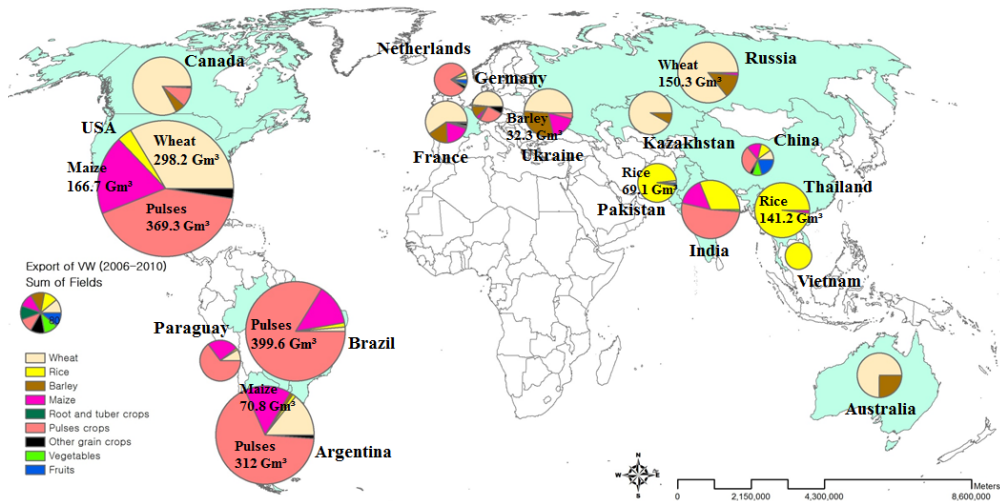


Fig. 15 Exports of VW in the World from 2006 to 2010

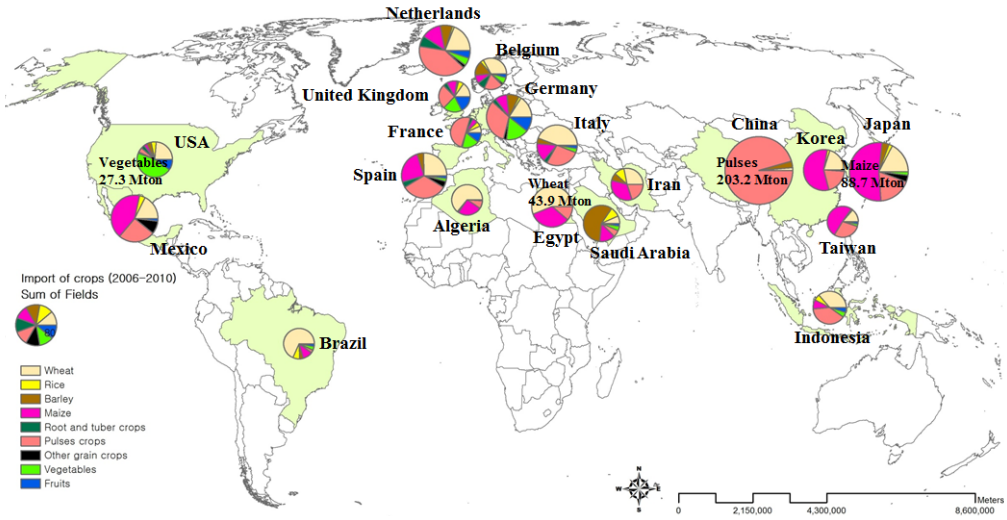


Fig. 16 Imports of crops in the World from 2006 to 2010

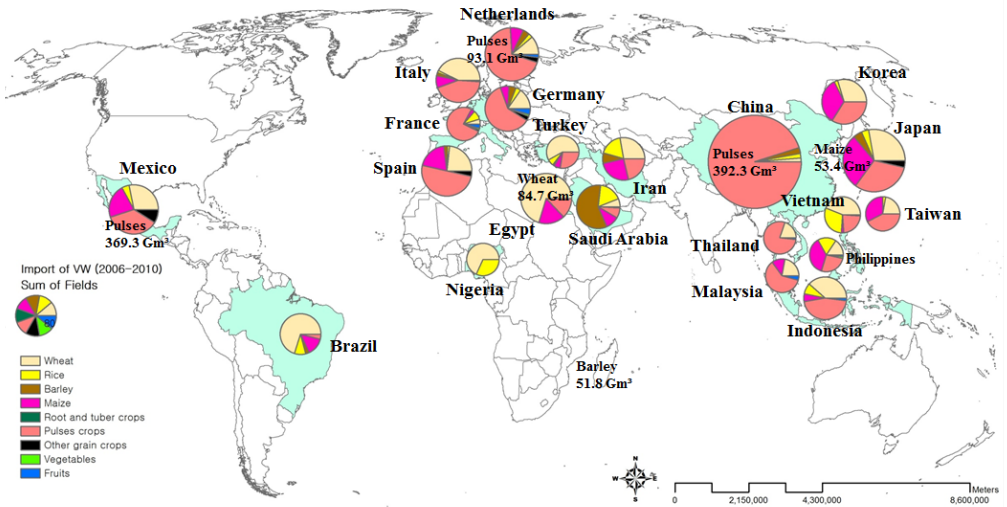


Fig. 17 Imports of VW in the World from 2006 to 2010

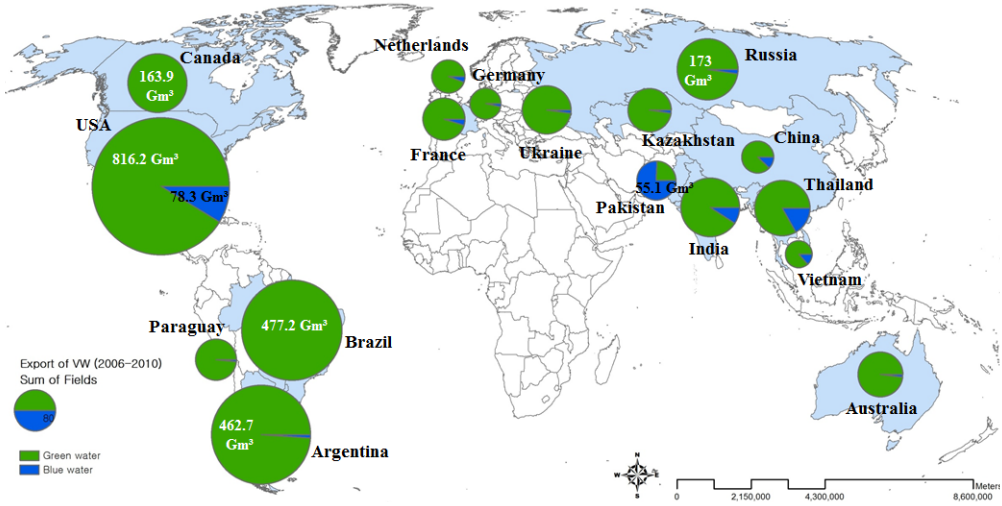


Fig. 18 Exports of GW and BW in the World from 2006 to 2010

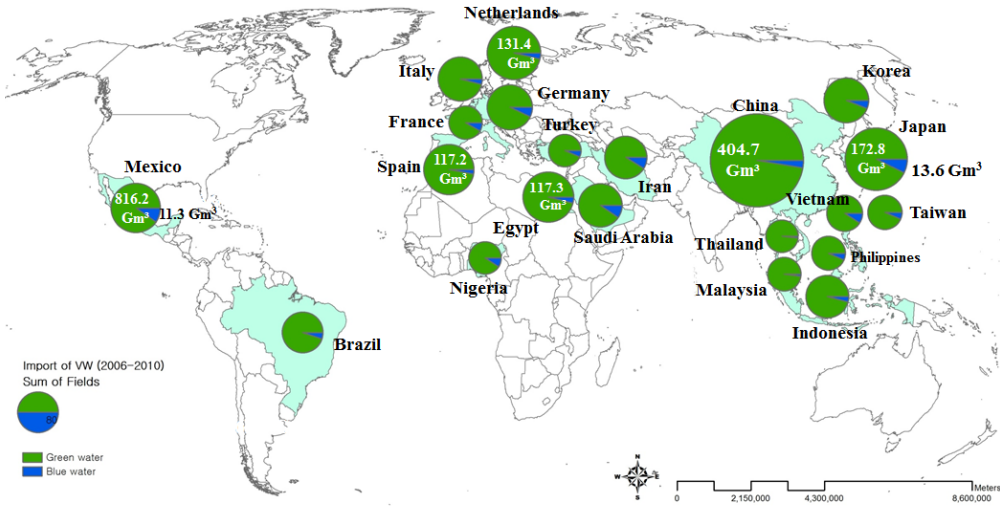


Fig. 19 Imports of GW and BW in the World from 2006 to 2010

3.2.2 전 세계의 농작물 가상수 교역 중심지 분석

1) 네트워크 연결중심성 분석

- 가상수 교역의 특징 및 안정성 등을 분석하기 위해서는 단일 국가의 교역량 외에 국가간 교역관계를 동시에 고려할 필요가 있다. 가상수의 교역은 전 세계 200개 이상의 국가간의 복잡한 네트워크 흐름으로 전환시킬 수 있으며, 네트워크의 분석을 통하여 중심 연결국가 및 시기별 중심국가의 변화 등에 대한 분석이 가능하다.
- 연결중심성은 네트워크 분야의 가장 기본적인 중심성 지표로서 몇 개의 노드가 연결되어 있는지를 측정하여 중심성을 판단한다. 따라서 다른 결절점들과 직접 연결되는 연결선의 수를 많이 가진 결절점일수록 연결중심성은 높아지게 된다. 이는 직접적인 연결고리를 가진 국지적 범위에 한정되어 연결정도가 측정되기 때문에 국지적인 지역 중심성을 측정하는 지표로 활용된다.
- 본 연구에서는 연결중심성을 가상수 교역에 적용하여 가상수 흐름의 중심지역을 도출하고자 하였다. 중심성 지수를 산출하기 위하여 관계데이터에 대한 탐색적 분석과 시각화 작업을 실행할 수 있도록 사이람에서 개발한 Netminer 4.0을 사용하였다. 이때 연결가중치로서 교역국가와 연결수와 교역국간의 가상수 흐름량을 각각 설정하였다. 즉, 가상수 흐름 구조에 의한 국가 간 연결정도와 가상수 흐름량을 고려한 국가 간의 연결정도를 각각 산출하였다. 연결중심성의 산출식은 식과 같다(Freeman, 1978).

$$C_i = \sum_j^N I_{ij} / (N-1)$$

C_i (Degree Centrality): i국가의 연결중심성

I_{ij} : i국가와 j국가의 연결수 및 연결가중치

N: 전체 국가수

2) 전세계의 농작물 가상수 교역의 연결중심성 분석

- 먼저 국가 간 가상수 흐름의 연결성만을 고려하여 네트워크 중심성을 분석하였다. 이와 같은 연결중심성은 가상수 흐름량을 고려하지 않고 몇 개의 국가들과 흐름 구조가 연결되어 있는지만을 분석한다. 연결중심성 분석 결과 네덜란드와 러시아, 독일, 영국 등 북유럽 국가들이 다양한 국가들과 가상수 흐름 관계를 구축하고 있는 것으로 나타났다.
- 특히, 중국, 미국 및 태국의 외향 연결중심성이 높게 나타났으며 이러한 국가들은 다수의 국가들과 가상수 흐름 관계를 유지하고 있는 것으로 판단된다. 한국의 경우 내향 및 외향 연결중심성이 각각 0.14, 0.07로 모두 낮게 분석되었고 이는 가상수 수입 및 수출 흐름 모두 소수의 국가들과 연결되어 있는 구조를 의미한다.
- 다음으로 가상수의 흐름을 연결가중치로 적용하여 연결중심성을 분석한 결과, 미국과 브라질, 아르헨티나가 타 국가와 비교하여 상당히 높은 연결중심성이 나타났다. 즉, 미국 및 남미 국가들이 주요 가상수 공급원의 역할을 수행하고 있는 것으로 분석되었다. 내향 연결중심성이 높은 국가는 중국으로 분석되었고, 다음으로 일본과 한국의 내향 연결중심성이 높은 것으로 나타났다. 한국의 경우 미국 및 브라질의 가상수가 주로 수입되는 것으로 나타났고, 일본의 경우 미국 및 인도, 캐나다의 가상수가 주로 수입되는 것으로 나타났다.
- 전세계의 가상수 흐름 구조의 중심성 분석 결과를 요약하면 한국, 중국, 일본의 동아시아 및 중동 국가들의 내향 연결중심성이 가장 높은 것으로 나타났고, 다음으로 독일 및 스페인, 네덜란드 등의 일부 유럽국가에서 높게 나타났다. 특히 스페인은 브라질과 아르헨티나 등 남미국가의 가상수가 주로 수입되는 것으로 나타났다.

- 전체적으로 중국 및 한국 등의 동아시아 국가들의 교역 구조는 특정 소수의 국가들과 가상수 흐름 연결을 유지하는 교역국 의 존적인 구조로 판단되었고, 향후 교역 상대국의 가상수량 변화에 민감한 구조이다. 이에 반하여 독일, 네덜란드와 같은 동유럽 국가들의 경우 가상수 흐름량이 많은 편이지만 다수의 국가들과 연결된 분산된 흐름 구조를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

Table 30 Degree centrality of VWT ('06-'10)

Countries	Degree centrality of link		Degree centrality of VWT	
	In-Degree	Out-Degree	In-Degree	Out-Degree
CHINA	0.16	0.63	1.94	0.23
JAPAN	0.18	0.13	0.87	0.00
NETHERLANDS	0.35	0.45	0.64	0.25
EGYPT	0.18	0.30	0.57	0.01
SPAIN	0.27	0.33	0.56	0.10
MEXICO	0.07	0.13	0.55	0.05
GERMANY	0.32	0.44	0.45	0.22
KOREA REP.	0.14	0.07	0.45	0.00
ITALY	0.29	0.31	0.44	0.06
BRAZIL	0.11	0.51	0.37	2.24
THAILAND	0.18	0.65	0.24	0.68
USA	0.27	0.82	0.21	4.18
RUSSIAN FED	0.31	0.41	0.14	0.83
CANADA	0.18	0.51	0.12	0.77
INDIA	0.17	0.52	0.08	0.77
ARGENTINA	0.05	0.59	0.06	2.18
UKRAINE	0.20	0.45	0.02	0.52

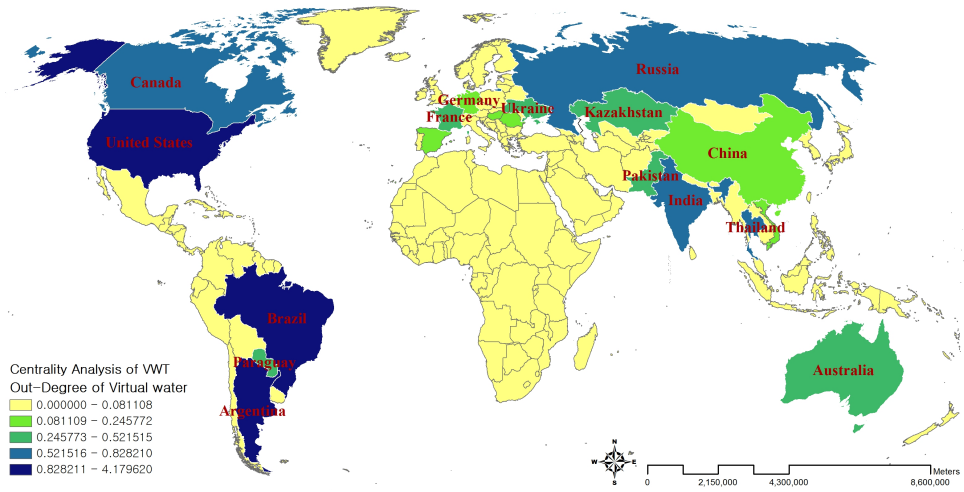


Fig. 20 Out-Degree centrality of VWT ('06-'10)

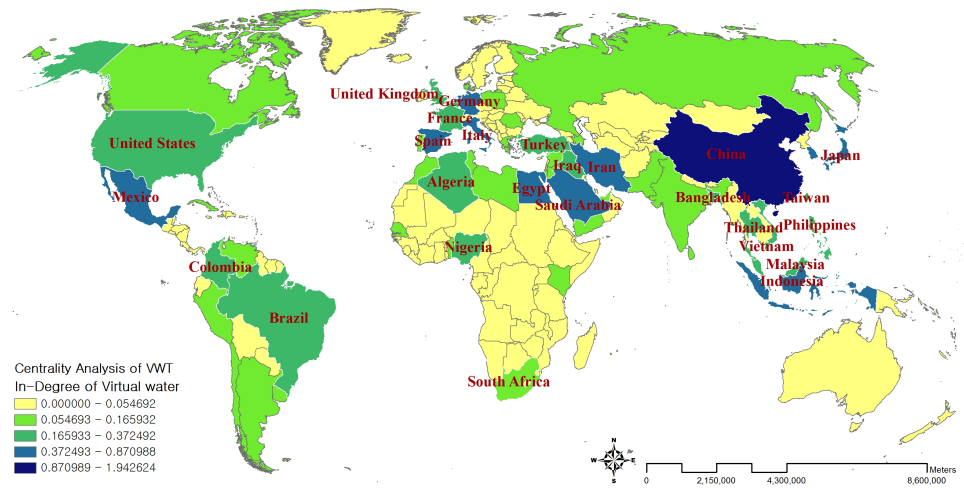


Fig. 21 In-Degree centrality of VWT ('06-'10)

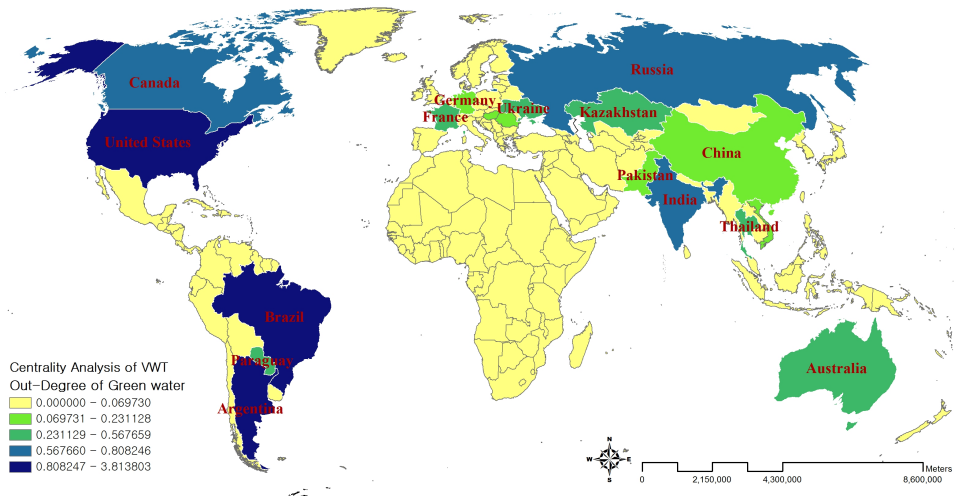


Fig. 22 Out-Degree centrality of GWT ('06-'10)

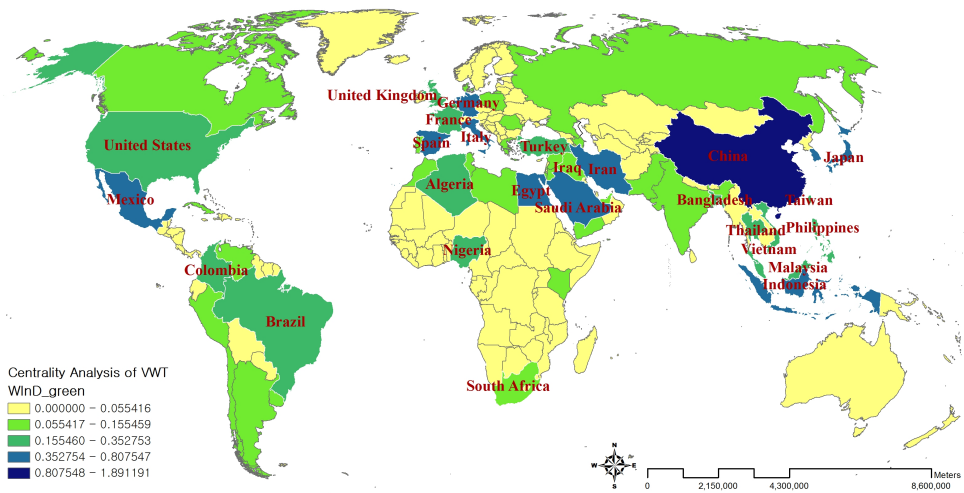


Fig. 23 In-Degree centrality of GWT ('06-'10)

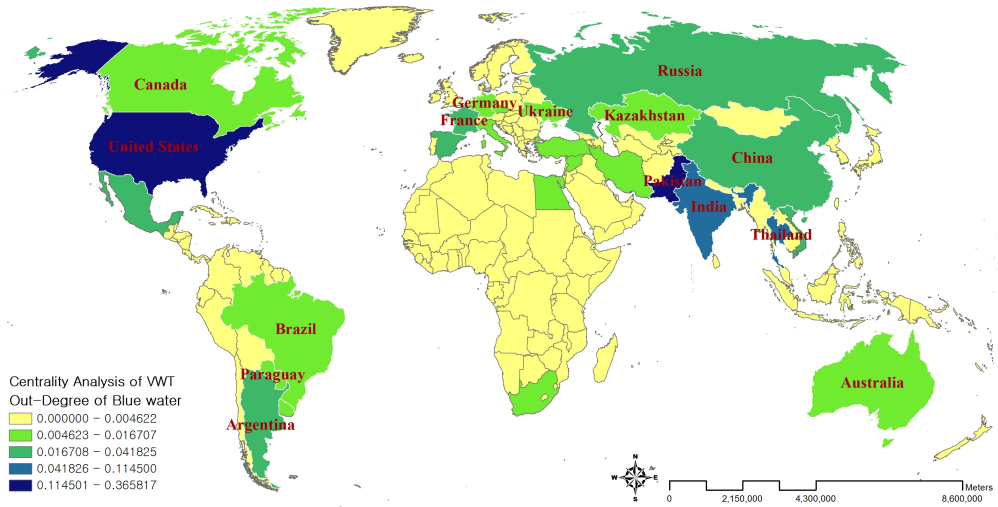


Fig. 24 Out-Degree centrality of BWT ('06-'10)

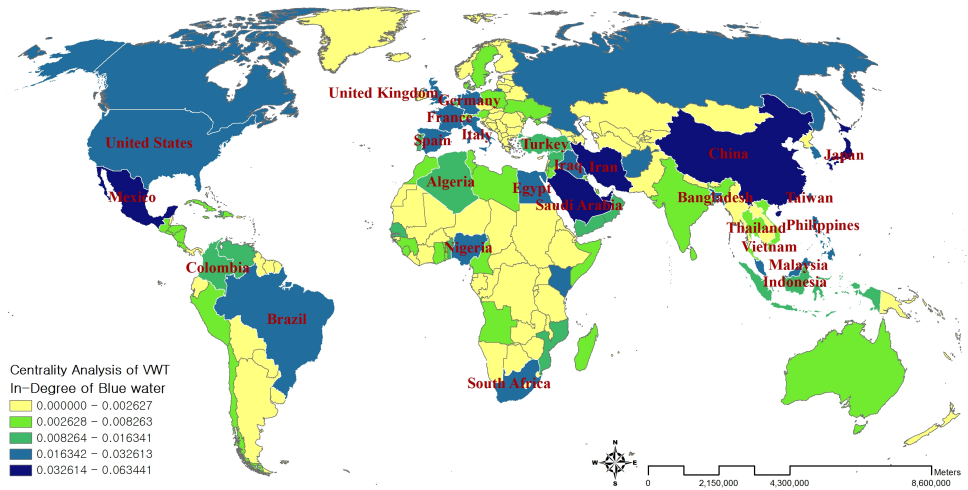


Fig. 25 In-Degree centrality of BWT ('06-'10)

3) 식량작물의 가상수 교역의 연결중심지 변화

- 본 연구에서는 대상작물 중 식량용으로 주로 수출입되는 작물을 선정하여 가상수 교역량의 연결중심지의 변화를 살펴보았다. 식량용 작물은 아래 Table 31과 같이 밀, 보리 쌀 등을 포함한다.
- 식량용 작물의 가상수 흐름의 외향 연결중심성 산정결과, 2006년과 2008년 미국의 중심성이 가장 높게 나타났고 러시아는 2008년에는 낮은 중심성이 산정되었으나 2009년에는 높은 중심성을 나타내었다. 호주와 우크라이나는 2006년 이후 연결중심성이 점차 증가하였고, 아르헨티나의 경우 점차 감소하는 것으로 나타났다. 전체적으로 미국과 러시아, 호주의 연결중심성의 시기별 변화가 가장 큰 것으로 나타났다.
- 이와 같은 외향 연결중심성의 변화는 내향 연결중심성에도 영향을 미치게 된다. 전체적으로 2006년 대비 내향 연결중심성은 증가하는 것으로 나타났고, 이집트와 일본, 이란의 경우 2006, 2007년 이후 내향 연결중심성이 상당히 높아지는 것으로 나타났다. 또한 미국의 외향 연결중심성이 높은 2008년에는 일본, 사우디아라비아, 이란, 필리핀의 내향 연결중심성이 높아지는 것을 확인할 수 있다.
- 연결중심성 변화를 네트워크 모식도를 통하여 보다 자세하게 살펴보면 2006년에는 미국, 러시아, 태국, 캐나다, 프랑스가 가상수 흐름의 연결중심지로 나타났다. 미국의 경우 나이지리아, 이집트 및 멕시코, 일본 등과 주 연결 관계를 형성하는 것으로 나타났고, 러시아의 경우 중동 및 중앙 아시아 국가와 주 연결 관계를 형성하였다.
- 이와 같은 중심지는 시기가 지나면서 변화하게 되는데 2007년에는 각 중심지들의 세력권이 보다 확장되는 형태로 나타났다. 특

히 러시아와 카자흐스탄의 중심성이 보다 높아지는 것을 확인할 수 있다.

- 2008년에는 미국의 연결성이 상당히 높아지게 되고, 호주가 새로운 곡물 가상수의 중심지로 나타나기 시작하였다. 반면 중동 국가와 긴밀한 관계인 러시아의 중심성은 다소 낮아지게 되지만, 우크라이나와 중동국가들과의 가상수 교역의 연결성은 높아지게 된다.
- 2009년은 미국의 중심성이 상당히 낮아지게 되면서 타 국가들의 외향 중심성이 높아지는 것으로 나타났다. 특히 호주와 러시아의 중심성이 2008년 대비 상당히 높아진다. 미국과 주 연결국가인 일본, 한국, 인도네시아가 미국의 가상수 수출 약제로 인하여 호주와의 가상수 교역 연결을 구축하게 되는 것을 확인할 수 있다. 또한 필리핀과 한국은 우크라이나와의 가상수 교역 관계를 확장하는 것으로 나타났다. 이처럼 미국의 가상수 흐름 중심성의 약화에 따라 가상수 수입 중심국들은 새로운 수출 중심지의 가상수 교역 관계를 확장하는 것을 흐름 네트워크의 변화를 통하여 확인할 수 있다.
- 그러나 2010년 러시아가 가뭄으로 인하여 수출 중단을 선언하고 미국의 가상수 수출 중심성이 높아지게 됨에 따라 가상수 주 수입국인 멕시코, 일본, 이집트는 미국과 호주에 의한 가상수 교역 관계를 형성한다. 중동 및 중앙아시아는 기존의 러시아 중심의 가상수 흐름에서 러시아 외에 카자흐스탄과 우크라이나까지 가상수 흐름을 의존하는 형태로 변화하게 된다. 프랑스는 2006년부터 2010년까지 지속적으로 유럽국가에 가상수를 공급하는 중심 역할을 수행하고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 시기에 따라 가상수 수출 중심국의 변화와 새로운 가상수 수출 중심국의 생성은 전세계 가상수 흐름 네트워크를 변화시키고 있다.

Table 31 Grain crops and HS-code

Crops	HS-code	Crop description
Wheat	100190	Wheat nes and meslin
	100110	Durum wheat
Rice	100610	Rice in the husk (paddy or rough)
	100620	Rice, husked (brown)
	100630	Rice, semi-milled or wholly milled, whether or not polished or glazed
	100640	Rice, broken
Barley	100300	Barley
Others	100200	Rye
	100700	Grain sorghum
	100810	Buck wheat
	100890	Cereals unmilled nes

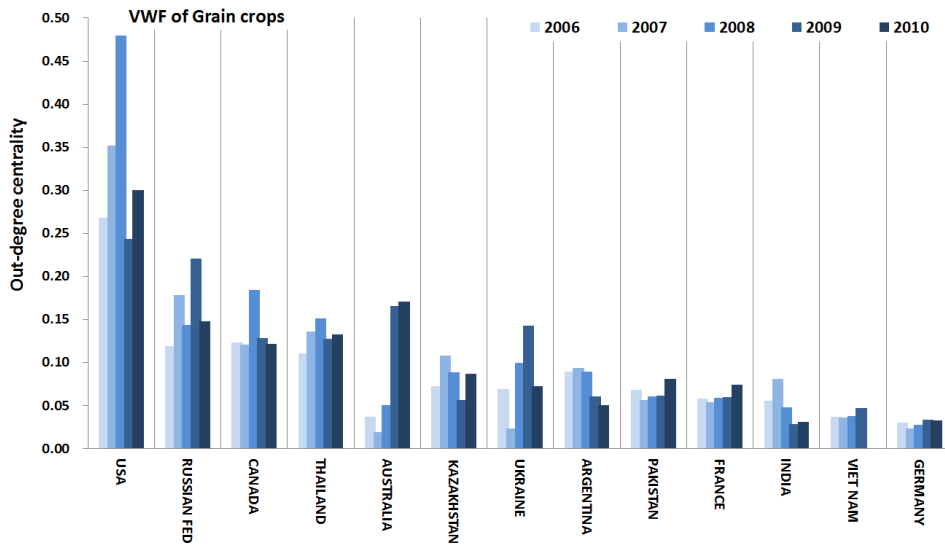


Fig. 26 Out-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010 (Grain crops)

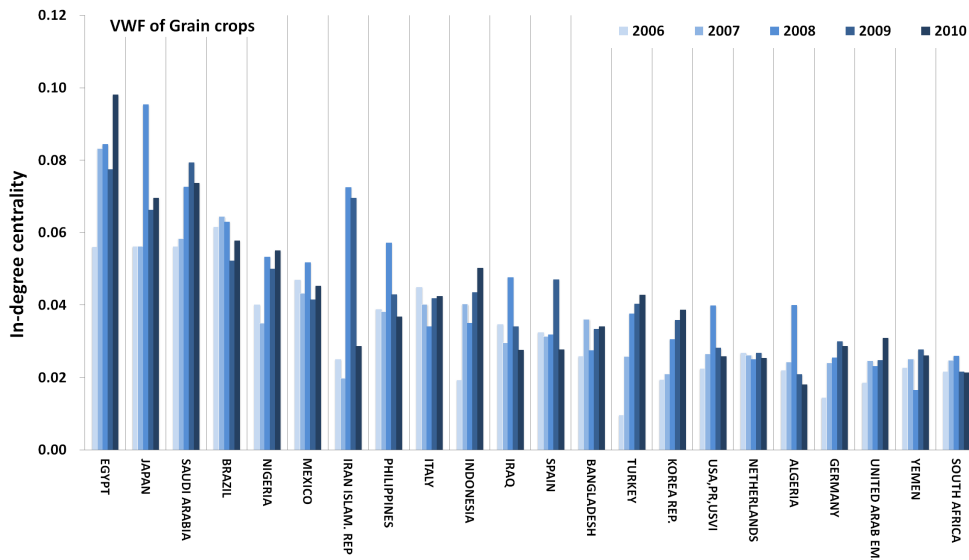


Fig. 27 In-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010 (Grain crops)

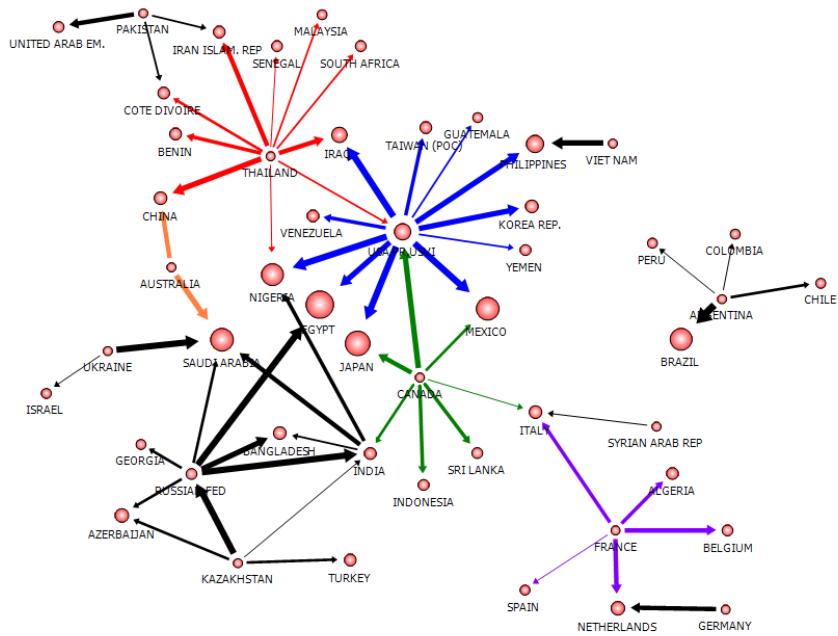


Fig. 28 Degree centrality of VWT in 2006 (Grain crops)

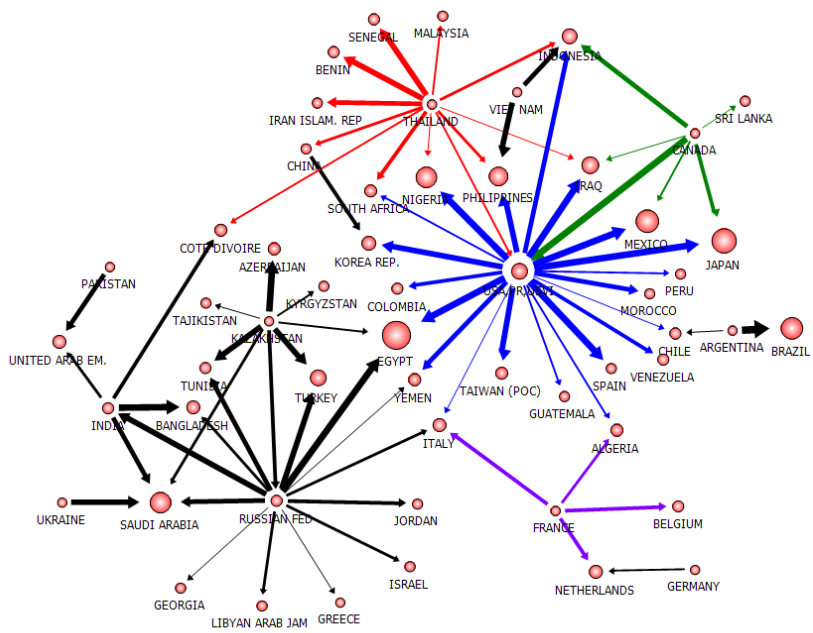


Fig. 29 Degree centrality of VWT in 2007 (Grain crops)

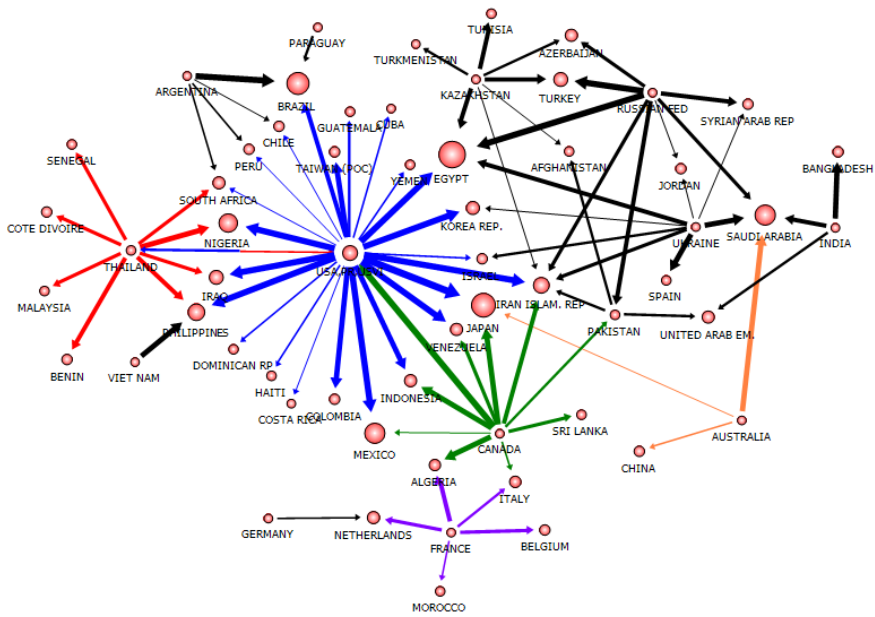


Fig. 30 Degree centrality of VWT in 2008 (Grain crops)

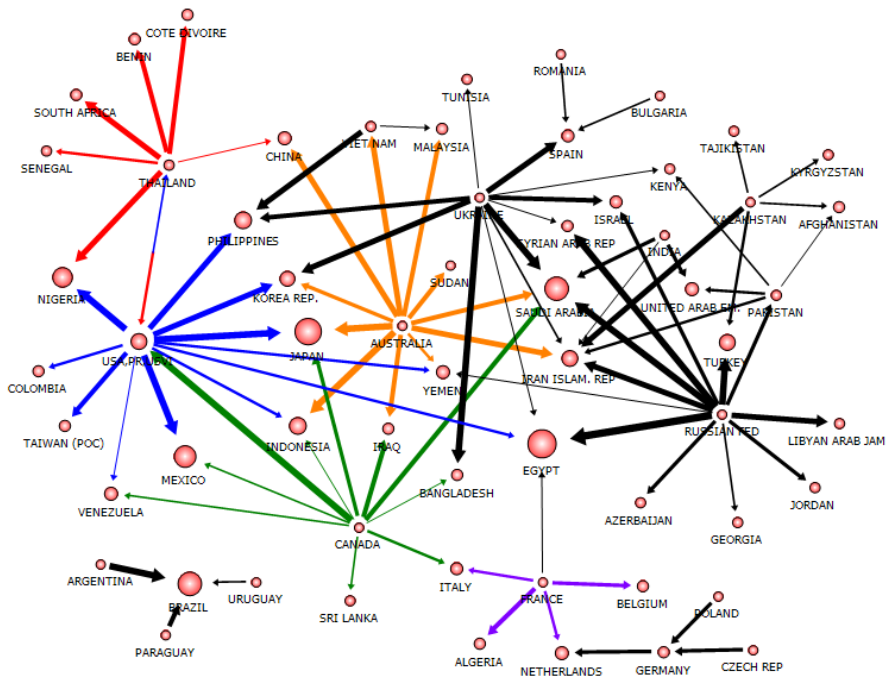


Fig. 31 Degree centrality of VWT in 2009 (Grain crops)

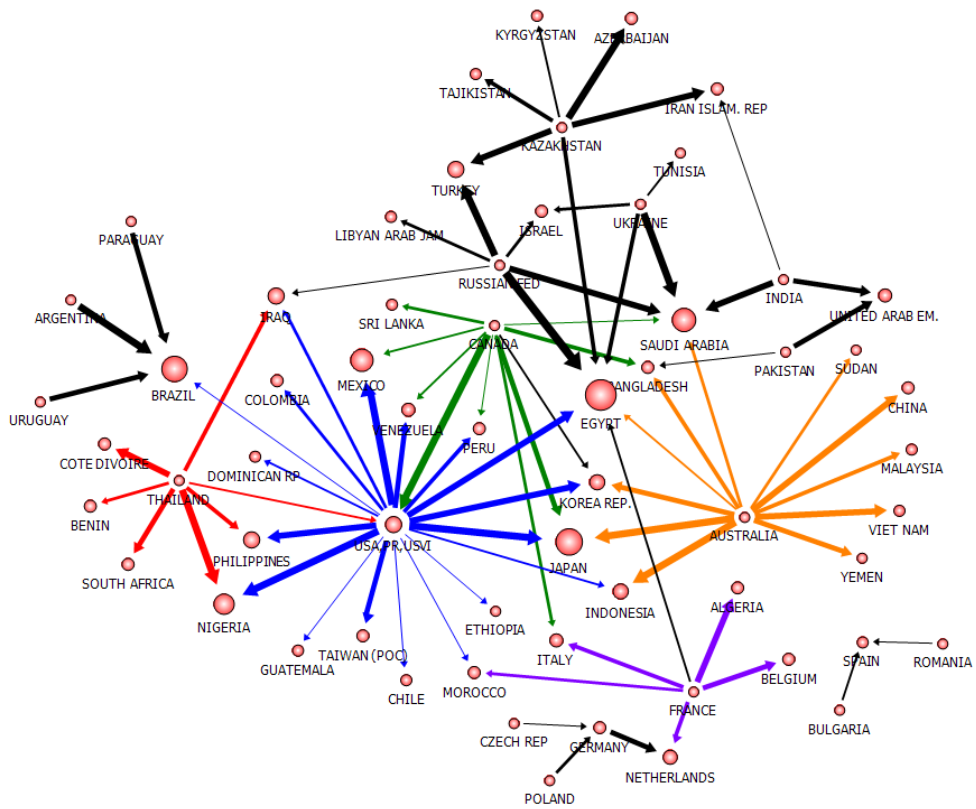


Fig. 32 Degree centrality of VWT in 2010 (Grain crops)

4) 사료작물의 가상수 교역의 연결중심지 변화

- 본 연구에서는 대상작물 중 식량용으로 주로 수출입되는 작물을 선정하여 가상수 교역량의 연결중심지의 변화를 살펴보았다. 식량용 작물은 아래 Table 32와 같이 옥수수과 대두박 등을 포함한다.
- 사료용으로 주로 수출입 되는 옥수수와 대두, 대두박은 식량용 곡물과는 차별되는 가상수 흐름 구조를 나타낸다. 2008년 미국의 연결성이 높아지게 되고, 2009년에는 아르헨티나의 연결중심성이 급격히 낮아지는 것으로 나타났다. 반면에 브라질의 연결중심성은 조금씩 증가하는 추세로 나타났다. 이러한 외향 연결중심성과 관련하여 내향 연결중심성의 시기별 변화를 살펴보면 중국이 수입의 대부분을 차지하고 있으며 점차적으로 증가하는 추세로 나타났다.
- 시기별 가상수 흐름 구조의 변화를 살펴보면 2008년부터 2010년까지 미국, 아르헨티나, 브라질 3개 국가가 가상수 수출의 중심 역할을 수행하는 것으로 나타났다. 이차적인 중심지로는 인도와 파라과이로 나타났고, 인도의 경우 주로 인도네시아, 베트남과 같은 동남아시아 국가들과 연결 관계를 형성하는 것으로 나타났다.
- 가상수 구조의 특징 중 하나는 유럽시장의 사료용 작물 가상수 흐름은 주로 브라질과 아르헨티나에 의해 이루어지고 있고, 한국, 일본의 동아시아 국가는 미국에 의존적인 가상수 흐름을 나타냈다. 중국의 경우 미국, 아르헨티나, 브라질, 인도 등 주 수출국 대부분과 연결관계를 유지하는 것으로 나타났다. 특히 2006년에는 미국, 아르헨티나, 브라질이 각자의 고유 흐름 권역을 유지하고 있었지만 2010년이 될수록 브라질의 가상수 흐름이 확대되어 아르헨티나와는 유럽권역과의 연결을 주도하고, 미국과는

한국, 중국, 대만 등 아시아 국가와의 연결을 주도하는 교역관계로 변화하였다.

Table 32 Forage crops and HS-code

Crops	HS-code	Crop description
Maize	100590	Maize(corn) nes
	100510	Maize(corn) seed
Pulse crops	120100	Soya-beans
	230400	Soya-bean oil-cake & solid residues
	071332	Beans, small red(Adzuki)
	071390	Leguminous vegetables

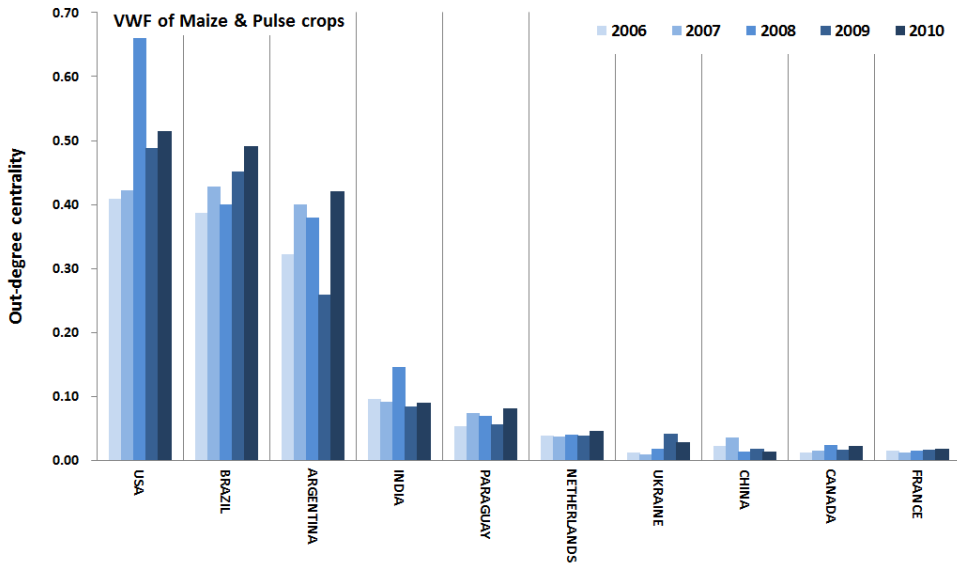


Fig. 33 Out-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010
(Maize & Pulse crops)

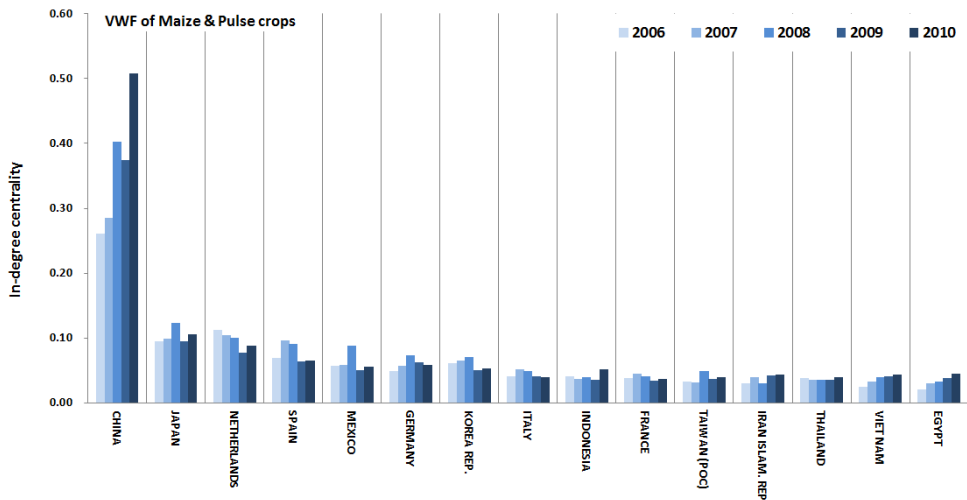


Fig. 34 In-Degree centrality of VWT from 2006 to 2010
(Maize & Pulse crops)

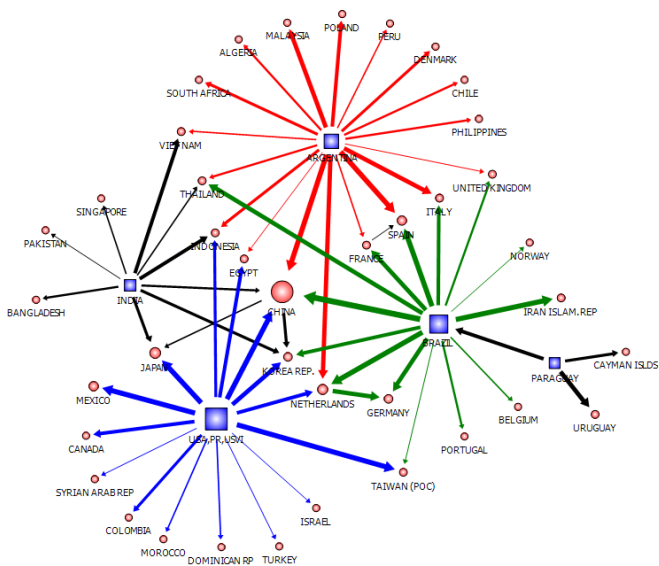


Fig. 35 Degree centrality of VWT in 2006
(Maize & Pulse crops)

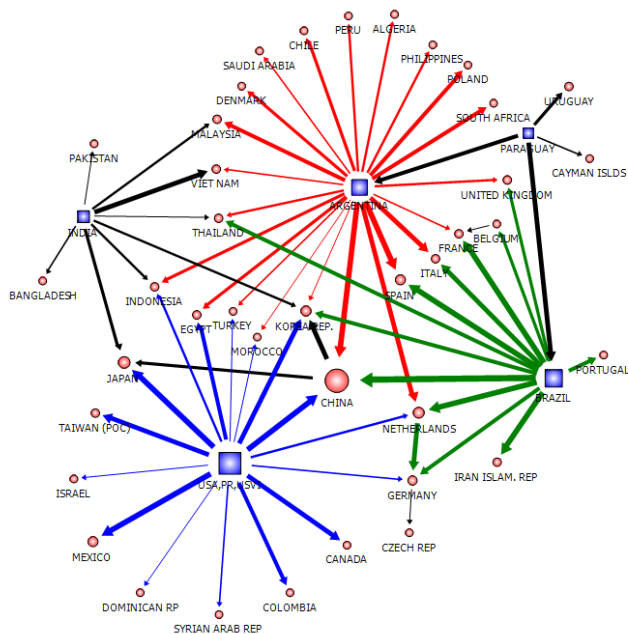


Fig. 36 Degree centrality of VWT in 2007
(Maize & Pulse crops)

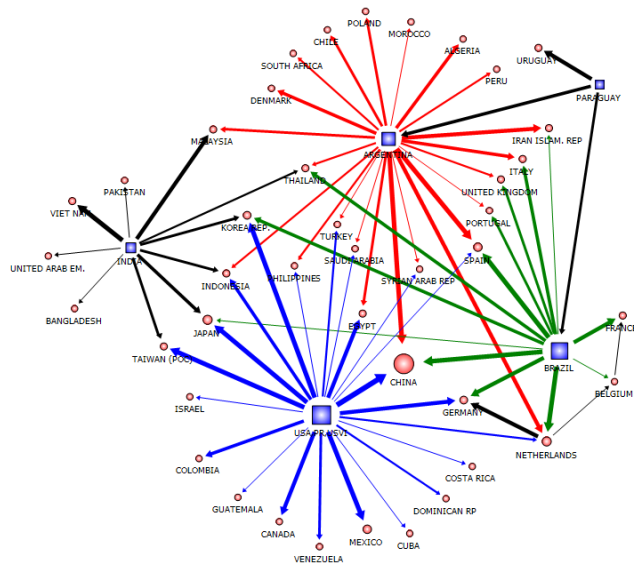


Fig. 37 Degree centrality of VWT in 2008
(Maize & Pulse crops)

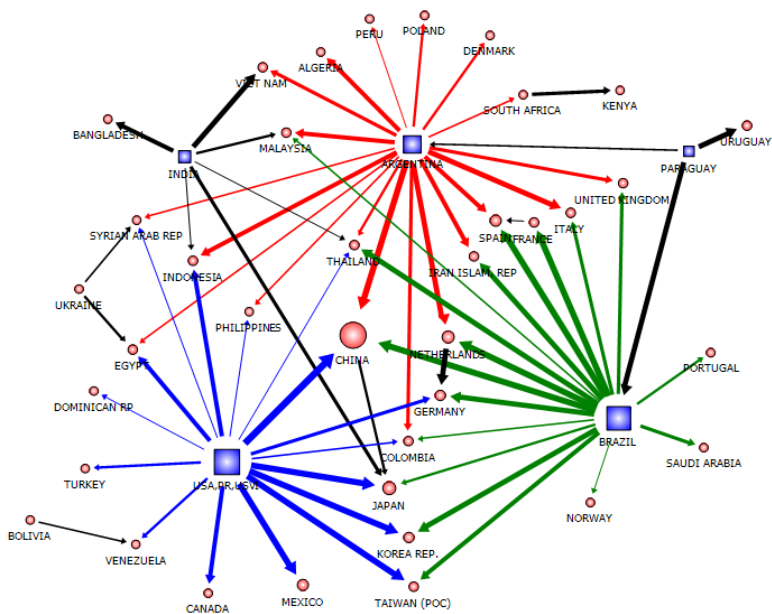


Fig. 38 Degree centrality of VWT in 2009
(Maize & Pulse crops)

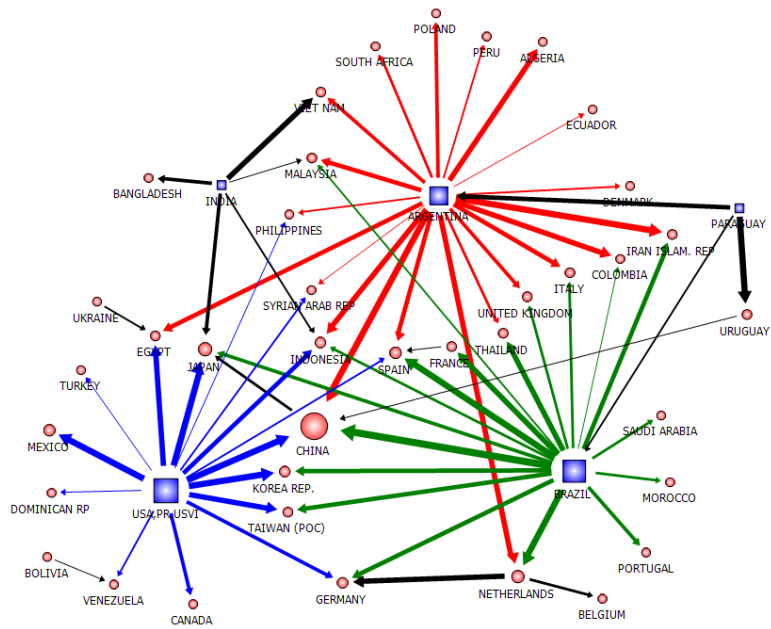


Fig. 39 Degree centrality of VWT in 2010
(Maize & Pulse crops)

4. 국내 식량정책과 물발자국에 따른 농업용수 사용량 변화 분석

4.1 국내의 1인당 농작물 소비에 따른 물발자국 추정

- 국내 농산물 소비에 따른 1인당 물발자국을 추정하기 위하여 식품수급표(한국농촌경제연구원, 2011)의 통계를 조사하였다. 조사 기간은 1985년부터 5년 단위로 조사하였고, 최근 경향을 알기 위하여 2006-2010년 자료를 분석하였다. 일반적으로 국내 식품 소비량의 경우 식용, 사료용 및 기타용으로 구분된다. 국내에서 사료 및 기타 용도를 제외한 순수하게 1인당 식품 소비량을 바탕으로 가상수를 산정한다면, 국내 식생활 습관 변화에 따른 1인당 가상수 소비량 패턴을 분석할 수 있을 것이다.
- 농촌경제연구원에 매년 발행하는 식품수급표는 곡류, 서류, 설탕류, 두류, 견과류, 종실류, 채소류, 과실류, 육류, 계란류, 우유류, 유지류, 어패류, 해조류 및 주류에 대한 생산, 수입, 총공급량(소비량), 수출 등으로 구분하여 통계를 제시하고 있다. 당해 연도 연구에서는 위 품목 중에서 1년차 연구에서 물발자국이 산정된 곡류, 서류, 두류, 종실류, 채소류 및 과실류를 대상으로 국내 1인당 농산물 물발자국 소비량을 산정하였다. 이를 위하여 1985년, 1990년, 1995년, 2000년, 2005, 2006-2010년 동안의 식품수급표에서 제시하고 있는 1인당 식품 소비량을 바탕으로 1인당 물발자국을 추정하였다. 이를 위하여 1985년부터 2009년까지의 식품별 1인당 소비량의 변화를 Table 33에 나타내었다.
- 품목별 주요 변화 양상을 분석해 보면 다음과 같다. 곡류의 경우, 1985년 185.4 kg/yr에서 2000년 166.8 kg/yr, 2010년 145.1 kg/yr로 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 쌀 및 보리의 소비량이 지속적으로 감소하였기 때문이다. 한편 서류의 경우 1985년 11.9 kg/yr에서 2000년 11.8 kg/yr, 2010년 13.8 kg/yr로 소폭 증가하였고, 종실류는 서류와 마찬가지로 1985년

0.5 kg/yr에서 2010년 0.7 kg/yr로 소폭 증가한 것으로 나타났다. 두류는 반대로 1985년 10.7 kg/yr에서 2005년 11.4 kg/yr으로 소폭 증가하다가 이후 소폭 감소하는 경향을 보였다. 한편 채소류와 과일류는 각각 1985년 98.6 kg/yr와 26.6 kg/yr에서 2005년 145.5 kg/yr, 44.7 kg/yr, 2009년 152.5 kg/yr와 47.7 kg/yr로 크게 증가한 것으로 나타났다. 결과적으로 곡류, 두류만 감소하는 경향을 보였고, 그 외 대부분 품목들은 모두 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, 채소류, 과일류 등이 큰 증가 경향을 보였다. 따라서 1985년에 1인당 총 농산물 식품소비량 (곡류, 서류, 두류, 종실류, 채소류 및 과일류)은 333.5 kg에서 2000년 396.6 kg으로 지속적으로 증가하다가 이후 다소 감소하는 경향을 나타내어, 2010년에는 346.4 kg이었다. 1985년에는 곡류 47%, 채소류 25%, 과일류 7%, 우유류 5%, 육류 4% 순으로 비중을 차지하였지만, 2010년에는 곡류 29%, 채소류 27%, 우유류 12%, 과일류 및 육류 9% 순의 비중을 차지한 것으로 나타났다. 곡류가 소비량뿐만 아니라 전체에서 차지하는 비중에서도 크게 감소하였는데, 이는 국내 식품 소비 패턴이 곡류 위주에서 채소 및 축산물 위주로 변화된 것을 수치상으로 표현해주는 것이라 할 수 있다.

Table 33 The per capita net food supply for 12 food categories in 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2006-2010 (KREI, 2011) (unit: kg)

Categories	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Cereals	185.4	175.4	173.1	166.8	150.5	151.2	149.3	149.1	139.3	145.1
Starch roots	11.9	11.0	11.0	11.8	17.0	14.5	12.9	14.1	13.7	13.8
Pulse	10.7	10.3	11.1	10.7	11.4	11.0	11.2	9.7	9.8	10.4
Tree nuts	0.8	0.5	1.7	1.5	1.3	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5
Oil crops	0.5	0.7	1.3	0.7	0.7	1.0	0.7	0.7	0.8	0.7
Vegetables	98.6	132.6	160.6	165.9	145.5	153.8	149.2	153.6	152.5	132.2
Fruits	26.6	29.0	39.1	40.7	44.7	41.9	45.4	44.0	47.7	44.2
Meat	16.3	23.6	32.7	37.5	36.6	38.4	40.9	40.7	43.3	43.5
Eggs	6.3	7.9	8.6	8.6	9.1	9.4	9.5	9.4	10.0	9.9
Milks	19.2	31.8	38.5	49.3	54.0	53.9	55.2	52.8	53.3	57.0
Sugars	11.7	15.3	17.8	17.9	21.2	21.2	20.2	23.7	23.8	22.7
Oil & Fats	9.2	14.3	14.2	15.9	18.7	18.1	18.2	12.3	13.3	13.9

- 농촌경제연구원에 매년 발행하는 식품수급표는 곡류의 경우, 밀 및 백미 등 5개 항목, 서류의 경우, 감자 및 고구마 등 2개 항목, 두류의 경우, 대두 및 팥 등 3개 항목, 종실류는 참깨 및 기타 등 2개 항목, 채소류, 과실류로 통계를 제시하고 있다.
- 위 식품수급표 항목은 1년차 연구에서 이루어진 44개 작물 항목보다 큰 분류로 되어 있기 때문에 곡류 기타, 두류 기타, 종실류 기타, 채소류 및 과실류 등에 대한 green, blue 및 grey 물발자국이 필요하다. 따라서 이를 위하여 최근 5년 (2006-2010) 동안의 작물 생산량을 바탕으로 가중치를 설정하여 항목별 물발자국을 산정하였다. 이 결과는 Table 34와 같고, 국내 농작물 소비에 따른 1인당 물발자국을 산정을 위하여 이 결과를 활용하였다.
- 이 결과는 식품수급표 뿐만 아니라 작물통계연보와 같이 세부적으로 제시되지 않는 농산물 생산 및 소비 통계에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 34 The green, blue and grey water footprint of crops

Categories	Crops	Green water (m3/ton)	Blue water (m3/ton)	Grey water (m3/ton)	Total water (m3/ton)
Cereals	wheat (밀)	1,060.2	-	-	1,060.2
	white rice (백미)	382.3	625.3	61.4	1,068.9
	barley (보리)	795.9	-	-	795.9
	maize (옥수수)	1,039.7	-	-	1,039.7
	cereals, other (곡류기타)	2,298.1	-	-	2,298.1
Starch roots	Potatoes (감자)	135.8	-	-	135.8
	Sweet potatoes (고구마)	370.0	-	-	370.0
Pulse	Soy beans (대두)	3,346.7	-	-	3,346.7
	Red beans (팥)	3,166.9	-	-	3,166.9
	Pulses, other (두류기타)	2,644.0	-	-	2,644.0
Oil crops	Sesame (참깨)	5,556.5	-	-	5,556.5
	Oil crops, others (종실류기타)	4,545.0	-	-	4,545.0
Vegetables	(채소류)	114.7	23.2	-	137.9
Fruits	(과실류)	573.1	-	-	573.1

- 1985년, 1990년, 1995년, 2000년, 2005년 및 2006-2010년 동안의 농작물 소비에 따른 1인당 물발자국을 추정하였는데, 그 결과는 Table 35 및 Fig. 40과 같다. 농작물 소비를 통한 물발자국은 1985년에는 264.9 m³/yr이고, 1995년에는 275.4 m³/yr으로 다소 증가하거나 비슷한 수준을 유지하였다. 하지만 2005년과 2010년에는 각각 252.6 m³/yr와 240.7 m³/yr으로 감소하는 경향을 보였다.
- 1985년과 2010년을 중심으로 증감 비율을 살펴보면, 곡류와 두류가 감소하였는데, 그 감소비율은 각각 19.8 %와 3.4 %이었고, 서류는 3.4 % 소폭 증가하였다. 한편 종실류는 50 %, 채소류는 33.8 %, 과일류는 66.4 %로 매우 큰 폭으로 증가하였다.
- 농작물 소비에 따른 1인당 물발자국은 1985년 264.9 m³/yr에서 2010년 240.7 m³/yr에서 약 9.1 % 감소하였지만, 농산물 소비량은 333.5 kg/yr에서 347.2 kg/yr으로 4.1 %의 증가율을 나타내었다. 이는 비교적 물발자국 (단위 가상수량)이 높은 곡류 소비가 감소하고, 단위 가상수량이 낮은 채소 및 과일류의 소비가 증가하였기 때문으로 판단된다.

Table 35 Water footprint for the net food supply per capita for crop categories during the years 1985-2010. (unit: m³)

Items	Water footprint	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Cereals	Green	107.5	103.3	110.0	112.2	105.7	105.9	104.4	102.2	94.9	100.9
	Blue	80.1	75.5	69.2	61.2	52.0	52.6	51.8	53.9	50.8	50.9
	Grey	7.9	7.4	6.8	6.0	5.1	5.2	5.1	5.3	5.0	5.0
	Total	195.5	186.3	185.9	179.4	162.9	163.7	161.2	161.4	150.7	156.8
Starch roots	Green	2.9	2.6	2.4	2.7	3.4	2.9	2.7	3.1	2.9	3.0
Pulses	Green	35.4	33.4	36.0	34.7	37.0	35.8	36.4	31.2	31.6	33.7
Oil crops	Green	2.4	3.4	6.6	3.8	3.6	5.0	3.6	3.5	4.1	3.6
Vegetables	Green	11.3	15.2	18.4	19.0	16.7	17.6	17.1	17.6	17.5	15.2
	Blue	2.3	3.1	3.7	3.9	3.4	3.6	3.5	3.6	3.5	3.1
	Total	13.6	18.3	22.1	22.9	20.1	21.2	20.6	21.2	21.0	18.2
Fruits	Green	15.2	16.6	22.4	23.3	25.6	24.0	26.0	25.2	27.3	25.3

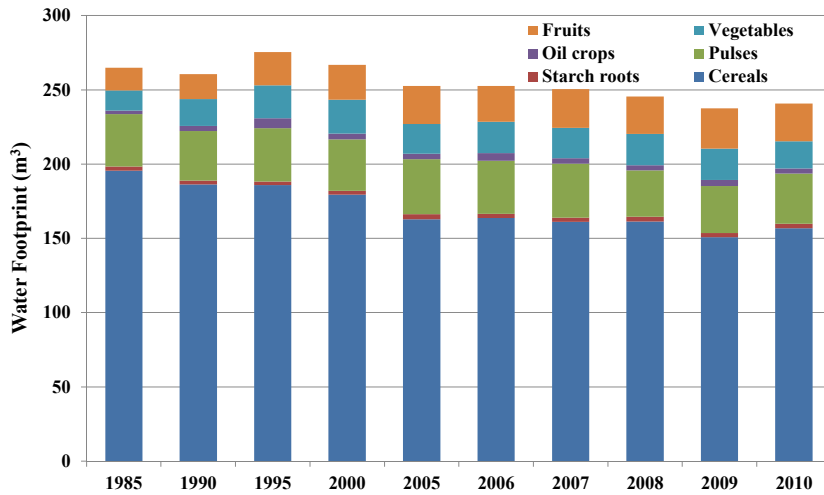


Fig. 40 Total water footprint for the net food supply per capita for crop categories during 1985-2010.

- Table 36은 Green, blue 및 grey water를 구분하여 나타낸 결과이다. Green water는 1985년 174.7 m³/yr에서, 1995년 195.8 m³/yr으로 증가 경향을 보이다가 2010년에 181.7 m³/yr으로 감소하는 경향을 보였다. 하지만 1985년와 비교해서는 증가세를 보였다. 한편 blue water의 경우 1985년 82.4 m³/yr이었지만 2000년에 65.0 m³/yr으로 감소하고, 2010년 54.0 m³/yr으로 지속적인 감소 경향을 보였다. Grey water의 경우, blue water 유사한 경향을 나타내었다. Blue와 Grey water가 지속적으로 감소한 이유는 이 두 항목에서 가장 큰 비중을 차지하는 쌀 소비가 지속적으로 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

Table 36 Green, blue and grey water footprint for the net food supply per capita during 1985-2010.

Water footprint	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Green	174.7	174.5	195.8	195.7	192.1	191.2	190.1	182.8	178.3	181.7
Blue	82.4	78.6	72.9	65.0	55.4	56.2	55.2	57.5	54.4	54.0
Grey	7.9	7.4	6.8	6.0	5.1	5.2	5.1	5.3	5.0	5.0
Total	264.9	260.5	275.4	266.8	252.6	252.6	250.5	245.6	237.7	240.7

4.2 식량자급률과 물발자국에 따른 농업용수 사용량 변화 분석

- 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 제고방안을 발표하였다.
- 당해 연도 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. Fig. 41은 1975년부터 2010년까지의 품목별 자급률을 나타낸 것이다. 곡류(사료 포함)의 경우, 1975년 74.1 %로 매우 높았으나, 이 후 지속적으로 감소하여 1995년에 30 % 이하의 자급률을 나타내고, 2010년 기준 26.7 %로 낮아졌다. 이는 육류 생산을 위한 많은 양의 사료용 곡물 수요로 인한 것이다. 따라서 배합사료의 자급률 경향과 거의 일치하는 경향을 보였다. 조사료의 경우, 볏짚 등으로 대체가 이루어지기 때문에 배합사료보

다 자급률이 높은 것으로 나타났다. 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 자급율이 높게 유지되는 것으로 나타났다.

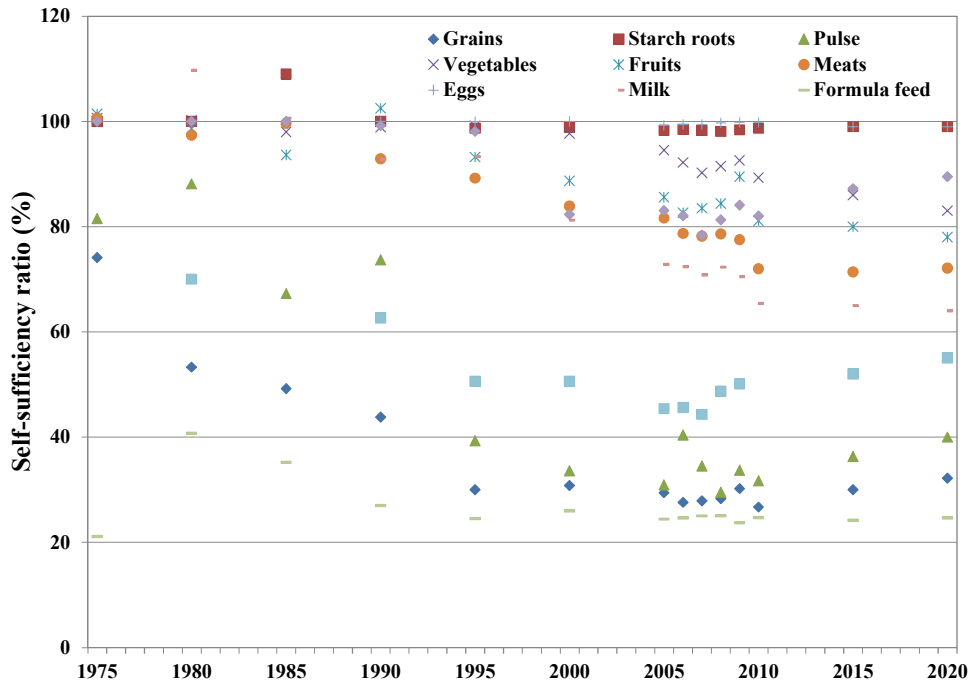


Fig. 41 Trends in food self-sufficiency rates (SSR) during the year 1975-2010 and targets food SSRs during the years 2015 and 2020 (KREI, 2011; KREI and MIFAFF, 2011)

- Table 37은 정부에서 제시한 2015·2020년 농산물 및 식품별 생산 및 소비시나리오 및 식량자급률 목표치이다. 이를 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.

Table 37 Domestic consumption (Cons.) and production (Prod.) scenarios and food self-sufficiency rate (SSR) for the years 2015 and 2020 (KREI and MIFAFF, 2011)

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
Milk	3,111.0	2,027.0	65.2	3,142.0	2,015.0	64.1
Eggs	624.0	618.0	99.0	656.0	649.0	98.9
Bulky feed	6,777.0	5,907.0	87.2	7,931.0	7,099.0	89.5
Formula feed	18,342.0	4,432.0	24.2	18,035.0	4,432.0	24.6

- 물발자국을 바탕으로 정부가 제시한 농산물의 식량자급률 목표 달성을 위한 품목별 목표연도의 농업용수의 사용량 산정 결과는 Table 38과 같다.
- 농작물의 물발자국에 따른 2006-2010년의 농업용수 평균 소비량은 백미 5,180.6 백만 m^3 , 보리 258.7 백만 m^3 , 밀 2,267.3 백만 m^3 , 서류 206.6 백만 m^3 , 두류 1462.3 백만 m^3 , 채소류 1,463.9 백만 m^3 및 과실류 1,569.3 백만 m^3 이고, 생산을 위한 사용량은 백미 5,048.7 백만 m^3 , 보리 113.5 백만 m^3 , 밀 17.2 백만 m^3 , 서류 203.2 백만 m^3 , 두류 502.3 백만 m^3 , 채소류 1,338.1 백만 m^3 및 과실류 1,527.1 백만 m^3 이었다.
- 농작물의 물발자국과 2015년 농작물 소비량에 따른 농업용수 소비량은 백미 4,667.9 백만 m^3 , 보리 234.8 백만 m^3 , 밀 2,078.0 백만 m^3 , 서류 183.2 백만 m^3 , 두류 1563.1 백만 m^3 , 채소류 1,544.5 백만 m^3 및 과실류 2,077.7 백만 m^3 이고, 농작물 생산 위한 사용량은 백미 4,574.9 백만 m^3 , 보리 73.2 백만 m^3 , 밀 206.7 백만 m^3 , 서류 180.8 백만 m^3 , 두류 567.8 백만 m^3 , 채소류 1,328.0 백만 m^3 및 과실류 1,662.1 백만 m^3 이었다.
- 한편, 2020년 농업용수 소비량은 백미 4,421.0 백만 m^3 , 보리 234.8 백만 m^3 , 밀 2,003.8 백만 m^3 , 서류 183.2 백만 m^3 , 두류 1663.3 백만 m^3 , 채소류 1,544.5 백만 m^3 및 과실류 2,216.4 백만 m^3 이고, 생산을 위한 농업용수 사용량은 백미 4,332.3 백만 m^3 , 보리 73.2 백만 m^3 , 밀 301.1 백만 m^3 , 서류 180.8 백만 m^3 , 두류 672.3 백만 m^3 , 채소류 1,282.5 백만 m^3 및 과실류 1,730.9 백만 m^3 이었다.
- 식량자급률의 목표를 위하여 농산물 생산에 소요되는 잠재적인 용수량은 2015년의 경우, 백미와 보리의 경우 각각 479.8 백만 m^3 및 40.3 백만 m^3 씩 감소하고, 밀은 189.5 백만 m^3 증가하였다. 한편 서류와 채소류는 22.4 백만 m^3 및 10.1 백만 m^3 씩 감소하고, 두류와 과실류는 각각 65.5 백만 m^3 및 135.0 백만 m^3 가 추가 소요되는 것으로 추정되었다.

- 2020년의 경우, 백미와 보리의 경우 각각 716.4 백만m³ 및 40.3 백만m³씩 감소하고, 밀은 283.9 백만m³ 증가하였다. 한편 서류와 채소류는 22.4 백만m³ 및 55.6 백만m³씩 감소하고, 두류와 채소류는 각각 170.0 백만m³ 및 203.8 백만m³가 추가 소요되는 것으로 추정되었다.
- 2015년의 경우 설정된 목표 식량자급률을 충족시키기 위해 필요한 잠재적으로 소요되는 용수량은 쌀, 보리, 서류, 채소류에서 감소하는 것으로, 그 외 밀, 콩, 과일류에서 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 2020년에서도 그 값에서 차이가 있을 뿐 거의 유사한 경향을 나타내었다.

Table 38 Virtual water use (VWU) for consumption and production during 2006–2010 (average), 2015 and 2020

Food items	Water Foot-print	Consumption (Mm3)			Production (Mm3)		
		2006–2010	2015	2020	2006–2010	2015	2020
White rice	Green	1,852.6	1,669.3	1,581.0	1,805.5	1,636.0	1,549.3
	Blue	3,030.6	2,730.7	2,586.2	2,953.4	2,676.3	2,534.3
	Grey	297.4	267.9	253.8	289.8	262.6	248.7
	Total	5,180.6	4,667.9	4,421.0	5,048.7	4,574.9	4,332.3
Barley	Green	258.7	234.8	234.8	113.5	73.2	73.2
Wheat	Green	2,267.3	2,078.0	2,003.8	17.2	206.7	301.1
Starch roots	Green	206.6	183.2	183.2	203.2	180.8	180.8
Pulses	Green	1,462.3	1,563.1	1,663.3	502.3	567.8	672.3
Vegetables	Green	1,217.4	1,284.5	1,284.5	1,112.8	1,104.4	1,066.6
	Blue	246.5	260.1	260.1	225.3	223.6	215.9
	Total	1,463.9	1,544.5	1,544.5	1,338.1	1,328.0	1,282.5
Fruits	Green	1,569.3	2,077.7	2,216.4	1,527.1	1,662.1	1,730.9
Total		12,408.7	12,349.2	12,267.0	8,750.1	8,593.5	8,573.1

Table 39 Difference between the average VWU for production in 2005–2009 and 2015 (or 2020)

Food items	Water Foot-print	Consumption (Mm3)			Production (Mm3)		
		2006–2010	2015	2020	2006–2010	2015	2020
Rice	Green	-	-183.3	-271.6	-	-169.5	-256.2
	Blue	-	-299.9	-444.4	-	-277.1	-419.1
	Grey	-	-29.5	-43.6	-	-27.2	-41.1
	Total	-	-512.7	-759.6	-	-473.8	-716.4
Barley	Green	-	-23.9	-23.9	-	-40.3	-40.3
Wheat	Green	-	189.3	263.5	-	189.5	283.9
Starch roots	Green	-	-23.4	-23.4	-	-22.4	-22.4
Pulses	Green	-	100.8	201.0	-	65.5	170.0
Vegetables	Green	-	67.1	67.1	-	-8.4	-46.2
	Blue	-	13.6	13.6	-	-1.7	-9.4
	Total	-	80.6	80.6	-	-10.1	-55.6
Fruits	Green	-	508.4	647.1	-	135.0	203.8
Total		-	-59.5	-141.7	-	-156.6	-177.0

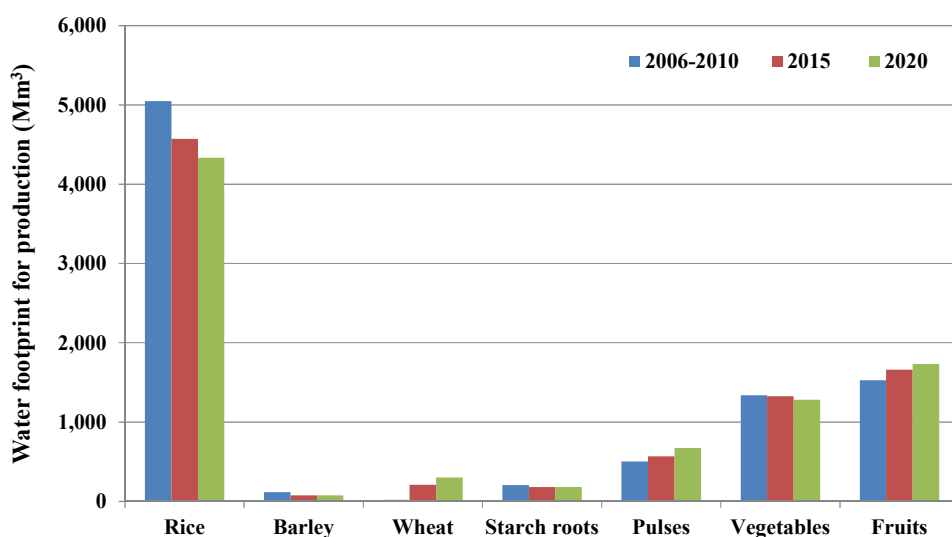


Fig. 42 Water footprint for production during 2006–2010 (average), 2015 and 2020.

5. 농업분야의 불확실성 분석

5.1 불확실성 분석

국가단위 물발자국의 산정에는 여러가지 불확실성을 내포하고 있다. 불확실성 분석은 관련 변수에서 불확실성을 정량화함으로써 의사결정과정에 기술적 기여를 하기 위한 것이다. 이 장에서는 1차년도에 수행한 물발자국 DB중에서 농업분야를 중심으로 불확실성을 분석하여 자료활용시 불확실성을 감안하여 의사결정을 할 수 있는 자료를 제공하는데 있다.

불확실성 분석은 데이터의 불확실성이 결과에 끼치는 영향을 정량화하고, 규명하는 시스템적인 절차이다(ISO 14041). 투입데이터에 확률분포(Probability distribution) 및 범위(Range)를 결정하여 결과에 대한 불확실성을 나타낼 수 있다. 불확실성 분석은 분석결과를 정량적으로 제공하기 때문에 결과의 신뢰성을 높일 수 있다. 불확실성 분석은 목적, 데이터 수집, 계산, 검증, 데이터 품질평가 및 불확실성 분석에 이르기까지의 체계적인 절차가 필요하다. ISO 14040 Series 및 Weidema (1996)의 연구에 기초해 불확실성 분석은 아래와 같이 실시한다.

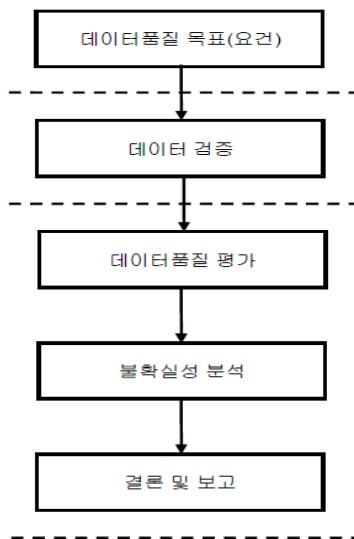


Fig. 43 Uncertainty Analysis Procedure (Weidema, 1996)

데이터 품질평가(Data Quality Assessment)는 데이터 품질요건에 대한 정의에서 출발한다. 데이터 품질요건에서 데이터 품질목표 및 데이터 수집전략을 세우고, 이후 데이터 검증과정을 거치게 된다.

데이터 품질평가 단계에서는 데이터 특성에 대한 품질을 정성적, 준정량적 또는 정량적인 방법으로 평가하고, 데이터 품질평가결과는 불확실성 분석에 활용된다. 불확실성 분석은 각 개별 데이터의 품질에 따른 불확실성 요소를 분석하여 전체결과에 미치는 영향을 분석한 후 결과를 확률분포 및 확률변수(예: 평균 및 표준편차)로 나타낸다.

불확실성 분석절차에서는 제일 먼저 수행되는 것은 분석대상 데이터의 선정이고, 그 다음은 확률분포 결정이다. 주요 데이터 선택은 데이터의 기여도 분석 및 데이터 품질평가를 통해 이루어진다. 여기서, 기여도 분석은 수집데이터가 전체 농업용수에 기여하는 정도를 비율(%)로 계산하였다.

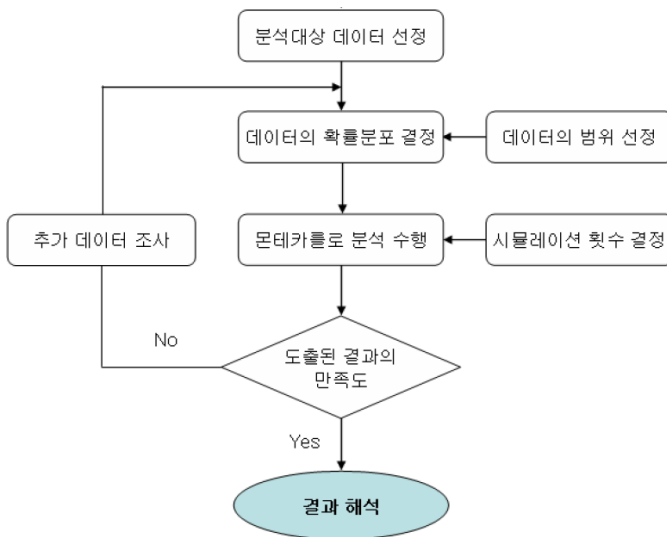


Fig. 44 Procedure of Monte Carlo simulation

정성적 데이터 품질 평가방법으로는 Matrix 또는 Check list의 형태가 주로 이용되고, 이 방법은 적용이 쉽고 모든 데이터에 대한 불확실성 분석이 가능하나 정량적인 분석방법에 비해 신뢰성이 떨어진다. 또한 데이터 간에 불확실성 관계를 알 수 없기 때문에 전체결과에 각 데이터가 어느 정도 영향을 주는지를 알 수 없는 단점이 있다.

데이터 품질평가 방법으로 데이터 품질지수(Data Quality Indicator ; DQI)가 많이 사용되고 있는데, 데이터 품질지수는 각 평가 기준(예: 신뢰성, 완전성, 대표성)을 정성적으로 평가하고, 데이터 품질특성을 수치화하여 나타낸다. ISO 표준에서는 데이터 품질지수의 사용을 의무사항으로 규정하지는 않지만, 여러 연구에서 데이터 품질평가와 관련하여 많이 사용되고 있다. 데이터 품질평가 기법을 적용시 주의할 점은 각 평가기준은 더블 카운팅을 피하기 위해 서로 독립적으로 평가한다. 예를 들어, 지역 상관성을 평가할 경우 시간 또는 기술 상관성에 대한 사항은 평가에 고려하지 않는다.

준정량적인 방법의 하나인 Pedigree 기법은 기여도 분석 및 데이터 품질평가를 토대로 불확실성이 높은 주요 데이터를 선택하고, 확률분포를 결정한 뒤 분석을 실시하게 된다. 여기서 데이터 정보량이 많은 경우, 정규분포(Normal distribution) 혹은 로그정규분포(Lognormal distribution)를 적용한다. 데이터 정보가 부족한 경우, 전문가 판단에 의한 균등분포(Uniform distribution) 혹은 삼각분포(Triangular distribution)가 사용한다. 확률분포가 결정되면 정량적인 불확실성 분석기법인 몬테카를로 시뮬레이션을 수행한다.

Pedigree matrix 기법은 기준이 분명하고, 적용하기 쉬우며, 결과를 알

아보기가 편하다는 장점이 있다. Pedigree matrix에서 데이터 품질평가 기준은 표 *에서 보는 바와 같이 신뢰성(Reliability), 완전성(Completeness), 시간상관성 (Temporal correlation), 지역상관성 (Geographical correlation), 기술상관성 (technological correlation) 이상 5가지로 구성되어 있다. 신뢰성은 데이터 출처, 획득방법 및 획득에 사용된 검증 절차를 평가한다. 완전성은 데이터의 통계적 특성과 관련한다. 얼마나 대표성 있는 샘플인지, 수집 데이터가 모집단의 특성을 잘 반영하고 있는지 그리고 데이터 수집기간이 적절한지를 평가한다. 시간상관성은 데이터 품질요건에서 정의한 대상년도와 수집데이터 사이의 시간적 관계를 평가한다. 지역상관성은 데이터 품질요건에서 정의된 대상지역과 수집된 데이터와의 관계를 평가한다. 기술상관성은 연구대상기업, 공정 및 물질 데이터와 수집된 데이터와의 상관성을 평가한다.

미국 환경보호청에서는 불확실성과 가변성을 확인하는 유용한 통계적인 툴(viable statistical tools)로 몬테카를로 분석을 권장하고 있다. 몬테카를로 분석의 목표 불확실성과 가변성을 정량적으로 결정함으로써 불확실성과 가변성을 야기하는 주요 원인을 제시하는데 있다. 몬테카를로 분석은 수학적으로 너무 복잡하거나 반복 수행이 어려운 분석에서 실제 상황을 모사하기 위한 하나의 분석적 방법이다.

5.2 민감도 분석

민감도 분석은 선택된 방법과 데이터가 결과에 미치는 영향을 평가하기 위한 체계적인 분석절차이다(ISO 14041). 민감도 분석의 주요 목적은 도출된 결과에 가장 큰 영향을 주는 데이터 및 가정을 규명하는데 있다(IEA 2001). 민감도 분석은 여러 변수들에 대하여 나머지 변수들은 고정

상태에서 한 변수를 변화시키면서 그것이 결과에 미치는 영향의 정도를 결정해 나가는 방법이다.

농업분야의 불확실성을 분석하기 위해 Pedigree 매트릭스를 이용해 데이터 품질평가를 실시하고, 기여도를 고려하여 분석대상 데이터를 선정하였다. 선정한 데이터에 대한 분석은 crystall ball 프로그램을 활용해 몬테카를로 분석과 민감도 분석을 실시하였다.

작물의 경우 증발산량 산정식인 Penman Monteith 모델의 불확실성을 분석하였다. 기상자료는 Tmean, RHmean, Rs, Wind와 강우량을 독립변수로서 정규 분포를 따르는 것으로 가정하였고, 증발산량은 종속변수로 가정하였다. Penman-Monteith 방법은 세계식량기구(FAO)가 개발하여 세계적으로 가장 널리 사용되는 방법이다.

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

where,

- ET_o : Potential ET (mm/day)
- R_n : Net radiation at reference surface (MJ/m²•day)
- (e_a-e_d) : Vapor pressure difference between saturated and actual(k Pa)
- △ : Slope of vapor pressure curve versus temperature(kPa/°C)
- γ : Psychrometric constant (kPa/°C)
- G : Soil heat flux density (MJ/m²•day)
- U₂ : wind speed at 2 meters height (m/s)

Table. 40 Data quality assessment criteria by Pedigree matrix

구분	잠수	세부평가 기준
신뢰성	1	측정을 기초로 검증데이터
	2	가정을 기초로 부분적으로 검증된 데이터 또는 측정을 기초로 검증되지 않은 데이터
	3	가정을 기초로 부분적으로 검증되지 않은 데이터
	4	정성적인 추정(예: 전문가)
	5	비정성적인 추정
완전성	1	적절한 기간 및 충분한 현장의 대표 데이터
	2	적절한 기간 동안 적은 수의 현장에서의 대표 데이터
	3	짧은 기간에서 적절한 수의 현장데이터의 대표 데이터
	4	적은 수의 현장 및 짧은 기간의 대표데이터 또는 적절한 수 및 기간에서의 불완전한 데이터
	5	짧은 기간 및 (또는)적은수의 현장데이터의 대표성을 알지 못하거나 불완전한 데이터
시간상관성	1	연구년도와 3년 이하 차이
	2	연구년도와 6년 이하 차이
	3	연구년도와 10년 이하 차이
	4	연구년도와 15년 이하 차이
	5	연구년도와 15년 이상 차이가 나거나 데이터 년수를 알지 못할 경우
지역상관성	1	연구대상 지역의 데이터
	2	연구대상 지역을 포함한 지역의 평균데이터
	3	유사한 생산조건을 가진 지역의 데이터
	4	약간 유사한 생산 조건을 가진 지역의 데이터
	5	매우다른 생산조건을 가진 지역의 데이터 또는 알려지지 않은 지역의 데이터
기술상관성	1	연구 대상의 기업, 공정 및 물질 데이터
	2	연구대상과 다른 기업의 공정 및 물질 데이터
	3	연구대상의 공정 및 물질 데이터 그러나 다른 기술 데이터
	4	공정 및 물질과 관련한 데이터 그러나 같은 기술
	5	공정 및 물질과 관련한 데이터 그러나 다른 기술

작물이외에 육림용수량은 목재생산 산림면적에 단위소비수량인 640 mm를 곱하여 산정하였다. 여기서 산림면적은 생산에 기여하는 1.46백만 ha만을 적용하였는데, 이는 전체 경제림이 2.92백만 ha 중 목재생산과

관련된 50%만을 고려한 것이다(Won et al., 2011).

$$WU_{forest} = A_e * ET_c * 10$$

여기서,

WU_{forest} : 목재생산 물사용량

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

산림면적은 beta pert dist (min max average), 증발산량은 정규분포를 따르는 것으로 가정하였다.

Table. 41 Data quality assessment result of agricultural sectors

항목	신뢰성	완전성	시간상관성	지역상관성	기술상관성	DQI	기여도	물사용량 (천톤)
벼	2	3	3	3	1	12	39.9%	13,161
과일	2	3	3	3	1	12	3.6%	1,187
채소	2	3	3	3	1	12	5.4%	1,773
초지	2	3	3	3	1	12	0.6%	191
소	2	3	3	3	1	12	0.1%	34
돼지	2	3	3	3	1	12	0.3%	106
닭	2	3	3	3	1	12	0.1%	35
육림	3	4	3	3	1	14	28.3%	9,344
양식	3	4	3	3	4	17	17.0%	5,598

Table. 42 Probability distribution and simulation condition

분야	변수	확률분포			Distribut ion	Selection
		Average	Min	Max		
쌀	ETc(mm)	515.5	SD: 37.47		Logistic	160 samples
	A(1000 ha)	1,043.2	979.7	1,083.1	Triangle	160 samples
	Yield(1000ton)	6,890.7	6,151.2	7,406.5	Triangle	160 samples
육림	ETc(mm)	640	-10%	+10%	Triangle	Experts
	Area(1000ha)	1,460	-10%	+10%	Triangle	Rule of thumb
수산양식	Water use coeff.	Depending on the type of cultivation			Triangle	Reference
	Area (ha)	Depending on the type of cultivation			Triangle	2005 Statistics

5.3 불확실성 분석 결과

입력 자료 (기상자료, T_{mean} , RH_{mean} , R_s , Wind)에 따른 sensitivity analysis를 실시한 결과, 가장 영향을 많이 미치는 것은 상대습도인 것을 알 수 있고, 다음은 wind와 Solar radiation 인 것을 알 수 있다.

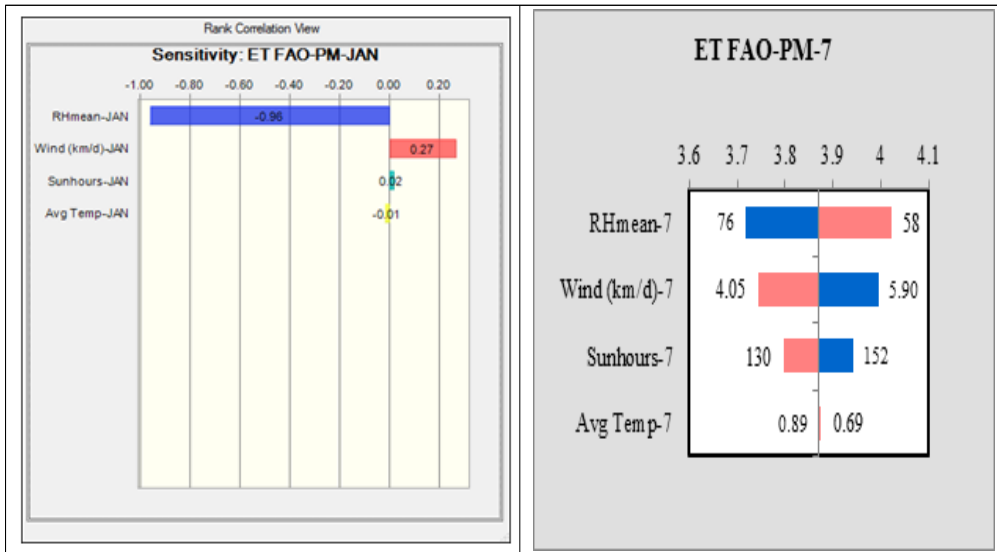


Fig. 45 Sensitivity analysis of crop water requirement of rice (Penman Monteith equation)

상대습도와 평균기온은 음의 방향으로 민감하고, 바람과 solar radiation은 양의 방향으로 민감한 것으로 나타났다. 계절별 차이를 보면, 여름에는 wind의 영향이 2순위로 민감도에 영향을 주며, 4, 6, 8, 11월에는 solar radiation 이 바람보다는 더 큰 민감도를 보여주는 것으로 나타났다.

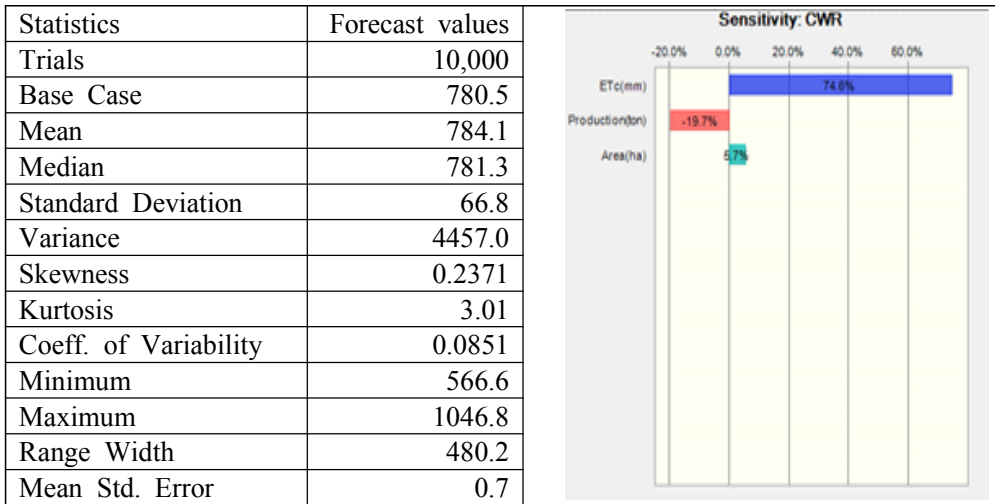


Fig. 46 Sensitivity analysis of Crop water requirement estimation

양식용수의 경우, 현재 물사용량 통계가 부재하여 추정치를 사용할 수 밖에 없는데, 추정결과는 95% 신뢰수준에서 4.3 billion - 9.3 billion, 평균 6.6 billion m³/year의 물을 사용하는 것으로 분석되었다.

6. 물발자국 인벤토리를 활용한 제품단위 물발자국 산정

6.1 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 방법

6.1.1 기초자료 조사

- 대상제품 : 옥수수 수염차, 두부, 세탁기
- 선정원칙 : 생산, 사용단계 물사용량이 많은 제품
- 범 위 : 원료취득, 제조, 사용(폐기단계 제외)
- 물발자국 기초원단위: 1차년도 물사용강도 및 단가자료 이용해 사용량 원단위 이용
- 자료수집 : 물품 자재표(BOM) 및 문헌자료
- 물발자국 산정식 : $WFI_j = \sum M_{ij} \times WFI_i$

WFI_j : 제품 j의 물발자국

M_{ij} : 제품 j에서 물질 i의 투입량

WFI_i : 물질 i의 물발자국 원단위

여기서, WFI_i 는 1차년도에 산정한 물사용강도($m^3/원$)에 단가 자료 곱하여 산출함. 이 연구에서 사용한 단가 자료는 한국은행에서 발간한 산업연관표 상의 2003년 기준 공급액 자료임.

6.1.2 제품의 제조공정

1) 두부 제조

두부제조 원료는 대두(300g), 응고제로 간수 혹은 황산칼슘이 사용되고, 대두에 대해 2~4%정도가 투입된다. 소포제로 실리콘 수지 또는 지방산 에스테르가 사용된다.

- 침지(Settlement) : 대두를 계량 후 수세하여 침지하는데, 이때 헹잡물이 뜨는 것은 건져내며 침지 시간은 계절에 따라 차이가 있다.

- 물분리 : 대두가 물을 흡수하여 약 2.2배가량 팽화되고 흡수된 물을 분리해낸다.
- 마쇄 (Crushing): 팽화된 대두를 마쇄기에 보내 마쇄하여 대두내의 가용성 성분이 용출되기 쉽게 하는데 이러한 마쇄된 슬러리 (Slurry)를 콩즙이라 부르며 이의 비중은 원료대두의 약 5배가 된다.
- 가열 (Heating) : 콩즙을 가열하여 단백질을 물에 충분히 용해시킨다. 가열시간은 100℃ 부근에서 5 ~ 10분 가열시키며 이 때 거품이 생겨 흘러넘치게 되면 소포제를 몇 방울 가하여 거품을 내지 않게 한다.
- 원심분리 (Separating): 분리기에 보내어 두유와 비지를 분리한다.
- 응고(Solidifying) : 분리된 두유는 통상 70 ~ 80℃에 보관하면서 응고제를 가하여 응고 시킨다. 응고제로는 황산칼슘이 사용되나 제품에 따라서는 염화마그네슘을 이용하는데 이들은 미리 용해하여 대두에 대해 2 ~ 4%를 가한다.

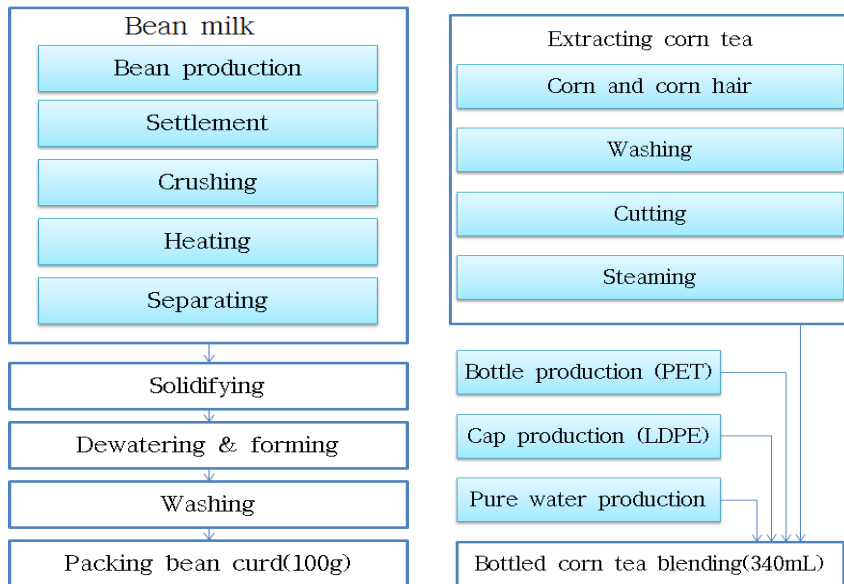


Fig. 47 Production process of bean curd and corn tea

- 탈수성형 (Forming) : 구멍이 있는 두부상자에 여과천을 깔고 응고한 두부를 담은 후 구멍을 따라 물을 흘러 보낸다. 상부에도 여과천을 덮고 가벼운 돌로 누르며 점차 무겁게 한다. 20분가량 지나면 완전히 엉겨 두부가 만들어 진다.
- 수세 (Washing) : 두부상자에서 절단한 두부는 수세조에서 1~3시간 정도 담가서 과잉의 간수성분을 빼내는 동시에 두부모양이 허물어지는 것을 막으면서 냉각시킨다. 여기에 차아 염소산소다를 첨가하여 소독을 겸하게 된다.

2) 옥수수 수염차 제조

- 옥수수 수염차는 아래 그림에서 보는 바와 같이 먼저 옥수수와 수염을 원료로 부터 추출액을 생산한 후 제조된 용기에 정제수와 혼합하여 옥수수 수염차를 만들게 된다.

3) 세탁기 제조

- 세탁기 제조시 투입되는 원료들의 수량을 파악하기 위해 대상 세탁기의 BOM(Bill of Materials, 자재명세서)을 참조하여 중량대비 65%에 해당하는 투입물질을 활용하였다 (김우람, 2011). 세탁기의 핵심부품은 협력업체에서 제조하여 세탁기 조립공장에서 조립·생산하는데, 주요 부품은 그림 23에서 보는 바와 같이 18개 업체로부터 28개 부품이 사용된다.
- 제조단계에서 에너지 사용량은 조사된 자료를 활용하였으며, 사용 단계에서 국내 탄소성적표지제도의 가정용 세탁기 탄소배출량 산정지침을 참고하여 설정하였다.

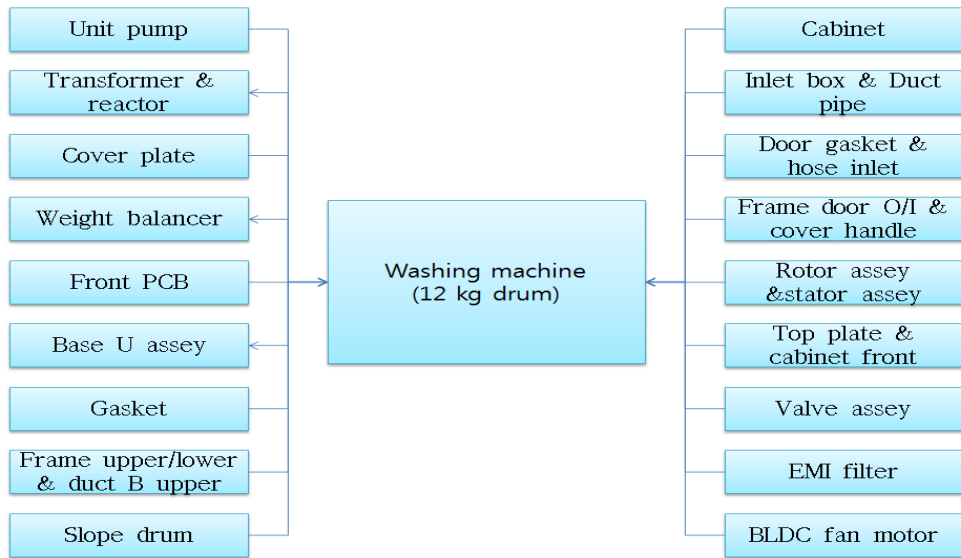


Fig. 48 Production process of washing machine (김우람, 2011, p 48)

Table. 43 Functional unit and data collection

구분	포장 두부	옥수수 수염차	세탁기
기능 단위	B사의 포장 두부 (중량 100g)	C사의 옥수수 수염차 (340 mL 한병)	A사의 드럼 세탁기 (용량 12Kg)
원료 취득 단계	콩 원료량	옥수수 원료	세탁기의 BOM (김우람, 2011)
제조 단계	직접수: 폐수처리장 설계자료, 간접수: 투입물질, 제조공정의 에너지 사용량	직접수: 제조공정에서 사용된 물의 양 간접수: 원료취득 및 제조 공정에서의 사용된 물사용	28개 핵심부품 (18개 업체)
사용 단계	고려하지 않음	고려하지 않음	고려함
Cutoff	95%	95%	65%

※ 직접수: 세탁용 생활용수(71kg/회), 간접수: 세제, 투입전력 (전과정)
작성지침참조

6.2 농산물 가공식품 및 공업제품의 물발자국 산정 결과

6.2.1 두부 사례

두부 100g 생산에 필요한 물사용량은 총 1,488 L이고 이중 두부제조와 포장을 위해 사용된 직접수는 21L에 불과하고, 원료물질 취득, 즉 콩재 배에 필요한 물사용량이 1,427 L로 분석되었다. 직접수중 수세와 기기바닥세정에 필요한 물이 90.8%를 차지하고 침지를 비롯한 다른 공정에서 물사용량은 미미한 것으로 분석되었다.

Table. 44 Direct water use for 100g bean curd production

공정	침지	탈수성형	수세	장치세정	기기바닥세정	계
물사용량(L)	0.972	0.9072	10.692	0.108	8.920	21.6
비율(%)	4.5	4.2	49.5	0.5	41.3	100

Table. 45 Input materials and energy for bean curd production

공정	투입물질/에너지	100g 기준	
		투입량	단위
원료 취득	대두	500.0	g콩/g두부
제조 공정	공정수	21.6	L
	전력	13.8	kwh
	연료(경유)		
포장	충진수	0.033	L
	용기(PE)	2.62	g
	필름PP	0.48	g

Table. 46 Results of water use for bean curd by unit process

공정	계	원료물질 취득	제조	포장
물사용량(L)	1,482	1,427	21.6	0.04

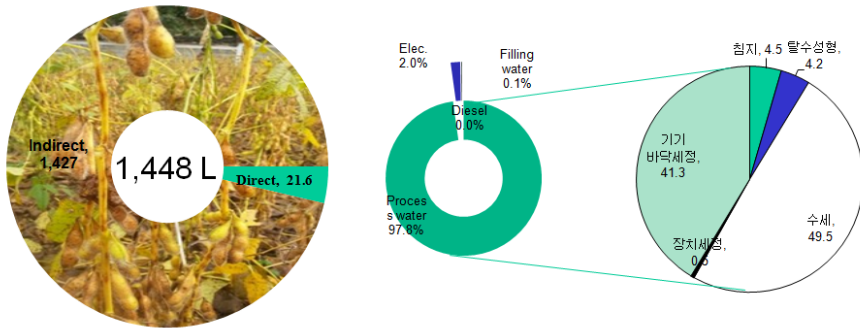


Fig. 49 Water footprint inventory of bean curd production

6.2.2 옥수수 수염차 사례

340mL의 옥수수수염차를 제조하는데 총 124.2L의 물이 필요하고, 이중 직접수는 0.97 L, 간접수는 123.3 L가 소요되는 것으로 분석되었다. 간접수가 전체 물사용량의 99%이상의 차지하고 직접수는 1%미만이다. 99%의 간접수중 가장 많은 부분을 차지하는 공정은 제품을 담은 PET를 생산하는데 많은 간접수가 필요하기 때문이다. 따라서 용수의 재이용 혹은 재활용은 물사용량을 전체적으로 줄일 수 있는 대안이 될 수 있다.

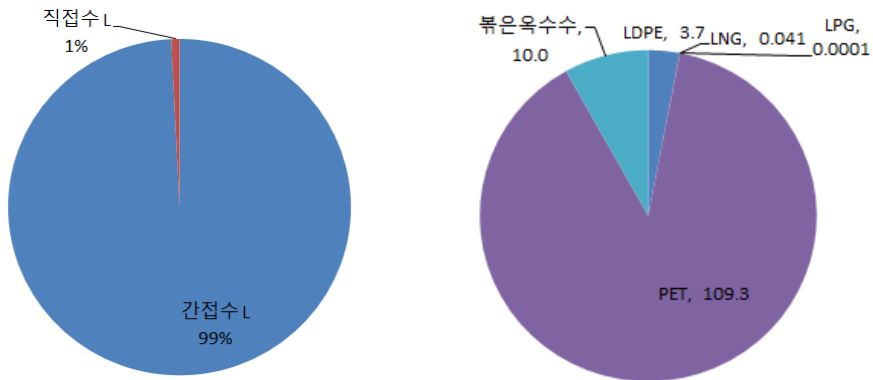


Fig. 50 Water footprint inventory of corn tea production (unit: L)

6.2.3 세탁기 물사용량 분석 결과

아래 그림은 세탁기 제조·사용에 따른 물사용량 산정결과를 나타낸 것으로 세탁기 한 대를 5년간 사용할 경우, 총 물사용량은 108,804 L로 분석되었고, 직접수와 간접수가 각각 80,607 L, 28,197 L로 직접수가 74%이었다. 단계별 물사용량을 살펴보면, 원료취득단계 20%, 제조단계 1%, 사용단계 79%로 분석되었으므로 사용단계의 물사용량의 절감이 중요한 것으로 판단된다. 기존의 세탁기 사례분석결과(김우람, 2011)와 비교해 보면, 원료취득단계의 물사용량은 이번 연구의 결과가 15.7%정도 크게 나타났고, 사용단계는 이번 연구결과가 작게 나타났는데, 이는 이 연구에서 개발된 물사용계수(DB)가 기존의 LCI DB의 물사용계수가 낮게 나타나기 때문이다.

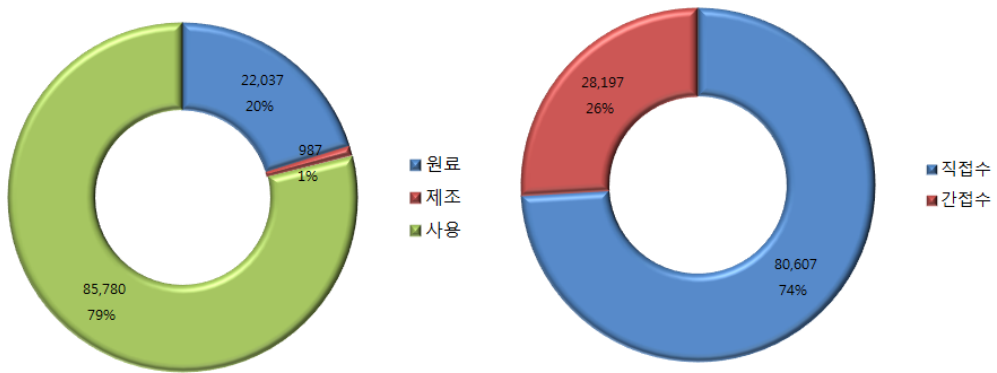


Fig. 51 Water footprint inventory of washing machine (unit: L)

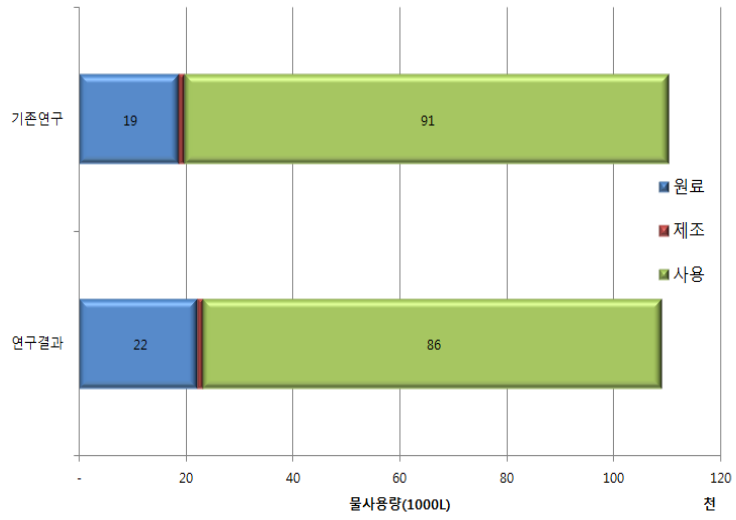


Fig. 52 Comparison of water use of washing machine with previous study

7. 물발자국의 정책적 활용 방안

7.1 물발자국의 활용과 산업

- 물발자국은 한 국가에서 사용되는 물의 이력, 즉 물이 어떻게 사용되고, 어디로 이동하는지에 대하여 정량적으로 제시해주는 역할을 해주지만 이를 통하여 여러 가지 다른 측면으로 살펴볼 수 있는 함의를 가지고 있다.
- 산업 측면에서는 용수의 확보가 어려워지고 산업간 물 사용에 있어 갈등이 있는 가운데 원료와 생산 그리고 유통에 이르는 과정에서의 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.

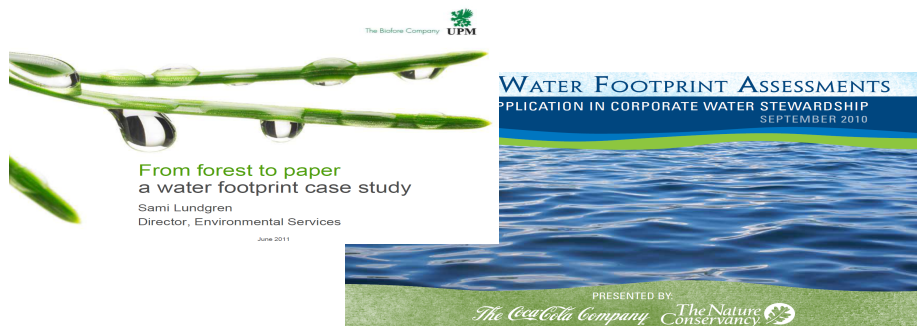


Fig. 53 Water footprint reports from multinational corporation such as Coca-Cola Enterprises and UPM

7.2 물발자국 인증 도입과 전망

7.2.1 물발자국 인증제의 필요성

- 소비자에게 생산품 소비에 의해 사용된 물의 양에 대한 정보를 제공
- 생산자에게는 물발자국을 통하여 생산과정의 단계별 물사용량을 평가
- 국가는 내부적으로 제품에 사용되는 산업별 물의 양을 평가 및 조절
- 국가간 농산물 교역시 가상수 수입/수출이 많은 국가와의 교역에 대비할 수 있는 정책 마련

7.2.2 물발자국 인증 추세 및 전망

현재 다국적 컨설팅회사에서는 탄소인증제와 같이 water footprint certification 또는 verification 이란 단어를 사용하면서 다국적 기업이나 대기업 중심으로 물발자국 검증 사업을 이미 시작하였다. 물발자국 인증을 회사의 사업영역으로 진행하고 있는 회사는 Water footprint Certification Consultancy, TÜVRheinland CICS, PE International 등이 있으며, PE International 은 GaBi Software를 이용하여 LCA 기반 Water Footprint service를 제공하고 있으며 이 회사는 우리나라 POSCO의 탄소발자국 평가 용역을 수행하였다. 이처럼 기업차원에서는 일부 물발자국 검증을 시행중이지만 물발자국 인증을 위한 국제적인 표준은 아직 마련되어 있지 않은 실정이다.

○ 기후변화에 따른 지속가능한 수자원 이용의 중요성 증가

기후변화와 더불어 수자원의 보호와 효율적 사용이 보다 강조되고 있는 상황에서 수자원에 대한 사용에 있어서 산업에서의 물발자국의 평가와 검증은 향후 보다 그 필요성이 대두될 것으로 판단된다.

○ 국제적인 표준안에 대한 중요성 증가

국제표준기구 ISO (International Organization for Standardization)에 의해 표준으로 제정되고 향후 “The Greenhouse Gas Protocol”과 같은 형태의 “Water Footprint Protocol”이 제정되면 인증제가 보다 가속화 될 것으로 예상된다.

ISO 14064-1에 의한 탄소발자국 인증은 인벤토리작성 위주의 검증인데, 이를 감안한다면 물발자국 검증에 있어서도 기업의 물 사용에 대한 생산단계별 모니터링과 인벤토리 작성이 기본적으로 이루어져야 할 것이다.

○ 물발자국의 인증의 주요 요소

기업이나 농축산물 생산에 사용되는 수량 기준에 대한 표준 프로토콜 부합여부에 대한 평가와 배출 수질에 대한 평가 등이 제안될 수 있다. 이를 위하여 국제적으로는 물발자국에 대한 프로토콜 셋업이 진행될 필요가 있으며, 기업은 생산단계별 가상수 산정, 물사용량 지수 산정 등의 정성적, 정량적인 평가 및 인벤토리 작성을 수행해야 할 것으로 판단된다.



Fig. 54 Product water footprint verification statement of DA.AI by TÜVRheinland

8. 결 론

본 연구에서는 1차년도에 개발한 물발자국 DB 기초 자료를 고도화하고, 기 개발된 DB를 활용하여 농산물 가상수 교역분석과 제품단위의 물발자국 산정 등과 같은 적용성을 분석하여 물발자국 활용방안을 제시하고자 하였다. 주요 연구결과는 아래와 같다.

○ 축산물의 물발자국 산정

- 물발자국 구성 : 음용수, 세척수, 사료소비에 따른 간접수
- 한우(거세우)의 물발자국: 17736.7 m³/ton
- 양돈(비육돈)의 물발자국: 4441.4 m³/ton
- 닭(육계)의 물발자국: 2548.7 m³/ton

→ 물발자국 데이터 고도화의 일환으로 물발자국의 대상 범위를 축산분야 까지 확대함

○ 농작물의 가상수 교역 분석

- 우리나라의 국외 가상수 의존도 분석
 - 내부 물발자국: 40 Gm³, 외부 물발자국: 96 Gm³
 - > 국외 가상수 의존도: 70 % 초과
 - 주 사료용 작물인 옥수수과 두류작물의 경우 90% 이상이 국외 가상수 의존적임
- 전세계 가상수 교역 구조의 중심지 변화 분석
 - 식량용 곡물(밀, 쌀, 보리, 기타 잡곡)의 경우 2006년과 2008년 미국의 외향 연결중심성이 가장 높게 나타남. 러시아는 2008년에는 낮은 연결중심성이 산정되었으나 2009년에는 높게 나타남. 호

주와 우크라이나는 2006년 이후 외향 연결중심성이 점차 증가함.

- 사료용 작물 (옥수수, 대두, 대두박)의 경우 2008년 미국의 외향 연결중심성이 높고, 2009년에는 아르헨티나의 중심성이 급격히 낮아짐. 브라질의 외향 연결중심성은 조금씩 증가하는 추세로 나타남. 내향 연결중심성은 주 수입국인 중국이 가장 높고, 점차적으로 증가함

→ 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조를 고려한 물 관리 정책 수립시 활용

- 우리나라의 국외 가상수 의존도가 높은 만큼 향후 국외 주요 수출국의 수자원 변화 및 가상수 교역 구조의 변화에 민감하게 반응할 수 있는 수입 정책 수립시 활용 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.

○ 국내 식량정책과 물발자국의 활용

- 국내 1인당 농작물 소비에 의한 물발자국 추정
 - 1985년: 264.9 m³/yr, 1995년: 275.4 m³/yr → 다소 증가하거나 비슷한 수준 유지
 - 2005년과 2010년: 각각 252.6 m³/yr, 240.7 m³/yr → 감소 경향
- 식량자급률의 목표를 위하여 농산물 생산에 소요되는 잠재적인 농업용수량 산정 결과

- 2015년: 백미, 보리의 경우 각각 479.8 백만 m^3 , 40.3 백만 m^3 씩 감소. 밀은 189.5 백만 m^3 증가 2020년: 백미, 보리의 경우 각각 716.4 백만 m^3 , 40.3 백만 m^3 씩 감소. 밀은 283.9 백만 m^3 증가

→ 미래의 식량정책 달성을 위해 추가적으로 사용되는 용수량 추정

- 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 물관련 이슈를 선점할 수 있음.

○ 제품 단위 물발자국의 활용

- 농산물 가공식품인 두부, 옥수수 수염차 및 공업제품인 세탁기의 제조공정에 따른 물발자국
- 두부 100g 생산시 물사용량: 1,482 L // 340ml의 옥수수수염차 제조시 물사용량: 124.2L
- 세탁기의 경우 한 대를 5년간 사용할 경우, 총 물사용량: 108,804 L

→ 물발자국 인증제도 도입시 기초데이터 베이스로 활용

- 물발자국 데이터베이스는 제품의 생산 혹은 서비스의 물발자국의 구체적으로 적용하는 기초데이터로서 활용이 가능할 수 있을 것으로 판단되며, 제품별 인벤토리 수준의 물사용량 평가를 위한 유용한 정보를 제공해 줄 수 있음.

○ 물발자국의 정책적 활용방안

- 기업 단위의 물발자국 활용

- 원료와 생산 그리고 유통에 이르는 과정에서의 물 사용량을 평가
- 생산단계별 용수의 낭비요소 제거, 원가 절감, 환경 친화적인 재화 생산의 기회 제공

- 국가 단위의 물발자국 인증제 검토

- 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.

→ 인증제를 통한 농축산물 생산과정의 물 이력 추적에 의한 생산 단계별 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.

→ 지속가능한 수자원 이용 달성을 위한 정부와 산업체의 협력 체계 구축시 연결고리로 활용

- 기업과 정부가 협력하여 수자원 이용의 효율성을 높이기 위해 물

발자국 인증제를 도입할 수 있으며, 이때 물발자국 데이터는 기업과 정부의 중요한 연결고리 역할을 수행할 수 있음

→ 사업 및 지역개발의 지속가능성 평가를 위한 물발자국 데이터의 활용

- 새만금 개발 및 지역개발사업 등에 환경성을 평가하는데 있어서 수자원의 지속가능성을 물사용량으로 평가할 수 있는 기초자료를 제공함

본 연구의 결과는 향후 각 분야별 물발자국과 지역 및 국가간 가상수 교역을 고려한 효율적인 국가물관리계획 및 정책 수립의 지원 체계 구축을 위한 기초자료로서 활용 가능하고, 물발자국 인증제도 등의 물발자국 정보를 활용한 국내 물관리 정책에 대한 지원 및 방향 제시를 위한 근거자료로서 활용 가능할 것이다. 또한 제품단위 생산과정의 물 이력 추적이 가능하며 이에 따라 생산 단계별 물 사용량을 평가하여 효율적인 수자원 활용에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 건설교통부 (2006). 수자원장기 종합계획 (2006~2020): 제4편 물이용종합 계획, 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.
- 수자원공사. (2011). 수자원장기종합계획(2011-2020) 수립을 위한 연구보고서. 건설교통부.
- 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, *Ecological 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 assessment 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.
- 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. Erwin, 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.
- 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. *Ecol. 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.

안상전, 2005, 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-carlo simulation)을 이용한
전과정향평가의 불확실성에 대한 확률통계적 분석, 석사논문, 아주대학교

환경부 친환경상품진흥원, 2007, 전과정평가 기법을 적용한
전과정위해성평가 방법론 표준 및 관련 데이터베이스 구축

ISO 14041:1998. Environmental management - Life cycle assessment -
Goal and scope definition and inventory analysis

Heijungs R (1996): Identification of key issues for further investigation in
improving the reliability of LCA, J Clean Prod, 4(3/4), 159-166

Won H G, Kim Y H, Jang K M, Kim C M, Lee K H (2011): Management
of economic forest and model for long-term management plan, Seoul,
Korea, pp59-62, (in Korean)

FAO (2009): CROPWAT Software: A Computer Program for Irrigation
Planning and Management

Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M (1998): Crop
evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements,
Via delle Terme di Caracalla 00100 Rome, Italy

Weidema BP., Wesnaes MS ” Data quality management for life cycle
inventories-an example of using data quality indicators” , J. Cleaner
Production vol.4,No.3-4,167-174, 1996

부 록: 가상수 교역량 산정 결과

■ 우리나라의 연도별 가상수 수입량 산정 결과

Table 1 우리나라 가상수 수입량 (2006)

Crops	Exporters	Import (1000 ton / Mm ³)			
		Crop	Green Water	Blue Water	Total Water
Wheat	CANADA	608	812.6	2.9	815.5
	CHINA	406	333.1	189.1	522.2
	UKRAINE	81	139.7	1.5	141.2
	USA	1132	2116.2	104.0	2220.2
	Others	1	1.5	0.6	2.1
	Total		2228	3403.1	298.1
Rice	CHINA	140	100.9	45.2	146.0
	THAILAND	46	110.4	22.7	133.1
	USA	66	36.4	73.1	109.5
	Total	252	247.7	140.9	388.6
Maize	ARGENTINA	14	14.6	0.2	14.8
	BRAZIL	800	1296.6	0.4	1297.0
	CHINA	1975	1562.7	145.6	1708.3
	USA	6053	3162.3	383.1	3545.3
	Others	2	3.0	0.1	3.1
	Total	8844	6039.2	529.4	6568.6
Pulse crops	ARGENTINA	532	924.0	2.3	926.3
	BRAZIL	1100	2214.5	0.8	2215.3
	CHINA	143	328.4	31.1	359.5
	INDIA	623	2192.5	11.6	2204.1
	USA	500	764.2	45.2	809.5
	Others	3	5.1	0.3	5.4
	Total	2901	6428.6	91.3	6520.0

Table 2 우리나라 가상수 수입량 (2007)

Crops	Exporters	Import (1000 ton / Mm ³)			
		Crop	Green Water	Blue Water	Total Water
Wheat	CANADA	94	125.6	0.4	126.1
	CHINA	986	809.0	459.2	1268.2
	INDONESIA	12	15.3	4.1	19.4
	USA	1282	2396.6	117.8	2514.4
	Others	8	22.3	5.4	27.7
	Total		2382	3359.4	584.6
Rice	CHINA	159	115.2	51.6	166.8
	THAILAND	48	119.6	24.6	144.2
	USA	73	40.7	81.6	122.3
	Total		280	275.5	157.8
Maize	ARGENTINA	249	260.3	3.5	263.8
	BRAZIL	660	1069.7	0.4	1070.0
	CHINA	3214	2543.1	236.9	2780.1
	INDIA	62	138.8	6.4	145.2
	USA	4575	2390.1	289.5	2679.7
	Total		8760	6402.0	536.7
Pulse crops	BRAZIL	1251	2482.1	0.9	2483.1
	CHINA	331	763.9	73.2	837.2
	INDIA	494	1738.5	9.2	1747.7
	JAPAN	12	35.5	0.8	36.3
	PARAGUAY	67	138.5	0.0	138.5
	USA	604	911.9	54.0	965.8
	Others	5	8.5	0.4	8.9
	Total		2764	6078.9	138.5

Table 3 우리나라 가상수 수입량 (2008)

Crops	Exporters	Import (1000 ton / Mm ³)			
		Crop	Green Water	Blue Water	Total Water
Wheat	CANADA	251	335.5	1.2	336.6
	UKRAINE	594	1024.6	11.2	1035.8
	USA	2274	4251.1	209.0	4460.1
	Others	2	3.5	0.6	4.1
	Total	3121	5614.7	222.0	5836.7
Rice	CHINA	162	117.9	52.8	170.7
	THAILAND	63	149.6	30.8	180.4
	USA	146	81.4	163.1	244.5
	Total	371	348.9	246.7	595.6
Maize	AUSTRALIA	21	15.8	14.2	30.0
	BRAZIL	319	517.0	0.2	517.2
	INDIA	233	521.7	24.0	545.7
	INDONESIA	18	24.6	0.6	25.3
	ROMANIA	111	112.5	2.2	114.6
	USA	11362	5935.8	719.1	6654.9
	Others	8	25.3	0.2	25.5
	Total	12072	7152.7	760.4	7913.1
Pulse crops	ARGENTINA	563	977.8	2.5	980.3
	BRAZIL	1120	2217.6	0.8	2218.4
	CHINA	337	815.7	78.7	894.4
	INDIA	406	1428.8	7.6	1436.4
	PARAGUAY	107	221.2	0.0	221.2
	USA	951	1395.7	82.7	1478.5
	Others	4	6.5	0.4	6.9
	Total	3488	7063.4	172.6	7236.0

Table 4 우리나라 가상수 수입량 (2009)

Crops	Exporters	Import (1000 ton / Mm ³)			
		Crop	Green Water	Blue Water	Total Water
Wheat	AUSTRALIA	815	1628.3	13.4	1641.7
	CANADA	177	236.6	0.8	237.4
	RUSSIAN	66	151.7	2.0	153.7
	UKRAINE	1758	3032.5	33.1	3065.6
	USA	1109	2073.2	101.9	2175.1
	Total		3925	7122.3	151.3
Rice	CHINA	170	124.6	55.8	180.3
	THAILAND	30	76.2	15.7	91.9
	USA	42	24.3	48.6	72.9
	Others	1	1.5	0.2	1.7
	Total		243	226.5	120.3
Maize	ARGENTINA	167	174.6	2.3	176.9
	AUSTRALIA	8	6.0	5.4	11.4
	BRAZIL	583	944.9	0.3	945.2
	ROMANIA	325	329.4	6.3	335.7
	UKRAINE	126	133.6	11.0	144.6
	USA	6058	3164.9	383.4	3548.3
	Others	4	3.7	0.7	4.4
	Total		7271	4757.1	409.4
Pulse crops	ARGENTINA	218	378.6	1.0	379.6
	BRAZIL	1434	2779.9	1.1	2780.9
	CHINA	303	708.6	68.0	776.7
	INDIA	106	373.0	2.0	375.0
	USA	897	1324.6	78.4	1403.0
	Others	4	7.2	0.3	7.5
	Total		2962	5572.0	150.7

Table 5 우리나라 가상수 수입량 (2010)

Crops	Exporters	Import (1000 ton / Mm ³)			
		Crop	Green Water	Blue Water	Total Water
Wheat	AUSTRALIA	957	1912.0	15.7	1927.7
	BRAZIL	93	185.0	0.1	185.1
	BULGARIA	227	334.0	0.0	334.0
	CANADA	854	1141.4	4.0	1145.4
	DENMARK	103	54.6	0.7	55.3
	GERMANY	52	31.2	0.0	31.2
	ROMANIA	163	271.5	7.4	279.0
	RUSSIAN	66	151.7	2.0	153.7
	UKRAINE	327	564.1	6.2	570.2
	USA	1528	2856.5	140.4	2996.9
	Total	4370	7502.0	176.5	7678.5
Rice	CHINA	182	134.8	60.3	195.1
	PAKISTAN	6	5.8	19.0	24.8
	THAILAND	58	143.2	29.5	172.7
	USA	104	58.6	117.4	176.0
		Total	350	342.4	226.2
Maize	ARGENTINA	255	266.6	3.6	270.1
	AUSTRALIA	8	6.0	5.4	11.4
	BRAZIL	191	309.6	0.1	309.7
	CHINA	11	8.7	0.8	9.5
	ROMANIA	344	348.6	6.7	355.3
	S O U T H AFRICA	358	594.7	12.1	606.9
	USA	7011	3662.8	443.7	4106.5
	Others	5	9.7	0.5	10.2
	Total	8183	5206.6	472.9	5679.5
Pulse crops	ARGENTINA	400	694.7	1.8	696.5
	BRAZIL	1409	2715.6	1.0	2716.7
	CHINA	139	306.7	28.6	335.3
	INDIA	131	461.0	2.4	463.5
	USA	961	1435.7	85.0	1520.7
	Others	5	7.7	0.4	8.1
	Total	3045	5621.4	119.2	5740.6

■ 전세계 연도별 가상수 수·출입량 산정 결과

Table 6 전세계 가상수 수입량 (2006)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	EGYPT	11.5	0.5	11.9
	BRAZIL	11.5	0.1	11.6
	ITALY	8.2	0.5	8.7
	INDIA	8.3	0.1	8.4
	JAPAN	7.2	0.3	7.5
	MEXICO	5.7	0.2	5.9
	NIGERIA	5.5	0.2	5.8
	SPAIN	5.1	0.1	5.2
	Total		165.4	5.8
Rice	COTE DIVOIRE	2.6	1.6	4.2
	IRAN ISLAM. REP	2.2	1.5	3.8
	PHILIPPINES	2.7	0.7	3.3
	IRAQ	2.2	1.1	3.2
	SOUTH AFRICA	2.1	0.9	3.1
	NIGERIA	2.2	0.6	2.9
	UNITED ARAB EM.	1.0	1.6	2.6
	SAUDI ARABIA	1.7	0.9	2.6
Total		47.2	27.0	74.2
Barley	SAUDI ARABIA	9.0	0.3	9.3
	CHINA	2.0	0.1	2.1
	JAPAN	1.4	0.1	1.5
	NETHERLANDS	1.0	0.1	1.1
	JORDAN	0.9	0.0	0.9
	TUNISIA	0.8	0.0	0.8
	SPAIN	0.7	0.0	0.8
	SYRIAN ARAB REP	0.7	0.0	0.7
Total		25.1	0.9	26.0
Maize	JAPAN	8.9	1.1	10.0
	KOREA REP.	6.0	0.5	6.6
	MEXICO	4.1	0.5	4.6
	SPAIN	3.5	0.2	3.7
	IRAN ISLAM. REP	3.1	0.0	3.2
	TAIWAN (POC)	2.3	0.3	2.5
	BRAZIL	2.5	0.0	2.5
	MALAYSIA	2.4	0.1	2.5
Total		67.8	5.2	73.0
Root and tuber crops	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.2
	SPAIN	0.1	0.0	0.1
	BELGIUM	0.1	0.0	0.1
	GERMANY	0.0	0.0	0.1
	USA,PR,USVI	0.0	0.0	0.1
	RUSSIAN FED	0.0	0.0	0.1
	UNITED KINGDOM	0.0	0.0	0.0
	PORTUGAL	0.0	0.0	0.0
Total		0.8	0.3	1.2

Table 7 전세계 가상수 수입량 (2006)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	CHINA	55.0	1.0	56.0
	NETHERLANDS	22.5	0.3	22.8
	SPAIN	11.2	0.1	11.3
	JAPAN	10.0	0.5	10.4
	GERMANY	9.8	0.2	9.9
	THAILAND	8.0	0.1	8.0
	FRANCE	7.7	0.3	8.0
	MEXICO	7.4	0.4	7.8
Total		235.7	4.9	240.5
Others	MEXICO	2.8	0.2	3.0
	JAPAN	1.6	0.1	1.7
	NETHERLANDS	0.8	0.0	0.8
	SPAIN	0.7	0.0	0.7
	SUDAN	0.3	0.0	0.4
	USA,PR,USVI	0.3	0.0	0.3
	GERMANY	0.2	0.0	0.2
	ISRAEL	0.2	0.0	0.2
Total		8.6	0.5	9.1
Vegetables	USA,PR,USVI	0.7	0.3	0.9
	RUSSIAN FED	0.2	0.1	0.3
	GERMANY	0.2	0.1	0.2
	CANADA	0.2	0.1	0.2
	UNITED KINGDOM	0.2	0.1	0.2
	IRAQ	0.1	0.1	0.2
	MALAYSIA	0.2	0.0	0.2
	JAPAN	0.2	0.0	0.2
Total		3.6	1.3	4.9
Fruits	RUSSIAN FED	1.0	0.3	1.3
	GERMANY	0.6	0.2	0.8
	UNITED KINGDOM	0.4	0.2	0.6
	NETHERLANDS	0.4	0.1	0.5
	FRANCE	0.3	0.1	0.4
	USA,PR,USVI	0.3	0.1	0.4
	CANADA	0.1	0.1	0.3
	CHINA	0.2	0.0	0.3
Total		7.2	2.7	9.9

Table 8 전세계 가상수 수입량 (2007)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	EGYPT	17.0	0.5	17.5
	BRAZIL	11.7	0.2	11.9
	JAPAN	7.7	0.3	8.1
	ITALY	7.4	0.3	7.8
	MEXICO	5.8	0.2	6.0
	NIGERIA	5.5	0.3	5.8
	TUNISIA	5.4	0.2	5.6
	TURKEY	5.3	0.1	5.3
Total		184.8	7.8	192.5
Rice	COTE DIVOIRE	3.0	1.2	4.2
	BANGLADESH	3.0	1.0	4.1
	PHILIPPINES	3.3	0.7	4.0
	INDONESIA	3.0	0.6	3.6
	UNITED ARAB EM.	1.6	1.8	3.4
	IRAN ISLAM. REP	2.2	1.1	3.4
	SENEGAL	2.5	0.6	3.2
	BENIN	2.4	0.5	2.9
Total		54.7	26.1	80.8
Barley	SAUDI ARABIA	9.2	0.5	9.7
	JAPAN	1.2	0.1	1.3
	GERMANY	1.2	0.0	1.3
	NETHERLANDS	1.0	0.1	1.0
	JORDAN	0.9	0.0	0.9
	TUNISIA	0.7	0.0	0.8
	CHINA	0.7	0.0	0.7
	BELGIUM	0.7	0.0	0.7
Total		22.4	1.2	23.6
Maize	JAPAN	8.9	1.0	9.9
	SPAIN	7.5	0.3	7.7
	KOREA REP.	6.4	0.5	6.9
	MEXICO	4.4	0.5	4.9
	IRAN ISLAM. REP	4.9	0.0	4.9
	MALAYSIA	4.1	0.2	4.3
	EGYPT	3.3	0.3	3.6
	BRAZIL	3.1	0.0	3.1
Total		88.3	5.3	93.6
Root and tuber crops	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.2
	GERMANY	0.1	0.0	0.1
	HUNGARY	0.1	0.0	0.1
	USA,PR,USVI	0.1	0.0	0.1
	BELGIUM	0.1	0.0	0.1
	SPAIN	0.1	0.0	0.1
	UNITED KINGDOM	0.0	0.0	0.1
	RUSSIAN FED	0.0	0.0	0.1
Total		1.0	0.3	1.3

Table 9 전세계 가상수 수입량 (2007)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	CHINA	60.1	1.1	61.2
	NETHERLANDS	19.7	0.2	19.9
	SPAIN	13.0	0.1	13.0
	JAPAN	10.9	0.5	11.5
	GERMANY	10.3	0.3	10.6
	ITALY	8.9	0.1	9.0
	FRANCE	8.3	0.3	8.6
	MEXICO	7.2	0.4	7.7
Total		252.1	5.1	257.2
Others	SPAIN	2.2	0.1	2.3
	MEXICO	1.9	0.1	2.1
	JAPAN	1.5	0.1	1.6
	NETHERLANDS	0.9	0.0	0.9
	GERMANY	0.6	0.0	0.6
	BELGIUM	0.5	0.0	0.5
	FRANCE	0.4	0.0	0.5
	USA,PR,USVI	0.3	0.0	0.3
Total		11.2	0.5	11.8
Vegetables	USA,PR,USVI	0.7	0.3	1.0
	RUSSIAN FED	0.2	0.1	0.3
	GERMANY	0.2	0.1	0.3
	CANADA	0.2	0.1	0.2
	UNITED KINGDOM	0.2	0.1	0.2
	NETHERLANDS	0.2	0.0	0.2
	MALAYSIA	0.1	0.0	0.2
	JAPAN	0.1	0.0	0.2
Total		3.8	1.2	5.0
Fruits	RUSSIAN FED	1.3	0.4	1.6
	GERMANY	0.6	0.2	0.8
	UNITED KINGDOM	0.4	0.2	0.6
	NETHERLANDS	0.4	0.1	0.5
	USA,PR,USVI	0.4	0.1	0.5
	FRANCE	0.3	0.1	0.4
	INDONESIA	0.3	0.0	0.3
	CHINA	0.3	0.1	0.3
Total		8.0	2.6	10.6

Table 10 전세계 가상수 수입량 (2008)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	EGYPT	17.7	0.4	18.1
	JAPAN	16.0	0.7	16.7
	BRAZIL	11.7	0.3	12.1
	IRAN ISLAM. REP	9.6	0.2	9.9
	MEXICO	9.3	0.4	9.7
	NIGERIA	8.0	0.4	8.4
	ALGERIA	7.5	0.6	8.1
	IRAQ	7.5	0.3	7.8
Total		238.4	8.2	246.5
Rice	PHILIPPINES	4.2	1.1	5.3
	BANGLADESH	2.6	0.9	3.5
	IRAN ISLAM. REP	1.9	1.6	3.5
	UNITED ARAB EM.	1.7	1.6	3.3
	SAUDI ARABIA	2.0	1.2	3.2
	BENIN	2.4	0.6	3.0
	NIGERIA	2.5	0.6	3.0
	COTE DIVOIRE	2.0	0.9	2.9
Total		53.9	27.7	81.6
Barley	SAUDI ARABIA	10.7	0.5	11.2
	IRAN ISLAM. REP	2.2	0.1	2.3
	SYRIAN ARAB REP	2.2	0.0	2.3
	JAPAN	1.9	0.2	2.1
	CHINA	1.4	0.1	1.5
	GERMANY	1.1	0.0	1.1
	NETHERLANDS	0.9	0.1	1.0
	USA,PR,USVI	0.9	0.0	0.9
Total		31.2	1.3	32.6
Maize	JAPAN	10.9	1.3	12.2
	KOREA REP.	7.2	0.8	7.9
	MEXICO	6.3	0.8	7.1
	SPAIN	5.1	0.3	5.4
	MALAYSIA	4.7	0.2	4.9
	TAIWAN (POC)	4.2	0.4	4.6
	EGYPT	3.3	0.3	3.6
	IRAN ISLAM. REP	3.3	0.0	3.3
Total		91.6	6.6	98.3
Root and tuber crops	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.1
	RUSSIAN FED	0.1	0.0	0.1
	USA,PR,USVI	0.1	0.0	0.1
	SPAIN	0.1	0.0	0.1
	UNITED KINGDOM	0.0	0.0	0.1
	GERMANY	0.0	0.0	0.1
	BELGIUM	0.0	0.0	0.1
	ITALY	0.0	0.0	0.0
Total		0.9	0.3	1.2

Table 11 전세계 가상수 수입량 (2008)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	CHINA	84.3	2.3	86.6
	NETHERLANDS	18.7	0.2	18.8
	JAPAN	13.8	0.6	14.4
	GERMANY	13.7	0.4	14.1
	SPAIN	13.9	0.1	14.0
	MEXICO	11.1	0.7	11.8
	ITALY	8.6	0.1	8.7
	FRANCE	8.2	0.3	8.5
Total		295.6	7.6	303.2
Others	SAUDI ARABIA	0.8	0.0	0.8
	NETHERLANDS	0.7	0.0	0.7
	BELGIUM	0.7	0.0	0.7
	GERMANY	0.6	0.0	0.6
	JAPAN	0.4	0.0	0.4
	CHILE	0.3	0.0	0.3
	ITALY	0.3	0.0	0.3
	USA,PR,USVI	0.2	0.0	0.2
Total		6.4	0.2	6.7
Vegetables	USA,PR,USVI	0.8	0.3	1.1
	INDIA	1.0	0.1	1.0
	RUSSIAN FED	0.2	0.1	0.4
	CANADA	0.2	0.1	0.3
	GERMANY	0.2	0.1	0.3
	UNITED KINGDOM	0.2	0.1	0.2
	NETHERLANDS	0.2	0.0	0.2
	FRANCE	0.1	0.1	0.2
Total		5.0	1.4	6.4
Fruits	RUSSIAN FED	1.5	0.5	2.0
	GERMANY	0.7	0.2	0.8
	UNITED KINGDOM	0.4	0.2	0.6
	NETHERLANDS	0.4	0.2	0.5
	VIET NAM	0.4	0.0	0.5
	FRANCE	0.3	0.1	0.4
	USA,PR,USVI	0.3	0.1	0.4
	CANADA	0.2	0.2	0.4
Total		8.6	3.1	11.7

Table 12 전세계 가상수 수입량 (2009)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	EGYPT	16.2	0.2	16.5
	IRAN ISLAM. REP	9.9	0.1	9.9
	JAPAN	8.9	0.3	9.2
	BRAZIL	8.8	0.3	9.1
	INDONESIA	8.4	0.1	8.6
	ITALY	7.7	0.4	8.1
	SPAIN	7.9	0.1	8.0
	TURKEY	7.7	0.1	7.8
Total		218.9	6.0	224.9
Rice	NIGERIA	3.1	0.8	3.8
	PHILIPPINES	3.0	0.6	3.6
	SAUDI ARABIA	2.0	1.2	3.2
	UNITED ARAB EM.	1.8	1.5	3.2
	SOUTH AFRICA	2.4	0.6	3.1
	COTE DIVOIRE	2.1	0.7	2.8
	BENIN	2.1	0.7	2.8
	IRAN ISLAM. REP	1.3	1.4	2.6
Total		48.6	25.9	74.6
Barley	SAUDI ARABIA	11.2	0.3	11.5
	IRAN ISLAM. REP	2.3	0.1	2.4
	CHINA	2.0	0.1	2.1
	JAPAN	2.0	0.1	2.1
	SPAIN	1.1	0.0	1.1
	NETHERLANDS	1.1	0.1	1.1
	JORDAN	1.1	0.0	1.1
	GERMANY	0.9	0.0	1.0
Total		31.0	0.9	31.9
Maize	JAPAN	9.0	1.0	10.0
	KOREA REP.	4.8	0.4	5.2
	IRAN ISLAM. REP	5.0	0.1	5.1
	EGYPT	4.5	0.6	5.1
	MALAYSIA	4.2	0.2	4.4
	MEXICO	3.8	0.5	4.2
	TAIWAN (POC)	3.5	0.3	3.8
	COLOMBIA	3.3	0.1	3.4
Total		82.5	6.2	88.7
Root and tuber crops	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.2
	SPAIN	0.1	0.0	0.1
	USA,PR,USVI	0.1	0.0	0.1
	GERMANY	0.0	0.0	0.1
	RUSSIAN FED	0.0	0.0	0.1
	BELGIUM	0.0	0.0	0.1
	UNITED KINGDOM	0.0	0.0	0.1
	ITALY	0.0	0.0	0.0
Total		0.8	0.3	1.1

Table 13 전세계 가상수 수입량 (2009)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	CHINA	78.2	2.2	80.3
	NETHERLANDS	14.7	0.1	14.8
	GERMANY	12.1	0.3	12.4
	SPAIN	10.6	0.1	10.7
	JAPAN	10.0	0.5	10.5
	THAILAND	7.4	0.1	7.5
	ITALY	7.2	0.2	7.4
	FRANCE	7.0	0.2	7.3
Total		249.8	6.3	256.1
Others	MEXICO	2.6	0.2	2.8
	JAPAN	1.2	0.1	1.3
	NETHERLANDS	0.8	0.0	0.8
	GERMANY	0.8	0.0	0.8
	SPAIN	0.6	0.0	0.7
	CHILE	0.5	0.0	0.5
	SUDAN	0.3	0.0	0.4
	USA,PR,USVI	0.3	0.0	0.3
Total		9.6	0.4	10.1
Vegetables	USA,PR,USVI	0.8	0.3	1.1
	RUSSIAN FED	0.2	0.1	0.3
	GERMANY	0.2	0.1	0.3
	BANGLADESH	0.2	0.0	0.2
	CANADA	0.1	0.1	0.2
	UNITED KINGDOM	0.1	0.1	0.2
	MALAYSIA	0.2	0.0	0.2
	FRANCE	0.1	0.1	0.2
Total		4.2	1.3	5.5
Fruits	RUSSIAN FED	1.6	0.4	2.0
	UNITED KINGDOM	1.0	0.3	1.3
	GERMANY	0.7	0.2	0.9
	VIET NAM	0.7	0.0	0.7
	NETHERLANDS	0.4	0.2	0.5
	CHINA	0.4	0.1	0.5
	FRANCE	0.3	0.2	0.5
	USA,PR,USVI	0.3	0.1	0.4
Total		9.7	2.9	12.6

Table 14 전세계 가상수 수입량 (2010)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	EGYPT	20.4	0.3	20.8
	BRAZIL	10.0	0.3	10.3
	JAPAN	9.6	0.3	9.9
	INDONESIA	9.7	0.1	9.8
	ITALY	8.0	0.3	8.3
	KOREA REP.	7.5	0.2	7.7
	TURKEY	7.3	0.1	7.4
	NIGERIA	7.0	0.3	7.3
Total		216.4	6.3	222.7
Rice	NIGERIA	3.7	0.9	4.5
	UNITED ARAB EM.	2.1	1.9	4.1
	SAUDI ARABIA	2.2	1.4	3.5
	COTE D'IVOIRE	1.9	0.8	2.7
	IRAQ	1.6	0.9	2.5
	SOUTH AFRICA	1.7	0.7	2.5
	PHILIPPINES	1.5	0.9	2.4
	IRAN ISLAM. REP	1.2	1.0	2.2
Total		41.9	29.5	71.3
Barley	SAUDI ARABIA	9.8	0.3	10.1
	CHINA	2.0	0.1	2.1
	JAPAN	1.6	0.1	1.6
	NETHERLANDS	1.1	0.1	1.2
	IRAN ISLAM. REP	1.1	0.0	1.2
	GERMANY	1.0	0.0	1.0
	LIBYAN ARAB JAM	0.9	0.0	0.9
	BELGIUM	0.9	0.0	0.9
Total		26.2	0.9	27.1
Maize	JAPAN	10.3	1.0	11.4
	KOREA REP.	5.2	0.5	5.7
	EGYPT	5.1	0.4	5.5
	IRAN ISLAM. REP	5.1	0.1	5.2
	MEXICO	4.1	0.5	4.7
	MALAYSIA	4.3	0.1	4.4
	TAIWAN (POC)	4.0	0.2	4.2
	COLOMBIA	4.0	0.1	4.1
Total		92.6	5.2	97.8
Root and tuber crops	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.2
	RUSSIAN FED	0.1	0.1	0.1
	SPAIN	0.1	0.0	0.1
	GERMANY	0.1	0.0	0.1
	BELGIUM	0.1	0.0	0.1
	ITALY	0.0	0.0	0.1
	USA,PR,USVI	0.1	0.0	0.1
	UNITED KINGDOM	0.0	0.0	0.0
Total		0.9	0.5	1.4

Table 15 전세계 가상수 수입량 (2010)

Crops	Importers	Virtual water import (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	CHINA	105.9	2.3	108.2
	NETHERLANDS	16.7	0.1	16.8
	GERMANY	11.4	0.3	11.7
	JAPAN	10.9	0.5	11.4
	SPAIN	10.4	0.1	10.5
	INDONESIA	8.9	0.2	9.1
	THAILAND	8.3	0.1	8.4
	FRANCE	7.4	0.3	7.7
Total		296.1	6.9	303.0
Others	MEXICO	2.4	0.2	2.6
	JAPAN	1.8	0.1	1.9
	GERMANY	0.8	0.0	0.8
	NETHERLANDS	0.7	0.0	0.7
	CHILE	0.6	0.0	0.6
	SUDAN	0.6	0.0	0.6
	SPAIN	0.4	0.0	0.4
	USA,PR,USVI	0.3	0.0	0.3
Total		9.9	0.4	10.3
Vegetables	USA,PR,USVI	0.7	0.3	1.1
	RUSSIAN FED	0.3	0.1	0.4
	IRAQ	0.1	0.2	0.3
	GERMANY	0.2	0.1	0.3
	CANADA	0.2	0.1	0.3
	JAPAN	0.2	0.0	0.2
	FRANCE	0.1	0.1	0.2
	UNITED KINGDOM	0.1	0.1	0.2
Total		4.1	1.6	5.7
Fruits	RUSSIAN FED	1.7	0.4	2.2
	GERMANY	0.7	0.2	0.9
	VIET NAM	0.6	0.0	0.6
	NETHERLANDS	0.3	0.2	0.5
	UNITED KINGDOM	0.3	0.2	0.5
	IRAQ	0.1	0.3	0.5
	CHINA	0.4	0.1	0.5
	INDONESIA	0.4	0.0	0.4
Total		9.1	3.2	12.3

Table 16 전세계 가상수 수출량 (2006)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	USA,PR,USVI	43.5	2.1	45.7
	CANADA	24.7	0.1	24.8
	RUSSIAN FED	22.3	0.3	22.6
	ARGENTINA	17.2	0.1	17.3
	KAZAKHSTAN	14.2	0.1	14.3
	FRANCE	9.7	0.0	9.7
	UKRAINE	8.1	0.1	8.1
	GERMANY	3.8	0.0	3.8
	Total		165.4	5.8
Rice	THAILAND	19.6	4.0	23.7
	PAKISTAN	3.4	11.2	14.6
	INDIA	8.9	2.9	11.8
	VIET NAM	6.9	1.1	7.9
	USA,PR,USVI	2.0	4.1	6.1
	URUGUAY	0.8	0.7	1.4
	CHINA	1.0	0.4	1.4
	ARGENTINA	0.8	0.3	1.1
	Total		47.2	27.0
Barley	UKRAINE	6.4	0.1	6.5
	AUSTRALIA	5.7	0.3	6.0
	RUSSIAN FED	2.8	0.1	2.9
	FRANCE	2.3	0.0	2.3
	CANADA	1.3	0.0	1.4
	GERMANY	1.1	0.2	1.2
	KAZAKHSTAN	1.1	0.1	1.1
	TURKEY	0.6	0.0	0.6
	Total		25.1	0.9
Maize	USA,PR,USVI	30.2	3.7	33.8
	ARGENTINA	10.9	0.1	11.0
	BRAZIL	6.4	0.0	6.4
	PARAGUAY	4.4	0.0	4.4
	FRANCE	2.6	0.6	3.1
	CHINA	2.4	0.2	2.7
	UKRAINE	1.8	0.1	1.9
	HUNGARY	1.5	0.0	1.5
	Total		67.8	5.2
Root and tuber crops	FRANCE	0.1	0.0	0.2
	GERMANY	0.1	0.0	0.1
	CHINA	0.1	0.0	0.1
	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.1
	IRAN ISLAM. REP	0.0	0.1	0.1
	BELGIUM	0.1	0.0	0.1
	CANADA	0.0	0.0	0.1
	USA,PR,USVI	0.0	0.0	0.0
	Total		0.8	0.3

Table 17 전세계 가상수 수출량 (2006)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	BRAZIL	76.8	0.0	76.8
	ARGENTINA	58.1	0.1	58.2
	USA,PR,USVI	51.0	3.0	54.0
	INDIA	19.2	0.1	19.3
	NETHERLANDS	8.1	0.3	8.3
	PARAGUAY	7.0	0.0	7.0
	BOLIVIA	3.0	0.1	3.0
	CANADA	2.3	0.1	2.4
Total		235.7	4.9	240.5
Others	USA,PR,USVI	5.0	0.3	5.4
	GERMANY	1.2	0.1	1.3
	FRANCE	0.3	0.0	0.3
	CANADA	0.3	0.0	0.3
	CHINA	0.2	0.0	0.3
	ARGENTINA	0.2	0.0	0.2
	UKRAINE	0.2	0.0	0.2
	MALI	0.1	0.0	0.1
Total		8.6	0.5	9.1
Vegetables	CHINA	0.8	0.0	0.8
	MEXICO	0.5	0.2	0.7
	SPAIN	0.2	0.2	0.4
	INDIA	0.3	0.1	0.4
	USA,PR,USVI	0.2	0.1	0.3
	SYRIAN ARAB REP	0.1	0.1	0.2
	IRAN ISLAM. REP	0.1	0.1	0.2
	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.1
Total		3.6	1.3	4.9
Fruits	CHINA	1.4	0.0	1.4
	SPAIN	0.8	0.5	1.4
	ITALY	0.5	0.1	0.6
	CHILE	0.5	0.1	0.6
	USA,PR,USVI	0.2	0.3	0.5
	NETHERLANDS	0.4	0.0	0.4
	SOUTH AFRICA	0.2	0.2	0.4
	ARGENTINA	0.2	0.1	0.3
Total		7.2	2.7	9.9

Table 18 전세계 가상수 수출량 (2007)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	USA,PR,USVI	59.8	2.9	62.7
	RUSSIAN FED	33.2	0.4	33.6
	CANADA	23.5	0.1	23.6
	KAZAKHSTAN	20.9	0.1	21.0
	ARGENTINA	17.1	0.1	17.2
	FRANCE	8.3	0.0	8.4
	GERMANY	2.8	0.0	2.8
	AUSTRALIA	2.2	0.0	2.3
Total		184.8	7.8	192.5
Rice	THAILAND	24.2	5.0	29.2
	INDIA	12.5	4.1	16.6
	PAKISTAN	2.6	8.5	11.1
	VIET NAM	6.7	1.1	7.8
	USA,PR,USVI	1.8	3.7	5.5
	URUGUAY	0.8	0.7	1.5
	CHINA	1.0	0.5	1.5
	ITALY	0.6	0.5	1.1
Total		54.7	26.1	80.8
Barley	RUSSIAN FED	4.1	0.1	4.2
	UKRAINE	3.0	0.0	3.0
	FRANCE	2.7	0.0	2.7
	KAZAKHSTAN	1.8	0.1	1.9
	AUSTRALIA	1.7	0.1	1.8
	CANADA	1.7	0.0	1.7
	GERMANY	1.4	0.2	1.6
	SPAIN	0.8	0.1	0.8
Total		22.4	1.2	23.6
Maize	USA,PR,USVI	29.6	3.6	33.2
	BRAZIL	17.7	0.0	17.7
	ARGENTINA	15.7	0.2	15.9
	PARAGUAY	4.8	0.0	4.8
	CHINA	3.9	0.4	4.3
	INDIA	3.3	0.2	3.5
	HUNGARY	3.2	0.0	3.2
	FRANCE	2.0	0.4	2.5
Total		88.3	5.3	93.6
Root and tuber crops	FRANCE	0.1	0.0	0.2
	GERMANY	0.1	0.0	0.1
	SLOVAKIA	0.1	0.0	0.1
	CANADA	0.1	0.0	0.1
	CHINA	0.1	0.0	0.1
	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.1
	ISRAEL	0.0	0.0	0.1
	BELGIUM	0.1	0.0	0.1
Total		1.0	0.3	1.3

Table 19 전세계 가상수 수출량 (2007)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	BRAZIL	74.4	0.0	74.4
	ARGENTINA	69.9	0.2	70.0
	USA,PR,USVI	54.3	3.2	57.6
	INDIA	16.1	0.1	16.2
	PARAGUAY	11.1	0.0	11.1
	NETHERLANDS	7.6	0.3	7.8
	CHINA	3.1	0.3	3.4
	CANADA	2.8	0.1	3.0
Total		252.1	5.1	257.2
Others	USA,PR,USVI	6.1	0.4	6.5
	ARGENTINA	1.1	0.0	1.1
	GERMANY	0.5	0.0	0.5
	CANADA	0.5	0.0	0.5
	CHINA	0.5	0.0	0.5
	NETHERLANDS	0.5	0.0	0.5
	BRAZIL	0.5	0.0	0.5
	RUSSIAN FED	0.3	0.0	0.3
Total		11.2	0.5	11.8
Vegetables	CHINA	0.9	0.0	0.9
	MEXICO	0.5	0.2	0.7
	SPAIN	0.2	0.2	0.4
	USA,PR,USVI	0.2	0.1	0.3
	INDIA	0.2	0.1	0.3
	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.2
	TURKEY	0.1	0.1	0.1
	PANAMA	0.1	0.0	0.1
Total		3.8	1.2	5.0
Fruits	CHINA	1.7	0.1	1.7
	SPAIN	0.8	0.5	1.4
	ITALY	0.5	0.1	0.6
	CHILE	0.5	0.1	0.6
	USA,PR,USVI	0.2	0.3	0.5
	NETHERLANDS	0.4	0.0	0.5
	SOUTH AFRICA	0.3	0.2	0.5
	ARGENTINA	0.2	0.2	0.4
Total		8.0	2.6	10.6

Table 20 전세계 가상수 수출량 (2008)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	USA,PR,USVI	90.1	4.4	94.6
	CANADA	36.4	0.1	36.5
	RUSSIAN FED	26.9	0.4	27.3
	KAZAKHSTAN	16.7	0.1	16.9
	ARGENTINA	15.5	0.1	15.6
	UKRAINE	13.0	0.1	13.1
	FRANCE	9.5	0.0	9.5
	AUSTRALIA	4.7	0.0	4.7
Total		238.4	8.2	246.5
Rice	THAILAND	26.9	5.5	32.4
	PAKISTAN	2.9	9.6	12.6
	INDIA	7.1	2.3	9.4
	VIET NAM	7.0	1.1	8.1
	USA,PR,USVI	2.5	4.9	7.4
	BRAZIL	1.5	0.3	1.7
	URUGUAY	0.8	0.6	1.4
	ITALY	0.7	0.5	1.2
Total		53.9	27.7	81.6
Barley	UKRAINE	8.1	0.1	8.2
	AUSTRALIA	5.7	0.3	6.0
	RUSSIAN FED	3.3	0.1	3.4
	CANADA	2.7	0.0	2.7
	FRANCE	2.7	0.0	2.7
	KAZAKHSTAN	1.8	0.1	1.9
	ARGENTINA	1.4	0.0	1.4
	USA,PR,USVI	0.8	0.2	1.0
Total		31.2	1.3	32.6
Maize	USA,PR,USVI	37.3	4.5	41.8
	ARGENTINA	16.1	0.2	16.3
	BRAZIL	10.4	0.0	10.4
	INDIA	9.4	0.4	9.8
	UKRAINE	3.0	0.2	3.2
	FRANCE	2.6	0.6	3.2
	PARAGUAY	2.5	0.0	2.5
	HUNGARY	2.1	0.0	2.1
Total		91.6	6.6	98.3
Root and tuber crops	FRANCE	0.1	0.0	0.2
	GERMANY	0.1	0.0	0.1
	CHINA	0.1	0.0	0.1
	CANADA	0.1	0.0	0.1
	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.1
	USA,PR,USVI	0.0	0.0	0.1
	BELGIUM	0.1	0.0	0.1
	ISRAEL	0.0	0.0	0.1
Total		0.9	0.3	1.2

Table 21 전세계 가상수 수출량 (2008)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	USA,PR,USVI	94.5	5.6	100.1
	BRAZIL	75.7	0.0	75.7
	ARGENTINA	65.0	0.2	65.2
	INDIA	21.4	0.1	21.5
	PARAGUAY	12.3	0.0	12.3
	NETHERLANDS	8.2	0.3	8.5
	CANADA	4.3	0.2	4.5
	CHINA	2.4	0.2	2.6
Total		295.6	7.6	303.2
Others	ARGENTINA	1.2	0.0	1.2
	SUDAN	1.0	0.1	1.0
	NETHERLANDS	0.7	0.0	0.7
	INDIA	0.5	0.0	0.5
	GERMANY	0.5	0.0	0.5
	FRANCE	0.3	0.0	0.4
	BELGIUM	0.3	0.0	0.3
	CHINA	0.3	0.0	0.3
Total		6.4	0.2	6.7
Vegetables	BHUTAN	0.9	0.1	1.0
	CHINA	0.9	0.0	0.9
	MEXICO	0.5	0.3	0.8
	INDIA	0.3	0.1	0.4
	SPAIN	0.2	0.2	0.4
	USA,PR,USVI	0.2	0.1	0.3
	NETHERLANDS	0.2	0.0	0.2
	TURKEY	0.1	0.1	0.2
Total		5.0	1.4	6.4
Fruits	CHINA	2.0	0.1	2.1
	SPAIN	0.8	0.5	1.4
	USA,PR,USVI	0.4	0.5	0.9
	CHILE	0.5	0.1	0.6
	ITALY	0.5	0.1	0.6
	NETHERLANDS	0.5	0.0	0.5
	SOUTH AFRICA	0.3	0.2	0.5
	AZERBAIJAN	0.2	0.2	0.4
Total		8.6	3.1	11.7

Table 22 전세계 가상수 수출량 (2009)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	USA,PR,USVI	40.4	2.0	42.4
	RUSSIAN FED	38.7	0.5	39.2
	AUSTRALIA	29.6	0.2	29.8
	CANADA	25.8	0.1	25.9
	UKRAINE	22.2	0.2	22.5
	KAZAKHSTAN	10.9	0.1	11.0
	FRANCE	9.8	0.0	9.8
	ARGENTINA	9.1	0.1	9.1
Total		218.9	6.0	224.9
Rice	THAILAND	22.7	4.7	27.4
	PAKISTAN	3.1	10.1	13.2
	VIET NAM	8.8	1.4	10.2
	INDIA	4.3	1.4	5.7
	USA,PR,USVI	1.8	3.6	5.5
	BRAZIL	1.7	0.3	2.0
	URUGUAY	1.1	0.9	1.9
	ARGENTINA	1.0	0.4	1.3
Total		48.6	25.9	74.6
Barley	RUSSIAN FED	7.7	0.2	7.9
	UKRAINE	7.7	0.1	7.8
	AUSTRALIA	5.3	0.3	5.6
	FRANCE	2.5	0.0	2.5
	ARGENTINA	1.5	0.0	1.5
	CANADA	1.4	0.0	1.4
	KAZAKHSTAN	0.9	0.1	1.0
	GERMANY	0.6	0.1	0.7
Total		31.0	0.9	31.9
Maize	USA,PR,USVI	25.0	3.0	28.0
	BRAZIL	12.6	0.0	12.6
	ARGENTINA	8.9	0.1	9.0
	UKRAINE	7.6	0.6	8.2
	INDIA	5.6	0.3	5.8
	PARAGUAY	4.5	0.0	4.5
	FRANCE	2.9	0.6	3.5
	SOUTH AFRICA	2.8	0.1	2.8
Total		82.5	6.2	88.7
Root and tuber crops	FRANCE	0.2	0.0	0.2
	GERMANY	0.1	0.0	0.1
	CHINA	0.1	0.0	0.1
	BELGIUM	0.1	0.0	0.1
	CANADA	0.1	0.0	0.1
	NETHERLANDS	0.0	0.0	0.0
	USA,PR,USVI	0.0	0.0	0.1
	SPAIN	0.0	0.0	0.0
Total		0.8	0.3	1.1

Table 23 전세계 가상수 수출량 (2009)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	BRAZIL	84.5	0.0	84.5
	USA,PR,USVI	72.6	4.3	76.9
	ARGENTINA	46.5	0.1	46.6
	INDIA	12.1	0.1	12.2
	NETHERLANDS	7.8	0.3	8.1
	PARAGUAY	7.5	0.0	7.5
	CHINA	3.4	0.3	3.7
	CANADA	3.3	0.2	3.5
Total		249.8	6.3	256.1
Others	USA,PR,USVI	4.1	0.3	4.4
	ARGENTINA	1.1	0.0	1.1
	POLAND	1.1	0.0	1.1
	GERMANY	0.6	0.0	0.6
	LITHUANIA	0.4	0.0	0.4
	UKRAINE	0.3	0.0	0.4
	FRANCE	0.3	0.0	0.3
	INDIA	0.3	0.0	0.3
Total		9.6	0.4	10.1
Vegetables	CHINA	1.0	0.0	1.0
	MEXICO	0.5	0.3	0.8
	INDIA	0.4	0.1	0.5
	SPAIN	0.2	0.2	0.4
	USA,PR,USVI	0.2	0.1	0.3
	NETHERLANDS	0.2	0.0	0.2
	TURKEY	0.1	0.1	0.2
	THAILAND	0.1	0.0	0.1
Total		4.2	1.3	5.5
Fruits	CHINA	2.3	0.1	2.4
	SPAIN	0.8	0.5	1.3
	GAMBIA	0.6	0.1	0.8
	NETHERLANDS	0.6	0.1	0.7
	USA,PR,USVI	0.2	0.4	0.6
	ITALY	0.5	0.1	0.6
	CHILE	0.5	0.1	0.6
	SOUTH AFRICA	0.3	0.2	0.5
Total		9.7	2.9	12.6

Table 24 전세계 가상수 수출량 (2010)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Wheat	USA,PR,USVI	50.4	2.5	52.9
	AUSTRALIA	31.7	0.3	32.0
	RUSSIAN FED	27.2	0.4	27.6
	CANADA	24.6	0.1	24.7
	KAZAKHSTAN	17.1	0.1	17.2
	FRANCE	12.2	0.0	12.3
	UKRAINE	8.4	0.1	8.5
	ARGENTINA	7.1	0.0	7.2
Total		216.4	6.3	222.7
Rice	THAILAND	23.5	4.8	28.3
	PAKISTAN	4.1	13.3	17.4
	USA,PR,USVI	2.3	4.7	7.0
	INDIA	5.0	1.6	6.6
	URUGUAY	0.8	0.7	1.5
	BRAZIL	1.2	0.2	1.4
	ITALY	0.7	0.5	1.2
	ARGENTINA	0.7	0.3	1.0
Total		41.9	29.5	71.3
Barley	UKRAINE	6.7	0.1	6.8
	AUSTRALIA	4.3	0.2	4.5
	RUSSIAN FED	3.4	0.1	3.5
	FRANCE	3.0	0.0	3.1
	CANADA	1.2	0.0	1.2
	KAZAKHSTAN	1.1	0.1	1.1
	GERMANY	0.8	0.1	1.0
	ARGENTINA	0.8	0.0	0.8
Total		26.2	0.9	27.1
Maize	USA,PR,USVI	26.6	3.2	29.8
	ARGENTINA	18.3	0.2	18.6
	BRAZIL	17.5	0.0	17.5
	UKRAINE	4.3	0.4	4.6
	INDIA	4.1	0.2	4.3
	FRANCE	2.8	0.6	3.4
	PARAGUAY	3.4	0.0	3.4
	HUNGARY	2.5	0.0	2.5
Total		92.6	5.2	97.8
Root and tuber crops	FRANCE	0.2	0.0	0.2
	GERMANY	0.1	0.0	0.1
	EGYPT	0.0	0.1	0.1
	NETHERLANDS	0.1	0.0	0.1
	IRAN ISLAM. REP	0.0	0.1	0.1
	USA,PR,USVI	0.0	0.0	0.1
	CANADA	0.1	0.0	0.1
	CHINA	0.1	0.0	0.1
Total		0.9	0.5	1.4

Table 25 전세계 가상수 수출량 (2010)

Crops	Exporters	Virtual water export (Gm ³)		
		Green	Blue	Total
Pulse crops	BRAZIL	88.2	0.0	88.2
	USA,PR,USVI	76.3	4.5	80.8
	ARGENTINA	71.8	0.2	72.0
	INDIA	14.9	0.1	14.9
	PARAGUAY	14.0	0.0	14.0
	NETHERLANDS	9.5	0.3	9.8
	CANADA	4.1	0.2	4.3
	CHINA	2.7	0.3	2.9
Total		296.1	6.9	303.0
Others	USA,PR,USVI	4.2	0.3	4.5
	ARGENTINA	1.7	0.0	1.7
	POLAND	0.8	0.0	0.8
	GERMANY	0.6	0.0	0.6
	FRANCE	0.3	0.0	0.3
	CANADA	0.3	0.0	0.3
	UKRAINE	0.3	0.0	0.3
	KENYA	0.2	0.0	0.2
Total		9.9	0.4	10.3
Vegetables	CHINA	0.9	0.0	1.0
	MEXICO	0.5	0.3	0.8
	SPAIN	0.2	0.2	0.5
	IRAN ISLAM. REP	0.1	0.2	0.4
	INDIA	0.3	0.1	0.3
	USA,PR,USVI	0.2	0.1	0.3
	NETHERLANDS	0.2	0.0	0.2
	EGYPT	0.1	0.1	0.2
Total		4.1	1.6	5.7
Fruits	CHINA	2.1	0.1	2.2
	SPAIN	0.9	0.5	1.4
	ITALY	0.5	0.1	0.6
	USA,PR,USVI	0.2	0.4	0.6
	CHILE	0.5	0.1	0.6
	NETHERLANDS	0.5	0.0	0.5
	IRAN ISLAM. REP	0.1	0.4	0.5
	SOUTH AFRICA	0.3	0.2	0.5
Total		9.1	3.2	12.3

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 수자원 이용을 위한 물발자국 산정 및 적용	
발 행 일	2013. 12
발 행 인	박 정 환
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055
■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	