



식품 소비 및 칼로리 공급 변화에 따른 가상수 소비량의 변화 분석 Estimation of the Virtual Water Consumption for Food Consumption and Calorie Supply

이상현* · 최진용** · 유승환***,†

Lee, Sang-Hyun · Choi, Jin-Yong · Yoo, Seung-Hwan

Abstract

The agricultural water management generally has focused on water resources for crop production but it could be affected by the food consumption pattern. The aim of this study is to estimate virtual water consumption for food consumption and calorie supply using the water footprint and virtual water concept. In addition, we estimated the virtual water requirements for increasing the food and calorie self-sufficiency adjusted by the government for food security. About 330.0 m³/cap/yr of virtual water was consumed for the main foods consumption in 1985, and it was increased to 450.0 m³/cap/yr in 2010. The rate of virtual water consumption by meats consumption was 28 % in 1985 but it was increased to 54 % in 2010. In other words, the total virtual water consumption by foods consumption was increased from 1985 to 2010 with the high rate of meats consumption. The average 1.29 m³ of virtual water was consumed for supplying 1 calorie per capita in 2010 but about 10.1 m³/cal of virtual water was consumed by only bovine meats consumption. The food self-sufficiency is the main factor for food security in Korea. About 46.5 Mm³ and 393.9 Mm³ of virtual water were required in order to increase the food and calorie self-sufficiency of wheat by 1 % individually. This study showed the water consumption was related to food consumption and calorie supply pattern, and these results could be used as the indices for the agricultural water management considering the change of eating habit and food security.

Keywords: Virtual water; water footprint; food consumption; calorie supply; food self-sufficiency

1. 서 론

전세계 인구 증가와 기후변화에 따라 식량 및 물 안보의 중요성이 높아지고 있으며 특히 인구증가에 따른 식량소비의 증가로 인하여 농업용수의 사용량이 증가할 것으로 예측되고 있다(Rosegrant and Sombilla, 1997; Vörösmarty et al., 2000; Pingali, 2006). 식량의 경우 필수적으로 농업용수 사용을 수반하기 때문에 식량소비의 변화 및 식량 자급률 관련 정책의 변화는 물 안보에도 영향을 미칠 수 있다. 우리나라의 경우 글로벌화가 빠른 시간 안에 진행되면서 식품 소비패턴이 급격하게 변화하고 있다. 식품수급표에 따르면 1인당 1일 식품 소비량은 2005년까지 지속적으로 증가하여 최대 1726.7 g을 소

비하는 것으로 나타났으며 육류소비량은 1985년 기준 2010년에는 약 2배 이상 증가한 119.3 g/cap/day으로 나타났다(KREI, 2013). 그러나 2010년 기준 우리나라의 곡물자급률(사료 포함)은 27.6 %에 불과한 실정이다(MIFAFF, 2010). 매년 옥수수, 대두 및 밀 등을 포함한 곡물, 소고기 및 돼지고기와 같은 축산물 등 다양한 농업생산물을 수입하고 있다(Yoo et al., 2009).

그러므로 식량과 물 안보를 동시에 증진시키기 위해서는 개별 분야의 연구뿐 아니라 식량과 수자원을 연결시킬 수 있는 지표 및 시스템의 개발이 필요하다. 이에 따라 USDA (U.S. Department of Agriculture)는 기후변화에 의한 물, 토지, 에너지의 영향 평가 및 연관성 분석 연구를 최근에 수행한 바 있다(USDA, 2014). 국내의 경우 기후와 식량 생산, 농업 수자원을 연계하여 기후변화에 따른 농업분야의 취약성을 분석한 바 있다(ME, 2014). 또한 정부차원에서 식량안보를 위한 식량자급률의 조정을 고려하고 있으며, 수자원 관리 부분에서는 기후변화에 따른 수자원 이용 가능량 등의 변화를 분석하여 수자원장기종합계획을 수립하고 있다(KREI, 2012; MCT, 2000).

이와 같이 대부분의 연구가 수자원의 부족량과 식량 생산 부분에 초점을 두고 있다. 그러나 식량은 결국 소비로 연결되며 소비 수요에 따라 생산 부분도 영향을 받을 수 있다. 또한

* Department of Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M University

** Department of Rural Systems Engineering, and Research Institute for Agriculture & Life Sciences, Seoul National University

*** Department of Agricultural and Biological Engineering, Purdue University

† Corresponding author

Tel.: +1-765-409-8507 Fax: +1-765-496-1115

E-mail: seunghwan.yoo@gmail.com

Received: April 20, 2015

Revised: May 11, 2015

Accepted: May 12, 2015

미래의 식량정책 역시 식량수요 부분을 중심으로 설정되기 때문에 식량 소비를 중점으로 수자원 소비량을 분석하는 연구가 필요하다. 이미 국외에서는 Hoekstra and Chapagain (2007)이 1997년부터 2001년까지 전세계 물발자국을 적용하여 식품 소비패턴에 따른 물 사용량을 분석한 바 있고, Liu and Savenije (2008)은 중국의 식량 소비패턴의 변화에 따른 물 필요량의 변화를 물발자국 개념을 적용하여 산정한 바 있다. 그러나 국내에서는 식품 소비와 물 사용을 연계 분석한 연구는 전무한 실정이다.

기존의 농업수수 관리는 주로 생산부문에 초점을 맞추고 있기 때문에 소비 기반의 물 사용량 또는 식량자급률 정책에 따른 물 사용량 변화를 파악하기에는 일부 한계에 있다. 또한 국내 농업수자원 사용량의 추세를 분석하기 위해서는 식품 소비 변화 외에도 정부 수매 정책 또는 소비 증가에 따른 수입 증가 등을 동시에 고려할 필요하기 때문에 식품 소비패턴을 통한 농업수자원 사용량 추정은 쉽지 않다. 그러나 가상수 또는 물발자국의 개념을 적용할 경우 수자원의 소비개념 차원에서 식품 소비 및 칼로리 공급, 식량자급률의 변화에 따른 가상수 소비량의 변화 분석이 가능하다. 가상수 및 물발자국은 새로운 물 사용 개념으로서 농축산물, 가공식품 등을 제조하기 위하여 용수공급부터 소비되는 물 사용량을 의미하며 최근 물, 식량을 연결하는 요소로서 중요도가 높아지고 있다 (Hoekstra et al, 2011). 특히, 식품별 물발자국은 식품이 생산되는데 사용된 물의 총량을 의미하기 때문에 물발자국을 식품 소비량에 적용할 경우 식품을 소비하기 위해 사용된 물의 총량을 산정할 수 있다 (Hoekstra and Chapagain, 2006; Hoekstra et al, 2011). 이때 사용된 물은 실제 소비된 것이 아니라 식품 생산을 위해 간접적으로 소비된 물을 의미하기 때문에 가상수라고 한다 (Allan, 1996). 국내 물발자국 산정 결과를 살펴보면 Yoo et al. (2014a)는 우리나라 논벼의 물발자국을 산정하였고, Yoo et al. (2014b)은 식품수급표를 기준으로 44개 작물을 곡류 (밀, 쌀, 보리, 옥수수, 기타), 서류 (감자, 고구마), 두류 (대두, 팥, 기타), 종실류 (참깨, 기타), 채소류, 과일류로 구분하여 물발자국을 산정한 바 있고, Lee et al. (2015)은 육우, 육돈, 가금에 대하여 물발자국을 산정한 바 있다 (Table 1). 따라서 물발자국을 활용할 경우 식량 소비와 수자원 사용을 연계하는 연구가 가능하며, 식량정책의 핵심요소 중 하나인 식량자급률의 변화가 물 소비량 미칠 수 있는 영향을 평가하는 연구 역시 가능할 것으로 판단된다.

이에 따라 본 연구에서는 국내의 물발자국 연구결과와 식품 소비량 및 칼로리 공급량을 적용하여 식품 소비 및 칼로리 공급 변화에 따른 가상수 소비량의 변화를 추정하고자 하였다. 특히, 다양한 식품들 중에서 음료부분을 제외하고 상당량의 소비 비

Table 1 Water footprint in Korea (Yoo et al., 2014a; 2014b; Lee et al., 2015)

| Foods | | Water footprint (m ³ /ton) |
|--------------|--------------|---------------------------------------|
| Cereals | Rice | 994.8 |
| | Wheat | 1,060.2 |
| | Barley | 795.9 |
| | Maize | 1,039.7 |
| | Others | 2,325.9 |
| Starch roots | Potato | 135.8 |
| | Sweet potato | 370.0 |
| Pulses | Soybeans | 3346.7 |
| | Red beans | 3,166.9 |
| | Others | 2,655.2 |
| Vegetables | | 136.8 |
| Fruits | | 431.1 |
| Meat | Bovine | 17,023.1 |
| | Pig | 4,235.8 |
| | Poultry | 2,427.7 |

중을 차지하며 1차 생산물로서 가상수 소비량의 산정이 용이한 곡류와 두류, 서류, 과수류, 채소류, 그리고 육류에 초점을 두고, 1985년부터 2010년까지의 식품 및 칼로리 소비패턴의 변화에 따른 가상수 소비량의 변화를 분석하고자 하였다. 또한 식량정책 수립의 중요한 요소인 식량자급률 조정을 위해서 필요한 가상수 소요량을 물발자국을 활용하여 산정하였다.

II. 식품 소비 및 칼로리 공급량의 변화

1. 1인당 식품 소비량의 변화

식품수급표 (KREI, 2013)의 1인당 1일 식품 소비량 자료에 따르면 1985년 곡류, 육류 및 채소류 등에 의해 약 1인당 약 1359.3 g의 식품을 소비하는 것으로 나타났다. 식품 소비량은 2005년까지 지속적으로 증가하여 최대 1726.7 g을 소비하는 것으로 나타났으며 2010년에는 소폭 감소하여 약 1700.3 g의 식품이 소비되는 것으로 나타났다 (Table 2).

특히, 본 연구에서는 다양한 식품들 중에서 음료부분을 제외하고 상당량의 소비 비중을 차지하며 1차 생산물로서 가상수 소비량의 산정이 용이한 곡류와 두류, 서류, 과수류, 채소류, 그리고 육류를 주요 식품으로 설정하고, 소비패턴 분석 및 가상수 소비량을 산정하였다. 이와 같이 설정된 주요 식품의 세부 항목별 소비량을 살펴보면 Table 3과 같다. 먼저 곡류의

Table 2 Total foods consumption per capita from 1985 to 2010 (g/cap/day)

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

Table 3 Main foods consumption per capita from 1985 to 2010 (g/cap/day)

| Foods | | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cereals | Rice | 350.8 | 330.9 | 303.0 | 268.1 | 228.1 | 223.2 |
| | Wheat | 87.6 | 81.4 | 93.4 | 99.0 | 86.7 | 91.3 |
| | Maize | 45.5 | 61.1 | 66.9 | 79.0 | 86.6 | 72.3 |
| | Barely | 23.1 | 6.7 | 5.3 | 5.0 | 3.2 | 3.7 |
| | Others | 0.9 | 0.7 | 5.6 | 6.1 | 7.8 | 7.1 |
| Meat | Bovine | 8.0 | 11.3 | 18.2 | 22.8 | 17.4 | 23.1 |
| | Pig | 23.0 | 32.3 | 39.0 | 43.6 | 46.3 | 50.6 |
| | Poultry | 8.4 | 11.0 | 11.6 | 13.5 | 15.9 | 22.6 |
| Pulses | Soybeans | 25.3 | 22.7 | 24.7 | 23.3 | 25.1 | 23.1 |
| | Red beans | 2.8 | 2.7 | 2.2 | 2.0 | 1.9 | 1.7 |
| | Others | 1.2 | 2.7 | 3.4 | 4.1 | 4.4 | 3.7 |
| Starchy roots | potatoes | 17.3 | 17.5 | 19.9 | 19.7 | 34.1 | 24.4 |
| | Sweet potatoes | 15.1 | 12.7 | 10.2 | 12.6 | 12.5 | 13.5 |
| Vegetables | | 270.1 | 363.3 | 439.9 | 454.6 | 398.7 | 362.1 |
| Fruit | | 72.8 | 79.3 | 107.1 | 111.4 | 122.6 | 121.0 |

1인당 소비량은 1985년 507.9 g/cap/day에서 2010년 397.5 g/cap/day으로 약 100 g/cap/day 이상 감소한 것으로 나타났다. 특히 쌀 소비량의 감소가 가장 두드러지게 나타났다. 1985년 대비 2010년 쌀 소비량은 약 130 g/cap/day 감소한 223.2 g/cap/day으로 나타났고, 반면 밀의 소비량은 2010년 91.3 g/cap/day으로 소폭 증가하였다. 1985년대에는 1인당 총 곡류 소비량 중 쌀 소비량이 약 69%였으나 2010년대에는 56%

로 감소하는 것을 확인할 수 있으며 반면에 육류의 소비량은 1985년 기준 2010년에는 약 2배 이상 증가한 119.3 g/cap/day으로 나타났다. 현대인의 식품 소비패턴 변화로 곡류의 소비는 감소하고 육류의 소비는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 육돈의 소비량의 증가하는 것을 확인할 수 있다. 1985년 대비 2010년 육돈의 소비량은 2배 이상 증가한 50.6 g/cap/day으로 총 육류 소비량의 42%를 차지한다. 또한 육우 및 가공육

Table 4 Calorie supply per capita by total foods consumption from 1985 to 2010 (kcal/cap/day)

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

Table 5 Calorie supply per capita by main foods consumption from 1985 to 2010 (kcal/cap/day)

| Foods | | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 |
|---------------|----------------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Cereals | Rice | 1,245.3 | 1,174.5 | 1,054.4 | 997.3 | 848.4 | 830.2 |
| | Wheat | 306.6 | 284.9 | 342.9 | 363.5 | 318.3 | 335.3 |
| | Maize | 158.9 | 213.2 | 225.3 | 266.1 | 291.9 | 243.5 |
| | Barely | 84.5 | 22.4 | 18.2 | 17.1 | 11.2 | 12.6 |
| | Others | 2.7 | 2.1 | 19.5 | 21.2 | 28.0 | 25.5 |
| Meat | Bovine | 10.5 | 14.8 | 30.4 | 38.1 | 29.2 | 38.8 |
| | Pig | 65.2 | 91.3 | 95.7 | 104.3 | 110.8 | 121.1 |
| | Poultry | 11.1 | 14.5 | 26.0 | 23.9 | 28.1 | 40.0 |
| Pulses | Soybeans | 102.4 | 91.7 | 96.6 | 90.1 | 97.2 | 89.6 |
| | Red beans | 8.8 | 8.5 | 7.5 | 7.0 | 6.4 | 5.7 |
| | Others | 3.9 | 12.2 | 12.9 | 18.6 | 17.5 | 15.6 |
| Starchy roots | Potatoes | 14.2 | 14.4 | 15.9 | 13.0 | 22.5 | 16.1 |
| | Sweet potatoes | 15.3 | 12.8 | 13.1 | 16.1 | 16.0 | 17.3 |
| Vegetables | | 86.5 | 116.4 | 127.2 | 126.0 | 115.7 | 104.8 |
| Fruit | | 31.8 | 34.2 | 53.1 | 53.6 | 57.8 | 58.1 |

의 소비량도 증가하는 하는 것을 확인할 수 있다. 채소류의 경우 2000년에 약 454.6 g/cap/day까지 소비량이 증가하였으나 2010년에는 362.1 g/cap/day을 소비하는 것으로 나타났다. 과일류의 경우 1985년 72.8 g/cap/day에서 꾸준히 증가하여 2010년에는 121.0 g/cap/day까지 증가하는 것으로 나타났다.

2. 1인당 식품 소비에 따른 칼로리 공급량의 변화

식품수급표 (KREI, 2013)에 따르면 1인당 총 칼로리 공급량은 1985년 2,686.8 kcal에서 2010년 2,998.5 kcal로 약 300 kcal 이상 증가한 것으로 나타났고, 약 50%를 곡류에 의해서 공급되는 것으로 나타났다 (Table 4).

주요 식품을 구분하여 칼로리 공급량을 살펴보면 Table 5

와 같다. 먼저 곡물의 1일 1인당 소비에 의한 칼로리 공급량은 1985년 약 1,798.0 kcal로 나타났으나 지속적으로 감소되면서 2010년에는 약 1,447.2 kcal로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 주요 곡물 소비에 대한 칼로리 공급량을 세부적으로 살펴보면 1985년대에는 쌀에 의한 칼로리 공급량이 1,245.3 kcal로 가장 많은 비중을 차지하였으나 2000년대에는 약 830.2 kcal까지 줄어드는 것으로 나타났다. 밀 소비에 의한 칼로리 공급은 1985년도에는 306.6 kcal이었으나 2010년도에는 335.3 kcal까지 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 육류의 1인당 1일 소비에 의한 칼로리 공급량은 1985년 99.7 kcal에서 2010년 235.4 kcal로 약 2.3배 증가한 것으로 나타났다. 육돈의 소비에 의한 칼로리 공급량이 가장 많은 증가를 나타내었는데 1985년도에는 1인당 육류 소비에 의한 칼로리 공급량은 65.2 kcal로 나타났으나 2010년에는 약 2배 가까이 증가한 121.2 kcal로 나타났다. 채소류의 경우 2000년대까지는 칼로리 공급량이 증가하였으나 2010년도에는 다소 감소하는 것으로 나타났고, 과실류의 경우 1995년부터 2010년까지 1인당 식품 소비에 의해 약 50 kcal/cap/day 이상의 칼로리 공급을 담당하고 있는 것으로 나타났다.

III. 식품 소비 및 칼로리 공급량 변화에 따른 가상수 소비량 변화 분석

1. 식품 소비량 변화에 따른 가상수 소비량 변화 분석

1인당 식품 소비량의 변화는 무게 단위의 소비량 뿐 아니라 식품을 생산하기 위하여 사용되는 수자원의 사용을 내포하고 있다. 특히, 육류의 경우 물발자국을 곡류보다 상당히 크기 때문에 식품 소비패턴이 곡류 중심에서 육류 중심으로 변화할 경우 수자원 분야에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 주요 식품(곡류, 육류, 채소류 등)의 물발자국을 1인당 식품 소비량에 적용하여 1인당 소비량에 따른 연평균 가상수 소비량을 산정하고, 시기별 변화를 비교하였다.

1985년 주요 식품 소비에 따라 1인당 약 330.0 m³/yr의 가상수가 사용되는 것으로 나타났고, 점차 증가하여 2010년에는 450.0 m³/yr가 사용되는 것으로 나타났다. 특히, 전반적으로 곡류의 소비는 줄어들고, 육류의 소비가 늘어나면서 1인당 총 가상수 소비량에서 육류가 차지하는 비중이 과거 1985년도 28%에서 2010년도에는 54%까지 증가하는 것을 알 수 있다 (Fig. 1)

주요 식품별 소비량에 따른 가상수 소비량을 Table 6에 나타내었는데 1985년도에는 단일품목으로 쌀의 소비에 의한 가상수 소비량이 127.4 m³/yr으로 가장 크게 나타났으나 2010

년도에는 육우 소비에 의한 가상수 소비량이 143.5 m³/yr으로 가장 크게 나타났다. 곡류에서는 쌀 소비에 의한 가상수 소비량이 과거 최대 127.4 m³/yr에서 2010년 81.0 m³/yr까지 감소하였고, 밀과 옥수수의 소비에 의한 가상수 소비량은 과거와 비교하여 소폭 증가한 것으로 나타났다. 육류의 경우 육우, 육돈의 소비에 의한 가상수 소비량이 상당히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 두 품목 모두 1985년 대비 2010년에는 약 2배 이상의 가상수 소비량의 증가를 보여준다. 특히, 육돈의 경우 1985년부터 2010년까지 지속적인 가상수 소비량의 증가를 나타내었다. 두류의 경우 육류를 제외하고 단일 품목당 가장 큰 물발자국을 보이는 작물로서 적은 양의 소비에도 많은 양의 가상수 사용을 보여준다. 두류작물은 1985년부터 2010년까지 큰 차이가 없는 가상수 소비량을 보여주고 있으며 평균적으로 약 35.9 m³/yr의 가상수가 두류 소비에 의해서 사용되는 것으로 나타났다. 채소류의 경우 소비에 의한 가상수 소비량이 1995년도와 2000년도까지 증가하였다가 2010년에는 소폭 감소하여 약 18.1 m³/yr의 가상수 소비량을 보여주고 있다. 과실류의 경우 1985년도에는 11.5 m³/yr의 가상수 소비량이 산정되었고, 지속적으로 증가하여 2010년도에는 약 19.0 m³/yr의 가상수 식품 소비에 의해 사용되는 것으로 나타났다.

식품 소비량의 변화로만 살펴볼 경우 곡류 소비가 주를 이루는 것으로 나타났으나 물발자국을 적용하여 가상수 소비량의 개념으로 접근할 경우, 육류 소비가 증가하는 패턴은 상당량의 용수 소비를 발생시킬 것으로 판단된다. 또한 식품 소비 패턴은 용수 사용과 직접적인 관계가 있기 때문에 본 연구결과는 식량과 물 안보를 동시에 고려할 수 있는 새로운 지표로서 의의가 있다.

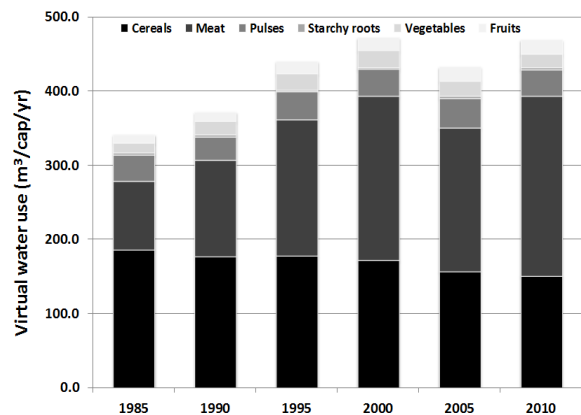


Fig. 1 Virtual water consumption by main food consumption from 1985 to 2010

Table 6 Virtual water consumption by each food consumption from 1985 to 2010

| Foods | | Virtual water consumption by food consumption (m ³ /cap/yr) | | | | | |
|---------------|----------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 |
| Cereals | Rice | 127.4 | 120.2 | 110.0 | 97.3 | 82.8 | 81.0 |
| | Wheat | 33.9 | 31.5 | 36.1 | 38.3 | 33.6 | 35.3 |
| | Barely | 6.7 | 1.9 | 1.5 | 1.5 | 0.9 | 1.1 |
| | Maize | 17.3 | 23.2 | 25.4 | 30.0 | 32.9 | 27.4 |
| | Others | 0.8 | 0.6 | 4.8 | 5.2 | 6.6 | 6.0 |
| Meat | Bovine | 49.7 | 70.2 | 113.1 | 141.7 | 108.1 | 143.5 |
| | Pig | 35.6 | 49.9 | 60.3 | 67.4 | 71.6 | 78.2 |
| | Poultry | 7.4 | 9.7 | 10.3 | 12.0 | 14.1 | 20.0 |
| Pulses | Soy beans | 30.9 | 27.7 | 30.2 | 28.5 | 30.7 | 28.2 |
| | Red beans | 3.2 | 3.1 | 2.5 | 2.3 | 2.2 | 2.0 |
| | Others | 0.8 | 0.6 | 4.8 | 5.2 | 6.6 | 6.0 |
| Starchy roots | potatoes | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.7 | 1.2 |
| | Sweet potatoes | 2.0 | 1.7 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 1.8 |
| Vegetables | | 13.5 | 18.1 | 22.0 | 22.7 | 19.9 | 18.1 |
| Fruits | | 11.5 | 12.5 | 16.9 | 17.5 | 19.3 | 19.0 |
| Total | | 341.5 | 371.9 | 440.2 | 472.2 | 432.6 | 469.1 |

3. 칼로리 공급량 변화에 따른 가상수 소비량 변화 분석

다이어트 및 식습관의 변화에 따라 칼로리 공급을 위한 식품 소비패턴 역시 변화하게 된다. 즉, 과거 대비 현재 총 칼로리 공급량의 변화뿐 아니라 동일한 칼로리를 공급하기 위해 소비되는 식품의 종류가 변화함에 따라 칼로리 공급을 위한 가상수 소비량 역시 변화하게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 1인당 식품 소비량에 따른 1 칼로리 공급량과 물발자국을 적용하여 식품별 1칼로리 공급을 위해 소비되는 가상수 소비량을 산정하였다.

주요 식품(곡류, 육류, 채소류 등)의 1인당 칼로리 공급량을 위한 가상수 소비량 산정결과는 Fig. 2와 같다. 1985년 주요 식품 소비에 따라 1칼로리를 공급하기 위해 사용되는 평균 가상수 소비량은 약 1.25 m³/cal로 나타났고, 2010년에는 소폭 감소한 1.29 m³/cal로 나타났다. 칼로리 기반이기 때문에 시기별 큰 차이를 보이지는 않지만 식품별 차이는 확연하게 나타났다(Table 7). 곡류의 경우 1인당 식품 소비량을 고려할 경우 1 칼로리를 공급하기 위해서는 약 0.35 m³의 가상수가 사용되는 것으로 나타났다. 반면에 육류의 경우 육우의 소비에 의한 칼로리 공급에 따른 가상수 소비량이 10.1 m³/cal로 가장 높게 나타났다. 즉, 1인당 식품 소비량을 기준으로 동일한 칼로리를 공급하기 위해서 육류가 곡류보다 더 많은 양의 가상수 사용을 필요로 한다는 것을 알 수 있다. 채소류의 경우 2010년 칼로리 공급량 당 가상수 소비량은 0.47 m³/cal로 나타났고, 과실류의 경우 0.90 m³/cal로 나타났다.

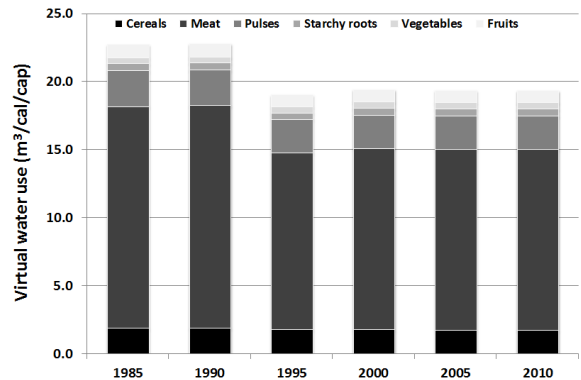


Fig. 2 Virtual water consumption for calorie supply of main food from 1985 to 2010

이처럼 동일한 칼로리 소비일지라도 소비되는 식품 종류에 따라 사용되는 가상수 소비량이 달라진다. 그러므로 본 연구 결과는 식품 소비패턴 변화에 따른 칼로리 공급기준의 변화역시 수자원의 사용 및 관리에 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

IV. 식량자급률 변화에 따른 추가 가상수 소요량 추정

식량자급률은 국내 농업생산이 국민의 국내 식량소비에 어느 대응하고 있는가를 평가하는 지표로서, 유형별로 품목

Table 7 Virtual water consumption for calorie supply of each food from 1985 to 2010

| Foods | | Virtual water consumption for calorie supply (m ³ /cal/cap) | | | | | |
|---------------|----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 |
| Cereals | Rice | 0.28 | 0.28 | 0.29 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| | Wheat | 0.30 | 0.30 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| | Barely | 0.22 | 0.24 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |
| | Maize | 0.30 | 0.30 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| | Others | 0.78 | 0.78 | 0.67 | 0.67 | 0.65 | 0.65 |
| Meat | Bovine | 12.97 | 13.00 | 10.19 | 10.19 | 10.14 | 10.13 |
| | Pig | 1.49 | 1.50 | 1.73 | 1.77 | 1.77 | 1.77 |
| | Poultry | 1.84 | 1.84 | 1.08 | 1.37 | 1.37 | 1.37 |
| Pulses | Soy beans | 0.83 | 0.83 | 0.86 | 0.87 | 0.86 | 0.86 |
| | Red beans | 1.01 | 1.01 | 0.93 | 0.90 | 0.94 | 0.94 |
| | Others | 0.78 | 0.78 | 0.67 | 0.67 | 0.65 | 0.65 |
| Starchy roots | potatoes | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| | Sweet potatoes | 0.37 | 0.37 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| Vegetables | | 0.43 | 0.43 | 0.47 | 0.49 | 0.47 | 0.47 |
| Fruits | | 0.99 | 1.00 | 0.87 | 0.90 | 0.91 | 0.90 |
| Average | | 1.52 | 1.52 | 1.27 | 1.30 | 1.29 | 1.29 |

자급률, 주식용 곡물자급률, 칼로리 (또는 열량) 자급률 및 금액 자급률 등이 있다 (KREI and MIFAFF, 2010). 각 자급률 산출 개념은 다음과 같다.

- 물량자급률 (품목별 자급률) = 품목별 생산량 / 품목별 소비량 × 100
- 주식용 곡물자급률 = 주곡(쌀, 밀, 보리) 생산량 / 주곡 소비량 × 100
- 곡물자급률 (사료 포함) = 곡물(쌀, 맥류, 서류, 두류, 옥수수) 생산량 / 곡물 소비량 × 100
- 칼로리 (열량) 자급률 = 국내산 공급칼로리 / 순식용공급칼로리 × 100

물량자급률은 각 품목의 당해연도 국내 공급량 중 국내 생산량이 차지하는 비중을 나타내는 지표로써, 물량자급률은 품목별 수급사항 파악에 유리하지만, 품목별 특성의 차이로 인해 식품 전체의 자급률 상황을 반영하는 지표로서의 활용에는 한계가 있다. 반면 칼로리 자급률은 각 식품에 함유된 칼로리량을 기준으로 가중 평균하여 당해연도 칼로리 중에서 국내산 칼로리로 공급되는 비중을 나타내는 지표로써, 물량자급률의 단점을 보완하는 동시에 식생활 변화를 반영하고, 전체 식품을 대표하는 종합 자급률 산출이 가능하다는 이점이 있다 (Lee et al., 2001; KREI and MIFAFF, 2010).

우리나라의 식량자급률의 변화 추이는 Table 8과 같다 (KREI, 2013). 우리나라 전체 곡물자급률은 1990년의 43.8%에서 2010년 28.1%로 연평균 약 0.8%씩 지속적으로 하락하였다. 이를 주요 곡물별로 살펴보면, 쌀 자급률은 1990년 이후 2010년까지 90% 이상의 높은 자급률을 유지하였다. 2010년 기준 쌀 이외의 주요 곡물의 자급률은 보리 (24.3%), 밀 (0.9%), 옥수수 (0.9%) 순으로 낮은 자급률을 나타내었다. 한편 전체 식품의 칼로리 자급률은 1990년의 62.6%에서 2010년에 54.8%로 하락했으며, 전체 칼로리 공급량 중에서 곡물소비 칼로리 비중도 1990년의 62.6%에서 2010년에 49.3%로 점차 낮아지고 있다. 이는 곡물 이외의 식품인 육류 등의 소비증가 속도가 곡물소비 증가보다 빠르기 때문이다.

2010년 기준 우리나라의 곡물자급률은 OECD 국가들 중에 매우 낮은 수준으로, 정부에서는 식량자급률을 올리기 위한 대책으로 2011년에 ‘안정적인 식량 생산을 위한 장기 계획’을 발표한 적이 있다 (KREI and MIFAFF, 2010). 식량자급률을 높이기 위해서는 농산물의 생산증대가 이루어져야 하는데, 이는 농업용수의 추가확보가 필요함을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 2010년 기준으로 주요 품목별 식량자급률과 전체 칼로리 자급률을 증가시키기 위하여 필요한 가상수 소요량을 추정하였다.

Table 9는 2010년 기준 품목별 식량자급률 및 칼로리 자급률을 1%를 증가시키기 위해서 필요한 가상수 소요량을 나타

Table 8 Trends in food self-sufficiency rates for the years 1990– 2010

| Year | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 |
|--|-------|------|-------|------|-------|
| Grains ¹⁾ SSR ²⁾ (%) | 43.8 | 30.0 | 30.8 | 29.4 | 28.1 |
| – Rice SSR (%) | 108.3 | 91.1 | 102.9 | 96.0 | 104.5 |
| – Barley SSR (%) | 96.1 | 67.0 | 46.9 | 56.4 | 24.3 |
| – Wheat SSR (%) | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.9 |
| – Maize SSR (%) | 1.9 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| – Pulses SSR (%) | 24.5 | 14.9 | 8.2 | 10.7 | 11.0 |
| Caloric SSR (%) of all food items | 62.6 | 50.6 | 50.6 | 45.4 | 49.3 |
| % grains of total energy | 63.4 | 60.1 | 59.2 | 54.3 | 54.8 |

¹⁾ Grains: wheat, rice, barely, other cereals, soybeans, red beans, and other pulses.

²⁾ SSR: food self-sufficiency rate

Table 9 Virtual water requirements for increasing the food and calorie self-sufficiency rates in 2010

| Foods | Foods | Consumption | SSR ¹⁾ | VWR _{food} ²⁾ | Calorie supply | VWR _{cal} ³⁾ |
|---------------|----------------|-------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | | (1000 ton) | (%) | (1000 m ³) | (% of total ⁴⁾) | (Mm ³) |
| Cereals | Wheat | 4,386.0 | 0.9 | 46,500.4 | 11.8 | 393.9 |
| | Rice | 4,703.0 | 104.5 | 46,785.4 | 29.2 | 160.0 |
| | Barley | 333.0 | 24.3 | 2,650.3 | 0.4 | 596.5 |
| | Maize | 8,635.0 | 0.9 | 89,778.1 | 8.6 | 1,047.1 |
| | Others | 204.0 | 5.4 | 4,744.8 | 0.9 | 528.5 |
| Starchy roots | Potatoes | 629.1 | 97.6 | 854.3 | 0.6 | 150.4 |
| | Sweet potatoes | 350.7 | 100.0 | 1,297.6 | 0.6 | 213.6 |
| Pulses | Soybeans | 1,381.0 | 10.1 | 46,217.9 | 3.2 | 1,465.6 |
| | Red beans | 31.0 | 19.4 | 981.7 | 0.2 | 490.0 |
| | Others | 75.3 | 25.5 | 1,999.4 | 0.5 | 365.2 |
| Vegetables | | 9,494.6 | 90.7 | 11,777.4 | 3.7 | 319.3 |
| Fruits | | 3,072.7 | 81.0 | 10,730.5 | 2.0 | 524.4 |
| Meats | Bovine | 431.3 | 43.2 | 73,420.6 | 1.4 | 5,381.1 |
| | Pig | 940.1 | 81.0 | 39,820.8 | 4.3 | 934.0 |
| | Poultry | 522.3 | 83.4 | 12,679.9 | 1.4 | 899.4 |

¹⁾ SSR: food self-sufficiency rate

²⁾ VWR_{food}: virtual water requirements for increasing food self-sufficiency rate by 1 %

³⁾ VWR_{cal}: virtual water requirements for increasing caloric self-sufficiency rate by 1 % in all items

⁴⁾ Total calorie supply in all items: 2,840.1 kcal/cap/day

낸다. 밀의 경우 식량자급률 1%를 올리기 위해서는 소비량의 1%인 43,860 ton의 국내 생산이 필요하다. 따라서 밀 43,860 ton을 추가 생산하기 위해서는 46.5 Mm³의 가상수가 추가적으로 소요되는 것으로 나타났다. 동일한 방식으로 다른 식품의 식량자급률 1%를 증가시키기 위한 가상수 소요량을 산정해보면, 쌀은 46.8 Mm³, 보리는 2.7 Mm³, 옥수수는 89.8 Mm³, 기타곡류는 4.7 Mm³, 감자와 고구마는 각각 8.5 Mm³ 및 1.3 Mm³의 가상수가 필요한 것으로 나타났다. 한편

육류의 경우, 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 자급률을 1% 증가시키기 위해서 각각 73.4 Mm³, 39.8 Mm³, 12.7 Mm³의 가상수가 추가적으로 소요되는 것으로 분석되었다 (Table 9).

위 결과를 칼로리 기준 식량자급률과 연계하여 칼로리 자급률 증가를 위한 가상수 소요량을 산정하였다. 2010년 기준으로 전체 식품의 칼로리 자급률은 49.3%이고, 1인 1일당 순식품 공급에너지 (전체식품)는 총 2,840.1 kcal이다. 전체 공급 에너지 중에서 쌀은 29.2%, 밀은 11.8%, 옥수수는 8.6%,

대두는 3.2%, 쇠고기와 닭고기는 1.4%, 돼지고기는 4.3%의 비중을 차지한다. 따라서 밀 생산 증대만으로 칼로리 자급률을 1% 증가시키기 위해서는 밀 식량자급률을 8.5% 증가시킬 필요가 있다. 이러한 경우에 추가로 소요되는 가상수는 약 393.9 Mm³으로 산정되었다(Table 9). 동일한 방식으로 다른 품목들의 칼로리 자급률 증가를 위해 추가적으로 소요되는 가상수를 산정해보면, 쌀은 160.0 Mm³, 옥수수는 1,047.1 Mm³, 대두는 1,465.6 Mm³, 채소류는 319.2 Mm³, 과실류는 524.3 Mm³, 쇠고기는 5,381.1 Mm³, 돼지고기는 934.0 Mm³, 닭고기는 899.4 Mm³의 가상수가 소요되는 것으로 나타났다. 위 품목들 중에 상대적으로 적은 값을 나타낸 품목은 밀, 쌀, 채소류 및 과실류인데, 쌀과 채소류의 경우, 자급률이 90%를 상회하기 때문에, 생산 증대에 한계가 있을 수 있다. 따라서 가상수 소요량을 고려하여 칼로리 자급률을 높이는 방안을 설정한다면, 자급률이 상대적으로 낮은 밀과 과실류가 적합할 것으로 판단된다.

KREI and MIFAFF (2010)은 2020년 기준으로 칼로리자급률 50%를 달성하기 위한 방편으로 품목별 목표 자급률을 제시하였는데, 제시한 목표치는 쌀 98.2%, 보리 26.8%, 밀 9.3%, 서류 98.7%, 채소류 85.0%, 과일류 75.0%, 쇠고기 42.8%, 돼지고기 79.5%, 닭고기 85.0%이었다. 이에 따라 본 연구 결과를 바탕으로 2010년 대비 2020년에 추가적으로 소요되는 가상수 소비량의 산정 결과, 밀 391 Mm³, 보리 7 Mm³, 쇠고기 117 Mm³, 닭고기 20 Mm³으로 나타났다. 반면에 목표치에 따라 감소하는 가상수량은 쌀 295 Mm³, 채소류 65 Mm³, 과일류 64 Mm³으로 나타났다. 이와 같은 접근은 국외 연구에서도 살펴볼 수 있다. Liu and Savenije (2008)은 중국의 향후 30년 동안의 세 가지 수준(low, medium, high)의 식품소비 패턴을 설정하고, 물발자국 개념을 적용하여 소비 패턴 변화에 따른 물 필요량의 변화를 분석하였다. 분석 결과 2003년과 비교하여 2030년에 추가적으로 필요한 물은 각각 407 (low) Gm³/yr, 531 Gm³/yr (medium), 515 Gm³/yr (high)으로 나타났다. 가상수 개념을 통한 식량 소비와 수자원 소비를 연계한 접근방법은 향후 식품 생산, 소비 및 식량자급률 등의 농업 정책을 고려한 수자원 정책 수립 시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

V. 요약 및 결론

식량과 물 안보의 중요도가 높아지고 있는 현 시점에서 식품 소비패턴 변화에 따른 식량 소비 및 칼로리 공급을 위한 물 사용량을 추정하고, 식량자급률의 증가를 위하여 필요한 물의 양을 정량적으로 제시할 필요가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 식품수급표와 물발자국을 이용하여 주요 식품(곡류, 육류, 채소류 등)의 소비 패턴 및 칼로리 공급 패턴 변화에 따른 가상수 소비량을 산정하였다. 1985년과 2010년을 비교해 볼 때 곡류의 소비는 줄어들고 육류의 소비가 증가하였고, 이에 따라 1인당 식품 소비에 따른 가상수 소비량은 약 330.0 m³/yr에서 450.0 m³/yr로 증가하였다. 특히, 1인당 총 가상수 소비량에서 육류가 차지하는 비중이 과거 1985년도 28%에서 2010년도에는 54%까지 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 식품 소비패턴이 변화하면서 칼로리 공급을 위해 소비되는 가상수 소비량 역시 변화하였다. 곡류의 경우 1인당 식품 소비에 따른 칼로리 공급량을 고려할 경우 약 1.8 m³/cal의 가상수가 사용되는 것으로 나타났으나 육류의 경우 13.3 m³/cal의 가상수가 사용되는 것으로 나타났다. 이처럼 동일한 칼로리 소비일지라도 소비되는 식품 종류에 따라 가상수 소비량이 달라지기 때문에 칼로리 공급기준량의 변화 역시 수자원의 사용 및 관리에 영향을 미칠 수 있다.

또한 본 연구에서는 식량 및 칼로리 자급률을 높이기 위해 필요한 단위 가상수 소요량을 산정하였다. 예를 들어 밀 식량 자급률 1%를 올리기 위해서는 소비량의 1%인 43,860 ton의 추가적인 국내 생산이 필요하며 이에 따라 약 46.5 Mm³의 가상수가 추가적으로 소요될 필요가 있다. 또한 밀 생산 증대만으로 칼로리 자급률을 1% 올리기 위해서는 밀 식량자급률을 8.5% 증가시켜야 하므로 약 393.9 Mm³의 가상수가 소요될 필요가 있다.

그러나 식품수급표, 식품 소비 경향, 칼로리 공급 및 소비 등의 변화 추세에 대한 기존 자료와 물발자국에 대한 기존 연구결과를 선형 결합한 결과는 다소 예측가능하다는 한계가 있다. 즉, 곡류의 소비 감소는 곡류 생산에 필요한 가상수 소비량이 적어지는 것이 당연한 결과이기 때문이다. 그러나 식품 소비패턴의 변화에 따른 곡류, 육류 등의 소비 감소와 증가에 따른 가상수 소비량의 증감 예측은 가능하지만 곡류와 육류의 물발자국의 차이에 따라 가상수 소비량은 상당한 변화를 나타내고 있다. 예로, 쌀 소비와 육류 소비가 작은 차이만큼 증감할지라도 가상수 소비량은 상당한 차이를 보이고 있다. 또한 칼로리 공급을 기준으로 가상수의 사용을 판단할 경우에도 칼로리 공급 패턴이 일부만 변화하더라도 상당량의 가상수 사용 증감이 나타날 수 있음을 제시하고 있다.

또한 본 연구에서는 생산을 위해 사용되는 수자원의 부존량 등에 대한 고려 없이 식품의 소비만을 기준으로 가상수 소비량을 산정하였기 때문에 본 연구결과가 수자원 공급계획 부분에 직접적으로 적용되기에는 한계가 있다. 그러나 현재 전 세계적으로 식량과 수자원을 동시에 고려하는 연구의 중요성이 높아지고 있고, 본 연구는 식량소비 패턴의 작은 변화

가 수자원에는 상당한 영향을 미칠 수 있음을 내포하고 있다. 즉, 식량소비와 가상수 사용의 증감의 경향 뿐 아니라 증감의 차이를 동시에 보여주고 있고, 다양한 식량 자급률의 변화에 따른 수자원의 사용량의 변화를 용이하게 나타낼 수 있다는 것에 의의가 있다. 향후 지역 또는 유역별 수자원의 사용 가능량을 해당 지역의 식품 소비에 따른 가상수 소비량과 연계하여 수자원의 지속 가능성 등을 평가하는 추가적인 연구가 수행될 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구결과는 국민들의 식습관의 변화가 수자원의 이용과 연관성이 높다는 점을 제시하여 수자원의 중요도를 높이는데 활용될 수 있다. 또한 본 연구결과를 활용할 경우 식량자급률 목표를 달성하기 위해 추가적으로 필요한 수자원을 정량적으로 산정 및 제시할 수 있으므로 거시적인 수자원의 필요량을 보여주는 지표로도 활용될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Allan, J. A., 1996. Water Use and Development in Arid Regions: Environment, Economic Development and Water Resource Politics and Policy. *Review of European Community and International Environmental Law* 5(2): 107-115.
- Hoekstra, A. Y. and A. K. Chapagain, 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management* 21(1): 35-48.
- Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, and M. M. Aldaya, 2011. The water footprint assessment manual, Earthscan, London, UK.
- Howells, M., S. Hermann, M. Welsch, M. Bazilian, R. Segerström, T. Alfstad, D. Gielen, H. Rogner, G. Fischer, H. Velthuis, D. Wiberg, C. Young, R. A. Roehrl, A. Mueller, P. Steduto, and I. Ramma, 2013. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies, *Nature Climate Change* 3: 621-626.
- Korea Rural Economic Institute (KREI), 2012. A study on the introduction and utilization of virtual water to agriculture (in Korean).
- Korea Rural Economic Institute (KREI), 2013. Food balance sheet, Korea Rural Economic Institute: Seoul, Republic of Korea (in Korean).
- Korea Rural Economic Institute (KREI), Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), 2010. Report on the conceptualization of food self-sufficiency ratio and adjustment of its target in Korea, Korea Rural Economic Institute: Seoul, Republic of Korea (in Korean).
- Lee, G. I., J. H. Choi and H. G. Moon, Effect of Food Policy on Improving Food Self-Sufficiency Ratio based on Calories, 2001. *Rural Economics* 24(1): 15-28 (in Korean).
- Lee, S. H., J. Y. Choi, S. H. Yoo, Y. D. Kim, and A. Shin, 2015. Estimation of water footprint for livestock products in Korea, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(2): 85-92 (in Korean).
- Liu, J. and H. H. G. Savenije, 2008. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 12(3): 887-898.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), 2010. A study on conceptualization of food self-sufficiency rate and reestablishing its target in Korea (in Korean).
- Ministry of Construction & Transportation (MCT), 2000. Water vision 2020 (in Korean).
- Ministry of Environment (ME), 2014. Korean Climate Change Assessment Report 2014 (in Korean).
- Pingali, P., 2006. Westernization of Asian diets and the transformation of food systems: Implications for research and policy. *Food Policy* 32: 281-298.
- Rosegrant, M. W. and M. A. Sombilla, 1997. Critical Issues Suggested by Trends in Food, Population, and the Environment to the Year 2020. *American Journal of Agricultural Economics* 79(5): 1467-1470.
- United States Department of Agriculture (USDA), 2014. The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities.
- Vorosmarty C. J., P. Green, J. Salisbury, and R. B. Lammers, 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science* 289 (5477): 284-288.
- Yoo, S. H., J. Y. Choi, S. H. Lee, and T. G. Kim, 2014a. Estimating water footprint of paddy rice in Korea. *Paddy and Water Environment* 12(1): 43-54.
- Yoo, S. H., J. Y. Choi, T. Kim, J. B. Im, and C. Chun, 2009. Estimation of Crop Virtual Water in Korea, *Journal of Korea Water Resources Association* 42(11): 911-920 (in Korean).
- Yoo, S. H., S. H. Lee, and J. Y. Choi, 2014b. Estimating water footprint for upland crop production in Korea, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(3): 65-74 (in Korean).