

아시아의 농작물 가상수 교역 구조의 특징 분석



이 상 현
Texas A&M University /
Visiting scholar
sanghyunsnu@gmail.com

1. 머리말

가상수는 단위 작물의 총 물소비량을 의미하며 자연강우에 의한 유효우량으로부터 공급될 경우 녹색 가상수로 설정하고, 관개시설에 의해 지하수 및 하천수로부터 취수되어 공급된 경우 청색 가상수로 설정한다. 가상수에 관한 초기 연구는 작물별 가상수량의 산정 방법에 대한 설정과 작물별 가상수량의 산정이 주를 이루었다. Chapagain and Hoekstra (2004)는 1997-2001년의 통계 자료를 바탕으로 농축산물 및 가공품, 공산품에 대하여 가상수를 산정하였고, 한 국가에서 재화를 생산하는데 필요한 물 사용량을 가상수로 표현한 국가별 물발자국을 추정하였다. 이와 같은 물발자국 산정 연구를 시작으로 다양한 작물 및 가공품에 대한 연구가 추가적으로 수행되어 왔다 (Hoekstra and Hung, 2002; Hoekstra, 2003, 2006; Chapagain and Hoekstra, 2004; Liu et al, 2009; Siebert and Doll, 2010; Aldaya et al, 2010). 국내에서도 한국의 농산물의 가상수를 산정한 연구 및 가상수량 산정 방법의 적용성을 평가한 연구가 수행된 바 있다(Yoo et al., 2009; Ahn et al., 2010; Yoo et al., 2014).

농작물의 교역을 가상수의 흐름 개념으로 접근할 경우 농작물의 수출입 정책은 안정적인 용수 공급에 따른 가상수 흐름의 안정성을 고려할 필요가 있다. 예를 들어 특정국가의 가상수에 의존적인 농작물 교역은 수출국의 수자원 변화에 민감해지는 불안정성을 내포하게 된다. 즉, 국가간의 가상수 흐름은 향후 수자원의 중요도가 높아질수록 농작물 교역의 중요한 제한요소로 적용될 수 있기 때문에 주요 교역국과의 가상수 흐름량과 구조를 분석할 필요가 있다. 특히, 농작물 교역에 의한 국가간 가상수 흐름의 문제로 제시되고 있는 것이 특정국가로 가상수 흐름이 집중화 되는 현상이다. 전세계의 수자원량에 한정되어 있는 상황에서 가상수 흐름의 불균형성은 가상수 수출국가의 수자원 부족현상을 발생시킬 수 있으며 또한 일부 선진국들이 아프리카

및 일부 아시아 국가의 수자원을 남용하는 현상으로 변질될 수 있다. 그밖에 특정국가에 가상수 흐름이 집중화 될 경우 가상수 수입국들은 수출국에 종속될 위험성이 있으며 이에 따라 농작물 교역 시 국가간 분쟁이 발생할 가능성도 있다. 그러므로 가상수의 흐름의 양적인 부분과 흐름 방향에 따라 특정국가에 수입 및 수출이 집중화되는 지를 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 PC-TAS의 2006년부터 2010년 동안의 대상작물의 수출입 데이터와 앞서 산정된 국내의 작물별 물발자국과 Hoekstra et. al.(2011)의 국외 물발자국 자료를 활용하여 아시아와 EU를 중심으로 가상수 흐름량을 산정하고 구조적인 특징을 비교하였다. 특히, 아시아와 EU 권역 내에서의 가상수 흐름과 전세계 가상수 흐름을 구분하여 각 권역의 유출율을 분석하였다. 또한 아시아 권역내에서의 가상수 흐름을 네트워크로 구축하여 연결중심성을 산정하고, 녹색 및 청색 가상수 흐름을 주도하는 중심국가를 살펴보았다. 마지막으로 유사한 농작물 교역구조를 가지고 있으며 대표적인 농작물 수입국가인 한국과 일본, 대만의 가상수 흐름을

산정하고 특정국가에 대한 가상수 유입 의존도를 분석하여 비교하였다.

2. 아시아와 EU의 가상수 교역량 산정 및 구조 비교

전 세계적으로 수자원은 단순히 한 국가만의 문제에서 인접한 국가들과의 관리 공유가 필요한 시점이다. 특히, 아시아와 EU는 국가들을 따라 흐르는 대규모 강들에 의해 수자원을 공유하기 때문에 범국가적인 관리가 필요가 있다. 즉, 아시아 및 EU 권역내에서의 수자원 이용 및 수자원 유출량을 산정, 비교하여 권역내 수자원 이용율을 평가할 필요가 있다. 그러나 직접적인 수자원의 권역 외 유출입량을 산정하기는 어려움이 있기 때문에 본 연구에서는 가상수의 개념을 적용하여 곡물 수출입에 따른 아시아와 EU 권역의 수자원 유출량을 산정하였다.

먼저 2006년부터 2010년까지 5개년 동안 아시아 및 EU 권역에서 해당 권역을 포함하여 전세계로 유출되는 수자원을 산정한 결과는 Table 1과 같다. 아시아의 경우 식량작물로 주로 교역되

[Table 1] Virtual water flow for crops in Asia and EU (unit: Gm³)

| Crops | | From Asia to World | | From EU to World | | From Asia to Asia | | From EU to EU | |
|--------------|--------|--------------------|------------|------------------|------------|-------------------|------------|---------------|------------|
| | | Green water | Blue water | Green water | Blue water | Green water | Blue water | Green water | Blue water |
| Food crops | Wheat | 90,04 | 4,35 | 351,43 | 7,16 | 58,63 | 3,41 | 108,27 | 3,78 |
| | Rice | 206,19 | 96,92 | 8,83 | 7,48 | 91,40 | 40,59 | 7,57 | 5,98 |
| | Barely | 9,84 | 0,95 | 86,71 | 2,48 | 8,05 | 0,71 | 24,91 | 0,97 |
| | Sum | 306,07 | 102,22 | 446,96 | 17,12 | 158,08 | 44,71 | 140,75 | 10,72 |
| Forage crops | Maize | 35,72 | 2,50 | 59,18 | 6,27 | 32,92 | 2,24 | 39,75 | 3,94 |
| | Pulse | 99,14 | 1,86 | 81,54 | 6,01 | 92,67 | 1,60 | 72,36 | 5,22 |
| | Sum | 134,87 | 4,36 | 140,72 | 12,28 | 125,58 | 3,84 | 112,11 | 9,16 |
| Total | | 440,94 | 106,58 | 587,68 | 29,40 | 283,66 | 48,55 | 252,86 | 19,89 |

는 밀, 벼, 보리의 수출입에 따라 약 306.07 Gm³의 녹색 가상수와 약 102.22 Gm³의 청색 가상수가 유출되는 것으로 나타났다. EU의 경우 446.96 Gm³의 녹색 가상수와 17.12 Gm³의 청색 가상수가 해당 권역을 포함하여 전 세계로 유출되는 것으로 나타났다. 아시아의 청색 가상수 유출량이 EU와 비교하여 높게 나타났는데 이는 관계에 의존적인 벼의 수출이 더 많기 때문이다. 이에 반하여 EU는 강우에 의존적인 밀의 수출이 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 사료작물로 주로 수출입 되는 옥수수과 두류의 경우 약 134.87 Gm³의 녹색 가상수와 4.36 Gm³의 청색 가상수가 아시아에서 전 세계로 유출되고, EU에서는 약 140.72 Gm³의 녹색 가상수와 12.28 Gm³의 청색 가상수가 유출되는 것으로 나타났다.

다음으로 아시아와 EU 권역내에서 교역되는 가상수의 양을 산정하고 비교하였다(Table 2).

아시아 내부에서 순환되는 녹색 가상수는 총 283.66 Gm³이고, 이중에서 158.08 Gm³이 밀, 벼, 보리의 수출에 의한 것이고, 125.58 Gm³이 옥수수와 두류작물의 수출에 의한 것이다. 청색 가상수는 밀, 벼, 보리의 수출에 의해 약 44.71 Gm³가 유출되는 것으로 나타났다. EU의 경우 밀, 벼, 보리의 수출에 의해 약 140.75 Gm³의 녹색 가상수와 약 10.72 Gm³의 청색 가상수가 EU 권역내에서 순환되고, 옥수수와 두류에 의해 약 112.11 Gm³의 녹색 가상수와 약 9.16 Gm³의 청색 가상수가 내부적으로 교역되는 것으로 나타났다.

내부적으로 교역되는 가상수와 전체 가상수 유출량과의 비율을 살펴보면 아시아의 경우 전체 녹색 가상수 유출량의 약 64%가 아시아 내부로 유출되고, 청색 가상수 유출량의 46%가 아시아 내부로 유출되는 것으로 나타났다. EU

[Table 2] Degree centrality of virtual water flow inside Asia

| Countries | Degree centrality of flow | | Degree centrality of link | |
|-----------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| | In-Degree | Out-Degree | In-Degree | Out-Degree |
| BANGLADESH | 0.61 | 0.00 | 0.34 | 0.21 |
| CHINA | 0.34 | 1.02 | 0.34 | 0.95 |
| INDIA | 0.08 | 3.75 | 0.32 | 0.87 |
| INDONESIA | 0.56 | 0.03 | 0.32 | 0.42 |
| IRAN ISLAM. REP | 0.63 | 0.05 | 0.29 | 0.53 |
| JAPAN | 0.72 | 0.00 | 0.29 | 0.26 |
| KAZAKHSTAN | 0.02 | 1.26 | 0.21 | 0.61 |
| KOREA REP. | 0.49 | 0.02 | 0.32 | 0.26 |
| MALAYSIA | 0.64 | 0.03 | 0.45 | 0.26 |
| PAKISTAN | 0.16 | 1.01 | 0.32 | 0.84 |
| PHILIPPINES | 0.58 | 0.00 | 0.32 | 0.16 |
| SAUDI ARABIA | 0.53 | 0.01 | 0.47 | 0.34 |
| THAILAND | 0.20 | 1.39 | 0.42 | 0.87 |
| TURKEY | 0.30 | 0.13 | 0.45 | 0.47 |
| UNITED ARAB EM. | 0.58 | 0.06 | 0.55 | 0.50 |
| VIET NAM | 0.80 | 0.53 | 0.42 | 0.68 |

의 경우 녹색 가상수의 내부 유출율은 43%로 아시아보다 낮게 나타났지만, 청색 가상수의 경우 내부 유출율이 67%로 아시아보다 약 20% 이상 높게 나타났다. 특히, 청색 가상수는 인위적인 관개량을 의미하기 때문에 권역내 수자원과 밀접한 관계가 있는데, EU의 경우 권역내 수자원을 최대한 권역내 국가들을 위해 활용하고 있다고 볼 수 있다. 반면에 아시아는 권역내의 수자원을 외부로 상당량 유출하는 것으로 나타났다, 이는 향후 아시아 권역의 수자원 고갈을 발생시킬 수 있는 원인이 될 수 있다. 이에 따라 아시아는 국가들이 통합하여 권역내 수자원을 지속가능하도록 활용하는 방안을 모색할 필요가 있다.

3. 아시아 권역내에서의 가상수 흐름의 구조적 특징 분석

국가간 가상수 흐름의 연결 중심지역을 분석하기 위하여 네트워크내의 노드간 연결정도를 분석하는 연결중심성을 산출하였다. 연결중심성은 각 노드가 전체 네트워크 구조에 차지하는 연결정도를 의미한다. 이에 따라 가상수 흐름의 연결중심성은 가상수 흐름의 연결관계만을 고려할 경우와 가상수 흐름량을 연결가중치로 적용할 경우로 구분된다. 먼저 국가간의 가상수 흐름관계 유무만을 고려할 경우 가상수 교역 유무에 따라 0과 1로 구성된 인접행렬을 산출하여 네트워크 연결중심성 분석을 수행한다. 본 결과로부터 각 국가들이 얼마나 많은 국가들과 가상수 관계를 유지하고 있는지를 파악할 수 있다. 다음으로 가상수 흐름량을 연결가중치로 적용하여 연결중심성을 분석할 경우 가상수의 흐름

량이 중요한 요인으로 작용하기 때문에 연결중심성이 높은 국가는 총 흐름량이 많은 국가를 의미하게 된다. 가상수 흐름 구조에 의한 국가간 연결정도와 가상수 흐름량을 고려한 국가간의 연결정도를 각각 산출하였다. 연결중심성의 산출식은 식(1)과 같다(Freeman, 1978).

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

여기서 C_i (Degree Centrality)는 i국가의 연결중심성을 의미하며, I_{ij} 는 i국가가 j국가의 연결수 및 연결가중치를 의미한다. N은 전체 국가수를 의미한다.

이와 같은 가상수 흐름에 대한 연결중심성은 흐름이라는 개념을 적용하였기에 외향과 내향 연결중심성으로 구분된다. 이에 따라 가상수 수출의 경우 외향 연결중심성이 산출하고, 수입의 경우 내향 연결중심성이 산출된다. 가상수 흐름량을 고려한 연결중심성이 높을수록 국가간 가상수 흐름량이 많고, 다양한 국가들과 흐름관계가 구축되어 있는 것을 의미한다.

본 연구에서는 전세계 농작물 교역의 중요한 역할을 수행하고 있는 아시아를 하나의 공간계로 가정하고 아시아내에서 이루어지는 가상수의 흐름만을 고려하여 중심성 분석을 수행하였다. 중심성 결과로부터 아시아내에서의 가상수 흐름 중심 국가 및 주 흐름 관계를 파악하고자 하였다. 아시아 권역 외의 가상수 흐름을 차단하고 권역내에서의 외향 연결중심성 분석 결과 인도가 가장 높은 중심지로 나타났다. 이는 상당량의 가상수가 인도로부터 수출되어 동아시아 및 중동국가들로 수입되는 것으로 나타났다.

인도 외에도 카자흐스탄의 외향 연결중심성이 높게 나타났는데 주로 중동국가와 가상수 흐름이 연결되어 있는 것으로 나타났다. 내향 연결중심성의 경우 베트남, 일본, 이란, 인도네시아 등 다양한 국가에서 높게 나타났고, 특정 아시아 국가의 가상수가 다양한 아시아 국가로 수입되는 것으로 분석되었다. 전세계 가상수 흐름 구조와 비교하면 한국과 중국의 경우 아시아 권역으로 공간을 제한할 경우 중심성이 낮아지는 결과가 산출되었는데 이러한 결과는 한국 및 일본이 아시아 권역 외의 국가인 미국 및 남미국가들에 대한 가상수 의존도가 높은 것을 의미한다.

녹색 가상수와 청색 가상수로 구분하여 가상수 흐름 구조를 분석하면 녹색 가상수의 흐름에

대한 외향 연결중심성은 인도가 가장 높게 나타났으나 청색 가상수 흐름의 경우 파키스탄이 가장 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 아시아에서는 파키스탄의 관개시설의 유지보수가 가상수 흐름 구조의 중요한 변화 요인이 될 수 있고, 인도의 기후변화에 따른 강수량의 변화 역시 중요한 가상수 흐름 결정 요인이 될 수 있다. 또한 녹색과 청색 가상수 흐름의 내향 연결중심성을 살펴보면 한국과 일본, 베트남 등은 녹색 가상수의 수입에 의존적인 것으로 나타났기 때문에 아시아권내 기후변화에 민감하게 반응할 필요가 있으며 중동국가들의 경우 청색 가상수 수입에 의존적이므로 주요 관개시설 등의 유지에 중요한 관심을 둘 필요가 있다.



Fig. 1. Out-Degree centrality of green virtual water flow inside Asia

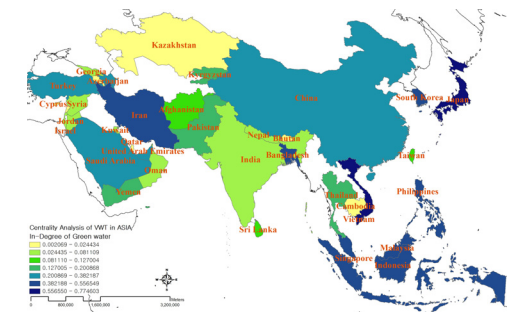


Fig. 2. In-Degree centrality of green virtual water flow inside Asia

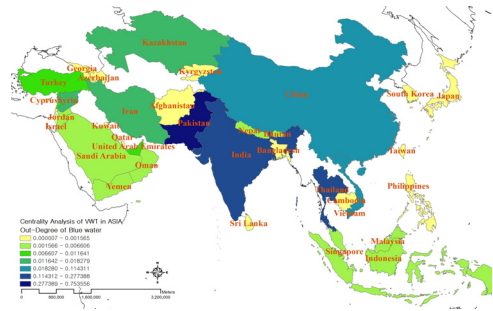


Fig. 3. Out-Degree centrality of blue virtual water flow inside Asia

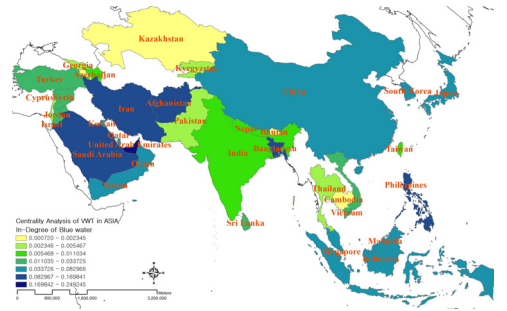


Fig. 4. In-Degree centrality of blue virtual water flow inside Asia

4. 한국, 일본, 대만의 가상수 교역구조 비교 분석

본 연구에서는 아시아 국가들 중에서 유사한 농작물 교역구조를 가지고 있는 한국과 일본, 대만의 가상수 교역구조를 비교·분석하였다. 한국, 일본, 대만은 대표적인 곡물 수입국가로서 특정국가의 가상수에 대한 의존도를 분석하고자 하였다.

먼저 식량작물로 주로 수입되는 밀, 벼, 보리의 녹색 가상수 유입량을 살펴보면 Table 3과 같다. 한국의 경우 2006년부터 2010년 동안 총 28.65 Gm³의 녹색 가상수가 유입되었고, 이 중에서 미국으로부터 약 49%가 유입되는 것으로 나타났다. 다음으로 우크라이나와 호주로부터 각각 17%, 13%의 녹색 가상수가 유입되었다. 일본의 경우 총 61.86 Gm³의 녹색 가상수 중에서 미국으로부터 62%, 캐나다와 호주로부터 각각 16%, 14%가 유입되었다. 일본의 미국에 대한 녹색 가상수 의존도는 한국보다 높게 나타났

고, 약 93%의 녹색 가상수가 3개의 국가로부터 유입되는 것으로 나타났다. 대만의 미국에 대한 녹색 가상수 의존도는 더 높게 나타났다. 약 75% 이상의 녹색 가상수가 미국으로부터 유입되었고, 미국과 호주로부터 총 녹색 가상수의 90% 이상이 유입되는 것으로 나타났다. 그러나 이는 녹색 가상수만을 고려한 것이기 때문에 이후 관개수량인 청색 가상수의 의존도를 분석하고 비교할 필요가 있다. 식량작물의 교역에 의한 청색 가상수의 국가별 유입량은 Table 4와 같은데 일본이 가장 많은 양인 5.21 Gm³의 청색 가상수를 유입하였고, 다음으로 한국(2.34 Gm³), 대만(1.00 Gm³) 순으로 나타났다. 그러나 일본과 대만은 청색 가상수의 78% 이상을 미국으로부터 유입하였으나 한국의 경우 미국에 대한 청색 가상수 의존도는 50% 이하로 나타났다. 즉, 일본과 대만은 미국의 관개방식 변화 및 수자원 관리의 변화에 따른 작물 교역 제한의 위험성을 내포하게 되며 보다 다각적인 형태의 작물 교역을 추구할 필요가 있다.

[Table 3] Green virtual water import for food crops (wheat, rice, barely)

| No. | Korea | | | Japan | | | Taiwan | | |
|-----|-------------|-----------------|-------|-------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|
| | Country | Green water | | Country | Green water | | Country | Green water | |
| | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % |
| | Total | 28,65 | 100,0 | Total | 61,86 | 100,0 | Total | 13,10 | 100,0 |
| 1 | USA | 13,94 | 48,66 | USA | 38,52 | 62,27 | USA | 9,90 | 75,59 |
| 2 | UKRAINE | 4,76 | 16,62 | CANADA | 10,09 | 16,31 | AUSTRALIA | 2,12 | 16,22 |
| 3 | AUSTRALIA | 3,70 | 12,91 | AUSTRALIA | 8,91 | 14,41 | THAILAND | 0,51 | 3,88 |
| 4 | CANADA | 2,66 | 9,30 | THAILAND | 2,67 | 4,32 | VIET NAM | 0,39 | 2,99 |
| 5 | CHINA | 1,76 | 6,16 | UKRAINE | 0,49 | 0,79 | CANADA | 0,10 | 0,78 |
| 6 | THAILAND | 0,60 | 2,10 | RUSSIAN FED | 0,37 | 0,60 | UKRAINE | 0,05 | 0,40 |
| 7 | BULGARIA | 0,33 | 1,17 | VIET NAM | 0,37 | 0,60 | RUSSIAN FED | 0,01 | 0,07 |
| 8 | RUSSIAN FED | 0,31 | 1,07 | CHINA | 0,31 | 0,50 | SAUDI ARABIA | 0,01 | 0,05 |
| 9 | ROMANIA | 0,27 | 0,95 | ARGENTINA | 0,06 | 0,10 | INDONESIA | 0,00 | 0,02 |
| 10 | BRAZIL | 0,19 | 0,65 | INDONESIA | 0,02 | 0,03 | JAPAN | 0,00 | 0,01 |

[Table 4] Blue virtual water import for food crops (wheat, rice, barely)

| No. | Korea | | | Japan | | | Taiwan | | |
|-----|-------------|-----------------|-------|-------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|
| | Country | Blue water | | Country | Blue water | | Country | Blue water | |
| | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % |
| | Total | 2,34 | 100,0 | Total | 5,21 | 100,0 | Total | 1,00 | 100,0 |
| 1 | USA | 1,16 | 49,60 | USA | 4,11 | 78,88 | USA | 0,79 | 79,07 |
| 2 | CHINA | 0,92 | 39,20 | THAILAND | 0,55 | 10,56 | THAILAND | 0,10 | 10,41 |
| 3 | THAILAND | 0,12 | 5,30 | AUSTRALIA | 0,27 | 5,09 | VIET NAM | 0,06 | 6,09 |
| 4 | UKRAINE | 0,05 | 2,23 | CHINA | 0,13 | 2,43 | AUSTRALIA | 0,03 | 3,15 |
| 5 | AUSTRALIA | 0,04 | 1,57 | VIET NAM | 0,06 | 1,11 | EGYPT | 0,01 | 0,59 |
| 6 | PAKISTAN | 0,02 | 0,81 | CANADA | 0,04 | 0,83 | PAKISTAN | 0,00 | 0,31 |
| 7 | CANADA | 0,01 | 0,41 | PAKISTAN | 0,02 | 0,36 | SAUDI ARABIA | 0,00 | 0,20 |
| 8 | ROMANIA | 0,01 | 0,32 | MEXICO | 0,02 | 0,30 | UKRAINE | 0,00 | 0,06 |
| 9 | INDONESIA | 0,00 | 0,18 | RUSSIAN FED | 0,01 | 0,15 | JAPAN | 0,00 | 0,05 |
| 10 | RUSSIAN FED | 0,00 | 0,17 | UKRAINE | 0,01 | 0,13 | CANADA | 0,00 | 0,04 |

[Table 5] Green virtual water import for forage crops (Maize and pulse crops)

| No. | Korea | | | Japan | | | Taiwan | | |
|-----|--------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|
| | Country | Green water | | Country | Green water | | Country | Green water | |
| | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % |
| | Total | 61,29 | 100,0 | Total | 103,63 | 100,0 | Total | 38,63 | 100,0 |
| 1 | USA | 24,15 | 39,39 | USA | 70,50 | 68,03 | USA | 26,39 | 68,31 |
| 2 | BRAZIL | 16,54 | 26,99 | INDIA | 12,30 | 11,87 | BRAZIL | 7,87 | 20,36 |
| 3 | CHINA | 7,04 | 11,48 | CHINA | 7,96 | 7,68 | INDIA | 2,96 | 7,67 |
| 4 | INDIA | 6,87 | 11,20 | BRAZIL | 6,61 | 6,38 | ARGENTINA | 0,91 | 2,36 |
| 5 | ARGENTINA | 4,66 | 7,60 | CANADA | 2,85 | 2,75 | CHINA | 0,19 | 0,49 |
| 6 | ROMANIA | 0,79 | 1,29 | ARGENTINA | 2,24 | 2,16 | SOUTH AFRICA | 0,09 | 0,24 |
| 7 | SOUTH AFRICA | 0,59 | 0,97 | UKRAINE | 0,47 | 0,46 | CANADA | 0,06 | 0,15 |
| 8 | PARAGUAY | 0,37 | 0,60 | KOREA REP. | 0,33 | 0,32 | THAILAND | 0,05 | 0,13 |
| 9 | UKRAINE | 0,13 | 0,22 | SOUTH AFRICA | 0,17 | 0,16 | AUSTRALIA | 0,04 | 0,10 |
| 10 | JAPAN | 0,04 | 0,06 | INDONESIA | 0,05 | 0,05 | CAMBODIA | 0,03 | 0,07 |

사료용을 주로 수입되는 옥수수과 두류의 경우 국가별 국외 가상수 의존도는 식량작물보다 더 큰 차이를 나타내었다(Table 5-6). 특히, 3 국가 모두 상당량의 사료용 작물을 수입하는 국가로서 사료작물의 국외 가상수 유입량과 각 유출국가별 의존도를 분석하는 것은 큰 의의가 있다고 판단된다. 한국의 경우 61,29 Gm³의 녹색

가상수를 유입하였는데 미국(39%)과 브라질(27%)에 대한 의존도가 가장 높게 나타났다. 그러나 한국의 의존도는 일본과 대만과 비교할 때 상당히 낮은 것으로 나타났다. 특히 한국은 미국, 브라질 외에 중국, 인도와도 활발한 녹색 가상수 교역을 구축하고 있었다. 그러나 일본의 경우 가장 많은 양인 약 103,63 Gm³의 녹색 가상

[Table 6] Blue virtual water import for forage crops (Maize and pulse crops)

| No. | Korea | | | Japan | | | Taiwan | | |
|-----|--------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|
| | Country | Blue water | | Country | Blue water | | Country | Blue water | |
| | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % | | Gm ³ | % |
| | Total | 3,38 | 100,0 | Total | 7,93 | 100,0 | Total | 2,36 | 100,0 |
| 1 | USA | 2,56 | 75,77 | USA | 6,84 | 86,26 | USA | 2,20 | 93,43 |
| 2 | CHINA | 0,66 | 19,59 | CHINA | 0,77 | 9,69 | INDIA | 0,10 | 4,39 |
| 3 | INDIA | 0,06 | 1,88 | CANADA | 0,14 | 1,78 | CHINA | 0,02 | 0,80 |
| 4 | AUSTRALIA | 0,03 | 0,74 | INDIA | 0,07 | 0,90 | ARGENTINA | 0,01 | 0,38 |
| 5 | ARGENTINA | 0,02 | 0,58 | UKRAINE | 0,04 | 0,49 | PAKISTAN | 0,01 | 0,26 |
| 6 | ROMANIA | 0,02 | 0,45 | AUSTRALIA | 0,03 | 0,40 | THAILAND | 0,00 | 0,19 |
| 7 | SOUTH AFRICA | 0,01 | 0,36 | ARGENTINA | 0,02 | 0,30 | AUSTRALIA | 0,00 | 0,17 |
| 8 | UKRAINE | 0,01 | 0,32 | SOUTH AFRICA | 0,00 | 0,04 | CANADA | 0,00 | 0,15 |
| 9 | BRAZIL | 0,01 | 0,18 | THAILAND | 0,00 | 0,03 | BRAZIL | 0,00 | 0,12 |
| 10 | NEW ZEALAND | 0,00 | 0,03 | BRAZIL | 0,00 | 0,03 | SOUTH AFRICA | 0,00 | 0,08 |

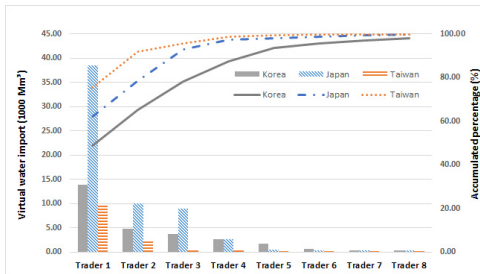


Fig. 5. Green virtual water import for food crops (wheat, rice, barley)

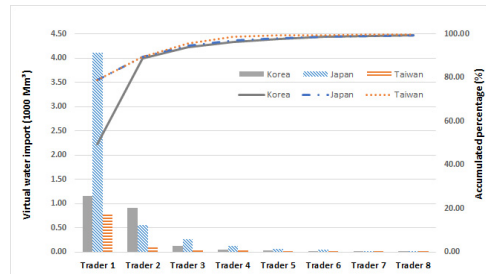


Fig. 6. Blue virtual water import for food crops (wheat, rice, barley)

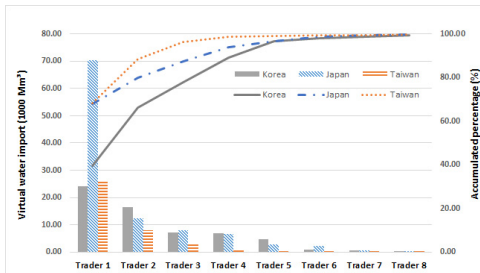


Fig. 7. Green virtual water import for forage crops (Maize and pulse crops)

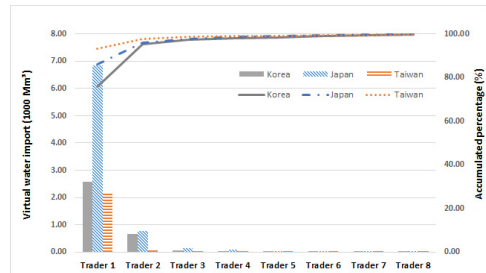


Fig. 8. Blue virtual water import for forage crops (Maize and pulse crops)

수를 유입하지만 약 68%가 미국으로부터 유입되었다. 특히, 미국과 인도로부터 총 녹색 가상수의 약 80%를 유입하고 있다. 대만의 경우 녹

색 가상수 유입량은 두 국가와 비교하여 적은 양이지만 미국과 브라질에 대한 의존도는 가장 높게 나타났다. 총 38.63 Gm³의 녹색 가상수

중에서 약 88%가 미국과 브라질로부터 유입되었다. 녹색 가상수는 강우에 의존적이기 때문에 인위적은 수자원의 활용과는 무관하지만 기후 변화에 의한 강우 패턴의 변화 및 극심한 가뭄에는 취약한 용수이다. 그러므로 가상수 유입 관련 국가들의 기후변화에 따른 가뭄 등을 고려할 때 보다 다가적인 교역구조가 필요하며, 특히 대만과 일본의 경우 한국보다 더 큰 피해를 입을 수 있다. 청색 가상수의 경우 훨씬 큰 의존도를 나타내고 있다. 한국, 일본, 대만 모두 70% 이상을 미국으로부터 유입하고 있었고, 특히 대만의 경우 93%를 미국으로부터 의존하고 있다. 이는 미국의 수자원 관리가 실패할 경우 또는 수자원이 고갈의 위험을 겪게 될 경우 대만에 심각한 작물 수급 피해를 발생시킬 수 있다. 또한 한국은 미국의 의존도가 대만과 일본과 비교하여 낮은 편이지만 미국외에 중국에 대한 의존도도 높기 때문에 중국의 수자원 관리 역시 관심을 가질 필요가 있다.

결론적으로 한국, 일본, 대만은 모두 상당량의 국외 가상수를 유입하고 있는 국가이며 식량 작물과 사료작물의 녹색, 청색 가상수의 의존도가 약간씩 다르게 나타났다. 각 국가들은 작물별 교역국가들에 대한 개별적인 의존도를 파악할 필요가 있으며 이를 수자원 관리 및 작물 교역 관리 정책에 적극적으로 활용하고 고려할 필요가 있다. 본 연구결과는 이러한 측면에서 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다.

4. 마치면서

현재 물과 식량, 에너지를 연계하는 넥서스 연구가 전 세계적으로 시작되고 있다. 이미 Economic

forum에서 소개된 바 있듯이 지속가능한 자원 보전을 위해서는 수자원과 식량, 에너지를 통합적으로 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 수자원과 식량을 연결할 수 있는 중요한 연결고리로서 가상수의 개념을 적용하여 아시아의 가상수 교역구조를 분석하고, EU의 교역구조와 비교하였다. 가상수의 흐름은 유출국가의 수자원과 밀접한 관계가 있기 때문에 해당지역 외부의 유출이 많을 경우 수자원 보존 측면에서 위험을 내포하게 된다. 이에 따라 아시아 국가들은 통합적인 수자원 관리가 필요하며, 가상수를 통하여 자국내 수자원의 유출입을 파악하는 것이 중요하다. 이에 따라 본 연구의 결과는 아시아 국가들이 통합적으로 수자원을 관리하고, 작물 수입량이 많은 한국, 일본, 대만의 경우 수자원 관리와 작물 교역을 연결할 수 있는 중요한 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra, 2004, Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE.
4. Freeman, L.C., 1978, Centrality in social networks: conceptual clarification, Social Networks Vol. 1, 215-239.

5. 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.
6. 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.
7. Hoekstra, A.Y., A.K. Chapagain, and M.M. Aldaya, 2011, The water footprint assessment manual, Earthscan, London, UK.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Yoo, S.H., S.H. Lee, and J.Y. Choi, 2014, Estimating water footprint for upland crop production in Korea, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 56(3), 65-74.