



## 한국의 축산물 물발자국 산정

### Estimation of Water Footprint for Livestock Products in Korea

이상현\* · 최진용\*\* · 유승환\*\*\*,† · 김영득\*\*\*\* · 신안국\*\*\*\*

Lee, Sang-Hyun · Choi, Jin-Yong · Yoo, Seung-Hwan · Kim, Young-Deuk · Shin, An-ook

#### Abstract

Since the consumption of the livestock products increased for the past 10 years in Korea, the water use for live animals has become more important in terms of water savings. Therefore, the index connecting water use and livestock products consumption should be required for sustainable water management, and water footprint concept could be suggested as the index. The aim of this study is to estimate the water footprint for livestock products; beef cattle, swine, and broiler chicken. The water footprint for livestock products is divided into direct and indirect water. The direct water includes the drinking and servicing water, and the indirect water includes the water for the cultivation of feed crops. The water footprint of beef cattle was calculated to 17,023.1 m<sup>3</sup>/ton, and direct water was 91.2 m<sup>3</sup>/ton, and indirect water was 16,931.9 m<sup>3</sup>/ton. The water footprint of swine was calculated to 4,235.8 m<sup>3</sup>/ton, and direct water was 129.7 m<sup>3</sup>/ton, and indirect water was 4,106.0 m<sup>3</sup>/ton. The water footprint of broiler chicken was calculated to 2,427.7 m<sup>3</sup>/ton, and direct water was 7.6 m<sup>3</sup>/ton, and indirect water was 2,420.1 m<sup>3</sup>/ton. Also, we compared the water footprint to water demand of water vision 2020 which is the main report for national water management. The water vision 2020 reported only direct water for live animal, but the water footprint includes the direct and indirect water. Therefore, the water footprint could be applied to various fields relating water and food.

**Keywords:** water footprint; livestock products; water demand; feed crops

#### 1. 서론

식품수급표에 따르면 1인당 1일 식품 소비량은 2005년까지 지속적으로 증가하여 최대 1726.7 g을 소비하는 것으로 나타났다으며 2010년에는 소폭 감소하여 약 1700.3 g의 식품이 소비되는 것으로 나타났다(KREI, 2012). 특히, 육류소비량은 1985년 기준 2010년에는 약 2배 이상 증가한 119.3 g/cap/day이었고, 2010년 육돈의 소비량은 1985년보다 2배 이상 증가하여 총 육류 소비량의 42%를 차지하는 것으로 나타났다. 이와 같이 식품 소비패턴 변화로 곡류의 소비는 감소하고 육류의 소비는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 농림수산식품부의 식량자급률 목표치 설정 연구에 따르면 2015

년 생산 목표치는 쇠고기 232천 ton, 돼지고기 790천 ton, 닭고기 440천 ton으로 나타났고, 2020년 생산 목표치는 쇠고기 232천 ton, 닭고기 440천 ton으로 2015년과 동일하게 설정되었다(MIFAFF, 2010).

축산물의 소비가 증가하고, 소비패턴도 육류 중심으로 변화되면서 전체 수자원에서 축산용수가 차지하는 비중 역시 높아지고 있고, 전세계적으로 축산물 생산을 위한 물 사용량이 총 농업부분 물 사용량의 30% 이상을 차지할 만큼 축산부분의 물 사용량이 상당한 것으로 나타났다(Liu et al., 2008; Mekonnen and Hoekstra, 2012; Gerbens-Leenes et al., 2013). 즉, 육류의 소비패턴과 식량자급률의 목표치 설정에 따라 향후 육류의 생산 및 소비량이 변화하게 되고, 이는 단순히 가축두수의 변화뿐만 아니라 가축을 사육하기 위해 소비되는 수자원까지 영향을 미칠 수 있다.

이에 따라 농업수자원 관련 정책을 수립할 때 축산물의 생산을 위해 소비되는 수자원을 고려할 필요가 있고, 이를 위하여 가상수와 물발자국의 개념이 적용될 수 있다. 농축산물의 생산을 위해서는 기본적으로 작물을 재배하고 축산물을 생산하기 위한 물이 사용되게 되는데, 이와 같이 어떠한 농축산물, 가공식품 등을 제조하기 위하여 사용된 물의 총량을 가상수라고 한다(Allan, 2003). 가상수는 최근에 용수공급부터 소비되는 부분까지의 이력을 포함하는 물발자국이라는 개념으로 확장되었는데 자연강우에 의해 토양에 내재되는 물을 소

\* Research Institute for Agriculture & Life Sciences, Seoul National University

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

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

\*\*\*\* Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

† Corresponding author

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

E-mail: seunghwan.yoo@gmail.com

Received: January 5, 2015

Revised: February 27, 2015

Accepted: March 10, 2015

비하는 개념인 녹색 물발자국과 관계시설에 의해 하천수 또는 지하수를 인위적으로 취수하여 사용하는 청색 물발자국으로 구분된다 (Hoekstra et al, 2011; Yoo et al., 2014b).

농축산물 분야에서 물발자국을 적용할 경우 농축산물의 생산량의 변화 및 소비량 변화에 따른 물 사용량 변화를 쉽게 추정할 수 있고, 식량자급률의 목표치 달성을 위하여 필요한 수자원량을 산정할 수 있다. 이처럼 물발자국은 단순히 용수 공급의 개념에서 확장되어 인구, 소비패턴, 식량 정책 등을 수자원과 연계할 수 있는 도구로서 활용될 수 있다. 또한 물발자국을 통하여 물을 자원과 교역, 개인의 소비패턴과 재화를 따라 흐르는 개념으로 재조명할 수 있고, 물 사용과 관리에 새로운 시각을 제시할 수 있다. 예를 들어 축산물의 자급률을 높이기 위해서 사료 작물의 국내 생산의 증가 없이 축산물의 국내 생산을 증가시킬 경우, 축산물의 생산을 위해서는 사료 작물 수입의 증가가 불가피하게 되고, 이에 따라 사료작물에 대한 해외 의존성이 높아질 수밖에 없다. 또한 축산물과 사료작물의 자급률에 불균형이 발생할 수 있다. 따라서 축산물과 사료작물을 동시에 고려한 농업 및 수자원 정책이 필요한데 축산물의 물발자국은 가축이 직접 소비하는 용수와 사료작물 재배를 위해 사용되는 용수를 구분하기 때문에 중요하게 이용될 수 있다.

농축산물의 물발자국 산정에 대한 다양한 연구가 전세계적으로 진행되어 오고 있다. 국외 물발자국 관련 연구 동향을 살펴보면 Hoekstra and Hung (2002)는 각 국가별 물발자국을 가장 먼저 산정하였으며 이후 Chapagain and Hoekstra (2003)는 가공품의 생산 비율을 도입하여 각 국가별 축산 및 축산가공품에 대한 가상수 산정을 하였다. 또한 Chapagain and Hoekstra (2004)는 위 두 연구를 종합하여 1997-2001년의 통계 자료를 바탕으로 농축산물 및 그 가공품, 공산품에 대하여 가상수를 산정하였다. Liu et al. (2009)은 중국에 대하여 물발자국의 개념을 확대 적용한 연구를 수행한 바 있다. 원(原)작물에 대한 물발자국 산정 외에 현재는 커피 및 피자와 같은 식품 가공품에 대한 물발자국에서 바이오 에너지 작물에 대한 물발자국까지 확장되어 적용되고 있다 (Chapagain and Hoekstra, 2007; Aldaya and Hoekstra, 2009; Ercin et al., 2009; Gerbens-Leenes et al., 2012). 최근에는 물발자국을 기후변화 및 국가 정책과 연계하는 방안에 대한 연구가 수행되었고, Orłowsky et al. (2014)은 미래기후변화 시나리오를 적용하여 기후변화에 따른 수자원 이용가능량 변화가 국가 수자원 이용 및 가상수 교역에 미치는 영향을 평가한 바 있다. 또한 Schyns and Hoekstra (2014)는 국가 수자원 정책 수립을 위한 개인 물발자국과 가상수 흐름의 적용성을 분석한 바 있다.

국내에서는 2009년부터 다양한 저널을 통하여 가상수, 물발자국 이론이 소개되었고, 농산물을 중심으로 물발자국 산정에 관한 연구가 수행되었다. Yoo et al. (2009)은 1991년부터 2007년까지 작물통계연보와 기상자료를 이용하여 44개의 농작물에 대하여 우리나라에 적합한 가상수를 산정하였다. 이후 가상수의 개념은 물발자국으로 확장되었고, Ahn et al. (2010)은 물발자국 산정방식을 논의하고 Chapagain and Hoekstra (2004)의 물발자국 산정 방법과 비교하였다. 또한 국내의 기초자료를 활용하여 논벼 및 주요 밭작물의 물발자국을 녹색과 청색 물발자국으로 구분하여 산정한 연구도 수행된 바 있다 (Yoo et al., 2014a; Yoo et al., 2014b). 축산물과 관련된 국내 물발자국과 관련된 연구로는 Yoo et al. (2012)이 수입사료 곡물의 국내생산을 위하여 추가적으로 필요한 농업용수와 농경지를 예측한 바 있다. 그러나 대부분의 물발자국 연구가 작물에 집중되어 있고, 축산물의 물발자국에 대한 연구는 국외에서 일부 수행되고 있을 뿐 국내 연구는 미흡한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 육류 소비, 육류의 자급률 정책, 축산용수 추정 등과 쉽게 연계할 수 있는 주요 축산물의 물발자국을 산정하고자 하였다. 이때 축산물의 물발자국을 음용수와 세척수를 포함하는 직접수와 사료 섭취를 통해 소비되는 간접수로 구분하여 산정하였고, 직접수 산정결과는 수자원장기종합계획의 축산용수 수요량 부분과 비교하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 축산물의 물발자국

축산물의 물발자국은 3가지 종류로 구분된다 (Fig. 1). 먼저 직접수로서 가축이 마시는 음용수와 축사 청소 등에 쓰이는 세척수가 산정되고, 다음으로 간접수로서 사료작물에 대한 가상수를 산정한다 (Chapagain and Hoekstra, 2003). 즉, 축산물의 물발자국은 가축이 소비하는 사료에 대한 가상수를 포함한다. 수자원장기종합계획에서는 축산용수를 산정할 때 일본의 연구결과를 활용하여 축산 두수 당 음용수와 세척수를 합산한 원단위 값을 적용하고 있다. 그러나 축산물의 물발자국은 가축이 소비하는 사료 작물에 대한 가상수 이용 부분을 포함하고 있으며, 가축두수를 축산물 생산량으로 전환하여 가상수 사용량을 제시하는 차이가 있다. 이와 같은 물발자국은 축산물 생산량을 기준으로 제시되기 때문에 식량정책과 연계하기가 용이하다.

$$WF = VWC_{feed} + VWC_{drink} + VWC_{serv} \quad (1)$$

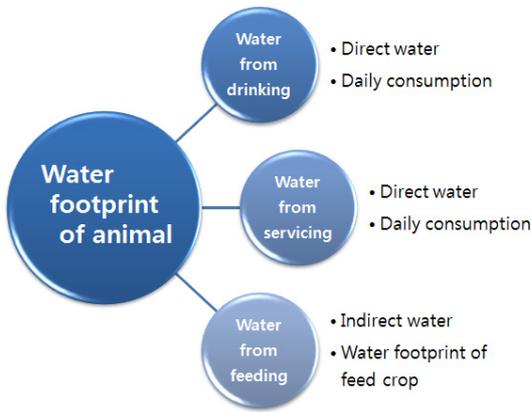


Fig. 1 Components of water footprint of animal

여기서  $WF$ 는 축산물의 물발자국을 의미하고,  $VWC_{feed}$ 는 간접수로서 사료작물 생산을 위한 가상수량,  $VWC_{drink}$ 와  $VWC_{serv}$ 는 직접수로서 가축의 음용과 세척을 위해 사용되는 가상수량을 의미한다.

## 2. 음용 및 세척수에 의한 물발자국 (직접수)

축산물의 물발자국을 산정할 때 가축의 사육기간 동안 소비되는 음용수와 세척수는 직접수에 포함되며 가축별 총 사육기간과 일별 음용수의 자료가 필요하다. 아직 국내에서는 음용수와 세척수에 대한 연구자료가 부족하다. 본 연구에서는 국내 및 국외의 연구자료를 활용하여 음용수와 세척수의 물발자국을 산정하고자 하였다. 먼저 국내의 가축별 평균 사육기간을 조사하였고, 가축별 일 단위 음용수 및 세척수량은 국외의 연구자료를 활용하였다. 이를 바탕으로 가축의 생육기간 동안 소비되는 총 음용수와 세척수를 산정한다. 이와 같이 산정된 음용수와 세척수는 가축두수를 기준으로 하기 때문에 가축별 도체 시 생체량을 적용하여 육류 생산량 기준의 물발자국을 산정한다. 직접수가 산정 방법은 아래 식과 같다.

$$VWC_{drink}[a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_d[a] dt}{W_a[a]} \quad (2)$$

$$VWC_{serv}[a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_{serv}[a] dt}{W[a]} \quad (3)$$

여기서  $VWC_{drink}$ 와  $VWC_{serv}$ 는 가축 ( $a$ )의 음용과 세척을 위한 가상수량으로써 가축의 출생 (birth)부터 도살 (slaughter)

될 때까지 사용되는 일별 음용수량 ( $q_d$ )과 일별 세척수량 ( $q_{serv}$ )의 합으로 산정된다. 이와 같이 합산된 세척 및 음용수량은 가축두수 당 사용량이므로 가축 도체시의 생체량 ( $W[a]$ )으로 나누어준다.

## 3. 사료 소비에 의한 물발자국 (간접수)

축산물의 물발자국 중 간접수에 해당하는 물발자국은 가축이 사육기간 동안 총 소비한 사료에 의한 가상수 소비량을 의미한다. 먼저 사육기간 동안의 배합사료 및 조사료 소비량과 각 사료작물의 물발자국을 적용하여 사료작물을 공급하기 위하여 소비된 간접수를 산정하게 된다. 다음으로 산정된 간접수를 도체 시 생체량으로 나누어주면 축종별 1톤당 사료소비에 의한 가상수 소비량을 산정할 수 있다. 간접수 산정방법은 아래 식과 같다.

$$VWC_{feed}[a] = \frac{\int_{birth}^{slaughter} \left\{ \sum_{c=1}^{n_c} WF[c] \times C[a, c] \right\} dt}{W[a]} \quad (4)$$

여기서  $VWC_{feed}$ 는 간접수로서 사료작물을 생산을 위한 가상수량으로써 가축의 출생 (birth)부터 도살 (slaughter)될 때까지 사용되는 가축 ( $a$ )별 일 단위 사료작물 ( $c$ ) 소비량 ( $C[a, c]$ )과 사료작물 ( $c$ )의 물발자국 ( $WF[c]$ )을 활용하여 산정된다. 이와 같이 산정된 가상수량은 가축두수 당 사용량이므로 가축 도체시의 생체량 ( $W[a]$ )으로 나누어준다.

## 4. 기초자료 조사

축산물의 물발자국을 산정을 위해서는 다양한 기초자료가 활용된다. 본 연구에서는 국내에서 주로 생산되는 한우, 돼지, 닭의 물발자국을 산정하고자 하였고, 먼저 직접수인 음용수와 세척수를 산정하기 위하여 축종별 사육기간과 일 단위 직접수 소비량 자료를 조사하였다. 일 단위 직접수 소비량은 국내 연구결과가 부족하여 Chapagain and Hoekstra (2003)의 연구결과를 활용하였고 이는 Table 1에 나타내었다. 이 때 가축 사육방식은 국내에서 주로 적용하는 축사형태로 설정하였다. 한우 (비육우)의 경우 매일 38 liter의 음용수가 사용되고, 세척수로는 약 11 liter가 사용되는 것으로 조사되었고, 돼지의 경우 직접수로서 총 64 liter를 사용하고, 닭의 경우 약 0.27 liter를 사용하는 것으로 나타났다.

축산물 물발자국의 대부분을 차지하는 간접수는 사료작물의 생산을 위해 소비되는 가상수를 의미하기 때문에 작물별 물발자국과 사육기간 및 사료급여에 대한 사양관리 자료가

**Table 1** Water from drinking and servicing

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

Sources: Chapagain and Hoekstra (2003)

**Table 2** Breeding period and amount of feed

Kind of animal (Farming system: Industrial)	Breeding period			
	First	Second	Third	Total
Beef cattle				
Age (month)	3-12	13-22	23-26	27
Supply of formula Feed (kg/day)	3	10	10	23
Supply of forage (Dry hay) (kg/day)	5	2	1	8
Swine				
Age (week)	0-6	7-15	16-26	27
Supply of formula Feed (kg/day)	0.75	1.80	2.65	5.20
Broiler chicken				
Age (week)	0-2	3-4	4-6	7
Supply of formula Feed (kg/day)	20.5	85.0	180.7	84.5

Sources: Jeollanam-do Livestock Policy Division (2009)

필요하다. 먼저 사육기간과 일별 사료공급량은 전라남도 녹색축산육성기금 조례 시행규칙의 별표 (5)의 자료를 참조하였고, Table 2에 나타내었다 (Jeollanam-do Livestock Policy Division, 2009). 한우 (비육우)는 배합사료와 조사료를 동시에 공급하는 것으로 나타났고, 돼지와 닭은 배합사료만을 공급하는 것으로 조사되었다 (Table 2). 다음으로 배합사료에 포함되는 사료작물의 물발자국 자료를 활용하였는데 옥수수, 밀, 쌀, 두류의 물발자국 자료는 Yoo et al. (2014a)와 Yoo et al. (2014b)의 국내 작물의 물발자국 산정결과를 적용하였고, 기타 작물 및 조사료의 물발자국은 Mekonnen, and Hoekstra

**Table 3** Water footprint of feed crops

Feed crops	mixing ratio (%)	Water footprint (m <sup>3</sup> /ton)
Maize	36.0	1039.7 <sup>1</sup>
Wheat	17.0	1060.2 <sup>1</sup>
Soybean	14.2	2796.0 <sup>1</sup>
Rice bran	1.9	264.0 <sup>2</sup>
Coconut oilcake	1.7	830 <sup>3</sup>
Palm oilcake	2.5	802 <sup>3</sup>
Rapeseed oilcake	1.6	951 <sup>3</sup>
Molasses	2.4	494 <sup>3</sup>
Forage (Dry hay)	-	494 <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Yoo et al. (2014a)

<sup>2</sup>Yoo et al. (2014b)

<sup>3</sup>Mekonnen and Hoekstra (2010)

<sup>4</sup>Hoekstra and Hung (2002)

**Table 4** Live weight of animal at slaughter and carcass

Beef cattle		Swine		Broiler chicken	
Live weight	dressed carcass	Live weight	dressed carcass	Live weight	dressed carcass
702	435.2	114	87.8	2,452	1,742

Sources: KAPE (<http://www.ekapepia.com>)

(2010)와 Hoekstra and Hung (2002)의 연구결과를 적용하였다 (Table 3). 그 외에 물발자국 산정 시 사료작물의 배합비가 중요한 기초자료로서 적용된다. 그러나 배합사료에 포함되는 사료작물의 배합비율은 국내 기관의 연구결과가 부족하여 5개 사료 공급업체의 자료를 조사하여 평균값을 활용하였고, 배합비율은 모든 축종에 동일하게 적용하였다 (Table 3).

그러나 직접수 및 간접수 조사 자료는 가축두수가 기준이기 때문에 물발자국 산정을 위해서는 생산량 단위로 전환시킬 필요가 있다. 이를 위하여 축산품질평가원의 축산유통종합정보센터에서 제공하는 축종별 도체 시 지육량 자료를 활용하였고, 배합비율은 모든 축종에 동일하게 적용하였다 (Table 3). 그러나 직접수 및 간접수 조사 자료는 가축두수가 기준이기 때문에 물발자국 산정을 위해서는 생산량 단위로 전환시킬 필요가 있다. 이를 위하여 축산품질평가원의 축산유통종합정보센터에서 제공하는 축종별 도체 시 지육량 자료를 활용하였고, 배합비율은 모든 축종에 동일하게 적용하였다 (Table 3). 그러나 직접수 및 간접수 조사 자료는 가축두수가 기준이기 때문에 물발자국 산정을 위해서는 생산량 단위로 전환시킬 필요가 있다. 이를 위하여 축산품질평가원의 축산유통종합정보센터에서 제공하는 축종별 도체 시 지육량 자료를 활용하였고, 배합비율은 모든 축종에 동일하게 적용하였다 (Table 3).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 축산물의 물발자국 산정 결과

축산물의 물발자국 중 한우의 경우 비육우를 대상으로 산정되었고, 직접수에 해당하는 일일 소비되는 음용수와 세척수는 각각 최대 38 및 11 liter/day/animal이며 일일 소비수와 총 사육기간, 도체시 지육량 440 kg을 적용하여 지육 1 ton 당 사용되는 음용수와 세척수를 산정한 결과 각각 70.6 m<sup>3</sup>/ton, 20.6 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났다(Table 5). 사료소비에 의한 비육우 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 2,283.2 m<sup>3</sup>/animal, 소맥류 1,099.4 m<sup>3</sup>/animal, 대두박 2,421.9 m<sup>3</sup>/animal으로 산정되었다. 따라서 지육량 440 kg을 적용한 비육우의 지육 1 ton 당 대한 사료소비에 의한 물발자국은 약 16,931.9 m<sup>3</sup>/ton으로 산정되었고, Table 6에 나타내었다.

다음으로 돼지의 물발자국은 비육돈을 대상으로 산정하였다. 돼지의 물발자국 중 직접수에 해당하는 일일 소비되는 음

용수와 세척수는 각각 최대 14 및 50 liter/day/animal이며 일일 소비수와 총 사육기간, 도체시 지육량인 87.8 kg을 적용하여 비육돈 지육 1 ton 당 사용되는 음용수와 세척수를 산정한 결과 각각 28.4 m<sup>3</sup>/ton, 101.3 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났다(Table 7). 사료소비에 의한 비육돈 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 132.6 m<sup>3</sup>/animal, 소맥류 63.8 m<sup>3</sup>/animal, 대두박 140.6 m<sup>3</sup>/animal으로 산정되었다. 간접수 사용량에 지육량을 적용한 사료소비에 의한 물발자국은 약 4,106.0 m<sup>3</sup>/ton으로 산정되었고, Table 8에 나타내었다.

닭의 경우 육계를 대상으로 물발자국을 산정하였다. 직접수에 해당하는 닭 1마리당 일일 소비되는 음용수와 세척수는 각각 최대 0.18 및 0.09 liter/day/bird이며 일일 소비수와 총 사육기간, 도체시 지육량인 1.74 kg을 적용하여 지육 1ton 당 사용되는 음용수와 세척수를 산정한 결과 각각 5.1 m<sup>3</sup>/ton, 2.5 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났다(Table 9). 사료소비에 의한 육계 1마리 당 간접수의 총 사용량은 옥수수 1.6 m<sup>3</sup>/bird, 소맥류 0.7 m<sup>3</sup>/bird, 대두박 1.6 m<sup>3</sup>/bird으로 나타났다. 간접수 사용량에 지육량을 적용한 사료소비에 의한 물발자국은 약 2,420.1 m<sup>3</sup>/ton으로 산정되었고, Table 10에 나타내었다.

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 cow	Clave	Adult cow
Age (month)	4	30	4	30
Daily consumption (l/day/animal)	5	38	2	11
Live weight of animal at slaughter (ton)	0.44			
Total water required (m <sup>3</sup> /ton)	1.4	69.2	0.6	20.0
	<b>70.6</b>		<b>20.6</b>	

Table 6 Total water from feeding of beef cattle

Feed crop	Feed quantity (ton/animal)	WF of crop (m <sup>3</sup> /ton)	Water from feeding	
			(m <sup>3</sup> /animal)	(m <sup>3</sup> /ton)
Maize	2.20	1039.7	2283.2	5246.3
Wheat	1.04	1060.2	1099.4	2526.3
Rice bran	0.12	264.0	32.5	74.6
Soybean	0.87	2796.0	2421.9	5565.0
Coconut oilcake	0.10	830.0	86.1	197.8
Palm oilcake	0.15	802.0	122.3	281.0
Rapeseed oilcake	0.10	951.0	92.8	213.3
Molasses	0.15	494.0	72.3	166.2
Forage (Dry hay)	2.35	494.0	1160.2	2665.8
Total water required (m <sup>3</sup> /ton)			<b>16931.9</b>	

Table 7 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/animal)	1.8	14.0	5.0	50.0
Live weight of animal at slaughter (ton)	0.088			
Total water required (m <sup>3</sup> /ton)	0.3	28.2	0.7	100.6
	<b>28.4</b>		<b>101.3</b>	

Table 8 Total water from feeding of swine

Feed crop	Feed quantity (ton/animal)	WF of crop (m <sup>3</sup> /ton)	Water from feeding	
			(m <sup>3</sup> /animal)	(m <sup>3</sup> /ton)
Maize	0.13	1039.7	132.6	1510.0
Wheat	0.06	1060.2	63.8	727.1
Rice bran	0.01	264.0	1.9	21.5
Soybean	0.05	2796.0	140.6	1601.7
Coconut oilcake	0.01	830.0	5.0	56.9
Palm oilcake	0.01	802.0	7.1	80.9
Rapeseed oilcake	0.01	951.0	5.4	61.4
Molasses	0.01	494.0	4.2	47.8
Total water required (m <sup>3</sup> /ton)			<b>4106.0</b>	

**Table 9** 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/animal)	0.0	0.2	0.0	0.1
Live weight of animal at slaughter (ton)	0,002			
Total water required (m <sup>3</sup> /ton)	0.0	5.1	0.0	2.5
	5.1		2.5	

**Table 10** Total water from feeding of broiler chicken

Feed crop	Feed quantity (kg/bird)	WF of crop (m <sup>3</sup> /ton)	Water from feeding	
			(m <sup>3</sup> /bird)	(m <sup>3</sup> /ton)
Maize	1.49	1039.7	1.6	890.0
Wheat	0.70	1060.2	0.7	428.5
Rice bran	0.08	264.0	0.0	11.9
Soybean	0.59	2796.0	1.6	944.0
Coconut oilcake	0.07	830.0	0.1	33.5
Palm oilcake	0.10	802.0	0.1	47.7
Rapeseed oilcake	0.07	951.0	0.1	36.2
Molasses	0.10	494.0	0.0	28.2
Total water required (m <sup>3</sup> /ton)				2420.1

**Table 11** Water footprint of livestock products

Animal	Water from drinking	Water from servicing	Water from feeding	Water footprint	
				unit: m <sup>3</sup> /ton	
				This study	Reference
Beef cattle	70.6	20.6	16931.9	17023.1	10586.0 <sup>1</sup>
Swine	28.4	101.3	4106.0	4235.8	2802.0 <sup>1</sup>
Broiler chicken	5.1	2.5	2420.1	2427.7	1849.0 <sup>1</sup>

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

음용수와 세척수에 의한 직접수 및 사료 소비에 의한 간접수를 총 합산한 한우 (비육우), 돼지 (비육돈), 닭 (육계)의 물발자국 산정 결과를 Table 11에 나타내었다. 먼저 한우의 국내 물발자국 산정 결과는 약 17,023.1 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났고, 총 물발자국 중 직접수와 간접수의 비율은 약 0.5%와 99.5%로 대부분이 간접수에 의존적인 것으로 나타났다. 축산물의 물발자국에 대한 국외 연구결과인 10,586.0 m<sup>3</sup>/ton과 비교할 때 약 6,437.1 m<sup>3</sup>/ton의 차이가 발생하였다. 돼지의 국내 물발자국 산정 결과는 약 4,235.8 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났고, 축산물 물발자국의 국외 연구결과인 2,802.0 m<sup>3</sup>/ton과 비교할 때 약

1,433.8 m<sup>3</sup>/ton의 차이가 발생하였다. 닭의 국내 물발자국 산정 결과는 약 2,427.7 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났고, 축산물 물발자국의 국외 연구결과인 1,849.0 m<sup>3</sup>/ton과 비교할 때 약 578.7 m<sup>3</sup>/ton의 차이가 발생하였다.

본 연구결과와 국외 연구결과와의 차이는 배합사료의 비율 및 사료 소비량의 차이와 사료 원작물의 국내 물발자국의 차이에 의한 것으로 판단된다. 그러나 본 연구결과는 국내의 자료를 중심으로 산정되었다는 점에서 의의가 있으며, 특히 직접수 부분은 국내 수자원 계획의 중요한 보고서 중 하나인 수자원장기계획의 축산용수 산정부분과 본 연구결과와 비교하여 활용성을 검토하였다.

## 2. 수자원장기종합계획의 축산용수와 물발자국의 비교

1999년 하천법의 전면개정에 의해 수자원장기종합계획이 법정계획화 됨으로써 수자원 부문 최상위계획으로서 새로운 위상과 체계가 요구됨에 따라 수자원 종합계획의 새로운 기본방향과 전략 필요하여 수립되었다. 2000년 확장·수립된 제4차 국토종합계획과 연계하여 효율적인 국토 운영을 도모하고 수자원 여건변화에 대응하는 수자원 정책방향과 전략 및 세부계획을 제시하고 있다 (MCT, 2000). 그러나 축산용수 부분은 국내의 연구결과가 부족하여 일본의 1994년 결과를 활용하고 있다. 수자원장기종합계획의 축산용수와 본 연구의 물발자국 결과를 비교하면 다음과 같은 차이가 발생한다.

먼저 수자원장기종합계획의 축산용수와 물발자국은 단위 부분에서 차이가 있다. 수자원장기종합계획은 가축두수 당 사용되는 용수량을 기준으로 하고 있으나 물발자국은 가축의 지육량을 기준으로 물 사용량을 산정한다. 현재 가축두수 자료를 통하여 1년의 축산용수 수요량을 산정하기 위해서는 가축두수 당 물 사용량 자료가 유용하지만, 국민들이 소비하는 축산식품 및 수입되는 축산식품에 따른 물 사용량 및 교역량을 추정하기 위해서는 단위 무게 당 물 사용량 자료가 용이하다. 또한 우리나라의 식품소비 패턴이 변화하면서 발생하는 추가적인 축산용수량 등을 추정하기 위해서도 본 물발자국 산정 결과가 유용하게 사용될 것으로 판단된다. 즉, 수자원장기종합계획의 축산용수는 현재 사육되고 있는 가축을 기준으로 축산용수 공급의 관점에서 활용하기 유용한 자료이고, 물발자국은 국민들이 소비하는 축산식품을 기준으로 물 사용량의 변화를 추정할 때 활용될 수 있다. 이처럼 두 자료는 서로 다른 특징을 지니고 있기 때문에 향후 수자원 계획을 수립할 때도 단순히 가축두수에 의한 용수 수요량 뿐 아니라 국민 식품소비 패턴 및 인구변화, 축산식품의 수입 변화 등을 동시에 고려할 수 있는 물발자국 자료를 추가적으로 활용할 필요가 있다.

**Table 12** Comparison between water footprint and water vision

Water demand		Beef cattle	Swine	Broiler chicken
Water Vision <sup>1</sup>	liter/animal/day	50-60	20-30	0.3-1.0
	m <sup>3</sup> /yr/animal	18.3-21.9	7.3-11.0	0.1-0.4
	m <sup>3</sup> /ton	122.7-147.3	68.2-102.3	10.5-35.0
water footprint (m <sup>3</sup> /ton)	Direct water	91.2	129.7	7.6
	Indirect water	17023.1	4235.8	2427.7

<sup>1</sup>Ministry of Construction and Transportation (2000)

다음으로 수자원장기종합계획의 축산용수 수요량을 본 연구 자료인 가축 당 지육량 자료를 활용하여 전환하여 물발자국의 직접수 부분과 비교하였고, Table 12에 나타내었다. 한우의 경우 수자원장기종합계획에서는 약 123-147 m<sup>3</sup>/ton의 물 사용량을 제시하였으나 본 연구결과인 물발자국은 91 m<sup>3</sup>/ton로 나타났다. 돼지의 경우 수자원장기종합계획보다 물발자국의 직접수가 약 30 m<sup>3</sup>/ton 많은 것으로 나타났고, 닭의 경우에는 물발자국의 직접수가 수자원장기종합계획의 최소 용수량보다도 3 m<sup>3</sup>/ton 작은 것으로 나타났다. 이처럼 물발자국의 직접수 산정결과와 수자원장기종합계획 축산용수 부분의 차이가 발생하였고, 본 연구에서도 음용수와 세척수는 국내 결과의 부족으로 다양한 국외 연구를 활용하였기에 국외 연구 결과의 차이에 의한 것으로 사료된다. 그러므로 두 결과 중 하나의 결과를 선택하기 보다는 본 물발자국 결과를 수자원장기종합계획 결과에 접목하여 축산용수 수요량의 범위를 조정할 필요가 있다고 사료된다.

물발자국과 수자원장기종합계획의 가장 큰 차이점은 간접수의 제시에 있다. 물발자국은 가상적인 개념을 포함하기 때문에 가축의 사료에 의한 물발자국을 내포하고 있다. 이에 따라 물발자국은 사료작물 생산을 위해 소비되는 가상수량을 간접수로 나타내고 있다. 이러한 간접수의 물발자국은 축산용수를 고려한 수자원계획 수립 시 중요한 자료로 활용될 수 있다. 예를 들어 국내의 축산부분 식량자급률을 높이기 위해서는 가축두수 증가에 따른 축산용수 수요량 외에 사료작물의 추가적인 생산을 위한 물 사용량을 동시에 고려할 필요가 있다. 이때 본 연구결과인 물발자국의 간접수 부분이 활용될 수 있다.

#### IV. 요약 및 결론

우리나라는 과거와 비교하여 육류의 소비가 급증하였기 때문에 육류 생산증가에 따른 물 사용량을 손쉽게 추정할 수

있는 도구가 필요하다. 본 연구에서는 국내 육류 소비의 대부분을 차지하는 한우, 돼지 및 닭의 물발자국을 각각 산정하여 육류 생산량 당 물 사용량의 지표로 활용하고자 하였다. 특히, 육류의 물발자국은 직접수와 간접수로 구분하여 가축이 직접적으로 사용하는 음용수 및 세척수와 사료작물 생산을 위해 소비되는 간접수를 구분하여 제시하고자 하였다. 이와 같은 구분을 통하여 미래 육류 소비의 변화 및 국가 정책의 변화에 따른 직접적인 축산용수 외에 사료작물 재배를 위한 수자원 사용량을 동시에 추정할 수 있다. 자료의 신뢰성을 평가하기 위하여 직접수의 물발자국 산정 결과를 수자원장기종합계획의 축산용수 수요량과 비교하였다.

한우 (비육우)의 직접수 물발자국은 91.2 m<sup>3</sup>/ton으로 산출되었고, 이는 수자원장기종합계획과 약 30 m<sup>3</sup>/ton의 차이를 보이고 있다. 간접수의 물발자국은 16,931.9 m<sup>3</sup>/ton로서 전체 물발자국의 95 % 이상을 차지하였다. 돼지 (비육돈)의 국내 물발자국 산정결과 직접수의 물발자국은 129.7 m<sup>3</sup>/ton, 간접수의 물발자국은 4,106.0 m<sup>3</sup>/ton로 나타났다. 닭 (육계)의 국내 물발자국 산정결과 직접수의 물발자국은 7.6 m<sup>3</sup>/ton, 간접수의 물발자국은 2,420.1 m<sup>3</sup>/ton으로 나타났다. 물발자국을 산정 결과를 국외 연구결과와 비교한 결과 일부 차이가 발생하였는데 이는 배합사료의 비율 및 사료 소비량의 차이 때문으로 판단되었다. 직접수의 물발자국 산정 결과를 수자원장기종합계획의 축산용수 수요량과 비교한 결과 역시 일부 차이가 발생하였는데 이는 각각 활용한 국외 연구결과에 기인하는 것으로 판단된다.

그러므로 향후 수자원계획 수립 시 수자원장기종합계획과 본 연구의 직접수 및 간접수의 물발자국 산정결과를 동시에 고려할 필요가 있다. 또한 물발자국은 육류 소비패턴 변화에 따른 생산량 변화, 자급률 증진을 위한 식량정책의 변화 등과 연계되어 다양한 측면에서의 수자원 필요량을 추정하는 이용될 수 있다. 본 연구는 축산물의 육류 지육량만을 기초로 물발자국을 산정하였지만 향후 축산물의 가공품까지 확대 적용한 물발자국의 산정이 필요할 것으로 판단되며, 축산 가공품의 물발자국은 수자원과 연계되는 다양한 분야에서 활용도가 높을 것으로 기대된다.

#### 사 사

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 ‘우리나라 물발자국 산정모델 개발 및 적용’ 연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사드립니다.

REFERENCES

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* 43(6): 583-595 (in Korean).
2. Aldaya, M. M., and A. Y. Hoekstra, 2009. The water needed to have Italians eat pasta and pizza, Value of Water Research Report Series No. 36, UNESCO-IHE.
3. Allan, J. A., 2003. Virtual Water - the water, food and trade nexus, useful concept or misleading metaphor?. *Water International* 28(1): 4-11.
4. 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.
5. Chapagain, A. K. and A. Y. Hoekstra, 2004. Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE.
6. Chapagain, A. K. and A. Y. Hoekstra, 2007. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands, *Ecological Economics* 64: 109-118.
7. Erkin, 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.
8. 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* 22: 764-775.
9. Gerbens-Leenes, P. W., M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems, *Water Resources and Industry* 1(2): 25-36.
10. Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, and M. M. Aldaya, 2011. The water footprint assessment manual, Earthscan, London, UK.
11. Hoekstra, A. Y. and P. Q. Hung, 2002. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE.
12. Jeollanam-do Livestock Policy Division, 2009. 전라남도 녹색 축산육성기금 조례 시행규칙의 별표(5).
13. Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation (KAPE), <http://www.ekapepia.com>.
14. Korea Rural Economic Institute (KREI), 2012. Food balance sheet (in Korean).
15. Liu, J., A. J. Zehnder and H. Yang, 2009. Global consumptive water use for crop production: The importance of green water, virtual water, *Water Resources. Research* 45: 1-15.
16. Liu, J. and H. H. G. Savenije, 2008. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China, *Hydrology and Earth System Sciences* 12(3): 887-898.
17. 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.
18. Mekonnen, M. M. and A. Y. Hoekstra, 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products, *Ecosystems* 15(3): 401-415.
19. Ministry of Construction & Transportation (MCT), 2000. Water vision 2020 (in Korean).
20. 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).
21. Orłowski, B., Hoekstra, A. Y., Gudmundsson, L., and Seneviratne, S.I., 2014. Today's virtual water consumption and trade under future water scarcity, *Environmental Research Letters*, 9(7): 074007.
22. Schyns, J. F., and Hoekstra, A. Y., 2014. The added value of Water Footprint Assessment for national water policy: A case study for Morocco, *PLoS ONE*, 9(6): e99705.
23. Yoo, S. H., J. B. Im, J. Y. Choi, S. H. Lee, 2012. Estimation of Agricultural Water and Land Required to Substitute the Import of Feed-grain for Domestic Production. The Korean Society of International Agriculture 24(3): 259-264.
24. 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.
25. Yoo, S. H., J. Y. Choi, T. Kim, J. B. Im, and C. Chun, 2009. Estimation of Crop Virtual Water in Korea, *Journal of the Korean Water Resources Association* 42(11): 911-920 (in Korean).
26. 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).