

Research Paper

서울시 물환경관리체계 개선을 위한 물발자국 도입 및 활용방안에 관한 연구

- 서울시 자치구 물환경관리 정책 및 제도, 관리체계 분석을 중심으로 -

전동준* · 김진오**

한국환경정책·평가연구원*, 경희대학교**

Analysis and Application of Water Footprint to Improve Water Resource Management System

- With a Focus on Seoul City -

Dong Jun Chun* · Jin-Oh Kim**

Korea Environment Institute*, Kyung Hee University**

요약 : 물발자국은 인간의 활동을 통해 소비되는 직접수와 간접수의 총사용량을 산정함으로써 지속가능한 물이용을 유도하기 위한 효과적 수단으로 활용되고 있다. 본 연구는 서울시의 물이용 관리와 관련한 계획들의 문제점 분석을 통해 물발자국의 도입가능성을 분석하고 장단기적인 측면에서 도입 및 활용방안을 제시하고자 하였다. 또한 서울시 25개 자치구를 대상으로 시뮬레이션을 통해 청색 및 회색 물발자국을 산정하고, 지역별 물발자국의 차이점 분석과 이를 바탕으로 물발자국을 줄이기 위한 대안들을 모색하였다. 물발자국 측면에서의 서울시 물환경시스템에 대한 분석은 크게 청색물발자국과 회색물발자국으로 나누어 수행하였다. 개인이나 공동체가 제품이나 서비스를 생산·소비하기 위해 필요한 지표수와 지하수의 양을 의미하는 청색물발자국을 분석하기 위해서 서울시의 각 행정구역별 지하수의 사용량과 생활용수의 사용량을 합산하여 추정하였다. 각 행정구역별 청색물발자국을 인구수와 세대수 비율로 확인해 본 결과 중구, 종로구 강남구, 용산구, 서초구 등의 순으로 높게 나타났다. 회색물발자국은 각 행정구역별 BOD기준의 오·폐수발생부하량을 배출기준 수질(BOD기준 3.5ppm)로 정화하여 배출할 때 사용되는 물의 양을 추론하여 산출하였다. 각 행정구역별 회색물발자국을 인구수와 세대수 비율로 확인해 본 결과 중구, 종로구 강남구, 용산구, 서초구, 영등포구 등의 순으로 높게 나타났다. 본 연구 결과는 물관리 있어 공급중심의 양적 관리 정책의 한계를 극복하기 위한 일환으로 물발자국의 개념 및 방법의 도입을 제안하였으며 이는 환경적·경제적·사회적으로 보다 탄력적이고 지속가능한 물관리 정책을 모색하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

주요어 : 물발자국, 회색물발자국, 청색물발자국, 가상수

First Author: Dong Jun Chun, Center for Environmental Assessment Monitoring, Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea, Tel: +82-44-415-7751, Email: djchun@kei.re.kr

Corresponding Author: Jin-Oh Kim, Department of Landscape Architecture, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-2664, Email: jokim@khu.ac.kr

Received : 18 April, 2016. Revised : 2 June, 2016. Accepted : 9 June, 2016.

Abstract : Water Footprint is utilized to analyze direct and indirect water consumption for sustainable water resource management. This study aims to understand potential applicability of water footprint concept by analyzing the status of water consumption and related water policies in Seoul. We analyzed a direct gray water footprint and the blue water footprint in Seoul affected by the social and economic characteristics of the consumers in the city. In particular, in order to analyze the blue water footprint represented by both surface and underground water for the provision and consumption of products, we calculated the actual water consumptions of surface and underground water for 25 districts in Seoul. Our analysis in consideration of population and households indicates that Jung-gu has the highest blue water footprint followed by Jongro-gu, Gangnam-gu, Yongsan-gu, and Seocho-gu. Gray water footprint was calculated by estimating the amount of water for purifying wastewater to meet the water quality standard (above BOD 3.5ppm) for each district. As a result, Jung-gu has the highest gray water footprint, followed by Jongro-gu, Gangnam-gu, Yongsan-gu, Seocho-gu, and Youngdeungpo-gu. Our study suggests the potential value of using water footprint concept to complement the current limitations of water use management focusing on water supply control. We expect that our analysis will provide an important basis for considering water use management which is economically and socially more resilient and sustainable.

Keywords : Water Footprint, Grey Water Footprint, Blue Water Footprint, Virtual Water

I. 서론

1. 연구배경과 목적

우리나라 물 빈곤지수(WPI)는 전체 147개국에서 43위 수준이며, 29개 OECD국가 중 20위로 낮은 수준이다. 국가별 물 사용량 지표에서도 2004년에 발표된 UNESCO-IHE 연구자료에 의하면 우리나라는 평가대상 100개 국가 중 15번째로 물 수입률(62%)이 높은 나라로 제시되고 있다(Chapagain & Hoekstra 2004). 그러나 우리나라의 물관리 정책 대부분은 직접수 중 일부에 국한하여 계획되고 실행되고 있어 사회·경제적인 측면에서의 지속가능한 관리가 미흡한 실정이다. 특히 서울시와 같이 도시지역이 대부분인 지방자치단체의 물관리 정책은 용수 확보 및 수질 관리에 주로 집중되어 있는 실정이다(Kim 2010). 이러한 측면에서 물발자국은 인간이 물환경에 남기는 직·간접적인 영향을 측정하기 위한 유용한 수단으로 검토되고 있다(Kim 2012). 물발자국은 소비자나 생산자가 사용 또는 소비하는 직접적인 물 뿐만 아니라, 간접적인 물사용도 고려하는 담수 소비의 국제적 신지표로 부상하고 있으며 특히 수출 의존도가 높은 우리나라의 경우 세계적인 가상수 유동에 기여하는

바가 크다. 특히, 최근 선진국을 중심으로 탄소발자국, 생태발자국과 함께 물발자국 계정을 도입함으로써 가상수로 인한 산업전반에 대한 파급효과를 제고하고 수자원의 지속가능한 이용과 관리 및 녹색산업 성장의 경쟁력을 높이는데 주력하고 있다(Ro et al. 2004). 따라서, 본 연구는 서울시의 물이용 관리와 관련한 계획들의 문제점 분석을 통해 물발자국의 도입가능성을 분석하고 장단기적인 측면에서 도입 및 활용방안을 제시하는데 목적을 두고 있다. 본 연구는 서울시 25개 자치구를 대상으로 시뮬레이션을 통해 청색 및 회색 물발자국을 산정하고, 지역별 물발자국의 차이점 분석과 이를 바탕으로 물발자국을 줄이기 위한 대안들을 모색하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구는 물발자국의 개념과 서울시 물환경 관리 체계의 문제 및 한계 분석을 바탕으로 서울시 25개 자치구에 대한 물발자국 현황을 분석하고 이를 통해 제도·정책적 측면에서 물발자국 도입 및 활용방안을 도출하였다. 이를 위해 본 연구는 물발자국 개념에 대한 종합적이고 체계적인 이해와 분석을 위해서 물발자국의 개념과 기법을 종합적으로 제시하고

있는 「물발자국평가매뉴얼(The Water Footprint Assessment Manual)」 등 다양한 문헌을 참고하여 물발자국 산정기법, 지속가능성 평가 및 기본적인 개념을 검토하고, 이를 바탕으로 서울시 물환경관련 계획과 정책을 재조명하여 물발자국 개념의 정책적 도입과 활용방안에 대한 가능성을 제시하고자 하였다. 본 연구 결과는 물관리에 있어 공급중심의 양적 관리 정책의 한계를 극복하기 위한 일환으로 물발자국의 개념 및 방법의 도입을 제안하고 있으며 이는 환경적·경제적·사회적으로 보다 탄력적이고 지속가능한 물관리 정책을 모색하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

II. 물발자국의 개념 및 평가

1. 물발자국의 개념

물발자국은 영국 런던대학 앨런(J. A. Allan) 교수가 도입한 '가상수' 개념을 기초로 확장된 새로운 개념이다. 앨런 교수 이론에 따른 가상수는 1998년 「Ground Water」지를 통해 처음 소개됐으며, 여기서 가상수를 “농산물 생산에 사용되고 있는 물”이라 정의하였다(Allan 1998). 수자원이 부족한 국가가 자국에서 농산물을 생산하지 않고 수입하면 농산물 생산에 사용되는 물을 다른 목적(생활용수·공업용수 등)으로 사용할 수 있다는 점에 주목하였다. 이에따라 농산물을 수입하면 눈에 보이지는 않지만 농산물 생산에 사용되는 물을 수입하는 효과가 발생한다는 데 기초한 가상수 개념이 등장하였다(Ro et al. 2012). Hoekstra와 Hung은 2002년 12월에 네덜란드 델프트에서 열린 '가상수 무역에 관한 국제 전문가회의(International Expert Meeting on Virtual Water Trade)'에서 국제 농산물 무역을 가상수 이론과 접목시켜 국가간·지역간 국제 가상수 교역에 대한 추세를 분석하고 '물발자국'이란 새로운 개념을 소개하였다(Hoekstra & Hung 2003).

물발자국을 평가하는 이유는 인간 활동이나 제품의 생산이 물 부족과 오염에 어떤 관련이 있는지 분석하고, 인간 활동이나 제품 생산이 물의 관리 측면

에서 지속가능하도록 유지·보전할 수 있는지 분석하고 대책을 마련하는데 있다. 물발자국은 생산·소비·무역 등의 활동이 물의 직접적 또는 간접적인 이용에 어떻게 관계되어 있는지를 수량적으로 나타내며 이를 통해 물을 보다 효과적으로 활용하기 위한 객관적 분석방법을 지원한다. 이는 국가, 지자체, 사업자, 소비자가 물을 더 효율적으로 이용·배분하고 폐수를 적정하게 처리하기 위한 정책적 대안으로 활용 가능하다(Ro et al. 2012).

물발자국은 소비자나 생산자의 직접적인 물 사용뿐만 아니라 간접적인 물 사용도 고려하는 담수 소비의 지표로, 전통적이고 제한적인 수자원의 이·취수 다음으로 담수자원 책정의 포괄적인 지표로 인지도가 있다. 특정 제품의 물발자국은 그 제품의 생산부터 전체적인 공급 과정에 걸쳐 소비된 담수의 양을 나타내며, 물발자국은 물 소비 양을 원산지별로, 오염된 양을 오염의 종류별로 나타내는 다차원적 지표로 활용 가능하며, 하나의 물발자국에 포함된 모든 요소들은 지역별, 기간별로 세분화해 기술될 수 있다. 특히, 물발자국은 한 국가 내의 수자원 총량 산출시 국제무역을 통해 수출입되는 가상수 양까지 고려하여 해당 국가의 물 수지를 계산할 수 있으며, 이를 통해 기존의 물 수지 계산에서 쓰인 직접적인 물 사용과 함께 간접적인 물 사용을 종합적으로 고려할 수 있다(Hong et al. 2009). 이러한 물발자국은 청색, 녹색 그리고 회색 물발자국으로 세분화될 수 있으며, 이를 통해 다양한 방식의 지표적 기능 수행이 가능하다(Ro et al. 2012). 청색 물발자국은 한 생산물의 공급 사슬을 따라 소비된 청색 수자원(지표수와 지하수)을 뜻하며 이때 '소비'는 한 담수 지역 안의 가용 지표수의 총량으로부터의 감소하는 물 손실을 가리킨다. 또한 '손실'은 물이 증발하거나, 다른 담수 지역 또는 바다로 돌아가거나, 한 생산물에 포함되었을 때 일어나는 것을 의미한다. 녹색 물발자국은 녹색 수자원(흐르는 상태가 되지 않는 빗물)의 소비를 가리키며 회색 물발자국은 제품이나 서비스를 생산할 때 발생하는 오염된 물의 양을 의미하는 것으로, 오염원을 수질 기준에 적합하도록 정화하는 데 필요한 물의 양으로 계산한다. 회색물발자국의 산정시 화학

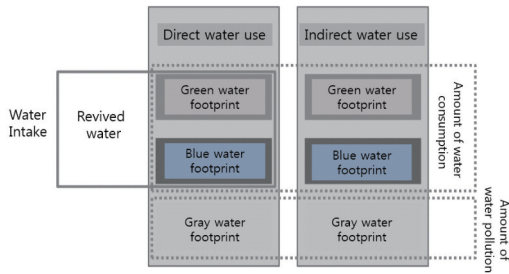


Figure 1. The concept of different direct and indirect water uses

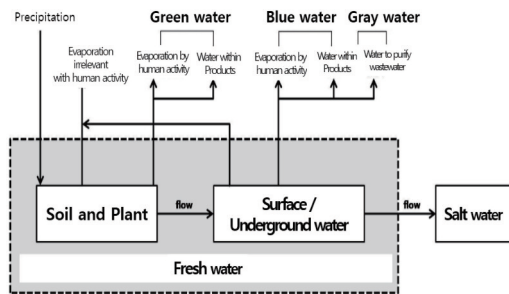


Figure 2. The concept of green, blue and gray water footprint

물질은 폐기물, 비료, 살충제와 같은 형태로 토양에 직접적으로 투입될 수 있으므로 이들이 지하수로 흘러 들어가거나 지표수의 흐름에 포함돼 오염이 발생하는 경우 오염부하는 지하수·지표수에 도달하는 총 화학물질의 양으로 표현될 수 있다(Figure 1, 2).

2. 물발자국의 평가 목표

물발자국을 평가할 때에는 각기 다른 독립체들의 물발자국을 평가할 수 있기 때문에 어떤 물발자국에 관심이 있는지 명확히 정의하는 것이 가장 중요하다. 물발자국의 산정 대상은 공정 물발자국, 제품 물발자국, 기업(또는 사업) 물발자국, 산업군 물발자국, 소비자 물발자국, 소비자 그룹(국가·지역·도시 단위) 물발자국, 지리적 경계(지역·구역)에 따른 물발자국 등으로 나눌 수 있다. 공정 물발자국은 우리가 고려하고자 하는 특정한 시스템 경계 내의 자연적인 공정(natural process) 또는 인위적인 공정(artificial process)을 대상으로 산정한 물발자국이다. 이러한 물발자국들의 평가시에는 사용자의 목표에 따라 명시되어야 할 사항, 분석범위, 그리고 세부사항 등이

달라질 수 있으며 구체적으로는 목적이 무엇인지, 어떤 단계에 초점을 맞추는지, 어떤 공정, 어떤 생산물, 어떤 공동체를 고려하는지, 관심 범위가 무엇인지 등에 따라 달라질 수 있다. 회색 물발자국은 물 오염을 용량으로 표현하기 때문에 생산과 소비 또는 서비스 제품의 공급 사슬을 거슬러 검토할 때 어느 부분의 분석을 줄일 것인가는 특정 단계의 생략 시 필연적으로 발생한다. 따라서 물발자국 산정에 있어 이에 대한 분석을 포함할 필요가 있다.

III. 서울시 물환경 관련 계획현황과 문제

서울시 물환경관리정책의 주요 현안은 지속가능한 물이용·재이용과 더불어 수질오염 저감을 통한 쾌적한 도시 물환경 조성에 초점을 맞추고 있다. 이에 따라 서울시는 지속가능한 물환경 조성을 위해 다양한 물관련 종합계획 및 기본계획을 수립, 추진해 오고 있다. 본 연구에서는 서울시의 물관리 관련 주요 계획 중 물환경종합관리계획, 수질오염총량관리기본계획, 하수도정비기본계획, 물재이용관리계획을 중심으로 물발자국과 연관된 계획 현황 및 문제점을 검토하였다.

1. 물환경종합관리계획

서울시 물환경종합관리계획은 2009년부터 2020년까지의 물관리계획을 종합·총괄하는 계획으로, 기후변화, 물부족, 수질오염, 생태계파괴 등의 물환경 현안에 능동적으로 대처하기 위해 수립되었다. 본 계획은 서울시의 도시계획과 연계하여 물환경을 우선적으로 고려하기 위한 목적과 역할을 수행한다. 서울시 물환경종합관리계획의 주요 목표 중 하나는 4대 물환경권역별(홍제천물환경권역, 중랑천물환경권역, 안양천물환경권역, 탄천물환경권역) 수질목표를 달성하는데 있으며 이러한 목표 달성을 위해 현재의 배출 오염 부하량의 현황과 예측을 통해 이를 저감하고자 구체적인 수질개선사업을 계획·추진하고 있다. 그러나, 물환경종합관리계획은 4대 권역별로 도시개발과 연계한 기후변화 및 물부족 대응, 수질과 수생태계 보전을 목표로 하지만, 권역별 수질 및 물

리적 수환경개선에 초점을 두고 있어 권역별(또는 지역별)로 편중되거나 낭비되는 물소비 문제를 개선하고 지속가능한 물이용을 유도하는 데는 한계를 안고 있다. 또한, 통합적 관점에서 수질개선과 수생태계 분야 계획의 수립 또한 미흡한 실정이다(Lee & Song 2013). 이러한 문제는 서울시가 제시한 물환경종합관리계획의 목표인 “생활에 스며드는 물관리체계 구축”을 구현하고 장기적으로 기후변화에 따른 물부족 문제에 대응할 수 있는 구체적인 정책적 대안으로 연결되지 못하는 한계를 보여주고 있다.

2. 수질오염총량관리 기본계획

수질오염총량관리 기본계획은 단위유역별 목표수질을 달성·유지하기 위한 단위유역별·지방자치단체별 오염물질 할당부하량(허용총량)을 산정하여 오염물질 배출부하량을 할당부하량 이내로 관리하는 것을 목표로 하고 있다. 해당계획의 관리대상 오염물질은 생물화학적 산소요구량(BOD)과 총인(T-P)이며, 해당 기본계획의 기간은 2013~2020년이다(계획수립 기준연도는 2010년). 본 계획은 최종년도 2020년까지 서울특별시 오염총량관리 수립대상 단위유역의 목표수질을 달성 및 유지하고, 할당부하량을 준수하기 위해 자치단체별 소요자원 협의가 완료된 하수처리장 신·증설, 하수관거정비, 하수고도처리, 축산 자원화, 비점오염원 저감시설의 신·증설, 방류수 재이용, 간이하수처리시설 설치 등을 반영하고 있다. 수질오염총량관리 기본계획의 기초는 상수원 상류지역의 수질개선과 주민지원에 초점을 맞추고 있으며 수계구간별 오염부하량을 할당하여 오염부하량 및 삭감계획을 설정하는데 있다.

그러나, 본 계획은 지역의 세부적인 각종 개발계획을 조사하고 이를 바탕으로 장래 오염원 및 개발부하량을 예측, 산정하는데 불확실성이 크다는 맹점을 안고 있다(Lee & Song 2013). 또한 기본계획 수립시 2020년까지의 인구 및 물사용 예측은 인구특성과 생산 및 소비패턴의 변화, 지역별 차이, 주변지역과의 교역 등을 고려하지 않아 지속가능한 물이용정책에 있어 한계를 안고 있다(Lee & Song 2013). 특히, 본

계획은 단위유역별 목표수질 달성을 위해 특정 구간의 수질 조사 및 유역별 시설개선에 중점을 두고 있으므로, 지역별 생산 및 소비패턴의 특성과 물이용의 효율성을 충분히 반영하지 못하고 있는 실정이다(Lee & Song 2013).

3. 서울시 하수도정비기본계획

서울시 하수도정비기본계획은 서울시 하수도에 관한 종합적인 계획으로 2020년을 목표연도로 설정하였으며 중장기 목표연도는 상위계획과의 관계를 고려하여 5년씩 3단계로 구분되어 있다. 해당 기본계획의 대상범위는 서울시 전 행정구역을 기본계획구역으로 하며 광명시, 하남시, 고양시, 과천시 등 현재 서울시에서 합병처리하고 있는 주변 도시를 포함하고 있다. 주요 정책방향은 하수배제방식, 수세 변소수의 직유입(정화조 면제) 추진, 노후·불량관거 개량정비, 하수처리구역 결정, 차집관거 용량 확충, 하수처리장 고도처리 시설도입, 하수처리장 현대화(집약화), 그리고 하수슬러지 처분방법 등을 골자로 하고 있으며 해당 계획에서는 ‘중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간(환경부고시)’에 따라 수질개선 목표를 하천의 생활환경기준 2등급으로 계획하고 있다.

하수도정비기본계획의 문제점은 수질개선을 위해 지역별로 시설정비에 집중적으로 재원(하수처리장 신증설, 하수관거정비, 하수고도처리 등)을 투자하는 측면에 있다는 것이다. 물론 본 계획이 의도하고 있는 수질개선 시설에 대한 양적 측면에서의 대응 즉, 수질오염 정화를 위한 시설 확충 등 설비 중심적 대응도 중요하지만 지역별 물소비 특성 분석 및 가상수 측면에서의 타 지역, 타 공정과의 연계성 검토 등을 통해 비효율적이고 과도한 물소비를 지양할 수 있는 새로운 정책의 필요성도 제기되고 있다.

4. 물재이용관리계획

서울시 물재이용관리계획은 물의 재이용 정책에 대한 국가기본방향을 반영하여 빗물이용·중수도시설의 유희화 방지 및 관리체계 개선과 하수처리수 이

용확대 차원의 물재이용률 상향을 목표로 수립되었다. 목표연도는 2020년으로 빗물, 중수도, 하수처리수를 포함한 총 물재이용 목표량은 208,820천m³/년이며 2010년도 대비 4.1배 증가를 목표로 하고 있다. 서울시 물재이용관리계획에 의한 빗물이용량은 2010년도 393.4천m³/년에서 목표연도 2020년에 2,400천m³/년으로 총 물재이용 관리계획량의 1.15%, 중수도시설 재이용량은 2010년도의 2,837천m³/년에서 목표연도 2020년 18,351천m³/년으로 8.79%, 하수처리수 재이용량은 2010년의 47,266천m³/년에서 목표연도 2020년 188,069천m³/년으로 약 3.9배 증가를 목표로 하며, 이는 2020년의 총 물재이용 관리계획량의 90.06%를 차지할 것으로 전망된다.

물재이용관리계획의 한계로는 기후변화 및 물부족 문제에 대응하기 위한 물의 재이용 촉진이 주로 도시계획 및 산업개발 등 개발사업에 대한 물재이용 정책입안에 크게 의존하고 있다는 것이다. 현재 서울시 하수처리수 재이용률은 3.62%로 빗물 및 중수도에 비해 가장 높은 비율을 차지하고 있으나 도시개발시 이에 대한 이용확대를 유도하는 정책은 부족한 실정이다. 또한, 서울시는 2020년까지 물재이용률 비율을 14.4%로 설정했으며 이중 하수처리수 재이용량은 총 관리계획량의 90.06%를 차지하고 있으나, 물재이용을 지역별 물소비 특성에 따라 어떻게 도시계획에 반영할 것인지에 대한 정책대안이 부족하다.

IV. 물발자국 평가를 통한 서울시 물환경관리 현황 및 문제 분석

UNESCO-IHE(2011)의 자료에 따르면 우리나라의 1인당 물발자국은 녹색물발자국이 1,285.2m³/yr이며, 청색물발자국이 111.3m³/yr 그리고 회색물발자국이 232.8m³/yr로 총 1,629.3m³/yr인 것으로 보고된 바 있다 (Mekonnen & Hoekstra 2011). 본 연구는 이러한 결과값을 활용하여 서울시의 간접수 물발자국을 개략적으로 추론하였다. 추론의 근거로는 상기 UNESCO-IHE자료가 국가 전체를 대상으로 한 1인당 물발자국을 기초로 하고 있으나, 우리나라 국민 대다수가 도시지역에 거주하고 있으며, 그중 상

당인구가 서울과 수도권 그리고 대도시에서 거주하고 있는 점을 감안, 가중치를 적용하여 서울시민의 가상수가 포함된 물발자국을 추론하였다(Mekonnen & Hoekstra 2011). 이 결과를 토대로 서울시의 물발자국(직접수)을 산정한 결과 340.6m³/yr로 추정되었으며, 농업생산 또는 이와 관련된 제조·생산에 필요한 녹색물발자국은 그 비중이 가장 적은 것을 알 수 있다. 회색물발자국(직접수)의 경우 전체 물발자국에서 차지하는 비율이 약 233.6m³/yr(68.6%)으로 전형적인 도시지역의 특성을 반영하는 결과를 보여주고 있다. 또한, 청색물발자국은 104.0m³/yr(30.5%), 녹색물발자국은 3.1m³/yr(0.9%)로 이는 소비를 특징으로 하는 도시의 전형적 특성을 반영하고 있다. 반면 가상수(간접수)가 포함된 서울시 물발자국은 총 1,792.2m³/yr으로, 이중 녹색물발자국은 1,413.7m³/yr, 청색물발자국은 122.4m³/yr, 회색물발자국은 256.1m³/yr로 각각 나타났다. 이는 서울시에서 사용되는 물사용량이 가상수를 고려할 경우 직접수에 비해 약 5배 가량 크다는 것을 알 수 있다(Figure 3).

서울시의 물발자국은 간접수를 포함할 경우 직접수 물발자국에 비해 약 3-4배가 많을 것으로 판단되는데 이와 같은 현상은 서울시민이 소비하는 농산물이나 공산품에 포함되어 있는 가상수의 크기가 매우 크다는 것을 의미한다. 즉, 외부로부터의 가상수 유입량이 많음을 추론할 수 있다. 각 행정구역별 물발자국(직접수)을 비교해 보면 성동구와 강서구, 강남구 등 하수종말처리장이 설치·운영되고 있는 자치구에서 회색물발자국이 높게 나타나는 특성을 나타

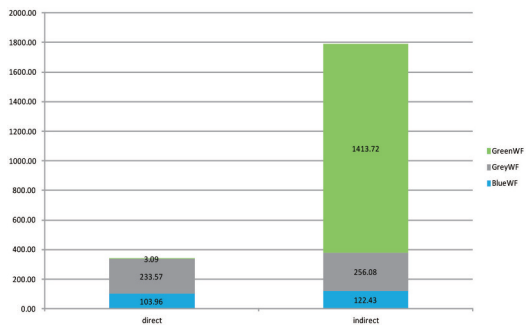


Figure 3. Total amount of direct and indirect water footprint in Seoul

내고 있다(Figure 4).

물발자국 측면에서의 서울시 물환경시스템에 대한 분석은 크게 청색물발자국과 회색물발자국으로 나누어 수행하였다. 도시지역 특히 서울시에 대한 물발자국 분석의 경우 생활계가 차지하는 부분이 대부분이므로 녹색물발자국의 크기가 상대적으로 매우 작다. 다시 말해서 토양 내에 저장되어 있던 빗물이 증발되거나 제품 내로 이동한 양을 측정하는 녹색물발자국의 경우 서울과 같이 농업생산이 거의 이루어지지 않으며 소비가 주를 이루는 지역에서는 그 규모가 매우 작은 것으로 추정된다. 이에 반해 청색물발자국의 경우 가정계에 비해 영업계가 상대적으로 많은 서울 도심권의 자치구에서 그 비율이 상대적으로 매우 높게 나타나고 있다.

본 연구는 청색물발자국을 분석하기 위해서 서울시의 각 행정구역별 지하수의 사용량과 생활용수의 사용량을 합산하여 추정하였다. 서울시 물환경자료를 통해 물발자국을 분석해 본 결과 일반적으로 인구

수나 세대수가 많은 지역에서 물사용량 또는 물발자국이 클 것으로 예상하였으나, 인구수가 적은 중구, 종로구, 용산구 등에서 물발자국이 큰 것으로 확인되었다. 25개 구를 대상으로 한 청색물발자국의 크기는 강남구, 송파구, 서초구, 노원구, 강서구 순으로 나타났으나, 각 행정구역별 청색물발자국을 인구수와 세대수 비율로 확인해 본 결과 중구, 종로구 강남구, 용산구, 서초구 등의 순으로 나타났다(Figure 5, 6).

회색물발자국은 제품이나 서비스를 생산할 때 발생하는 오염된 물의 양, 즉 오염원을 수질 기준에 적합하도록 정화하는데 필요한 양으로 정의된다. 따라서 이를 계산하기 위해 각 행정구역별 BOD기준의 오·폐수발생부하량을 배출기준 수질(BOD기준 3.5ppm)로 정화하여 배출할 때 사용되는 물의 양을 추론하여 산출하였다. 현실적으로 오염된 물을 정화할 경우 하수종말처리장에서는 오염된 물에 다량의 물을 투입하여 희석 후 배출하는 것이 아니라 오염량의 절대량을 줄이고자 물 사용이 거의 없는 공법으로 처리하고 있다. 그러나 이러한 방식 역시 다량의 에너지 또는 시설과 제품들이 사용되고 있는 바, 배출수질기준까지 BOD기준 오염농도를 낮추는데 필요한 물의 양으로 추정·환산하여 회색물발자국을 도출하였다.

회색물발자국 역시 청색물발자국과 유사한 패턴을 나타냈으며 행정구역별로 회색물발자국이 큰 지자체는 강남구, 송파구, 노원구, 서초구, 영등포구, 강서구 순으로 나타났다. 각 행정구역별 회색물발자국을 인구수와 세대수 비율로 확인해 본 결과 중구, 종로

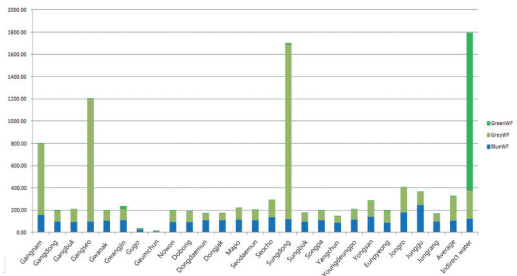


Figure 4. Direct and indirect water footprint for 25 districts

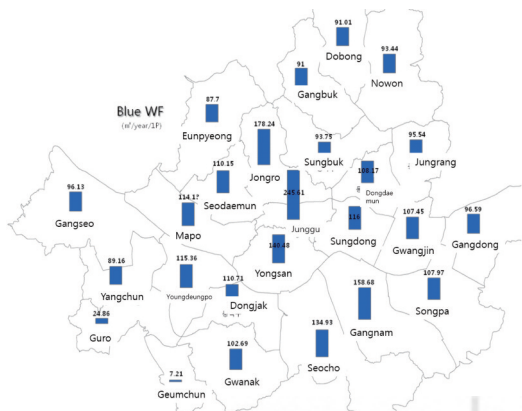


Figure 5. Blue water footprint (direct water) for 25 districts

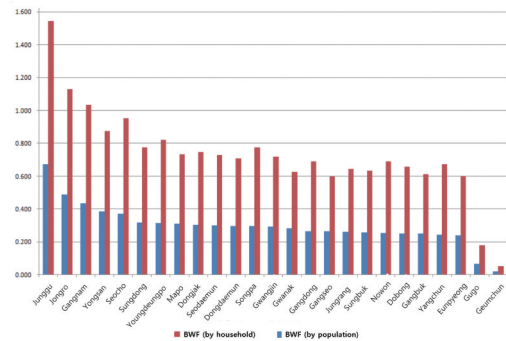


Figure 6. Blue water footprint for 25 districts based on population and household

구 강남구, 용산구, 서초구, 영등포구 등의 순으로 나타났다. 2012년 환경부 상수도 통계에 따르면 서울시의 1인당 1일 물 사용량은 286L인 것으로 나타났으며, 이 중 용도별 물사용량을 보면 가정용 190L(66.6%), 영업용(일반용) 66L(23.2%), 업무용 22L(7.7%), 욕탕용 7L(2.5%) 순으로 발표된 바 있다. 그러나 물발자국으로 분석한 물소비(청색)와 물오염(회색) 패턴을 보면 일부 행정구역의 경우 가정용에서의 물사용량 보다는 영업용에서의 물사용량이 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 특히 인구수나 세대수가 타 구에 비해 현저하게 적은 중구, 종로구, 용산구 등은 유사한 금천구와 비교하여 물발자국의 크기가 매우 커 가정용에서의 물사용량보다는 비가정용에서의 물사용량이 큰 것으로 추정할 수 있다. 인구수 또는 세대수 대비 청색물발자국과 회색물발자국을 분석한 결과에 따르면 종로, 중구, 강남구, 서초구를 중심으로 이들 행정구역과 가까운 행정구역에서 물발자국이 큰 것을 알 수 있다(Figure 7). 이와 같은 현상은 종로구, 중구, 강남구, 서초구를 중심으로 상업시설, 영업시설이 상대적으로 많은 것에 기인한 것으로 추정된다. 구로구, 금천구, 양천구, 은평구, 중랑구 등 서울 중심부로부터 멀리 떨어져 있는 행정구역들에서 물발자국이 작게 나타난 것 역시 상기 행정구역들에 비해 상대적으로 영업시설과 상업시설이 적은 것에 원인이 있는 것으로 추론할 수 있다. 특히 구로구, 금천구 등과 같이 상대적으로 외곽에 있는 행정구역 내 시민들

의 경우 경제활동을 위한 시내 중심부로의 이동과 활동으로 거주지역에서의 물사용량이 매우 적게 나타났다. 따라서 서울시 물환경관리정책의 경우 각 가정에서의 물사용량 조절도 중요하지만, 상대적으로 상업시설과 영업시설이 집중되어 있는 강남·북 중심부에서의 물사용량을 조절하는 것이 중요할 것으로 판단되며, 이와 관련한 정책적인 방안 마련이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론 및 제언

서울시와 같은 지방자치단체는 물론 국가차원에서 물관리정책은 인구, 지역여건 및 사회·경제적 상황 등을 고려하여 수자원을 어떻게 공급하고 재이용하며 처리할 지에 대한 문제에 직면하고 있다. 기존 공급 위주의 물관리정책은 부족한 수자원을 확보하기 위한 시설물 설치를 수반하게 되며, 또한 이를 통해 배출되는 오염원의 저감을 위한 또 다른 시설물의 설치를 요구하게 된다. 이러한 양적 물관리정책은 장기적으로 지속가능하지 않으며, 이에따라 지자체나 정부의 수자원 사용 전략과 목표는 환경적으로 지속가능하고 사회적으로 균등하며 경제적으로 효율적인 이용관리를 지향할 필요가 있다. 특히 지속가능한 사회를 구현하기 위한 물관리분야의 정책적조는 단지 물분야에만 국한된 친환경적 계획 수립 뿐만 아니라 사회 및 경제분야와도 정책적으로 연계되어 서로 상승효과를 유발할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

최근 물공급을 늘리는 것 외에 물수요를 관리하는 방안도 정책적으로 검토하고 있으나 이는 단순한 물 사용 절약 차원에 그치는 실정이다. 그러나 물발자국에 대한 개념이 도입되면서 소비자가 사용하고 소비하는 모든 농산물과 제품들에 숨어 있는 물의 관리에 대한 필요성이 제기되고 있다. 개개인뿐만 아니라 정부 역시 사용하고 소비되는 많은 농산물이나 제품들이 생산지 또는 생산국의 물부족이나 물오염 문제와 관련되어 있음을 고려하지 않은 채 물문제를 외재화시켜 왔다. 물문제의 외재화는 향후 생산지나 생산국에서 물부족의 상황이 악화되어 사회·경제적인 문제로 대두될 경우 직·간접적으로 영향을 주게 된다.

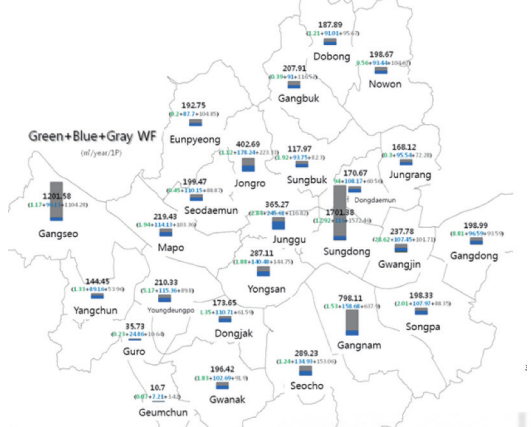


Figure 7. Blue and grey water footprint for 25 districts

특히 물문제를 오랫동안 외재화한 상태가 지속될 경우 물부족으로부터 파생되는 사회·경제적 환경변화에 신속하고 적절하게 대응하기 어려울 수 있다. 서울시와 같이 생산보다는 소비가 주를 이루는 도시공간에서는 더욱더 물문제가 외재화 되어 있어 외부환경 변화에 선제적으로 대응하는 정책이 부재할 경우 물관리정책에 심각한 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다. 따라서 서울시에서는 물발자국 개념의 도입을 통해 시민, 기업 등의 지속가능한 물이용을 유도할 수 있는 미래지향적 물관리 정책의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

이에따라, 본 연구는 서울시의 기존 물관리 정책의 검토와 연구결과를 바탕으로 다음의 주요 정책방향을 제안하고자 한다. 첫째, 물발자국 계정산정과 데이터베이스(DB)구축을 통해 도시환경을 적극적으로 개선할 필요가 있다. 서울시 도시기본계획을 바탕으로 향후 인구수와 인구특성 및 분포, 지역에 따른 물 소비성향 등을 예측하여 목표년도의 물발자국을 산정한 후 이를 최소화할 수 있도록 정책적 대안을 수립할 필요가 있다. 정책적 대안은 예측되는 물발자국의 크기와 해당 지역의 물환경 여건 및 물소비패턴간의 불균형을 파악하고 이를 토대로 활용가능한 기존 물관련 정책들의 탄력적 조정과 수정을 유도할 수 있다. 또한 서울시는 향후 도시계획의 수립 및 보완시에 녹색, 청색, 회색 등 예측되는 물발자국의 유형과 상대적 크기에 따라 다른 전략 즉, 지역별로 다른 개발밀도와 용도지역, 용적률, 건폐율 등 다양한 도시계획적 수단들을 적용함으로써 서울시의 물이용이 경제적, 사회적, 환경적으로 지속가능하도록 유도할 수 있다. 물론, 이와 같은 정책을 수행하기 위해서는 우선적으로 물발자국 데이터베이스 구축의 선행되어야만 한다. 최근 국내에서도 물발자국과 관련한 기본적인 데이터 확보와 함께 데이터베이스 구축 프로젝트가 진행되고 있으며 관련 프로젝트의 경우 제품별로 녹색, 회색, 청색의 물발자국으로 구분하여 자료를 구축·제공하고 있다. 그러나 이들 또한 지역적 특성의 반영이 미흡하고 수자원 자료 산출에서의 부정확한 정보에 따른 한계를 안고 있다. 따라서 서울시의 경우 향후 지역적 특성이 반영된 데이터베이스

의 구축과 함께 효율적인 계정구축이 우선적으로 선행되어야 할 것으로 판단된다.

둘째, 물발자국의 산정이 환경영향평가를 개선하는데 활용될 수 있기를 제안하고자 한다. 현재 시행 중인 서울시 환경영향평가는 각종 계획 및 개발사업에 대해 물수급 문제 및 유출수의 수질 관리를 초점을 맞추고 있어 지속가능한 물환경 및 이용관리를 유도하는데 정책적 한계를 안고 있다. 따라서, 물환경영향에 대한 이러한 소극적 평가방식의 한계를 벗어나기 위한 일환으로 개발사업의 개발 및 운영 과정에서 발생하는 직접적 물수요와 간접적 물수요(가상수)를 함께 산정하게 함으로써, 개발사업의 장단기적 입지 적정성을 검토하고 필요시 물발자국을 완화시킬 수 있는 저감대책을 수립하도록 유도할 것으로 기대된다. 또한, 개발대상이 포함된 지역의 전체적 물발자국 유형 및 크기에 대한 산정을 유도함으로써 토지이용계획 및 설계시 이를 완화할 수 있는 건축, 조경, 에너지 차원의 저감대책을 마련하고 이를 통해 지역의 지속가능한 물환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

셋째, 물발자국 저감을 위한 구체적인 전략 검토이다. 서울시는 도시개발시 물발자국 핫스팟 지역에 대한 토지이용계획을 새롭게 검토하고, 상하수도 비용 등 각종 인센티브를 제공함으로써 지속가능한 물이용 관리를 적극적으로 유도할 필요가 있다. 특히 새로운 개발사업의 승인시에 물 공급의 환경적 적정성과 지속가능성 평가 등을 의무화하여 지역정부 및 주요 물 공급자로 하여금 시민 환경단체와 연계하여 워터스마트 개발을 유도하도록 할 필요가 있다.

넷째, 기업과 시민들에 대한 물발자국 교육강화 및 인센티브 지원이다. 기업과 시민들에 대한 물발자국 교육을 확대하여 서울 지역내에서의 생산 및 소비과정에서 발생하는 물발자국을 이해하도록 할 필요가 있다. 이를 통해 일반 시민들이 현재 서울에서의 생산 및 소비패턴이 타 지역 또는 타 국가의 물부족 및 환경문제와 어떻게 연계되는지 이해하도록 하고 서울 도시가 환경적으로 정의롭고 지속가능한 국제적 모범도시로 거듭날 수 있도록 정책적으로 제도할 필요가 있다. 생산측면에서는 가상수가 적은 제품들에

대해 물발자국 인증마크를 부여하는 등 기업들의 생산라인 개선을 유도하고, 시민들에게는 가상수를 줄인 상품의 소비에 대해 인센티브와 세제혜택을 부여하는 등 정책적 대안을 마련할 필요가 있다.

마지막으로는 물발자국 라벨링을 통한 시설물 및 제품평가를 들 수 있다. 환경라벨링 가운데에도 자원으로서의 물을 효율적으로 이용 및 활용하기 위한 정보를 제공하는 라벨링이 있으며, 이 중, 물 환경라벨링은 수도꼭지, 변기, 세탁기, 식기세척기, 비데, 세차 서비스 등과 같은 물 사용 제품이 물을 얼마나 효율적으로 사용하는가를 중심으로 라벨을 부여하고 있다. 물 환경라벨링은 대부분 제품의 생산·판매 기업이 라벨을 인증받기를 원하는 경우 인증을 신청하는 자발적 환경라벨링이다. 그러나, 호주, 싱가포르와 같은 물 부족 국가에서는 물 사용 기기의 '물 사용 효율 등급'을 강제로 표시하도록 하고 있으며, 최소 효율 등급 기준에 미치지 못하는 제품은 시판하지 못하게 해 일종의 강제 환경라벨링의 성격을 띠고 있다. 물 환경라벨링은 현재 제품에만 활용되고 있으나, 도시지역에서의 수자원의 효율적인 사용과 관리를 위해 건물 혹은 정책 등에 표시하는 것도 추진해 볼 필요가 있다. 도시지역의 경우 제품의 생산보다는 소비가 주를 이루는 공간이며, 또한 각 가정이나 시설물에서 사용되는 물의 소비 역시 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 단위 시설물의 물 사용과 소비패턴을 물발자국 측면에서 평가하고 이에 대한 물 환경라벨링을 부여함으로써 물소비의 효율적인 관리를 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2014 서울특별시의회 연구용역 사업 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Aldaya MM, Garrido A, Llamas MR, Varela C, Novo P, Rodriguez R. 2008. The water footprint of Spain. *J Sustainable Water Management*. 3: 15-20.
- Allan JA. 1998. Virtual water: A strategic resource. *Global solutions to regional deficits*, *Ground Water*. 36(4): 545-546.
- Chapagain AK, Hoekstra AY. 2004. *Water Footprint of Nations*(Volume 1: Main Report), UNESCO-IHE, Value of Water Research Report Series. 16.
- Green S, Deurer M. 2010. Green, blue and waters: Minimizing the footprint using soil physics, 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.
- Hoekstra AY. 2014. Water scarcity challenges to business, www.nature.com/natureclimatechange. Macmillan Publisher.
- Hoekstra AY, Hung PQ. 2003. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*.
- Hong IP, Kim CS, Lee JE, Han MS, Moon JW, Kweon JW, Lee SH, Ahn JH, Lim JB. 2009. *Prospect of International Virtual Water Trade and Water Resource Policies*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. [Korean Literature]
- Hong IP, Park DH. 2011. *Global Movement to Secure Water Resources and Korea's Strategies*, International Hydrological Decade (IHP) 7TH Step, the Fourth Year.
- Kim I. 2012. *International Trend of Water Footprint as an Indicator of Sustainable Water Resource Management*. Korea Environmental Industry & Technology Institute. [Korean Literature]
- Kim YR. 2010. *Planning of water demand management for water deficit*, Seoul

Novo P, Rodriguez R. 2008. The water footprint of Spain. *J Sustainable Water*

- Development Institute. [Korean Literature]
- Korea Institute of Planning & Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry & Fisheries. 2011. Research trend regarding agricultural use of salt water in the ear of water deficit. [Korean Literature]
- Lee KY, Song MY. 2013. Strategies to Improve Water Environment Policies and Plans. Gyeonggi Research Institute. [Korean Literature]
- Lee SM. 2010. Study on Application of Water Footprint Policies in Korea - Comparative study with Carbon Footprint Policies. Master's Thesis. Seo Gang University. [Korean Literature]
- Mekonnen MM, Hoekstra AY. 2011. National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption, UNESCO-IHE.
- Ro TH. 2012. Policy Introduction and Application of Water Footprint, Korea Environmental Institute. [Korean Literature]
- Rural Development Administration. 2014. Water footprint of European Union in terms of food consumption habit, World Focus. 45. [Korean Literature]
- Vanham D, Bidoglio GA. 2013. Review on the Indicator Water Footprint for the EU28, Ecological Indicators. 26: 61-75.
- Yu HH. 2010. Policy trend on efficiency improvement of the use of water resource in European Union. Konetic Report News Climate Adaptation Section. [Korean Literature]