

Analyzing the Shadow Price of Industrial Water Resources and Water Shortage Scenario

- An Application of Water Input-Output Linear Programming -

Hee Kyun Oh[#], Hee Chan Lee⁺

Department of Hospitality and Tourism Management, Sejong University, 209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, Korea

Abstract

This study set the water input-output model by linking the amount of water use to inter-industry relations table (IRT), and estimated shadow prices of water resources in agricultural, industrial and service sector using linear programming method. The 2014 water data and IRT data were collected and linked for integration of water usage and input-output table, and 30 major categories of IRT were redefined into 12 sub-sectors. Using the data, the shadow prices and their changes in each sector were estimated according to drought scenarios. The main results derived from the water input-output linear programming are as follows. Shadow prices of agriculture water, industrial water and service industry water were 864 won/m³, 27,545 won/m³ and 275,449 won/m³ respectively. The shadow price changes by water shortage (10% to 90% constraint) ranged from 1,518 to 2,369 won/m³ for agricultural use, 61,721 to 997,092 won/m³ for industrial use, and 294,923 to 381,192 won/m³ for service industry. In particular, it was confirmed that the damage level in the industrial sector increased sharply at the 50% restriction level.

Key words: climate change, drought, shadow price, water shortage scenario

1. 문제제기

물은 특정 개인에게 소유권이 귀속되지 않는 공공재 및 환경재로서, 자원의 이용과 분배가 시장기능에 의해 이루어지지 못하는 특성을 지닌다 (Park, 2009). 일반 경제재의 경우, 수요 · 공급에 기초한 시장가격이 존재하므로 효율적인 경제행위가 가능하게 되지만, 수자원의 경우 시장 거래 가격이 형성되지 않아 시장실패가

일어나게 되고, 이상적 수준의 물 소비 행위가 어려워지게 된다 (Dwyer, *et. al.*, 2010). 이러한 이유에서 물 관리에 대한 국가의 개입은 필연적이며, 물 가격 또한 정책적으로 책정되는 것이다 (Ryu, *et. al.*, 2011).

최근 산업화에 따른 경제성장, 물 소비 인구의 증가, 수질오염과 같은 여러 사회현상 역시 물이 유한 자원이라는 인식을 부각시키고 있으며(Kim & Jeong, 2011), 무엇보다 홍수 및 가뭄 심화 등의 기후변화 현상은 가용

[#] The 1st author: Hee Kyun Oh, Tel. +82-2-3409-5174, Fax. +82-2-3409-5174, e-mail. ohheekyun@sejong.ac.kr

⁺ Corresponding author: Hee Chan Lee, Tel. +82-2-3408-3183, Fax. +82-2-3409-5174, e-mail. leeheech@sejong.ac.kr

수자원을 현저히 감소시키고 있다. 이는 지속해서 증가하는 물의 한계가치가 비계획적인 물 사용에 더 많은 기회비용을 초래할 것이라는 의미이다. 이렇듯, 기후 및 인식 변화에 효과적으로 대응할 수 있는 효율적 물 관리의 필요성이 점차 대두되고 있는데, 여기서 가장 중시되는 것이 수자원의 경제적 가치평가 결과이다 (Morrison, 2014).

수도요금 현실화율에서도 드러나듯이 물의 정책적 가격은 사회적 혜택에 비해 저평가되고 있다. 따라서 물의 실제 가치 파악을 위한 연구가 다수 시도된 바 있는데, 국내의 경우 농업용수(Kim, *et. al.*, 2003; Kwon, *et. al.*, 2009), 및 공업용수(Euh & Yoo, 2010; Kim, *et. al.*, 2009; Min, 2006), 생활용수(Koo & Yoo, 2011; Park & Park, 2007) 등의 경제적 가치가 다양한 관점에서 논의된 바 있다. 그러나 대부분의 기존 연구들은 비용에 기초한 공급분석이나 표명자료에 의한 가치평가 결과로서 부분균형분석에 따른 한계를 나타냈다. 즉 경제구조가 상호 관련된 다양한 산업 부문으로 이루어져 있는 만큼, 산업 배경이 전제된 상황에서의 자원 가치 규명이 중시되고 있다 (KEI, 2010). 따라서 미시적 수준의 수요·공급 분석의 한계점을 보완한 일반균형분석(*general equilibrium analysis: GEA*)법의 적용이 지속적으로 강조되고 있으나, 수요·공급의 변동성이 동시 반영된 수자원 연구는 미비한 실정이다.

연구방법 추세에 따라 환경-경제 모형의 활용도도 점차 증가하고 있는데, 그중 산업연관표를 이용한 물-경제 모형은 산업 부문 간 투입-산출 상호작용에 기초해 수자원의 가치를 도출한다는 강점을 지닌다. 국내 선행연구의 경우, Ryu, *et. al.*(2011)은 2003년도 산업연관표와 수자원 통계자료를 이용해 일반균형분석을 시행하였으며, 기후변화로 인한 가뭄과 물 가치 간의 관계를 규명하였다는 점에서 분명한 학술적 기여가 있

었다. 하지만 중요 결과 중 물 부족에 의한 경제적 피해가 용수 제한 수준이 40%대에 달할 때까지 농업부문에 집중되고 있음을 확인할 수 있었는데, 이는 수자원 중 80% 이상이 농업용수로 조달되고 있으며 가뭄 시나리오에서의 수자원 분배가 모든 부문의 산업용수를 통합한 상황에서 진행되었기 때문이라고 사료된다.

그러나 물 부족 상황이 농업을 비롯한 여러 산업 부문에 고른 파급력을 지닐 수 있다는 점과 특히 동일 공급량 기준 시, 공업용수의 중단이 농업용수나 서비스용 생활용수에 비해 더욱 큰 피해를 초래할 수 있다는 측면에서(Kim, *et. al.*, 2009), 전체 산업 용수가 아닌 용수별로 세분화된 시나리오의 검토가 필요하다고 판단된다. 이에 본 연구는 2014년도 최근 자료(수자원통계 및 한국은행 산업연관표¹⁾)를 이용하여 국내 산업용수 이용량과 산업연관표를 연계시킨 물 투입-산출 모형을 설정하고, 선형계획법을 활용하여 기후변화(가뭄 심화)에 따른 수자원의 잠재가격을 용수별(농업용수, 공업용수, 서비스업용수²⁾)로 추정하고자 한다. 기후변화 위기에 대비하는 합리적 수자원 관리의 중요성은 비효율적인 물 소비가 국민 복지와 공공 및 민간 수자원 사업의 활성화에 부정적 영향을 미친다는 점에서 찾을 수 있다. 또한, 국가적으로 낭비 없는 물 소비 습관 정착에 유인책이 될 정보가 시급하다는 점에서 수자원 관리 방안 수립에 기초 정보를 제공할 연구의 필요성이 더해지고 있다.

II. 이론적 검토

1. 물 가치 관련 연구

본 연구는 농업, 공업, 서비스업 부문에서 사용되는 산업용수의 잠재 가격 추정에 앞서, 기존 연구에서 이용된 분석방법과 이로부터 도출된 물의 경제적 가치를 검토하였다. 먼저, 산업용수의 가치를 추정한 최근 선행연구는 다음과 같다. Kim, *et. al.*(2002)은 농업용수

1) 국내 산업의 물 사용량과 산업연관표의 연동이 가능한 2014년 산출 자료를 의미함

2) 본 연구에서는 국내 산업 중 농업과 제조업을 제외한 산업 부문을 서비스업으로 설정하고, 이 부문에서 사용되는 산업용수를 서비스업 용수로 명명함

의 생산성과 잠재가격 분석하였으며, 투입요소인 화학비료의 대체 가능성을 입증하였다. 용수의 잠재 가격은 6.4원에서 301.8원까지의 분포를 보였으며, 투입요소에 따른 가격은 평균 생산수량 달성 수준 내에서 톤당 평균 38원 정도로 계측되었다. 하지만 자료의 제약으로 인해 농업용수와 화학비료만을 투입요소로 간주한다는 점에서 강한 가정에서 연구의 한계를 나타냈다. Kwon, *et. al.*(2009)은 시장조건, 국제무역, 정책변수의 영향을 반영한 확률제약 계획모형법의 적용을 통해 농업용수의 경제적 가치를 추정하였는데, 농업용수 부족량 감소에 따른 농업용수의 톤당 경제적 가치는 303원~1,093원/m³인 것으로 산정되었다. 동일 수준의 용량이 감소해도 공급 불안정이 경제적 가치의 손실을 가중시키며, 용수 손실이 클수록 한계피해가 커진다는 시사점을 제시하였다.

Min(2006)의 연구에서는 제조업 생산에 필요한 공업용수의 한계생산가치가 Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수에 기초해 추정되었다. 분석 모형은 산업 생산액에 대한 자본투입, 노동투입, 용수투입, 중간투입 간의 관계식으로 이루어졌으며, 산출 가치는 각각 톤당 5,769.4원과 5,794.2원으로 공업용수 평균가격에 비해 한계가치가 큰 것으로 확인되었다. Euh & Yoo(2010)의 연구에서는 공업용수 공급에 따른 소비자 잉여와 경제적 가치가 추정되었다. 산업총조사 자료를 바탕으로 용수가격과 용수공급량, 용수수요의 가격탄력성을 이용해 수요함수를 설정하였으며, 추정치(2009년 기준)는 소비자잉여가 m³당 262원~385원, 경제적 가치는 m³당 985원~1,241원이었다. Kim, *et. al.*(2009)의 연구는 Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수 접근법을 통해 공업용수의 공급편익을 산정하였으며, 전국 평균 한계 생산 가치는 각각 5,427원/m³, 5,583원/m³로 나타났는데, 이는 환경부(2005년)의 공업용수 평균 요금인 241.4원/m³와 비교 시 매우 높은 수치였다. 또한, 산업분류에 따라 11가지 산업의 한계 생산 가치를 분석한 결과, 추정 범위는 3.197(음식료업)원/m³에서 23,116(운송장비업)원/m³에 이르고 있었다. Kim, *et.*

al.(2018)의 연구 역시 생산함수 접근법에 기초해 공업용수의 한계 생산 가치를 추정하였다. 11개 산업 유형별로 Cobb-Douglas, Translog, Sector 더미변수를 포함한 Translog 생산함수를 분석한 결과, 전체 산업의 평균 가치는 각각 3,217~5,357원/ton, 2,994~4,569원/ton, 3,620~5,342원/ton으로 산출되었으며, 가구 및 기타제조 산업에서 가장 높은 수치가 나타났고, 섬유가죽 산업의 가치가 가장 낮은 것으로 확인되었다. 더불어, 공업용수의 경제적 가치 연구가 생활용수에 비해 미흡한 점을 지적하며, 학제 간 논의가 요구된다고 하였다.

가뭄 상황과 물 가격 간의 관계를 규명한 선행연구 역시 간헐적으로 수행되어왔다. 먼저, Park & Park(2007)는 특광역시 7곳과 가뭄 상습지역 32곳을 대상으로 가뭄에 따른 생활용수의 가치를 표명 응답 자료에 기초해 추정하였다. 양분선택형과 개방형 조건부가치측정법(contingent valuation method: CVM)을 이용해 추정한 결과, 가뭄상습지역이 특광역시에 비해 높은 수준의 수량 관련 민감도를 나타낸 반면, 수질 관련 민감성은 상반된 결과를 보였다. 급수 제한에 대한 시나리오는 각각 25% 및 50%로 설정되었는데, 25% 급수 제한 시 특광역시의 지불의사액은 월평균 가구당 약 2,290원, 50% 제한 시 2,811원이었고, 25%에서 50%로 변화 시 22.75%가 증가하였다. 가뭄상습지역은 25% 급수 제한 시 약 1,731원, 50% 제한 시 1,974원이었는데, 교육수준과 소득 등의 개인특성 변수가 총 지불의사액에 주요 영향을 미친 결과라 해석하였다. Park & Kim(2009)은 생활용수공급량 감소에 따른 수용자 삶의 고통 체감 수준을 계측하고, 이를 가뭄고통비용으로 환산하였다. 가뭄지역(태백시)에 거주하는 100세대가 표본으로 선정되었고, CVM을 이용해 가뭄으로 발생한 빨래, 목욕, 청소 등의 일상생활 피해액을 추정한 결과, 가구당 하루 기회비용은 약 28,721원(2009년 2월)으로 나타났다. 그러나 가뭄 악화라는 태백시의 특수 상황으로 인해, 피해 금액이 과대평가될 수 있다는 한계점 역시 내포되어 있었다.

앞선 연구의 물 가치 결과는 본 연구에서 도출될 추정치와 비교 및 논의를 위한 정보라 할 수 있다. 지금까지의 선행연구 검토 결과를 종합해보면, 물의 가치는 공간별, 시간별, 방법론별로 다양하게 나타났으나, 책정된 산업용수 요금이 물의 경제적 가치에 비해 과소평가되고 있다는 공통적 결론에 도달하고 있었다. 하지만 특정 변수만을 독립요인으로 고려한 미시적 관점의 부분균형분석이라는 점과 표명 선호 자료의 오류 가능성을 배제할 수 없다는 한계점도 존재했다. 결국, 물 가치 연구의 목적은 확정적 수치의 도출에 있기보다 지속적인 탐구와 개선에 의의가 있다고 보인다.

2. 물 가치 추정을 위한 일반균형분석

1) 환경-경제 투입산출 모형

앞서 언급된 부분균형분석의 취약점 보완을 위해, 일반균형분석법(GEA)의 적용이 권고되고 있는데, 그중에서도 레온티에프의 환경-경제 통합 투입-산출 모형은 각 산업의 상호연관관계에 기반을 둔 분석방법으로, 산업 활동과 최종소비 분야에서 발생한 자원사용량을 예측하는 데에 활용된다. 모형 구조에 의하면, 산업 부문별 총생산량은 중간수요를 충족시키는 중간재 양과 최종수요의 충족을 위한 최종재의 합으로 산정되며, 이는 아래와 같은 정방행렬 식(1), (2)의 형태를 취하게 된다³⁾. 여기서, X 는 산업별 생산량 행렬을 나타내며, A 와 D 는 투입계수 행렬, 산업별 최종수요행렬을 의미한다.

$$X = AX + D \quad (1)$$

$$X = (I - A)^{-1}D \quad (2)$$

또한, 산업연관표 내 각 부문별 물 공급계수 행렬을 \hat{W} 로 정의할 시, 생산과정에 투입되는 각 부문별 물 사

용량은 다음의 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = \hat{W} \cdot X \quad (3)$$

위 식에서 W 는 물 사용량을 의미하는 행벡터이며, 식(3)에 식(2)를 대입해 식(4)로 변환할 수 있다.

$$W = \hat{W} \cdot (I - A)^{-1}D \quad (4)$$

결론적으로, 식(4)를 활용하여 각 부문에서 요구되는 물 사용량을 산출할 수 있다.

2) 물-경제 투입산출 모형

Water Input-Output Linear Programming(WIOLP)은 수자원 이용량과 투입산출표에 선형계획을 적용한 방법으로, 산업 활동에 사용된 수자원의 가치를 규명하는 데에 유용한 도구이다 (Bouhia, 1998). WIOLP에서는 산업 구조에서 도출된 총 GDP를 종속변수로 하는 목적함수가 설정되는데, 이를 통해 GDP에 기여하는 수자원의 역할과 잠재가격이 파악되며, 물 부족 상황에 따른 GDP의 변화분도 산출될 수 있다. 구체적으로, 산업연관표 내 각 부문의 상호관련성과 물 사용량을 반영하는 제약식이 선형 계획으로 정형화됨에 따라, 설정된 제약 상황에서 GDP가 최대화되는 최적산출량이 계산된다. 이때 잠재가격⁴⁾은 이용 가능한 수자원의 한 단위 감소가 GDP를 변화시키는 구조로부터 도출되며, 수자원 부족 시나리오를 검사하는 측도로도 사용될 수 있다. 또한, 가물에 영향을 받는 산업 부문 역시 규명될 수 있는데, 이는 물 부족 수준에 따른 각 부문별 수자원 배분율이 최적해를 도출하는 과정에서 변화되기 때문이다.

금액 단위의 산업연관표를 이용한 물의 경제적 가치 연구는 Isard & Romanoff(1967)의 시도를 최초로

3) Leontief 모형의 기본 방정식은 $X_i = X_{ij} + D_i$ 이며, 여기서 X_i 는 i 산업 총생산, X_{ij} 는 j 산업 생산에 투입된 i 산업의 중간수요, D_i 는 i 산업의 최종수요임; 투입산출표 내 산업간 연관성은 투입산출계수($A_{ij} = X_{ij}/X_j$)에 의해 설명되며, 이는 산업 j 의 1단위 제품 생산에 투입되는 산업 i 의 제품량을 의미함

4) 잠재가격(shadow price): 제약 조건식의 우변상수가 1단위 증가함에 따라 변화하는 목적함수의 값 (단, 다른 모든 계수는 일정하다고 가정함)

Henry & Bowen(1981), Bouhia(1998) 등에 의해 선형 계획 적용법으로 발전되었다. 국내의 경우, 일반균형분석법을 적용한 수자원 연구는 Ryu, *et. al.*(2011)에 의해 수행되었는데, 2003년도 산업연관표와 수자원 통계 자료를 기초로 WIOLP가 시행되었으며 가뭄 상황에 따른 경제적 피해 금액이 추정되었다.

주요 결과에 따르면, 용수 제약에 따른 물의 잠재가격은 2,462원(10%~40% 감소)에서 76,902(80% 감소)원까지의 범위에서 산정되었고, 40%대까지의 물 부족 상황은 주로 농업에 타격을 미치고 있었다. 분석 과정을 고찰한 결과, 가뭄 피해가 농업부문에 치중된 이유는 선형계획법에서의 용수 분배가 전체 산업용수를 통합한 상황에서 수행되었으며, 수자원 중 80% 이상이 농업용수로 투입된다는 점에 기인했다고 판단된다. 이점과 관련하여, 본 연구는 가뭄 시나리오의 현실성을 높이고, 보다 구체적인 정책적 정보를 도출할 필요가 있다고 판단하였다. 따라서 WIOLP의 구조 확장을 통해, 용수 배분 구조를 전체산업에서 산업 부문별로 조절하고, 산업용수의 가뭄 피해 수준을 세분화하고자 한다.

III. 연구방법

1. 연구과제 설정

본 연구는 국내 산업활동의 투입-산출 관계에 물 순환 구조를 반영하고, 선형계획법을 이용해 부문별 산업용수의 잠재가격을 추정한 뒤, 용수별(농업용수, 공업용수, 서비스업용수)로 가뭄 심화에 따른 잠재가격의 변화를 규명하고자 한다. 물 투입-산출 선형계획 모형(WIOLP)은 산업 부문 간 상호작용과 시장균형이 전제된 거시적 관점의 모델링으로서, 총산출을 최대화하는 최적해가 부문별 물 사용량과 생산량 제약 속에서 계산될 수 있다. 즉 물 공급제약에 따른 경제구조 내 효과가 평가될 수 있고, 추가 수자원의 가치가 검증될 수 있다는 강점이 있으므로 연구 목적에 부합하는 방법론이라 판단하였다. 연구 과제의 수행을 위해 수자원 관련 공식 자료를 수집하여 물 투입산출표를 도출한 뒤, 이를

토대로 투입계수를 산출할 것이다. 또한, 계수행렬에 기초하여 선형계획모형을 정형화하고, 산업용수별 잠재가격과 가뭄 시나리오에 따른 가치 변화를 분석할 것이다.

2. 자료구축

1) 기준 년도 설정

본 연구는 WIOLP 모형 추정 시 요구되는 물 투입산출표의 작성을 위해, 수자원 관련 통계 자료와 한국은행 산업연관표를 검토하였다. 그 결과, 현재(2018년)까지 공식적으로 발표된 산업연관표가 2014년도 자료임에 따라, 2014년도를 분석 기준 연도로 설정하고 국내 산업용수 이용량 자료와 투입산출표를 결합하였다. 자료 추출에 관한 세부 사항(자료명 및 수집연도, 출처, 도출 방법 등)은 다음 내용에 기술하였다.

2) 자료 수집

물 잠재가격의 산정을 위해서는 물 투입 계수 산출을 위한 자료구축이 선행되어야 한다. 각 산업 부문에서 소비된 농업용수 및 공업용수, 서비스업 용도의 생활용수 사용량을 탐색한 결과, 2006년 수자원장기종합계획 자료에 제공된 2003년도 국내 수자원이용총량에는 수자원이용현황 및 공업용수 사용량이 업종별로 공시되었으나, 이후 계획서에는 업종별 정보가 별도로 제공되지 않았다. 또한, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS, 2018)에는 직접 수집된 2014년도 공업용수량 자료가 열람 가능하나, 계획입지공단 이용량만이 업종별로 분류되어 있고 자유입지공단의 사용량은 총량만 제시되어 있어 연구 목적에 부합되지 않았다. 따라서 본 연구는 활용 가능한 용수량 수집 정보와 더불어 개별적으로 추계한 산업용수량을 분석에 적용하였다.

먼저, 농업용수의 경우 제4차 수자원장기종합계획(MOLIT, 2016)에 공표된 자료가 이용되었으며, 이는 논용수에 밭용수 및 축산용수를 합한 수량으로 집계되었다. 또한, 공업용수의 경우 추가 자료의 탐색이 불가피하였는데, 산업폐수의 발생과 처리(ME, 2016)에 공

Table 1. Industry classification and water consumption

Categories			Estimated Water Usage
Agricultural Sector			15200.00
Industrial Sector	Food & Beverage	Food products	105.55
		Beverages	100.92
	Textiles & Leather	Textiles	132.92
		Wearing apparel	5.51
		Leather	0.02
	Wood & Paper	Wood	1.69
		Pulp, Paper	155.66
		Printing	1.03
	Petroleum Chemistry	Coke, briquettes	97.03
		Chemicals	316.25
		Pharmaceuticals	7.47
		Rubber and plastic	17.87
	Non-metals	Non-metallic products	217.81
	Basic Metals	Basic metals	667.04
	Machinery	Fabricated metal	44.91
		Other machinery	88.21
	Electronics	Electronic components	328.52
		Medical	32.35
		Electrical equipment	5.66
	Transportation	Motor vehicle	59.45
Other transport		29.65	
Other Manufacturing	Furniture	18.40	
	Other Manufacturing	11.45	
Service Sector			2758.80
Total			20404.16

* Notes:

1) Unit: million m³

※Source: Calculated based on data from the 4th Water Vision(MOLIT, 2016), Statistics of Waterworks(ME, 2014), Industrial Wastewater Treatment(ME, 2016), and Kim, *et. al.*(2017)

표된 업종별 공업용수 일일 사용량 자료와 Kim, *et. al.*(2017)의 연구에서 제시된 업종별 연간 조업일수 자료가 적용 가능하다고 판단하여, 이를 토대로 산정 가능한 공업용수를 도출하였다⁵⁾. 하지만 ‘산업폐수의 발생과 처리’의 공업용수 분류 방법은 한국표준산업분류 체계와 온전히 일치되지 않았기 때문에, 의료, 정밀, 광학기기 및 시계, 운송장비 부분의 사용량에 대해서는 개선된 부지면적 원단위(Kim, *et. al.*, 2017)와 부지면

적 자료(KOSTAT, 2018)를 적용하였다.

더불어, 서비스업 부분의 사용량은 선행연구 Ryu, *et. al.*(2011) 방식에 따라, 수자원장기종합계획(MOLIT, 2016)과 상수도통계(ME, 2014) 자료에 기초해 생활용수 중 가정용수 63.7%의 사용량을 제외한 업무용, 영업용, 욕탕1종, 욕탕2종, 전용공업용(전용공업용수시설이 아닌 생활용수로 공업용수), 기타용수의 합으로 산출하였다. <Table 1>은 농업용수와 서비스업용수 사용량을 비

5) 공업용수 사용량 예측 시 부지면적당 공업용수 원단위를 업종별로 적용하는 것이 일반적이나, 이러한 원단위는 2006년에 도출된 MOLIT(2007)의 연구 결과에 기준하므로, 산업 동향이 변화된 현시점에서 과거 공업용수 원단위를 별도의 고찰 없이 그대로 적용하는 것을 최대한 지양하였음

롯데 한국표준산업분류(KSIC)에 기초한 공업용수의 업종별 사용량을 나타내고 있으며, 공업용수 부문의 중 분류 통합과정(WAMIS, 2018)을 보여주고 있다.

3) 물 투입산출표 작성

물 투입산출표의 작성을 위해 산업용수 이용 부문과 한국은행 2014년 산업연관표의 병합을 진행하였다. <Table 2>는 앞서 설정한 산업 부문에 맞추어 산업연관

표 내 대분류를 재정의한 결과이다. 산업연관표 내 음식료품, 섬유 및 가죽제품, 목재 및 종이, 인쇄, 비금속 광물제품, 1차 금속제품, 운송장비, 기타 제조업 제품 및 임가공 부문의 생산량은 독립적으로 측정됨에 따라 단일 부문으로 설정 가능하였으며, 농림수산물과 광산 품은 농업용수 이용 업종(농업)으로 통합하였다. 또한, 석탄 및 석유제품, 화학제품은 석유화학 업종으로 금속 제품과 기계 및 장비 부문을 합쳐 기계 부문으로, 전기

Table 2. Integration of water use sector and inter-industry relations table

Input-Output table 30x30		Classification in this study		
Code	Major aggregated classification	Num.	Type	Water
001	Agriculture, forestry and fishery	1	Agriculture	15,200
002	Mining			
003	Beverages and foods	2	Food & Beverage	206
004	Textile and leather products	3	Textiles & Leather	138
005	Wood, Paper and printing	4	Wood & Paper	158
006	Petroleum and coal products	5	Petroleum Chemistry	439
007	Chemical products			
008	Non-metallic mineral products	6	Non-metals	218
009	Basic metals	7	Basic Metals	667
010	Metal products	8	Machinery	133
011	Machinery and equipment			
012	Electrical components	9	Electronics	367
013	Precision instrument			
014	Transportation equipment	10	Transportation	89
015	Miscellaneous manufacturing products	11	Other Manufacturing	30
016	Electricity, gas and heat supply	12	Services	2,759
017	Water supply and waste disposal			
018	Construction			
019	Wholesale and retail trade			
020	Transport and postal services			
021	Restaurants and hotels			
022	Information and communication			
023	Finance and insurance			
024	Real estate and business services			
025	Professional science and technology services			
026	Business services			
027	Public administration			
028	Education and research			
029	Medical, health care and welfare			
030	Miscellaneous social, and personal services			

* Notes:

1) Unit: million m³

※ Source: (2014) Input-output tables of Korea, 2016

Table 3. Input coefficient matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.0490	0.2809	0.0003	0.0107	0.0019	0.0566	0.0016	0.0003	0.0001	0.0000	0.0014
2	0.1528	0.1202	0.0013	0.0017	0.0026	0.0007	0.0003	0.0005	0.0003	0.0003	0.0022
3	0.0063	0.0013	0.1927	0.0099	0.0046	0.0033	0.0012	0.0023	0.0019	0.0045	0.0426
4	0.0075	0.0188	0.0062	0.2161	0.0050	0.0106	0.0018	0.0049	0.0038	0.0026	0.0239
5	0.0965	0.0358	0.0784	0.0713	0.2405	0.0851	0.0426	0.0521	0.0455	0.0621	0.0756
6	0.0002	0.0055	0.0002	0.0030	0.0021	0.1134	0.0065	0.0019	0.0144	0.0033	0.0045
7	0.0006	0.0001	0.0004	0.0013	0.0057	0.0257	0.4367	0.1438	0.0297	0.0506	0.0425
8	0.0051	0.0175	0.0080	0.0069	0.0222	0.0294	0.0124	0.1977	0.0285	0.0834	0.0427
9	0.0022	0.0009	0.0010	0.0023	0.0034	0.0059	0.0031	0.0419	0.2267	0.0339	0.0190
10	0.0061	0.0007	0.0005	0.0023	0.0012	0.0095	0.0005	0.0057	0.0004	0.2546	0.0021
11	0.0011	0.0174	0.0726	0.0244	0.0089	0.0183	0.0100	0.0287	0.0141	0.0449	0.1105
12	0.0781	0.1886	0.1575	0.2069	0.1315	0.2317	0.1048	0.1402	0.0981	0.1039	0.1547
a	0.5862	0.3032	0.4808	0.4472	0.5706	0.4089	0.3820	0.3852	0.5372	0.3564	0.4751
b	0.2474	0.0019	0.0019	0.0040	0.0011	0.0057	0.0032	0.0006	0.0009	0.0004	0.0005

* Notes:

1) 1: Agriculture, 2: Food & Beverage, 3:Textiles & Leather, 4: Wood & Paper, 5: Petroleum Chemistry, 6: Non-metals, 7: Basic Metals, 8: Machinery, 9: Electronics, 10: Transportation, 11: Other Manufacturing, 12: Services

2) a: Value added inducement coefficients

3) b: Water input coefficients

및 전자기기와 정밀기기를 전기전자 부문으로 통합하였다. 더불어, 산업연관표의 대분류 코드 016에서 030에 해당하는 전력, 가스 및 증기, 수도, 폐기물 및 재활용서비스, 건설, 도소매서비스, 음식점 및 숙박서비스, 정보통신 및 방송 서비스, 금융 및 보험 서비스, 교육서비스, 보건 및 사회복지서비스, 문화 및 기타 서비스 등은 서비스업 부문으로 통합되었다.

위와 같이 재분류된 산업 부문에 기초하여 업종별 용수 사용량을 추가한 물 투입산출표를 작성하였으며, 산업용수의 잠재적 가치 산출을 위해 수자원 사용량을 물량단위로 추가하였다. 산업 간 상호연관성은 투입산출표를 통해 규명될 수 있으며, 이는 투입산출계수를 통해 구체화된다. 12개 부문의 투입계수⁶⁾와 부가가치 계수, 물 투입계수⁷⁾를 도출하고, 물 투입산출표의 투입계수행렬을 작성한 결과는 <Table 3>과 같다.

IV. 추정 결과

1. 선형계획 모형의 정형화

본 연구는 각 부문별 산업용수의 잠재가격과 가문에 따른 잠재가격 변화를 분석하기 위해, 투입계수행렬 방식 체계에 따라 선형계획모형을 설정하였다. 이는 <Table 4>에 제시된 것과 같이 정형화되었다. 선형계획 모형의 Z 는 목적함수를 가리키며, X 는 각 업종의 총산출을 나타내는 결정변수이고, V 는 결정변수에 기여하는 각 부문 산출 1단위당 부가가치계수이다. a 는 i 산업 제약 조건 내에서 j 산업 결정변수에 기여하는 투입계수이며, b 는 각 산업부문의 제한된 산출량을 의미한다. 또한, w 는 각 부문의 산출 1단위당 물 투입계수이고, k 는 제한된 수자원량을 뜻한다.

결국, 목적함수 값을 극대화하는 과정에서는 산업 부문 및 수자원 부문의 제약이 충족되어야 한다. 산업별 산출량은 중간수요에서 유발된 투입계수의 크기에 따

6) 투입계수는 $a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$ 에 의해 산출되며, 산업 j 의 제품 1단위 생산에 투입되는 산업 i 의 제품량을 의미함

7) 물 투입계수는 산업 부문의 한 단위 산출에 대한 물 공급 부문의 투입량을 나타냄 (m³/원)

Table 4. Linear programming optimizing model

$Max. Z = \sum_{j=1}^{12} V_j X_j$ <p>subject to</p> $\sum_{j=1}^{12} a_{ij} X_j \leq b_i$ $\sum_{j=1}^{12} a_{ij} X_j \geq 0$ $X_j > 0$ <p>and</p> $w_1 X_1 \leq k_1$ $\sum_{j=2}^{11} w_j X_j \leq \sum_{j=2}^{11} k_j$ $w_{12} X_{12} \leq k_{12}$ $i, j = 1, 2, \dots, 12$	<p>Z: Objective function X_j: Decision variables(Outputs of each sector) V_j: Value added inducement coefficients a_{ij}: Input coefficient b_i: Amount of limited outputs w_j: Water input coefficients of each sector k_j: Amount of limited water resources</p>
--	---

라 결정되며, 산출량의 상한액은 해당 산업이 생산 가능한 산출량과 같거나 작고, 하한액은 생산 활동이 불가능한 수준을 의미하므로 산출량은 비음수이다. 더불어, 각 산업 부문(농업, 공업, 서비스업)에는 경제의 균형에 요구되는 가용 수자원량이 존재하는데, 이를 초과할 수 없다는 수자원 사용량 제약식이 설정된다. 이와 같은 제약 조건하에서 목적함수의 최적 산출량과 용수별 잠재가격, 자원 이용량의 제약에 따른 변화분이 산정되게 된다. 본 분석에서는 최적해 계산을 위해 Excel2011이 이용되었다.

2. 잠재가격 추정 결과

물 투입-산출 선형계획법에 의해 도출된 각 산업용수(농업용수, 공업용수, 서비스업용수)의 잠재가격과 물 부족 시나리오 분석 결과는 <Table 5>에 나타난 것과 같다. 주요 결과에 따르면, 2014년 경제를 균형으로 이끈 농업용수, 공업용수, 서비스업용수의 잠재가격은 각각 864원/m³, 27,545원/m³, 275,449원/m³이었다. 여기서의 잠재가격은 다른 변수의 계수가 일정하게 고정된 상황에서 제약된 수자원이 1단위 증가할 시 변화하는 목적함수 값을 의미하며, 물 투입량의 감소분 대비 국내총생산 감소분의 비율을 통해 도출된다. 모든

Table 5. Estimating the shadow prices

Water Usage	Water supply	Shadow Prices			GDP
		Agriculture	Industry	Service	
100%	20,404	846	27,545	275,449	1,920,704
90%	18,364	1,518	61,721	294,923	1,829,225
80%	16,323	1,594	85,475	299,486	1,723,958
70%	14,283	1,594	85,475	299,486	1,618,010
60%	12,242	1,638	99,930	302,364	1,508,995
50%	10,202	2,352	523,755	373,367	1,314,479
40%	8,162	2,352	523,755	373,367	1,079,823
30%	6,121	2,352	526,258	373,566	844,864
20%	4,081	2,353	541,427	374,502	605,672
10%	2,040	2,369	997,092	381,192	354,598

* Notes:

- 1) Unit of water usage: %
- 2) Unit of water supply: million tons
- 3) Unit of water shadow prices: won
- 4) Unit of GDP: 1 billion won

Table 6. Changes in GDP due to water supply constraints

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100%	36,008	32,888	35,979	17,839	237,544	15,550	80,696	83,613	209,365	89,273	30,024	1,051,925
90%	32,407	36,658	38,221	3,551	263,004	0	80,292	88,653	216,173	91,484	32,050	946,732
80%	28,806	37,998	39,970	0	287,202		44,367	94,121	223,087	93,183	33,685	841,540
70%	25,205	39,265	41,643		311,160		4,774	99,822	230,015	94,861	34,917	736,347
60%	21,605	16,680	0		339,185		0	101,899	234,571	96,486	67,414	631,155
50%	18,004	0			241,518			115,319	239,906	98,301	75,469	525,962
40%	14,403				85,260			131,466	245,341	100,178	82,405	420,770
30%	10,802				0			7,367	282,032	104,493	124,593	315,577
20%	7,202							0	135,971	106,465	145,651	210,385
10%	3,601								0	52,036	193,769	105,192

* Notes:

- 1) 1: Agriculture, 2: Food & Beverage, 3: Textiles & Leather, 4: Wood & Paper, 5: Petroleum Chemistry, 6: Non-metals, 7: Basic Metals, 8: Machinery, 9: Electronics, 10: Transportation, 11: Other Manufacturing, 12: Services
- 2) Unit of GDP: 1 billion won

산업용수의 잠재가격이 양수값으로 나타났다는 것은 제한 수자원 상수가 1단위 완화될 시 목적함수 값이 잠재가격만큼 증가함을 뜻한다. 이와 같은 결과는 농업 및 공업, 서비스업 부문에 미사용 수자원이 존재하지 않으며, 산업용수의 1단위 추가 이용이 생산성을 향상시킬 수 있다는 의미이다⁸⁾.

한편, 전체 물 공급량 중 10%가 제약될 경우, 농업용수의 잠재가격은 1,518원/m³, 공업용수는 61,721원/m³ 서비스업은 294,923원/m³로 상승하여, 90% 제약 시의 2,369원/m³, 997,092원/m³, 381,192원/m³까지 증가하였다. 주목할 점은 공업용수의 공급량이 절반 수준으로 감소될 시 잠재가격이 급등한다는 것(99,930원/m³→523,755원/m³)인데, 이는 공업생산력이 50% 제약 수준에서 한계 지점에 도달함을 보여준다. 이러한 결과는 공업용수 제약에 따른 피해 강도가 농업용수나 생활용수에 비해 더욱 클 수 있다는 Kim, *et. al.*(2009) 주장과 맥을 함께 하고 있다.

3. 물 부족 시나리오 분석 결과

물 부족 상황에 따른 각 업종 생산량의 변화분은 <Table 6>과 같다. 주요 결과를 정리하면, 농업부문과 서비스업부문의 경우 산출량의 최적화를 위해 경쟁해

야 하는 업종이 없는 상황이므로 총산출량이 선형적으로 감소하는 결과를 나타냈다. 반면, 공업용수는 10% 제약 시 비금속소재 업종, 20% 제약 시 목재종이 업종, 40% 제약 시 섬유외복 업종 및 제1차금속 업종, 50% 제약 시 음식료 업종, 70% 제약 시 석유화학 업종, 80% 제약 시 기계 업종, 90% 제약 시 전기전자 업종이 타격을 입는 것으로 확인되었다. 물 공급량이 제약 수준이 높아질수록 총생산량에 타격을 받는 업종이 증가하였는데, 이는 선형구조 내 효율적인 물 배분이란 목표하에서 계획된 결과이다. 따라서 상대적으로 높은 물 투입계수와 낮은 국내총생산 공헌도를 지닌 업종이 우선적으로 자원 제약에 영향을 받는 것이다. 물 투입량에 비해 GDP 수준이 낮은 비금속소재, 목재종이 부문의 피해 가장 먼저 나타났으며, 투입량에 비해 높은 GDP를 산출하는 전기전자, 운송장비 부문의 피해가 가장 적은 것으로 드러났다. 이러한 결과는 수자원 이용에 대한 각 산업 부문의 중요도와 가뭄 여파를 가늠하게 하는 정책적 정보를 포함한다고 여겨진다.

V. 결론 및 논의

본 연구는 국내 산업용수 이용량과 산업연관표를 연

8) 잠재가격 '0'은 미사용 수자원이 존재한다는 의미로, 이때의 1단위 추가 이용은 미사용 자원의 소모를 의미할 뿐 생산량 증가에 영향을 미치지 않음

계하여 물 투입-산출 모형을 설정하고, 선형계획법을 이용해 산업용수의 잠재가격을 부문(농업, 공업, 서비스업)별로 추정함으로써, 기후변화 대비 수자원 관리의 효율성을 도모할 기초 자료를 확보하고자 하였다. 물 이용량과 산업연관표 간의 연계성을 위해 2014년도 자료를 적용하였으며, 산업용수 이용 업종 분류 체계에 맞추어 산업연관표의 30개 대분류를 12개 산업 부문으로 재정의하였다. 각 산업 부문별 물 투입 계수를 포함한 물 투입산출표를 설정한 뒤, 가용 수자원량과 업종 간 생산관계의 제약 속에서 각 용수의 잠재가격과 물 부족 시나리오에 따른 부문별 잠재가격 변화를 추정하였다. 주요 결과에 따르면, 농업용수, 공업용수, 서비스업용수의 잠재가격은 각각 864원/m³, 27,545원/m³, 275,449원/m³로 나타났다. 가뭄 시나리오에 따른 잠재가격 범위(10% 제약~90% 제약)는 농업용수가 1,518원/m³~2,369원/m³, 공업용수가 61,721원/m³~997,092원/m³, 서비스업용수가 294,923원/m³~381,192원/m³이었으며, 특히 50% 제약 수준에서 공업부문의 피해 수준이 급격히 야기된다는 점을 확인하였다.

이러한 결과는 선행연구(Euh & Yoo, 2010; Kim, *et. al.*, 2002; Kwon, *et. al.*, 2009; Min, 2006) 제시한 각 부문 용수의 금액과는 물가상승률을 고려해도 현저한 차이를 나타냈다. 그러나 물 가치 추정치가 시·공간적 특성뿐 아니라 분석모형 내 대리 지표 성격에 좌우됨을 고려한다면, 이러한 차이는 결국 물의 가치가 어떠한 종속변수에 의해 결정되는가에 기인함을 알 수 있다. 본 연구는 수도요금이나 비용이 현실화를 비교를 위한 자료일 뿐, 잠재적 가치의 규명을 위한 종속변수로 불충분하다고 판단하였고, 특정 독립변수만이 적용된 미시적 관점의 분석을 지양하였다. 따라서 일반균형 분석의 적용을 통해 부분균형분석의 취약점을 보완하고자 했으며, 분석 모형의 성과변수로서 GDP가 설정되었다는 점에서 차이 발생의 원인을 찾아볼 수 있다.

한편, 2003년 산업연관표를 이용해 물 투입-산출 모형을 분석한 Ryu, *et. al.*(2011)의 연구 결과에서는 용수 제약에 따른 물의 잠재가격이 2,462원/m³(10%~40%

감소)에서 76,902원/m³(80% 감소)까지의 범위에서 산정되었는데, 40%대까지의 물 부족 상황은 주로 농업에 영향을 미친다고 하였다. 산업 전체의 물 잠재가격으로 산출된 결과와 직접 비교는 어려우나, 농업부문에 피해가 치중되었다는 점은 본 연구 결과와 맥락을 달리했다. 동 연구에서 가뭄 피해가 농업부문에 집중된 이유는 수자원 중 80% 이상을 농업용수가 차지하고 있으며, 용수 부족 시나리오에서의 분배가 모든 용수를 통합한 상황에서 진행되었기 때문이라고 고찰한 바 있다. 하지만 공업용수 제약이 서비스용 생활용수나 농업용수의 피해 수준과 비교 시 더욱 크다는 주장(Kim, *et. al.*, 2009)과 공업부문이 낮은 물 투입계수와 높은 국내총생산 공헌도를 지녔다는 점에서 선형계획 구조상 공업부문의 피해 수준이 크게 나타난 본 연구의 결과도 합당하다고 사료된다.

본 연구는 다음과 같은 시사점을 지닌다. 먼저, 미시적 수준의 수요·생산 함수의 적용을 넘어 경제구조 내 다양한 산업 부문 간의 상호성을 반영하고, 거시적 차원에서 수자원 가치를 추정했다는 점과 이를 개선된 물 투입-산출 선형계획법에 의해 도출했다는 점에서 학술적 의의를 지닌다. 또한, 모든 산업용수의 잠재가격이 양수값으로 도출되었다는 점은 생산량 증가를 위한 추가 수자원 이용이 생산량 증가를 유발할 수 있다는 의미이므로, 현시점에서 가용 수자원 확보를 위한 기술 개발 노력이 일부 타당성을 지닌다는 정책적 시사점도 나타났다. 더불어, 기존 연구에서도 공통적으로 보고되었던, 수도요금 703.4원/m³(통계청, 2016)는 물의 가치를 온전히 반영하지 못하기 때문에 수자원의 경제적 가치 연구가 신중하게 지속적으로 수행되어야 함을 시사하고 있다. 한편, 분석 과정 시 각 정부 부처에서 제공하는 수자원 자료는 측정 단위를 비롯해 업종 분류 방식, 추계 방법에 따른 추정량 등이 상이하였는데, 이는 합리적인 수자원 관리 정책을 위해 시정·보완되어야 할 사항임을 암시한다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 산업연관표의 업종 분류와 수자원 분류 기준의 불일치로 인하여

서비스업 부문의 세분화된 분석을 시행하지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 산업연관표 내 서비스 업종에 관한 수자원 추계 방식을 고안해주길 기대해본다. 둘째, 본 연구 역시 추정 용수량을 바탕으로 물 잠재가격을 분석하였는데, 이러한 한계점은 불가피한 사항이었다. 그러므로 후속 연구에서는 더욱 정교한 수자원량 자료의 확보를 위해 추정방법을 보완 및 개선해주길 바란다. 셋째, 제조업종 간 연계성이 반영된 본 연구의 선형계획모형에서는 공업용수의 업종별 잠재가격이 산출되지 않았는데, 이는 물 부족 상황에 따른 업종별 잠재가격의 선형적 감소분을 독립적으로 해석함에 무리가 있다고 판단하였기 때문이다. 하지만 향후 공업용수의 업종별 잠재가격을 추정할 수 있는 선형계획법의 개발과 이에 따른 연구 결과는 의미를 지닐 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05).

References

- Bouhia, H. 1998. Water in the Economy: Integrating Water Resources into National Economic Planning. Ph.D. Dissertation. Harvard University.
- Dwyer, L., P. Forsyth, and W. Dwyer. 2010. *Tourism Economics and Policy*. Channel View Publications.
- Euh, Seung Seob and Seung Hoon Yoo. 2010. The Consumer Surplus and Economic Value of Industrial Water in Korea. *The Korea Spatial Planning Review*. 65: 151-162.
- Henry, M. S. and E. Bowen. 1981. A Method for Estimating the Value of Water among Sectors of Regional Economy. *Southern Journal of Agriculture Economics*. 13(2): 125-132.
- Isard, W. and E. Romanoff. 1967. *Water Utilization: Input-output Coefficients*. Regional Science Research Institute. Cambridge Office.
- KEI. 2010. *Development of Environmental Economy Model(II)*. Korea Environment Institute.
- Kim, Gil Ho, Choong Sung Yi, Sang Won Lee, and Myung Pil Shim. 2009. Estimation of Industrial Water Supply Benefits Using Production Function Approach. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*. 29(2B): 173-179.
- Kim, Gil Ho, Deok Hwan Kim, Kyung Tak Kim, and Hung Soo Kim. 2018. Study on Economic Value and Variance on Water Wupply in Industrial Complexes. *Journal of Wetlands Research*. 20(2): 190-199.
- Kim, Ki Bum, Young Jun Yu, Woo Jin Choi, and Ja Yong Koo. 2017. Investigation and Analysis of Unit Industrial Water Usage Considering Latest Industrial Trend. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*. 31(5): 447-457.
- Kim, Won Hee, Oh Sang Kwon, and Don Hwan An. 2003. Estimating the Shadow Price of Agricultural Water Resources. *The Korean Journal of Agricultural Economics*. 44(2): 153-170.
- Kim, Yeon Ju and Eun Seong Jeong. 2011. *Water Resources: Their Current State and Assessment*. Korea Environment Institute.
- KOSTAT. 2018. www.kostat.go.kr
- Ku, Se Ju and Seung Hoon Yoo. 2011. Economic Valuation of the Municipal Water: Residential and Non-residential Uses. *Journal of Korea Water Resources Association*. 43(11): 957-965.
- Kwon, Oh Sang, Tae Ho Lee, and Jeong Hoi Heo. 2009. Valuation of Irrigation Water: A Chance-constrained Programming Approach. *Journal of Korea Water Resources Association*. 42(4): 281-295.
- ME. 2014. *Statistics of Waterworks*. Ministry of Environment.
- ME. 2016. *Industrial Wastewater Treatment*. Ministry of Environment.
- Min, Dong Ki. 2006. Estimating the Contribution of Industrial Water on Output and Price Elasticities in Manufacture. *Environmental and Resource Economics Review*. 15(5): 961-974.
- MOLIT. 2007. *Investigation of Unit Industrial Water Usage*. Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- MOLIT. 2016. *4th Water Vision*. Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

- Morrison, B. G. 2014. *The Economic Importance of Water*. Water Journal Aug. 2014.
- Park, Doo Ho and Yoon Shin Park. 2007. Willingness to Pay for Residential Water on Drought Conditions. *Journal of Korea Water Resources Association*. 40(11): 861-867.
- Park, Doo Ho. 2009. Reasons to Understand the Value of Water. *Water for Future*. 42(10): 23-29.
- Park, Sang Doeg and Man Jae Kim. 2009. Drought Disaster Natures and Disaster Management Plan. *Journal of Korea Water Resources Association*. 42(6): 12-20.
- Ryu, Mun Hyun, Seok Won Jang, and Doo Ho Park. 2011. Climate Change and Drought: Study on Shadow Price and Damage: Cost of Water under Drought. *Journal of Wetlands Research*. 13(2): 209-218.
- WAMIS. 2018. www.wamis.go.kr
- Korean References Translated from the English*
- 구세주, 유승훈. 2011. 전국 생활용수의 경제적 가치 평가: 가정용수 대 비가정용수. *한국수자원학회논문집*. 43(11): 957-965.
- 국가수자원관리종합정보시스템. 2018. www.wamis.go.kr.
- 국토교통부. 2007. *공업용수 이용량 조사 보고서*.
- 국토교통부. 2016. *제4차 수자원장기종합계획*.
- 권오상, 이태호, 허정희. 2009. 확률제약 계획모형법을 이용한 농업용수의 경제적 가치 평가. *한국수자원학회논문집*. 42(4): 281-295.
- 김기범, 유영준, 최우진, 구자용. 2017. 최신 산업동향을 고려한 공업단지 사용량 원단위 분석 연구. *상하수도학회지*. 31(5): 447-457.
- 김길호, 김덕환, 김경탁, 김형수. 2018. 산업단지 내 공업용수 공급의 경제적 가치 및 한계생산가치 변동성에 관한 연구. *한국습지학회지*. 20(2): 190-199.
- 김길호, 이충성, 이상원, 심명필. 2009. 생산합수 접근법에 의한 공업용수 공급편의 산정 방안. *대한토목학회논문집 B*. 29(2B): 173-179.
- 김연주, 정은성. 2011. 수자원 현황 및 영향요인: 기후변화를 중심으로. *한국환경정책·평가연구원*.
- 김원희, 권오상, 안동환. 2003. 농업용수의 잠재가격 분석. *농업경제연구*. 44(2): 153-170.
- 류문현, 장석원, 박두호. 2011. 기후변화와 가뭄: 가뭄시 물의 잠재가격 및 피해 추정연구. *한국습지학회지*. 13(2): 209-218.
- 민동기. 2006. 제조업 생산에 대한 공업용수의 한계생산가치와 가격탄력성 연구. *자원·환경경제연구*. 15(5): 961-974.
- 박두호, 박윤신. 2007. 가뭄시 가정용수에 대한 소비자 지불의사. *한국수자원학회논문집*. 40(11): 861-867.
- 박두호. 2009. 물의 가치를 알아야 하는 이유. *물과 미래: 한국수자원학회지*. 42(10): 23-29.
- 박상덕, 김만재. 2009. 강원남부 가뭄재해 특성과 재해관리방안. *한국수자원학회논문집*. 42(6): 12-20.
- 브라이언 모리슨. 2014. 물의 경제적 중요성. *워터저널* 2014년 8월호.
- 어승섭, 유승훈. 2010. 공업용수의 소비자 잉여와 경제적 가치 추정. *국토연구*. 65: 151-162.
- 통계청. 2018. www.kostat.go.kr
- 한국환경정책·평가연구원. 2010. *환경경제 모형 개발(Ⅱ)*.
- 환경부. 2014. *상수도 통계*.
- 환경부. 2016. *산업폐수의 발생과 처리*.

Received: Oct. 31, 2018 / Revised: Nov. 30, 2018 / Accepted: Dec. 12, 2018

산업 용수의 잠재가격 및 물 부족 시나리오 분석

– 물 투입-산출 선형계획법의 적용 –

국문초록 본 연구는 국내 산업용수 이용량과 산업연관표를 연계하여 물 투입-산출 모형을 설정하고, 선형계획법을 이용해 산업 부문(농업, 공업, 서비스업)별 수자원의 잠재가격을 추정하였다. 물 이용량과 산업연관표 간의 통합을 위해 연동이 가능한 2014년 최근 자료(수자원통계 및 한국은행 산업연관표)를 적용하였으며, 산업용수 이용 업종 분류 체계에 맞추어 산업연관표의 30개 대분류를 12개 산업 부문으로 재정의하였다. 각 부문별 물 투입 계수를 포함한 물 투입산출표를 설정한 뒤, 가용 수자원량과 업종 간 생산관계의 제약 속에서 각 용수의 잠재가격과 물 부족 시나리오에 따른 부문별 잠재가격 변화를 추정하였다. 주요 결과는 다음과 같다. 농업용수, 공업용수, 서비스업용수의 잠재가격은 각각 864원/m³, 27,545원/m³, 275,449원/m³로 나타났으며, 물 부족 시나리오에 따른 잠재가격 변화 범위(10% 제약~90% 제약)는 농업용수가 1,518원/m³ ~ 2,369원/m³, 공업용수가 61,721원/m³ ~ 997,092원/m³, 서비스업용수가 294,923원/m³ ~ 381,192원/m³이었다. 특히, 공업부문의 피해 수준이 50% 제약 수준에서 급격히 증가된다는 점을 확인하였다.

주제어 : 가뭄, 기후변화, 물 부족 시나리오, 잠재가격

Profiles **Hee Kyun Oh** : He received his bachelor's and a master's degrees from Griffith University, and a doctor's degree from Sejong University. He is a visiting professor of the Department of Hospitality Tourism Management at Sejong University. His research interests included tourism economics and hospitality marketing(ohheekyun@sejong.ac.kr).

Hee Chan Lee : He received his bachelor's and a master's degrees from Korea University, and a doctor's degree from Michigan State University. He is a professor of the Department of Hospitality Tourism Management at Sejong University. His research interests included tourism economics and tourism policy(leeheech@sejong.ac.kr).