

# 생산함수 접근법에 의한 공업용수 공급편익 산정 방안

## Estimation of Industrial Water Supply Benefits Using Production Function Approach

김길호\* · 이충성\*\* · 이상원\*\*\* · 심명필\*\*\*\*

Kim, Gil Ho · Yi, Choong Sung · Lee, Sang Won · Shim, Myung Pil

### Abstract

Industrial water supplied by water resource project is essential input materials along with labor, capital and land for companies. It is very important to stably secure these input materials in order for the industry to generate additional values. If the supply of industrial water is stopped, it is known damage for the industry is greater than domestic water or agriculture water based on same amount of supply. Like this, the actual value of industrial water has been highly acknowledged from the intuitive perspective, but study on the value and benefits of industrial water has been rarely conducted. Therefore, this study verified the value of industrial water supplied from water resource project, and used marginal production value as a measure to estimate the benefits of industrial water in the analysis of economic efficiency. As a result of empirical analysis using Cobb-Douglas production function and Translog production function, industries' average marginal production value was 5,427KRW/m<sup>3</sup> and 5,583KRW/m<sup>3</sup> respectively. The marginal production value for eleven industries were estimated by using same method. The marginal production value by industries presented by this study will be used as important data to calculate benefits of industrial water in the future. Moreover, the result of this study will provide reasonable criteria for decision making on the allocation of water in emergency situation, and problem of resource supply from water resource project.

**Keywords :** industrial water, economic analysis, production function, marginal productivity value, benefit

### 요 지

수자원사업에 의해 공급되는 공업용수는 대상 사업체에서 노동, 자본, 토지 등과 더불어 필수적인 투입재이다. 이러한 투입재의 안정적인 확보는 해당 산업이 부가가치를 창출하는데 매우 중요한 시안이다. 공업용수의 공급이 중단될 시 해당 산업에서의 피해액은 동일한 공급량 기준으로 봤을 때, 생활용수나 농업용수에 비해 매우 크다고 알려져 있다. 이처럼 공업용수의 실제 가치는 직관적으로 매우 높게 인식하고 있으나, 경제성분석을 위한 공업용수의 편익산정에 대한 구체적인 연구는 많지 않았다. 본 연구는 수자원사업으로부터 공급되는 공업용수의 가치를 확인하고, 경제성분석시 공업용수공급편익 추정을 위한 수단으로서 한계생산가치를 산정하였다. Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수를 이용하여 실증분석한 결과, 전국 평균 한계생산가치는 각각 5,427원/m<sup>3</sup>, 5,583원/m<sup>3</sup>로 산정되었고, 산업분류별로 11가지 산업에 대한 한계생산가치를 산정하였다. 본 연구에서 제시한 산업별 한계생산가치는 앞으로 공업용수편익을 산정하는데 중요한 자료로 사용될 수 있으리라 판단된다. 또한, 위급상황시 용수배분에 대한 의사결정이나 수자원사업시 비용배분 등의 문제에서 본 연구의 결과는 합리적인 기준을 제공할 수 있으리라 기대된다.

**핵심용어 :** 공업용수, 경제성분석, 생산함수, 한계생산가치, 편익

### 1. 서 론

다목적댐을 비롯한 수자원사업은 사업의 목적에 따라 용수 공급편익, 홍수조절편익, 수력발전편익, 휴양편익 등과 같은 다양한 편익이 발생된다. 수자원사업은 막대한 재정이 투입되는 공공사업인 만큼 경제성분석시 사업에 따른 편익과 비용을 엄밀히 분석해야 한다. 한편, 편익추정시 사업으로 인

한 편익 항목들의 효용가치가 이질적이면 되도록 분리하여 측정하는 것이 바람직하다. 하지만 기존 수자원사업의 경제성분석에서는 생활용수와 공업용수의 가치를 구분하여 추정하지 않고 있다. 즉, 공급측면에서 생활용수와 공업용수를 하나로 취급했던 것이다. 이는 용수가격이 정책적으로 통제되고 있어서 방법론상의 한계가 있었고, 실제 분석시 주로 대체비용법에 의존하였기 때문이다. 그러나 수요측면에서 생활

\*인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정 (E-mail : kims@inha.ac.kr)

\*\*정회원 · 교신저자 · 인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원 · 공학박사 (E-mail : sung@inha.ac.kr)

\*\*\*인하대학교 경제학부 교수 · 경제학박사 (E-mail : swlee@inha.ac.kr)

\*\*\*\*정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수 · 공학박사 (E-mail : shim@inha.ac.kr)

용수와 공업용수는 수량과 수질적 측면에서 요구되는 품질이 다르며, 소비함으로써 증가되는 사회후생 또한 다르다. 그러므로 생활용수와 공업용수는 구분하여 편익을 추정하는 것이 바람직하다. 이를 위해, 본 연구는 생공용수편익을 고려 하였던 기존의 방법론을 탈피하고 수자원사업으로부터 공급되는 공업용수의 가치를 확인하고자 생산함수 접근법을 사용하였고, 이를 통해 도출된 한계생산가치를 이용하여 공업용수공급편익을 산정하는 방법을 제시하였다.

공업용수공급편익(industrial water supply benefits)에 대해 정의하자면, 공업의 생산과정에서 필수적인 용수를 안정적으로 공급함으로써 물부족으로 인한 사업체의 피해를 방지하고, 최종적으로 사업체가 안정적으로 부가가치를 창출하는데 기여하는 것이라 할 수 있다. 국내에서는 최근 20년간 이러한 공업용수 이용량이 73%나 증가하였고, 앞으로도 계속 증가할 것으로 보고 있다(건설교통부, 2006). 그러므로 공업용수의 가치에 대한 이해는 공업용수 공급이 포함된 수자원사업의 가치를 규정하고, 나아가 수자원의 계획, 개발 및 관리에 있어 중요하다. 현재 공업용수와 관련하여 체계적으로 발표되는 자료는 매우 드문 실정이다. 공업용수 사용량을 조사하는 기관 및 조사방법마다 상당한 차이가 있고 정기적으로 발표되는 자료도 드문 실정이다.

투입요소로서 공업용수의 가치를 추정하기 위해 비용함수와 수요함수, 생산함수 등을 고려할 수 있다. 우선, 비용함수 접근법은 총비용의 설명변수로서 자본, 노동, 에너지, 원자재, 공업용수 등의 가격정보를 이용하여 공업용수의 가격탄력성 혹은 가치를 추정하는 방법이다. 이 방법은 Renzetti (1992), Dupont와 Renzetti(2001)의 연구와 같이 투입요소의 정보를 정확히 알아야 적용이 가능하나, 몇몇 비시장재 요소의 가격을 정확히 추정하는 것은 현실적으로 어려운 작업이다. 수요함수 접근법은 주로 공업용수의 가격탄력성을 추정하기 위하여 사용되어 왔다(Kindler 등, 1984; Schneider와 Whitlatch, 1991). 이 방법은 공업용수의 한계생산가치를 파악하기 위해서는 평균가격을 사용할 수 밖에 없는 단점이 있다. 마지막으로, 생산함수 접근법은 비용함수 접근법의 쌍대이론으로서 기업이 이윤극대화를 추구하는 완전경쟁 시장에서 투입요소의 한계비용은 투입요소의 한계생산가치와 같고, 이것은 투입요소의 가격과 같게 되는 것에서 근거한다. 결국, 한계가격이 아닌 공업용수의 평균가격을 사용한 수요함수 접근법에 비해 생산함수 접근법은 한계생산가치 및 가격탄력성 추정에 더 나은 방법일 수 있다.

생산함수를 이용하여 공업용수의 한계가치 및 가격탄력성을 추정한 대표적 연구로는 중국을 대상으로 공업용수의 한계생산가치를 산정한 Wang과 Lall(1999, 2002)의 연구가 있다. 이 연구에서는 중국의 중대규모 공장에서 공업용수의 한계생산가치를 2.45 yuan/m<sup>3</sup>(1993년도 기준 위안화)으로 산정하였고, 전 산업에서는 12.75 yuan/m<sup>3</sup>으로 산정하고 있다. Frederick *et al.*(1996)의 연구에서는 미국에서 물 사용항목 가운데, 공업용수의 가치를 평균 \$282/af로 추정한 바 있다. 또한, 한국의 경우 1998년 산업총조사 자료를 이용하여 공업용수의 한계생산가치를 추정한 과학기술부(2007)의 연구와 2003년 자료를 이용한 민동기(2006)의 연구가 있다. 민동기(2006)는 Cobb-Douglas와 Translog 생산함수를 이용

하여 제조산업에 대해 추정한 한계가치를 각각 5,769원/m<sup>3</sup>, 5,794원/m<sup>3</sup>로 산정하였다. 한편, 이민수(2002)의 연구에서는 농업용수의 한계생산가치를 분석하기 위하여 Cobb-Douglas 생산함수에 의해 모수를 도출한 뒤, 1965~1999년까지 35년간 연평균 농업용수의 한계생산가치를 360원/m<sup>3</sup>으로 산정한 바 있다.

## 2. 생산함수 분석모형

하나의 생산과정은 여러 종류의 투입물을 사용하여, 하나 이상의 산출물을 생산해 내는데 이러한 생산과정에서 투입물이 산출물로 변형되는 기술적 관계를 수학적 함수관계로 나타낸 것을 생산함수(production function)라 한다. 생산함수는 Cobb과 Douglas(1928)가 제시한 동차함수(homogeneous function)를 기원으로 하며, 이 연구에서 자본과 노동 같은 설명변수들이 생산에 미치는 분배비율은 각각의 설명변수의 계수와 같다는 것을 밝혔다. Cobb-Douglas 생산함수는 요소시장과 생산에 대한 실증분석을 위하여 널리 사용되는 함수 형태이지만 강한 가정이 있다는 단점이 있다. 이를 보완한 형태가 Christensen 등(1973) 연구에서 제시한 Translog (Transcendental logarithmic) 함수이다. Translog 함수는 Cobb-Douglas 함수형태에 로그를 취한 뒤 Taylor 2차 전개한 것으로, 최근 여러 분야에서 생산함수 추정시 널리 사용되고 있다. Translog 생산함수는 분석시 제약요소가 적으며, 다수의 생산물이나 요소투입 함수의 경우에도 이용가능하다는 장점이 있다.

### 2.1 Cobb-Douglas 생산함수 모형

본 연구에서는 편익추정의 목적에 부합하는 종속변수인 부가가치(Q)와 설명변수로서 투입노동(L), 공업용수량(W), 중간투입(M), 자본(K)을 고려하였고, 이를 투입요소와 산출량의 관계로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$Q = L(L, W, M, K) \quad (1)$$

이를 Cobb-Douglas 생산함수 형태로 표현하면 식(2)와 같다.

$$Q = AL^{\alpha_1} W^{\alpha_2} M^{\alpha_3} K^{\alpha_4} \quad (2)$$

여기서, 모든 변수의 상호영향을 평가할 때 절대값보다는 상대적 변화, 즉 탄력성의 개념이 가장 유용하게 쓰인다. 탄력성을 나타내는 값은 자연대수를 미분한 것과 같으므로, 어떤 식을 미리 자연대수로 나타내 놓으면 탄력성 분석이 매우 편리하다. 식 (2)의 양변에 자연로그를 취하여 함수식을 변형하면 식 (3)과 같이 1차 선형함수의 형태로 변환할 수 있다.

$$\ln Q = \ln A + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln W + \alpha_3 \ln M + \alpha_4 \ln K \quad (3)$$

이 식에서 추정된 계수값은 부가가치(Q)에 대한 각 설명변수의 생산탄력성을 나타내므로, 용수항에 대한 추정계수  $\alpha_2$ 는 식 (4)와 같이 Cobb-Douglas 생산함수에서의 용수 생산탄력성을 의미한다.

$$\varepsilon_{CD} = \frac{\partial Q/Q}{\partial W/W} = \alpha_2 \quad (4)$$

이 식으로부터 용수의 한계생산가치는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_{CD} = \partial Q / \partial W = \varepsilon_{CD}(Q/W) \quad (5)$$

### 2.2 Translog 생산함수 모형

Cobb-Douglas 함수형태에 로그를 취한 뒤 Taylor 2차 전개한 Translog 생산함수식은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \ln Q = & \ln A + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln W + \alpha_3 \ln M + \alpha_4 \ln K \\ & + \alpha_5 \ln L \ln W + \alpha_6 \ln L \ln M + \alpha_7 \ln L \ln K \\ & + \alpha_8 \ln W \ln M + \alpha_9 \ln W \ln K + \alpha_{10} \ln M \ln K \\ & + 2\alpha_{11} \ln L + 2\alpha_{12} \ln W + 2\alpha_{13} \ln M + 2\alpha_{14} \ln K \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)을 용수량(W)에 대해 1차 편미분하면 식 (7)과 같이 유도되며, 이 식을 이용하여 용수의 생산탄력성을 추정할 수 있다.

$$\varepsilon_{TL} = \frac{\partial Q/Q}{\partial W/W} = \alpha_2 + \alpha_5 \ln L + \alpha_8 \ln M + \alpha_9 \ln K + 2\alpha_{12} \ln W \quad (7)$$

식 (7)에 의해 도출된 부가가치의 공업용수 생산탄력성 추정치와 부가가치액 및 공업용수 투입량을 식 (8)에 적용하면 Translog 생산함수에 의한 공업용수의 한계생산가치( $\rho_{TL}$ )를 산정할 수 있다.

$$\rho_{TL} = \frac{\partial Q}{\partial W} = \varepsilon_{TL}(Q/W) \quad (8)$$

## 3. 실증분석

### 3.1 자료의 구성

실증분석을 위한 자료는 통계청에서 실시한 2003년 산업총조사(전수조사)를 이용하였으며, 공업용수의 수요처로 보기에 부적합한 광업, 전기·가스, 그리고 수도사업을 제외한 제조업 부문의 자료를 사용하였다. 개별 사업체 중에서 지하수 및 기타용수를 사용한 사업체는 제외하였는데, 이는 신고된 사용량과 실제 사용량에 큰 차이가 있는 것으로 알려져 있기 때문이다. 이러한 자료를 포함시킬 경우, 공업용수의 가치를 측정하는 데 있어 심각한 오류를 야기할 수 있다.

본 연구는 전체 산업에 대한 평균적인 한계생산가치 뿐만 아니라 산업분류에 따른 공업용수 공급의 한계생산가치를 산정하고자 Table 1과 같이 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)에서 공업용수 수요추정시 적용한 11가지 산업분류를 이용하였다. 산업총조사의 분류체계를 그대로 이용하기에는 몇몇 산업에서 자료의 수가 적어 통계적 유의성 확보에 충분하지 않았기 때문이다. 한편, Table 2는 본 연구에서 사용한 변수의 속성과 취득한 데이터의 기본단위를 나타내고 있다.

### 3.2 추정결과

#### 3.2.1 산업 평균 한계생산가치

우리나라 전체 산업에 대한 생산함수별 설명변수의 추정치와 한계생산가치는 Table 3과 같다. 각각의 계수를 추정하기 위하여 다중회귀분석을 실시한 결과, 각각의 생산함수에 대한 조정결정계수(Adj. R<sup>2</sup>)는 각각 0.821, 0.838로서 매우 높게 나타났다. 즉, 추정된 모형은 종속변수의 변동에 대해 각각 82.1%와 83.8%를 설명할 수 있다. 설명변수의 자기상관성(autocorrelation) 유무를 판정하기 위한 검정통계량인 더빈-왓슨(Durbin-Watson) 통계량은 각각 1.37, 1.50으로 나타나 자기상관의 문제는 없는 것으로 나타났다. 또한, Cobb-Douglas 생산함수의 1차동차성 가설과 Translog 생산함수에서 추가된 설명변수의 계수값의 합이 0이라는 가설을 검정한 결과, 1% 유의수준에서 여유있게 기각되었다. 최종적으로, 식 (5)와 식 (8)에 의해서 산정한 한계생산가치는 Cobb-Douglas 생산함수의 경우 5,427원/m<sup>3</sup>, Translog 생산함수는 5,583원/m<sup>3</sup>으로 두 모형에 의한 결과가 유사하게 산정되었다.

#### 3.2.2 산업분류별 한계생산가치

본 연구는 앞서 수행한 전체 산업에 대한 실증분석과 더불어, 11가지 산업분류별로 한계생산가치를 각각 산정하였다. 이는 각 산업분류별로 공업용수의 사용정도가 다르고, 제조공정을 통한 산출물이 지니는 부가가치 또한 다르기 때문이다. 특히, 편의 추정시 계획공단의 산업부문을 알 수 있는 경우, 산업부문에 해당하는 한계생산가치를 적용한다면 보다 엄밀하게 공업용수의 가치를 반영할 수 있을 것이다.

Table 1. Industry Classification

a: food, beverages & tobacco	g: electrical apparatus, nec
b: textile apparel & leather	h: electronic & communication equipment
c: wood, paper & publishing	i: professional goods
d: petroleum refining	j: transport equipment
e: non metallic mineral & primary industry	k: furniture & other manufacturing
f: general machinery	

Table 2. Variables for Empirical Analysis

Variable	Attribute	Unit	Mean	Standard Deviation
Q	Total value-added	Billion won	2,113	48,255
L	Average number of workers employed	Number	24	177
W	Total amount of industrial water consumed	Ton	18,350	346,399
M	Total intermediate input	Billion won	3,469	70,625
K	Value of fixed assets at the end of the year	Billion won	2,345	53,870

Table 3. Marginal Productivity value of Industrial water

	Cobb-Douglas Function		Translog Function	
	Coefficients Estimates	T-Value	Coefficients Estimates	T-Value
$\ln A$	2.0178	250.181***	1.9904	88.765***
$\ln L$	0.7324	237.152***	0.8821	70.185***
$\ln K$	0.0483	34.167***	-0.0338	-5.354***
$\ln M$	0.2734	190.706***	0.1413	24.582***
$\ln W$	0.0471	36.105***	0.1121	22.116***
$\ln L \ln L$			0.0281	9.378***
$\ln K \ln K$			0.0097	13.147***
$\ln M \ln M$			0.0508	72.968***
$\ln W \ln W$			0.0022	5.343***
$\ln L \ln K$			0.0078	3.528***
$\ln M \ln L$			-0.0908	-42.035***
$\ln L \ln W$			0.0138	7.029***
$\ln K \ln M$			-0.0038	-3.805***
$\ln K \ln W$			-0.0007	-0.791***
$\ln M \ln W$			-0.0216	-22.554***
F-Statistics	98,670.88***		31,793.42***	
Adj. R <sup>2</sup>	0.82		0.84	
Durbin-Watson	1.37		1.50	
Number of obs.	85,822		85,822	
Output elasticity of water	0.0471		0.0172	
Marginal productivity value (won/m <sup>3</sup> )	5,427		5,583	

Note: \*\*\*significant at 0.01 significance, \*\*significant at 0.05 significance, \*significant at 0.10 significance

Table 4는 11가지 산업분류에 따른 생산함수별 설명변수의 추정치와 유의수준을 나타내며, Table 5는 산업분류에 따라 각각 추정한 결과의 검정통계량과 생산탄력성, 한계생산가치를 나타내고 있다. Cobb-Douglas 생산함수를 이용한 추정 결과를 살펴보면, 모든 산업에서 설명변수인 노동(L), 용수량(W), 중간투입(M), 자본(K)의 추정계수들이 모두 양(+)의 값으로 추정되었다. 즉, 투입요소들의 생산탄력성이 모두 양의 값을 보였다. 특히, 용수량의 생산탄력성은 가구 및 기타 제조와 비금속 및 1차산업, 운송장비, 섬유 및 가죽, 목재, 종이, 출판산업에서 상대적으로 높은 값을 나타내었다.

조정결정계수(Adj. R<sup>2</sup>)는 두 생산함수 모형 모두 대부분 80%를 상회하였고, Translog 생산함수에 의한 추정결과가 Cobb-Douglas 생산함수에 비해 1~3% 가량 높게 나타나 상대적으로 높은 유효성(설명력)을 보였다. Durbin-Watson 통계량은 전반적으로 1.5 이상으로 자기상관의 문제는 없으므로 나타났다. 또한, Cobb-Douglas 생산함수의 1차동차성 가설과 Translog 생산함수에서 추가된 설명변수의 계수값의 합이 0이라는 가설을 검정한 결과, 1% 유의수준에서 여유있게 기각되었다. 추정된 한계생산가치의 경우, 두 생산함수 모형에 의한 결과가 전반적으로 유사한 결과를 보였다. 산업분류별로 살펴보면, 운송장비, 가구 및 기타제조, 일반기계산업 순으로 한계생산가치가 높게 나왔으며, 음식료 및 담배산업에서 3,197원/m<sup>3</sup>(CD), 3584원/m<sup>3</sup>(TL)로 가장 낮게 나타났으며, 그 다음으로 섬유, 가죽산업이 3,243원/m<sup>3</sup>(CD), 4,188원/m<sup>3</sup>(TL)로 나타났다.

### 3.2.3 결과분석

전술한 바와 같이 Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수에 의해 추정된 한계생산가치는 Fig. 1에 나타내었듯이 유사한 값을 나타내었다. 일반적으로 제약조건이 강한 Cobb-Douglas 생산함수보다는 상대적으로 제약조건이 유연한 Translog 생산함수의 추정결과가 보다 더 선호된다. 본 연구의 결과에서도 검정통계량으로부터 판단할 때, Translog 생산함수에 의한 모형이 Cobb-Douglas 모형에 비해 더 높은 유효성 및 유의성을 보였다. 따라서 Translog 생산함수에 의한 결과값을 편익산정에 이용하는 것이 보다 합리적이라 판단된다. 다른 측면에서 보면 두 생산함수의 추정결과가 전반적으로 비슷하다는 점을 고려할 때, 본 연구에서의 결과값에 보다 높은 신뢰성을 부여할 것으로 기대된다.

## 4. 편익산정 사례연구

경제성분석의 목적은 국민경제 전체의 입장에서 사업의 타당성을 경제적 측면에서 분석하는 것이다. 여기서, 타당성이란 사업으로 인한 효과가 지역 및 국민의 후생에 유의미한 영향을 주는지의 여부를 의미한다. 이측면에서 용수공급의 편익은 장래에 증가될 것으로 예상되는 용수수요를 수자원 사업을 통해 충족함에 따라 발생된다. 특히, 본 연구는 공급자의 입장이 아닌 수요자, 즉 공업용수가 투입요소로서 공급되어 해당 업체가 이를 소비함으로써 증가되는 한계생산가치를 편익으로 간주하였다. 따라서, 편익을 산정하기에 앞서

Table 4. Coefficients Estimates & Significance Level by Industrial Classification

	A	lnL	lnK	lnM	lnW	lnLlnL	lnKlnK	lnMlnM	lnWlnW	lnLlnK	lnMlnL	lnLlnW	lnKlnM	lnKlnW	lnMlnW	
a	CD	0.9174 (20.7)***	0.5679 (37.6)***	0.0954 (13.1)***	0.4274 (56.4)***	0.0454 (6.9)***										
	TL	0.8698 (6.4)***	0.6721 (9.1)***	-0.12 (-3.5)***	0.5070 (14.1)***	0.0953 (3.3)***	-0.0155 (-1.0)	0.0272 (7.1)***	0.0186 (4.4)***	0.0039 (1.8)**	0.0198 (1.6)	-0.0368 (-3.3)***	0.0117 (1.2)	-0.0140 (-2.5)**	-0.0051 (-1.1)	-0.0184 (-3.9)***
b	CD	2.3136 (146.2)***	0.7060 (107.6)***	0.0276 (9.7)***	0.2348 (98.0)***	0.0594 (21.1)***										
	TL	2.0958 (47.5)***	0.8092 (28.8)***	0.0078 (0.7)	0.0701 (7.1)***	0.1443 (15.1)***	0.0320 (4.7)***	0.0079 (5.6)***	0.0548 (50.4)***	0.0025 (2.7)***	0.0042 (1.0)	-0.0628 (-16.1)***	-0.0028 (-0.7)	-0.0120 (-7.2)***	0.0014 (0.8)	-0.0218 (-12.8)***
c	CD	1.8867 (65.5)***	0.7877 (72.9)***	0.0373 (8.7)***	0.2724 (49.0)***	0.0593 (12.9)***										
	TL	1.6127 (18.7)***	0.7015 (14.2)***	0.1198 (5.7)***	0.1549 (6.1)***	0.1628 (9.0)***	0.0073 (0.7)	0.0064 (2.8)***	0.0601 (19.2)***	0.0065 (4.3)***	0.0301 (4.0)***	-0.0507 (-5.4)***	0.0184 (2.5)**	-0.0336 (-8.7)***	-0.0036 (-1.1)	-0.0360 (-9.0)***
d	CD	1.4910 (54.8)***	0.6575 (60.5)***	0.0687 (13.6)***	0.3580 (59.5)***	0.0528 (12.6)***										
	TL	1.5286 (19.7)***	0.9382 (20.5)***	-0.1413 (-6.1)***	0.2579 (10.8)***	0.1581 (9.3)***	0.0248 (2.0)**	0.0090 (3.3)***	0.0474 (14.8)***	0.0054 (4.1)***	-0.0051 (-0.6)	-0.1034 (-10.8)***	0.0301 (4.1)***	0.0184 (4.3)***	0.0013 (0.4)	-0.0420 (-10.4)***
e	CD	1.9093 (93.5)***	0.7101 (87.9)***	0.0627 (18.2)***	0.2725 (72.9)***	0.0655 (22.2)***										
	TL	2.2898 (37.9)***	1.1178 (32.6)***	-0.0589 (-3.5)***	0.0470 (2.9)***	0.0594 (4.7)***	0.0418 (5.2)***	0.0124 (7.1)***	0.0546 (29.9)***	0.0055 (5.9)***	-0.0030 (-0.5)	-0.1045 (-17.5)***	-0.0054 (-1.1)	-0.0054 (-2.0)**	0.0044 (2.0)**	-0.0148 (-6.3)
f	CD	2.0689 (91.7)***	0.6537 (79.4)***	0.0548 (16.2)***	0.3144 (72.5)***	0.0354 (11.6)***										
	TL	1.8702 (24.0)***	0.7090 (18.5)***	-0.0391 (-2.0)**	0.2592 (13.0)***	0.1573 (9.7)***	0.0215 (2.4)**	0.0042 (2.1)**	0.0423 (19.7)***	0.0020 (1.9)*	0.0257 (4.1)***	-0.0884 (-14.1)***	0.0232 (4.1)***	0.0020 (0.7)	-0.0022 (-0.9)	-0.0311 (-10.5)***
g	CD	1.8312 (55.9)***	0.6398 (51.8)***	0.0582 (10.6)***	0.3246 (51.1)***	0.0444 (8.7)***										
	TL	1.6305 (15.9)***	0.7680 (14.3)***	-0.0456 (-1.7)*	0.2592 (9.7)***	0.1406 (6.4)***	0.0454 (3.3)***	0.0099 (3.2)***	0.0420 (13.8)***	0.0018 (1.0)	0.0066 (0.7)	-0.0957 (-10.2)***	0.0143 (1.7)*	0.0026 (0.6)	-0.0031 (-0.8)	-0.0230 (-5.5)***
h	CD	2.0764 (55.2)***	0.7007 (53.0)***	0.0701 (10.0)***	0.2707 (41.5)***	0.0378 (6.3)***										
	TL	2.0406 (21.0)***	0.6911 (13.4)***	0.0427 (1.4)	0.2266 (9.4)***	0.0528 (2.4)**	0.0639 (5.3)***	0.0040 (1.1)	0.0438 (15.1)***	0.0073 (3.8)***	0.0048 (0.5)	-0.1022 (-12.2)***	0.0153 (1.9)*	0.0028 (0.6)	-0.0051 (-1.2)	-0.0208 (-5.6)***
i	CD	2.0489 (39.6)***	0.7118 (36.0)***	0.0530 (6.4)***	0.2925 (32.6)***	0.0344 (4.5)***										
	TL	2.2839 (13.4)***	0.8407 (9.0)***	0.0239 (0.6)	0.0695 (1.6)*	0.0856 (2.5)**	-0.0328 (-1.3)	-0.0047 (-1.0)	0.0462 (9.9)***	0.0016 (0.5)	0.0305 (2.2)**	-0.0660 (-4.0)***	0.0289 (2.2)**	0.0075 (1.1)	-0.0057 (-1.0)	-0.0196 (-3.2)***
j	CD	2.2489 (58.7)***	0.8507 (74.6)***	0.0434 (6.3)***	0.1740 (24.4)***	0.0635 (10.8)***										
	TL	2.2563 (20.0)***	0.8864 (19.4)***	-0.0996 (-3.2)***	0.1791 (6.1)***	0.0914 (4.1)***	0.0691 (7.3)***	0.0113 (3.2)***	0.0339 (11.0)***	0.0052 (3.0)***	-0.0384 (-5.0)***	-0.0854 (-11.0)***	0.0178 (2.4)**	0.0199 (4.0)***	0.0032 (0.7)	-0.0280 (-6.2)***
k	CD	1.6651 (41.9)***	0.7010 (41.2)***	0.0316 (4.9)***	0.3174 (42.3)***	0.0657 (10.4)***										
	TL	1.2971 (9.9)***	1.0181 (13.1)***	0.0000 (0.0)	0.1812 (5.7)***	0.1522 (5.5)***	-0.0250 (-1.1)	-0.0039 (-1.1)	0.0579 (14.8)***	0.0057 (2.6)***	0.0553 (4.1)***	-0.1154 (-8.0)***	0.0232 (2.0)**	-0.0010 (-0.2)	-0.0069 (-1.5)	-0.0311 (-5.7)***

Note: ( ) is t-value, \*\*\*significant at 0.01 significance, \*\*significant at 0.05 significance, \*significant at 0.10 significance CD: Cobb-Douglas production function, TL: Translog production function  
a~k: Industrial classification, See Table 1

용수수요와 해당사업의 공급가능량을 면밀히 검토할 필요가 있다. 한계가치를 적용시 공업용수의 공급량과 산업단지의 업종 특성을 고려하여야 하며, 만일 해당공단에 입주될 사업체의 업종과악이 어려운 경우에는 전체 산업의 평균 한계생산가치를 반영하면 될 것이다.

본 연구에서는 산정된 한계생산가치를 이용한 공업용수공급 편의 산정을 위하여 낙동강 내성천유역에 계획중인 송리원다목적댐을 대상으로 적용성을 검증하였다. 송리원다목적댐은 1971년 낙동강유역조사에서 낙동강 하천유량을 적절하게 관리하고 홍수 유입량을 효과적으로 조절할 수 있는 개발가능지점

Table 5. Test Statistic & Marginal Value by Industrial Classification

		Number of Obs.	T-Value	Adj. R <sup>2</sup>	Durbin-Watson	Output Elasticity of Water	Marginal Productivity Value (won/m <sup>3</sup> )
a	CD	4,997	5,563.92***	0.82	1.46	0.0454	3,197
	TL		1,637.39***	0.82	1.46	0.0256	3,584
b	CD	17,555	19,157.59***	0.81	1.56	0.0594	3,243
	TL		6,704.27***	0.84	1.68	0.0411	4,188
c	CD	8,676	7,969.35***	0.79	1.64	0.0593	7,741
	TL		2,418.13***	0.80	1.67	0.0477	9,010
d	CD	8,276	12,436.40***	0.86	1.54	0.0528	3,835
	TL		3,850.91***	0.87	1.57	0.0117	4,066
e	CD	14,993	16,197.37***	0.81	1.40	0.0655	6,337
	TL		5,324.04***	0.83	1.46	0.0660	6,082
f	CD	12,707	14,488.08***	0.82	1.58	0.0354	9,398
	TL		4,402.00***	0.83	1.61	0.0023	9,948
g	CD	4,832	6,532.35***	0.84	1.75	0.0444	9,809
	TL		2,007.90***	0.85	1.79	0.0143	9,425
h	CD	4,038	5,511.32***	0.85	1.85	0.0378	5,721
	TL		1,748.20***	0.86	1.86	0.0355	6,995
i	CD	2,309	2,342.95***	0.80	1.88	0.0344	7,776
	TL		718.72***	0.81	1.91	0.0207	8,614
j	CD	3,373	6,278.28***	0.88	1.55	0.0635	23,116
	TL		2,183.32***	0.90	1.63	0.0341	21,712
k	CD	4,066	3,595.74***	0.78	1.71	0.0657	13,681
	TL		1,123.79***	0.79	1.75	0.0449	15,122

Note: \*\*\*significant at 0.01 significance, \*\*significant at 0.05 significance, \*significant at 0.10 significance

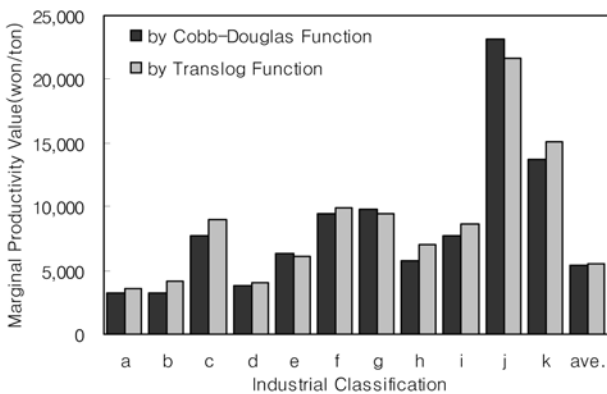


Fig. 1 Marginal Productivity Value of Industrial Water

으로 검토된 이후, 수자원관련 계획에서 끊임없이 거론되고 있는 댐 개발 후보지이다. 송리원다목적댐은 낙동강 중·하류 갈수기 하천유지용수 확보와 낙동강 본류 및 내성천 연안지역의 홍수재해방어, 경북북부지역(영주, 상주 및 예천)의 안정적인 용수공급을 목적으로 계획되었다. 본 연구에서는 송리원다목적댐

과 관련한 수요 및 공급 관련 데이터는 송리원다목적댐 타당성분석(한국수자원공사, 2004)을 참고하였다. 이 보고서에서는 미래에 발생할 수요를 전량 충족시키기 위하여 공업용수 공급량을 Table 6과 같이 계획하고 있다. 한편, 해당 공단에 입주될 사업체의 업종은 대부분 섬유, 가죽산업이다.

편익산정시 한국개발연구원(KDI)의 예비타당성조사 지침(한국개발연구원, 2007)에 의거하여 송리원댐의 내구연한은 50년, 사회적 할인율(social rate)은 운영 30년까지는 5.5%, 이후 4.5%를 적용하였다. 분석의 기준년도는 2006년으로 하였고, 편익발생 시점은 댐의 완공시점인 2011년으로 하였다. 또한, 수요분석의 목표연도인 2016년전까지 5년간은 연도별 수요량만큼만 공급된다고 가정하여, 공급량을 점차적으로 증가시켜 분석하였으며, 2016년 이후의 공급량은 목표년도와 동일하게 유지되는 것으로 분석하였다. Translog 생산함수로 부터 산정한 섬유, 가죽산업의 한계생산가치인 4,188원/m<sup>3</sup>을 적용하였고, 이로부터 산정한 송리원다목적댐의 공업용수 공급편익은 Table 7과 같이 약 220억원으로 산정되었다.

Table 6. Industry water use by source of water supply

City	Industrial complex	Industrial classification	Supplying of industrial water (unit: m <sup>3</sup> /day)					
			2011yr	2012yr	2013yr	2014yr	2015yr	2016yr (target year)
Yongju	Yongju Industrial complex	Textile apparel & leather	951	973	995	1,016	1,036	1,056

Table 7. Cash Flow Analysis

(Unit: million won)

year	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Benefits	1,454	1,488	1,520	1,553	1,584	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615
Cash Flow	1,112	1,079	1,045	1,012	978	945	896	849	805	763	723	686	650
year	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Benefits	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615
Cash Flow	616	584	553	525	497	471	447	423	401	380	361	342	324
year	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049
Benefits	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615
Cash Flow	307	291	276	262	250	239	229	219	210	201	192	184	176
year	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	total benefit	
Benefits	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	1,615	22,004	
Cash Flow	168	161	154	148	141	135	129	124	118	113	108		

Note: Social rate: 5.5%(~30yr), 4.5%(31~50yr), Life time: 50yr

## 5. 결 론

수자원사업에 의해 공급되는 공업용수는 대상 사업체에서 노동, 자본, 토지 등과 더불어 필수적인 투입재이며, 이러한 투입재의 안정적인 확보는 해당 산업이 부가가치를 창출하는데 매우 중요한 사안이다. 특히, 공업용수의 공급이 중단될 시 해당 산업에서의 피해액은 동일한 공급량 기준으로 비교할 때, 생활용수나 농업용수에 비해 매우 크다고 알려져 있다. 본 연구에서 산정한 공업용수의 평균 한계생산가치는 Translog 생산함수에 의해 추정된 결과 5,583원/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 평균 공업용수 요금단가 241.4원/m<sup>3</sup>(환경부, 2005)에 비해 매우 높게 나타났다. 이처럼 공업용수의 가치가 높은 이유는 수요측면에서 보았을 때, 용수 사용에 따른 최종 산출물의 부가가치가 높기 때문인 것으로 판단된다.

기존 공업용수공급편익은 공급효율성 측면에서 산정되어 왔으나 본 연구에서는 이를 개선하여 수요측면의 편익산정 방법을 검토하였다. 수요측면의 편익산정 방법은 기본적으로 경제적 효율성을 추구하는데 있어 공급측면의 편익산정 방법보다 경제학적으로 우선되고 있으므로 수자원사업에 대한 타당성과 사회적 수용을 이루어내는 데에도 보다 설득력 있는 접근방향이다. 한편, 본 연구에서 제시한 한계생산가치는 공업용수공급의 가치를 확인하고, 나아가 경제성분석시 공업용수 공급편익을 산정하는데 중요한 자료로 사용될 수 있으리라 판단된다. 또한, 위급상황시 용수배분에 대한 의사결정, 그리고 수자원사업시 비용배분 등의 문제에서 합리적인 기준을 제공할 수 있으리라 판단된다.

현재, 수자원사업의 수요추정에서는 생활용수와 공업용수를 각각 추정하고는 있으나 공급계획은 생공용수로 산정되고 있어 편익을 분리하여 산정하기 어려운 실정이다. 이제까지 생활용수와 공업용수의 공급을 합산하여 계획하여도 편익 추정시 큰 문제가 없었던 것은 주로 대체비용법에 의존하였기 때문이다. 따라서 댐건설및주변지역지원등에관한법률과 댐설계기준에서 현재 생공용수편익으로 제시된 항목을 생활용수와 공업용수로 분리되도록 개정할 것을 제안한다. 한편, 본 연구에서 추정된 공업용수의 가치가 비교적 높게 나왔다는 사실은 사업의 타당성을 확인하는 데 악용의 소지가

있으므로, 실제 사업의 추진단계에서는 지역간 형평성, 생태환경성 등과 같은 다양한 기준을 고려한 다기준의사결정을 수행되는 것이 바람직하다. 또한, 본 연구의 결과를 적용하기에 앞서 생활용수와 분리된 공업용수의 수요변화를 시간과 지역적 상황을 고려하여 엄밀하게 추정하여야 할 것이다.

## 참고문헌

- 건설교통부(2006) 수자원장기종합계획.  
과학기술부(2007) 수자원 및 기술가치 평가시스템 구축.  
민동기(2006) 제조업 생산에 대한 공업용수의 한계생산가치와 가격탄력성 연구, *자원·환경경제연구*, 한국자원경제학회, 제15권, 제5호, pp. 961-974.  
이민수(2002) 미곡생산에 있어서 관개용수의 한계편익 및 한계비용 분석, 석사학위논문, 충남대학교.  
한국수자원공사(2004) 승리원다목적댐 타당성분석.  
환경부(2005) 삼수도통계.  
Christensen, L.R., Jorgenson, D.W., and Lau, L.J. (1973) Transcendental logarithmic production frontiers. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, No. 1, pp. 28-45.  
Cobb, C.W. and Douglas, P.H. (1928) A Theory of production. *The American Economic Review*, Vol. 18, No. 1, pp. 139-165.  
Dupont, D. and Renzetti, S. (2001) The role of water in manufacturing. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 18, No. 4, pp. 411-432.  
Frederick, K.D., Hanson, J., and VandenBerg, T. (1996) *Economic Values of Freshwater in the United States*, Resources for the Future.  
Kindler, J., Russell, C.S., and Bower, B.T. (1984) *Modeling Water Demands*, Academic Press.  
Renzetti, S. (1992) Estimating the structure of industrial water demands: the case of canadian manufacturing, *Land Economics*, Vol. 68, No. 4, pp. 396-404.  
Schneider, M.L. and Whitlatch, E.E. (1991) User-specific water demand elasticities, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 117, No. 1, pp. 52-73.  
Wang, H. and Lall, S. (1999) *Valuing Water for Chinese: A Marginal Productivity Assessment*, The World Bank.  
Wang, H. and Lall, S. (2002) Valuing water for chinese industries: a marginal productivity analysis, *Applied Economics*, Vol. 34, No. 6, pp. 759-765.

(접수일: 2009.1.19/심사일: 2009.3.2/심사완료일: 2009.3.2)