

산업단지 내 공업용수 공급의 경제적 가치 및 한계생산가치 변동성에 관한 연구

김길호[†]·김덕환*·김경탁·김형수*

한국건설기술연구원 국토보전연구본부
*인하대학교 토목공학과

Study on Economic Value and Variance on Water Supply in Industrial Complexes

Gilho Kim[†]·Deokhwan Kim*·Kyungtak Kim·Hung Soo Kim*

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
*Department of Civil Engineering, Inha University

(Received : 16 August 2016, Revised: 04 May 2018, Accepted: 04 May 2018)

요약

본 연구는 공업용수 공급사업에 따른 경제적 가치를 확인하기 위하여 생산함수 접근법에 기반한 한계생산가치를 추정하였다. 이를 위해 Cobb-Douglas, Translog, Sector 더미변수를 포함한 Translog 생산함수를 기준으로 11개 산업유형별로 구분된 4가지 자료세트(Case)를 이용하여 분석하였다. 분석결과, 전 산업 평균 한계생산가치는 각각 3,217~5,357원/ton, 2,994~4,569원/ton, 3,620~5,342원/ton로 나타났으며, 산업유형별 결과는 가구 및 기타제조 산업에서 가장 크게 추정되었고, 섬유·가죽 산업에서 가장 낮은 한계생산가치를 보였다. 전체적으로 Cobb-Douglas 함수에 의한 결과가 높게 나타났으며, 자료세트에 따른 변동성 또한 Cobb-Douglas 함수에서 크게 나타났다. 생활용수에 비해 공업용수의 경제적 가치에 관한 연구는 그동안 미흡하였으나, 향후 활발한 연구를 통해 다학제간 합의가 필요할 것으로 판단된다.

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

Abstract

This study estimated the marginal production value based on the production function approach to confirm the economic value of industrial water supply projects. For this, we analyzed 4 data sets classified by 11 industry types according to Cobb-Douglas Function, Translog Function, and Translog function with sector dummy variables. As a result, the average industrial marginal product value of the entire industry was 3,217~5,357 won/ton, 2,994~4,569 won/ton and 3,620~5,342 won/ton, respectively. The results by industry type were the largest in furniture and other manufacturing industries and showed the lowest marginal production value in the textile and leather industries. Overall, the results from the Cobb-Douglas function were highly evaluated. And the volatility according to data sets was also analyzed in the Cobb-Douglas function. There have been few studies on the economic value of industrial water compared to domestic water. It is considered that multidisciplinary consensus will be needed through active research in the future.

Key words : Industrial Water, Production Function, Marginal Productivity Value, Economic Analysis, Economic Value, Feasibility Study, Benefits

1. 서론

공업용수란 공장에서 제품생산 및 생산시설의 유지관리를 목적으로 사용하는 모든 종류의 용수(원료용수, 제품처리용수, 세정용수 등)를 말하며, “산업입지및개발에관한법률”에 따라 설치되는 산업단지의 경우 안정적인 용수공급을 위하여 공업용수도를 독립적으로 운영하고 있다. 그러나 일부 산업단지의 사업체에서는 아직까지 생산원가가

높은 생활용수나 자체 지하수를 공업용수로 사용하고 있어 추가적인 사업이 요구되는 실정이다. 공업용수 공급사업은 여타 수자원사업과 마찬가지로 대형 SOC 사업으로 사업계획 시 해당 사업이 갖는 수요와 편익과 비용을 고려한 경제성을 면밀히 판단하여 의사결정 과정에 반영되어야 하며, 이를 위해서는 공업용수 공급의 실질적인 경제적 가치를 규정하는 것이 핵심적인 사안일 수 있다. 그러나 용수공급의 경제적 가치와 관련된 연구는 대부분 생활용수 혹은 환경개선용수에 집중되어 왔으며, 공업용수의 경우 생활용수에 비해 공급비중이 낮다는 이유로 개별이 아닌 하나의 생공용수로서 취급된 과거의 논리에서 중

[†] To whom correspondence should be addressed.
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
E-mail: kgh0518@kict.re.kr

요한 관심 대상이 아니었다.

경제학 관점에서 공업용수의 가치는 비용함수, 수요함수, 생산함수 등을 활용하여 추정할 수 있다. 비용함수 접근법은 총비용의 설명변수로서 자본, 노동, 원자재, 공업용수 등의 정보를 이용하여 공업용수의 가격탄력성 혹은 가치를 추정하는 방법이다. 이 방법은 Renzetti (1992), Dupont & Renzetti (2001)의 연구와 같이 투입요소의 정보를 정확히 알아야 적용이 가능하나, 비시장재 요소에 대한 가격을 추정하는 데 어려움이 있다. 수요함수 접근법은 주로 공업용수의 가격탄력성을 추정하기 위하여 사용되어 왔다 (Kindler et al., 1984; Schneider & Whitlatch, 1991). 이 방법은 공업용수의 한계생산가치 규정의 어려움으로 인한 대안으로, 여기서의 평균가격은 용수구입 비용을 수요량으로 나눈 값을 주로 사용한다. 그러나 생산원가 이하에서 공급가격이 결정되는 공업용수의 특성상 경제적 가치가 저평가될 소지가 있다 (Min, 2006; Lee et al., 2012). 마지막으로, 생산함수 접근법은 비용함수 접근법의 쌍대이론(dual theory)으로서 기업이 이윤극대화를 추구하는 완전경쟁 시장에서 투입요소의 한계비용은 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 합리적인 방법일 수 있다.

생산함수를 이용한 한계생산가치를 추정하는 방법이 1928년에 처음 도입된 것에 비해서 이를 이용한 공업용수의 한계가치를 추정한 연구는 많지 않다. 대표적 연구로는 중국을 대상으로 공업용수의 한계생산가치를 추정한 Wang & Lall (1999, 2002) 연구사례가 있다. 이 연구에서는 중국의 중대 규모 공장에서 공업용수의 한계생산가치를 2.45yuan/m³ (1993년 기준), 전 산업에서는 12.75yuan/m³으로 추정하였다. Frederick et al. (1996)에서는 미국의 공업용수 가치를 평균 282\$/af로 추정한 바 있다. 국내의 경우 Min (2006)은 산업총조사 자료로부터 Cobb-Douglas와 Translog 생산함수를 이용하여 제조산업에 대해 추정한 한계생산가치를 각각 5,769원/m³, 5,794원/m³로 제시하였다. Kim et al. (2009)에서는 Cobb-Douglas와 Translog 생산함수에 의해 각각

5,427원/m³, 5,583원/m³으로 결정하였고, 이를 편익산정 과정에 활용하였다. 가장 최근 Lee et al. (2012)에서는 897개 표본 사업체를 대상으로 설문한 결과를 활용하여 수종별 공업용수의 경제적 가치를 결정한 바 있다.

본 연구에서는 그 동안 국내에서 사용된 Cobb-Douglas와 Translog 생산함수 모형 외 Sector 터미변수를 고려한 Translog 생산함수 모형을 추가하여 공업용수의 경제적 가치를 비교하였고, 2003년 이후 산업총조사에서 물사용량에 대한 조사가 더 이상 이루어지지 않는 점을 고려해, Min (2006)과 Kim et al. (2009)의 연구와 동일한 2003년 산업총조사 자료를 활용하였다. 나아가 한계생산가치 결정과정에서 몇몇 초대기업(극대)으로 인해 왜곡될 가능성을 고려하여 4개의 자료세트(Case)를 마련하였고, 이에 따른 변동성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 분석개요

생산이란 기초자원으로부터 재화 및 서비스와 같은 경제재를 만듦으로써 부가가치의 증가에 의하여 효용을 산출하는 과정을 말한다. 하나의 생산과정은 여러 종류의 투입물을 사용하여 한 가지 또는 그 이상의 산출물을 생산해 내는 데, 생산에 있어 투입물이 산출물로 변형되는 기술적 관계를 하나의 수학적 함수관계로 나타낸 것을 생산함수라 한다. 본 연구는 생산함수에서의 종속변수는 생산액(Q), 설명변수는 기존 연구에서 기본적으로 고려된 투입노동(L), 공업용수량(W), 중간투입(M), 자본(K)을 선택하였다. 각 변수에 대한 기초자료는 2003년 산업총조사 상의 산업단지에 입주된 사업체를 대상으로 하며, 이 가운데 오류의 소지가 높은 자료를 몇 가지 기준에 의해 제거하였다. 이렇게 마련된 자료로부터 제조업 전체에 대해서는 Cobb-Douglas, Translog, 그리고 Sector 터미변수를 고려한 Translog 생산함수를, 섹터별로는 Cobb-Douglas, Translog 생산함수를 이용하였다(Fig. 1). 그리고 왜곡의 소지가 있는 비정상 데이터를 제거하는 4가지 Case를 마련하여 결과 값의 변동성을 검토하였다.

Data		Variables	
Industrial complex survey in 2003 industrial census 1) Case 1: 5% cutting 2) Case 2: 1 sigma 3) Case 3: 1.5 sigma 4) Case 4: 2 sigma		Q: Total value-added L: Number of workers employed W: Total amount of industrial water consumed M: Total intermediate input K: Value of fixed assets at the end of the year D: Sector (dummy variables)	
Model			
- Whole Industry - 1) Cobb-Douglas function model 2) Trans-log function model 3) Tran-log function model with dummy variable of sector		- Industry sector - 1) Cobb-Douglas function model 2) Trans-log function model	

Fig. 1. Model Structure

2.2 추정모형

2.2.1 Cobb-Douglas 생산함수

Cobb-Douglas 생산함수를 위해 설명변수로서 투입노동(L), 공업용수량(W), 중간투입(M), 자본(K)을, 종속변수로 부가가치(Q)를 고려하였고, 이를 투입요소와 산출량의 관계로 표현하면 Eq. (1)과 같다. 이를 멱함수 형태로 표현하면 Eq. (2)와 같다.

$$Q = f(L, W, M, K) \tag{1}$$

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

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

$$\ln Q = \ln A + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln W + \alpha_3 \ln M + \alpha_4 \ln K \tag{3}$$

이 식에서 계수값은 부가가치(Q)에 대한 각 설명변수의 생산탄력성을 나타내므로, 용수항에 대한 추정계수 α_2 는 Eq. (4)와 같이 Cobb-Douglas 생산함수에서의 용수 생산탄력성을 의미한다.

$$\epsilon_{CD} = \frac{\partial Q/Q}{\partial W/W} = \alpha_2 \tag{4}$$

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

$$\rho_{CD} = \partial Q / \partial W = \epsilon_{CD}(Q/W) \tag{5}$$

2.2.2 Translog 생산함수

Cobb-Douglas 생산함수가 가지는 요소 간의 대체탄력성이 1이라는 제한을 보완하기 위해 Kmenta (1967) 연구를 시작으로 몇 차례 수정을 거쳤으며, 본 연구에서는 Christensen et al. (1971) 연구에서 제시한 Translog 생산함수를 적용하였다. Translog 함수는 Cobb-Douglas 함수 형태에 로그를 취한 뒤 Taylor 2차 전개한 것으로, Eq. (6)과 같다.

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

이 함수형태는 여러 분야의 생산함수와 관계된 연구과정에 널리 사용되고 있다. Translog 생산함수는 분석 시 제약

요소가 적으며, 다수의 생산물이나 요소투입 함수의 경우에도 이용가능하다는 장점이 있다. 마찬가지로 Eq. (6)을 용수항(W)에 대해 1차 편미분하면 Eq. (7)과 같이 유도되며, 이 식을 이용하여 용수의 생산탄력성을 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{TL} &= \frac{\partial Q/Q}{\partial W/W} \\ &= \alpha_2 + \alpha_5 \ln L + \alpha_8 \ln M + \alpha_9 \ln K + 2\alpha_{12} \ln W \end{aligned} \tag{7}$$

Eq. (7)에 의해 도출된 부가가치의 공업용수 생산탄력성 추정치와 부가가치액 및 공업용수 투입량을 Eq. (8)에 적용하면 Translog 생산함수에 의한 공업용수의 한계생산가치(ρ_{TL})를 결정할 수 있다.

$$\rho_{TL} = \frac{\partial Q}{\partial W} = \epsilon_{TL}(Q/W) \tag{8}$$

3. 공업용수 공급의 경제적 가치

3.1 기초자료 구축

기초자료는 통계청에서 제공 중인 2003년 산업총조사(전수조사) 마이크로데이터를 사용하였고, 공업용수도를 통해 공급받는 사업체로 보기에 부적합한 광업, 전기·가스, 그리고 수도사업을 제외한 제조업 부문의 자료를 대상으로 하였다. 그리고 전 산업에 대한 한계생산가치 외 산업유형에 따른 공업용수 공급의 경제적 가치를 결정하고자 “수자원장기종합계획” (MOLIT, 2016)에서 수요추정 과정에 사용된 11가지 산업분류 체계를 이용하여 재분류하였다. 이는 산업총조사 상의 분류방식을 그대로 이용하기에 몇몇 산업유형에서 충분한 자료를 확보하기가 어려웠기 때문이다. 그리고 용수수요처를 고려하여 공단부호가 존재하는 사업체만을 대상으로 하였고, 지하수 및 기타용수를 사용한 사업체와 자료값에 0을 포함하는 사업체, 그리고 5인 미만의 종사자를 가지는 소규모 사업체는 분석자료에서 제외하였다. 추가적으로 변동성을 검토하고자 왜곡의 소지가 있는 데이터를 제거하는 4가지 기준으로부터 자료세트를 마련하였다. 각각의 케이스를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Data Classification

Data Case	Classification
Case 1 (5% cutting)	Removing data for 5% at both ends on entire data
Case 2 (1 σ)	Using data in mean \pm standard deviation(σ)
Case 3 (1.5 σ)	Using data in mean \pm 1.5 \times standard deviation(σ)
Case 4 (2 σ)	Using data in mean \pm 2 \times standard deviation(σ)

Table 2. Basic Statistics for Each Case

Data Classification	Q (Billion won)	L (Person)	W (m ³)	M (Billion won)	K (Billion won)	Number of Data
Case 1	4,337.37	25.93	23,263.28	2,527.34	1,869.12	14,712
	5,994.55	30.46	101,813.06	3,939.28	3,432.79	
Case 2	2,850.77	21.23	17,277.45	1,580.72	1,359.62	11,647
	2,409.16	19.81	74,203.99	1,579.04	1,980.45	
Case 3	3,557.88	23.37	20,500.35	2,041.74	1,594.88	14,511
	4,259.45	25.43	95,396.53	2,801.97	2,629.02	
Case 4	4,592.70	26.26	23,888.36	2,690.55	1,966.00	15,605
	7,175.22	32.96	107,954.92	4,687.71	3,912.44	

3.2 전 제조산업에 대한 용수공급 한계생산가치

전 제조산업에 대한 한계생산가치 결정을 위해 Cobb-Douglas, Translog, Sector 터미변수를 고려한 Translog 생산함수 모형을 사용하였고, 각 모형에 따른 설명변수의 계수값과 생산탄력성을 결정하여 한계생산가치를 추정하였다. 기초자료는 Table 1의 기준에 따라 준비된 4가지 자료를 사용하였고, Table 2는 전 제조업에 대한 용수공급 한계생산가치 결정에 사용된 변수의 기초통계분석 결과이다.

3.2.1 Cobb-Douglass 생산함수 분석

Table 3은 각 Case별 Cobb-Douglass 생산함수에 대하여 분석한 결과로서, 조정결정계수(Adj R²)는 0.84~0.92로서 추정 모형은 종속변수의 변동에 대해 각각 84~92%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 설명변수의 자기상관성(autocorrelation) 유무를 판정하기 위한 검정통계량인 Durbin-Watson 통계량은 각각 1.63에서 1.78로 자기상관의 문제는 없는 것으로 나타났다. 검정통계량으로 비교해

보았을 때, Case 4가 가장 유의성이 있는 것으로 나타났고, 그 다음으로는 Case 1, Case 3, Case 2 순으로 유의한 결과를 보였다. 사용된 4가지 Case에 따라 최소 3,217.25원/m³에서 5,356.73원/m³으로 나타나 사용자료에 따라 상당한 변동성을 보였다.

3.2.2 Translog 생산함수 분석

Table 4는 각 Case별 Translog 생산함수에 대하여 분석한 결과이다. 조정결정계수는 각각 0.92~0.96로 종속변수의 변동에 대해 각각 92~96%를 설명하는 것으로 나타났고, Cobb-Douglass 생산함수 비해 높은 설명력을 보였다. Durbin-Watson 통계량은 각각 1.75~1.80으로 나타나 자기상관의 문제는 없는 것으로 나타났다. Eq. (6)으로부터 계산된 한계생산가치는 2,993.63원/m³에서 4,568.77원/m³으로 나타나 전반적으로 Cobb-Douglass 생산함수에 의한 결과에 비교할 때 낮은 결과를 보였다. 검정통계량으로 비교해 보았을 때, Cobb-Douglass 생산함수와 마찬가지로

Table 3. Marginal Productivity Value on Entire Industry by Cobb-Douglas Function

Variables	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4	
	Coefficient estimate	T-Value	Coefficient estimate	T-Value	Coefficient estimate	T-Value	Coefficient estimate	T-Value
lnA	2.531	148.06***	2.910	132.55***	2.595	148.41***	2.432	150.46***
lnL	0.483	103.81***	0.460	93.37***	0.491	103.38***	0.494	104.29***
lnK	0.013	5.31***	0.008	3.09***	0.010	4.10***	0.011	4.68***
lnM	0.509	189.34***	0.472	151.31***	0.498	185.74***	0.515	199.88***
lnW	0.024	11.88***	0.019	8.99***	0.024	11.40***	0.028	13.36***
F-Statistics	35,562.66***		15,486.57***		31,601.41***		42,541.17***	
Adj. R ²	0.91		0.84		0.90		0.92	
Durbin-Watson	1.77		1.63		1.75		1.78	
Output elasticity of water	0.03245		0.0195		0.0237		0.0279	
Marginal productivity value (won/m ³)	4,563.13		3,217.25		4,117.43		5,356.73	

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

Table 4. Marginal Productivity Value on Entire Industry by Translog Function

Variables	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4	
	Coefficients Estimates	T-Value	Coefficients Estimates	T-Value	Coefficients Estimates	T-Value	Coefficients Estimates	T-Value
lnA	3.549	63.737***	4.253	46.954***	3.391	57.866***	2.898	59.596***
lnL	0.851	42.710***	0.715	26.111***	0.872	40.546***	0.887	44.485***
lnK	0.013	1.231	0.072	5.536***	0.016	1.506	-0.019	-1.868*
lnM	-0.097	-8.460***	-0.267	-15.184***	-0.077	-6.546***	0.055	5.438***
lnW	0.069	7.900***	0.064	5.698***	0.075	8.371***	0.095	11.245***
lnLlnL	0.078	23.398***	0.084	21.858***	0.077	21.907***	0.081	23.768***
lnKlnK	0.009	9.612***	0.009	9.257***	0.009	9.244***	0.009	8.846***
lnMlnM	0.090	91.660***	0.098	77.735***	0.090	90.281***	0.084	88.158***
lnWlnW	0.001	1.269	0.001	1.003	0.001	1.346	0.000	0.410
lnLlnK	-0.005	-1.958**	-0.011	-4.394***	-0.006	-2.371**	-0.005	-1.762*
lnMlnL	-0.131	-50.896***	-0.110	-35.108***	-0.135	-50.904***	-0.146	-55.953
lnLlnW	-0.005	-2.163*	-0.008	-3.070***	-0.004	-1.579	0.001	0.229
lnKlnM	-0.013	-9.441***	-0.018	-11.304***	-0.012	-9.022***	-0.008	-5.692***
lnKlnW	0.002	1.342	0.001	0.459	0.001	1.077	0.002	1.210
lnMlnW	-0.008	-5.848***	-0.005	-3.249***	-0.009	-6.660***	-0.013	-9.348***
F-Statistics	21,650.23***		9,517.03***		18,868.94***		24,377***	
Adj. R ²	0.95		0.92		0.95		0.96	
Durbin-Watson	1.80		1.79		1.79		1.75	
Output elasticity of water	0.0145		0.0154		0.0156		0.0128	
Marginal productivity value (won/m ³)	3,742.67		2,993.63		3,667.53		4,568.77	

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

Case 4에서 유의성이 가장 높게 나타났다.

3.3.3 Sector 더미변수를 고려한 Translog 생산함수 분석

Table 5는 각 Case별 11개 Sector 더미변수(A: 음식료 및 담배, B: 섬유·가죽, C: 목재·종이·출판, D: 석유정제화학, E: 비금속 및 1차산업, F: 일반기계, G: 전기기계장치, H: 전자통신기기, I: 정밀기기, J: 운송장비, K: 가구 및 기타제조)로 반영한 Translog 생산함수 분석결과로서, 조정결정계수는 0.92~0.96이며, Durbin-Watson 통계량은 1.76~1.81으로 나타나 자기상관의 문제는 없는 것으로 나타났다. 한계생산가치는 3,619.99원/m³에서 5,342.06원/m³로 Cobb-Douglas 함수에 의한 결과와 유사했으며, 검정통계량을 기준으로 볼 때 Case 4에서 가장 높은 유의성을 보였다.

3.3 산업분류별 용수공급 한계생산가치

산업유형 별 공업용수의 사용규모와 용수의존도가 다르고, 제조공정을 통한 산출물이 지니는 부가가치 또한 다른

점을 고려하여 11개 산업유형을 구분하여 한계생산가치를 분석하였다. 특히, 경제성분석 과정에서 산업단지에 입주 예정인 사업체의 산업유형을 알 수 있는 경우, 해당산업 부문에 해당하는 한계생산가치를 적용한다면 보다 엄밀하게 공업용수의 가치를 반영할 수 있을 것이다. 여기서도 마찬가지로 4가지 자료세트를 활용하여 분석하였다.

3.3.1 Cobb-Douglas 생산함수 분석

Cobb-Douglas 생산함수를 이용한 추정결과를 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 나타냈다. 조정결정계수는 모두 80%를 상회하였고, Durbin-Watson 통계량은 전반적으로 1.5이상으로 자기상관의 문제는 없는 것으로 나타났다. 용수의 생산탄력성은 가구 및 기타 제조와 운송장비, 음식료 및 담배 산업에서 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 한계생산가치는 가구 및 기타제조(K), 운송장비(J), 일반기계(F) 산업 순으로 한계생산가치

Table 5. Marginal Productivity Value on Entire Industry by Trans-log Function with Dummy Variables

Variables	Case-1		Case-2		Case-3		Case-4	
	Coefficients Estimates	T-Value	Coefficients Estimates	T-Value	Coefficients Estimates	T-Value	Coefficients Estimates	T-Value
lnA	3.486	61.719***	4.209	46.337***	3.346	56.451***	2.861	57.785***
lnL	0.849	42.889***	0.713	26.240***	0.870	40.730***	0.886	44.745***
lnK	0.016	1.561	0.073	5.630***	0.018	1.734*	-0.016	-1.579
lnM	-0.089	-7.759***	-0.256	-14.674***	-0.071	-6.086***	0.057	5.695***
lnW	0.061	7.082***	0.055	4.853***	0.067	7.422***	0.086	10.248***
lnLlnL	0.077	23.352***	0.084	21.802***	0.076	21.895***	0.081	23.736***
lnKlnK	0.009	10.107***	0.010	9.754***	0.009	9.721***	0.009	9.187***
lnMlnM	0.091	92.567***	0.098	78.416***	0.091	91.191***	0.084	89.212***
lnWlnW	0.002	2.691***	0.001	2.389**	0.002	2.719***	0.001	1.830*
lnLlnK	-0.006	-2.278**	-0.012	-4.571***	-0.007	-2.685***	-0.005	-2.050**
lnMlnL	-0.131	-51.096***	-0.110	-35.432***	-0.134	-51.044***	-0.145	-56.045***
lnLlnW	-0.005	-1.870*	-0.007	-2.710***	-0.003	-1.389*	0.001	0.346
lnKlnM	-0.014	-10.408***	-0.019	-12.027***	-0.014	-9.952***	-0.009	-6.561***
lnKlnW	0.002	1.691*	0.001	0.812	0.002	1.511	0.002	1.599
lnMlnW	-0.009	-6.619***	-0.006	-3.771***	-0.010	-7.225***	-0.013	-9.945***
D1(A)	-0.056	-3.346***	-0.056	-3.150***	-0.070	-4.131***	-0.081	-4.737***
D2(B)	-0.008	-0.595	-0.021	-1.564*	-0.006	-0.489	-0.008	-0.559
D3(C)	0.024	1.634	0.009	0.606	0.023	1.549	0.026	1.722*
D4(D)	0.048	3.720***	0.031	2.280**	0.041	3.151***	0.047	3.492***
D5(E)	0.064	5.164***	0.048	3.678***	0.064	5.156***	0.070	5.511***
D6(F)	0.072	5.822***	0.056	4.319***	0.074	5.891***	0.076	5.921***
D7(G)	0.020	1.374	0.015	0.948	0.016	1.080	0.024	1.583
D8(H)	0.069	4.578***	0.063	3.962***	0.067	4.414***	0.059	3.778***
D9(I)	0.036	1.972*	0.015	0.810	0.038	2.097**	0.035	1.887*
D10(J)	0.055	3.951***	0.037	2.523**	0.059	4.181	0.057	3.987***
D11(K)	0.032	1.334***	0.022	1.542***	0.042	2.596***	0.035	3.338***
F-Statistics	12,837.42***		5,640.62***		11,206.00***		14,482.38***	
Adj. R ²	0.95		0.92		0.95		0.96	
Durbin-Watson	1.81		1.80		1.80		1.76	
Output elasticity of water	0.0210		0.0220		0.0224		0.0198	
Marginal productivity value (won/m ³)	4,444.04		3,619.99		4,353.72		5,342.06	

Note 1: ***significant at 0.01 significance, **significant at 0.05 significance, *significant at 0.10 significance

Note 2: A~J: Industrial classification in this study

가 높게 나왔으며, 가장 낮은 한계생산가치는 섬유가죽(B) 산업으로 나타났다. 검정통계량에 따라 2 sigma 기준으로 데이터를 선별한 Case 4에서 가장 유의성이 높은 것으로

나타났다. Table 6은 산업분류에 따른 4가지 Case를 추정 한 결과의 검정통계량과 생산탄력성, 한계생산가치를 나타 내고 있다.

Table 6. Marginal Productivity Value on Each Sector by Cobb-Douglas Function

Industrial Classification	Case	Number of Data	F-Statistic	Adj. R ²	Durbin-Watson	Output elasticity of water	Marginal productivity value(won/m ³)
A	1	414	1,587.52	0.94	1.77	0.0460	7,473.48
	2	308	547.01	0.88	1.68	0.0498	6,337.16
	3	407	1,360.47	0.93	1.73	0.0495	7,124.97
	4	466	2,533.48	0.96	1.82	0.0436	7,287.32
B	1	1,940	4,885.81	0.91	1.79	0.0080	403.55
	2	1,533	2,687.74	0.88	1.71	0.0137	589.40
	3	1,944	4,728.11	0.91	1.79	0.0104	490.18
	4	2,094	6,038.67	0.92	1.77	0.0078	409.54
C	1	745	1,695.18	0.90	1.84	0.0423	12,661.74
	2	613	776.46	0.84	1.74	0.0328	15,285.96
	3	743	1,477.12	0.89	1.77	0.0441	18,431.90
	4	798	2,128.04	0.91	1.81	0.0529	16,548.30
D	1	1,768	6,417.94	0.94	1.87	0.0373	8,415.56
	2	1,371	2,935.61	0.90	1.78	0.0303	7,972.89
	3	1,712	5,488.70	0.93	1.86	0.0354	7,563.31
	4	1,868	7,681.36	0.94	1.90	0.0378	7,907.58
E	1	3,511	7,331.50	0.89	1.77	0.0308	8,272.83
	2	2,694	3,053.28	0.82	1.66	0.0194	4,554.30
	3	3,482	6,613.16	0.88	1.74	0.0271	6,914.26
	4	3,747	8,916.66	0.90	1.79	0.0344	9,145.90
F	1	3,162	10,284.89	0.93	1.82	0.0302	15,144.32
	2	2,622	4,822.58	0.88	1.77	0.0296	13,616.49
	3	3,130	9,073.22	0.92	1.81	0.0311	15,241.87
	4	3,270	11,187.09	0.93	1.83	0.0335	17,012.14
G	1	694	3,826.17	0.96	2.03	0.0220	7,526.65
	2	552	1,640.37	0.92	1.98	0.0146	4,383.82
	3	681	3,231.97	0.95	2.05	0.0217	7,348.82
	4	734	3,992.79	0.96	2.14	0.0311	10,840.14
H	1	673	1,415.07	0.89	1.64	0.0149	3,972.50
	2	502	521.60	0.81	1.50	0.0149	4,158.07
	3	650	1,221.01	0.88	1.62	0.0209	5,931.94
	4	712	1,591.34	0.90	1.62	0.0164	4,373.67
I	1	313	825.13	0.91	1.71	0.0182	6,812.50
	2	260	538.34	0.89	1.56	0.0046	1,775.69
	3	312	760.93	0.91	1.69	0.0159	5,587.12
	4	335	1,026.20	0.92	1.71	0.0227	7,929.32
J	1	1,045	2,431.43	0.90	1.74	0.0555	24,685.67
	2	836	990.24	0.83	1.61	0.0393	17,384.85
	3	1,002	2,022.22	0.89	1.73	0.0524	24,454.80
	4	1,100	2,929.76	0.91	1.75	0.0612	29,141.09
K	1	447	1,477.56	0.93	1.86	0.0526	25,285.91
	2	358	735.60	0.89	1.78	0.0551	28,015.23
	3	448	1,399.38	0.93	1.87	0.0547	26,961.74
	4	481	1,696.14	0.93	1.79	0.0551	28,915.81

Table 7. Marginal Productivity Value on Each Sector by Translog Function

Industrial classification	Case	Number of obs.	F-Statistic	Adj. R ²	Durbin-Watson	Output elasticity of water	Marginal productivity value(won/m ³)
A	1	414	559.11	0.95	1.75	0.0495	8,123.63
	2	308	201.58	0.90	1.70	0.0556	6,403.18
	3	407	465.54	0.94	1.76	0.0532	7,365.63
	4	466	849.18	0.96	1.81	0.0506	8,068.62
B	1	1,940	2,644.70	0.95	1.86	0.0113	1,122.26
	2	1,533	1,418.04	0.93	1.77	0.0172	884.08
	3	1,944	2,552.49	0.95	1.86	0.0128	1,081.80
	4	2,094	3,110.15	0.95	1.83	0.0089	1,324.41
C	1	745	1,035.36	0.95	1.82	0.0101	8,359.16
	2	613	516.44	0.92	1.80	0.0169	9,354.99
	3	743	890.33	0.94	1.80	0.0173	14,301.36
	4	798	1,271.05	0.96	1.80	0.0156	14,282.80
D	1	1,768	2,688.43	0.96	1.85	0.0266	5,466.04
	2	1,371	1,124.13	0.92	1.75	0.0228	5,497.00
	3	1,712	2,339.09	0.95	1.84	0.0278	5,218.54
	4	1,868	3,206.26	0.96	1.87	0.0264	5,279.72
E	1	3,511	5,359.69	0.96	1.79	0.0252	6,506.37
	2	2,694	2,125.16	0.92	1.83	0.0283	5,502.38
	3	3,482	4,660.16	0.95	1.77	0.0272	6,502.81
	4	3,747	5,960.67	0.96	1.71	0.0264	7,911.87
F	1	3,162	5,266.95	0.96	1.88	0.0189	12,116.52
	2	2,622	2,564.34	0.93	1.91	0.0202	10,082.34
	3	3,130	4,697.78	0.95	1.87	0.0190	12,365.51
	4	3,270	5,483.91	0.96	1.81	0.0166	14,056.63
G	1	694	1,725.98	0.97	1.92	-0.0012	4,137.66
	2	552	762.55	0.95	1.98	0.0028	3,327.99
	3	681	1,470.81	0.97	1.95	-0.0005	4,663.75
	4	734	1,993.09	0.97	1.96	-0.0022	5,029.70
H	1	673	752.08	0.94	1.73	0.0270	4,012.76
	2	502	249.08	0.87	1.70	0.0251	3,627.51
	3	650	602.34	0.93	1.70	0.0248	4,472.51
	4	712	753.19	0.94	1.61	0.0296	4,840.97
I	1	313	413.94	0.95	1.69	0.0298	5,116.67
	2	260	215.53	0.92	1.56	0.0024	1,969.31
	3	312	384.00	0.95	1.69	0.0291	3,987.68
	4	335	496.48	0.95	1.71	0.0193	6,583.75
J	1	1,045	2,014.02	0.96	1.94	0.0198	13,548.79
	2	836	817.46	0.93	1.89	0.0189	12,039.03
	3	1,002	1,603.67	0.96	1.94	0.0279	18,052.44
	4	1,100	2,214.60	0.97	1.86	0.0201	15,425.98
K	1	447	648.93	0.95	1.82	0.0328	23,549.89
	2	358	325.94	0.93	1.77	0.0372	26,192.22
	3	448	613.12	0.95	1.85	0.0349	23,741.22
	4	481	855.30	0.96	1.89	0.0313	29,281.20

Table 8. Elasticity and Marginal Productivity Value of Industrial Water

Function	Industrial Classification	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4		Volatility (%)
		Output elasticity of water	Marginal productivity value (won/ton)	Output elasticity of water	Marginal productivity value (won/ton)	Output elasticity of water	Marginal productivity value (won/ton)	Output elasticity of water	Marginal productivity value (won/ton)	
Cobb-Douglas Function	A	0.046	7,473.48	0.050	6,337.16	0.050	7,124.97	0.044	7,287.32	15.2
	B	0.008	403.55	0.014	589.40	0.010	490.18	0.008	409.54	31.5
	C	0.042	12,661.74	0.328	15,285.96	0.044	18,431.90	0.053	16,548.30	31.3
	D	0.037	8,415.56	0.030	7,972.89	0.035	7,563.31	0.038	7,907.58	10.1
	E	0.031	8,272.83	0.019	4,554.30	0.027	6,914.26	0.034	9,145.90	50.2
	F	0.030	15,144.32	0.030	13,616.49	0.031	15,241.87	0.034	17,012.14	20.0
	G	0.022	7,526.65	0.015	4,383.82	0.022	7,348.82	0.031	10,840.14	59.6
	H	0.015	3,972.50	0.015	4,158.07	0.021	5,931.94	0.016	4,373.67	33.0
	I	0.018	6,812.50	0.005	1,775.69	0.016	5,587.12	0.023	7,929.32	77.6
	J	0.056	24,685.67	0.039	17,384.85	0.052	24,454.80	0.061	29,141.09	40.3
	K	0.053	25,285.91	0.055	28,015.23	0.055	26,961.74	0.055	28,915.81	12.6
Entire	0.025	4,563.13	0.020	3,217.25	0.024	4,117.43	0.028	5,356.73	39.9	
Translog Function	A	0.050	8,123.63	0.056	6,403.18	0.053	7,365.63	0.051	8,068.62	21.2
	B	0.011	1,122.26	0.017	884.08	0.013	1,081.80	0.009	1,324.41	33.2
	C	0.010	8,359.16	0.017	9,354.99	0.017	14,301.36	0.016	14,282.80	41.5
	D	0.027	5,466.04	0.023	5,497.00	0.028	5,218.54	0.026	5,279.72	5.1
	E	0.025	6,506.37	0.028	5,502.38	0.027	6,502.81	0.026	7,911.87	30.5
	F	0.019	12,116.52	0.020	10,082.34	0.019	12,365.51	0.017	14,056.63	28.3
	G	-0.001	4,137.66	0.003	3,327.99	-0.001	4,663.75	-0.002	5,029.70	33.8
	H	0.027	4,012.76	0.025	3,627.51	0.025	4,472.51	0.030	4,840.97	25.1
	I	0.030	5,116.67	0.002	1,969.31	0.029	3,987.68	0.019	6,583.75	70.1
	J	0.020	13,548.79	0.019	12,039.03	0.028	18,052.44	0.020	15,425.98	33.3
	K	0.033	23,549.89	0.037	26,192.22	0.035	23,741.22	0.031	29,281.20	19.6
Entire	0.015	3,742.67	0.015	2,993.63	0.016	3,667.53	0.013	4,568.77	34.5	
Translog Function with Dummy Variables	Entire	0.021	4,444.04	0.022	3,619.99	0.022	4,353.72	0.020	5,342.06	32.2

3.3.2 Translog 생산함수 분석

Translog 생산함수를 이용한 추정결과를 살펴보면, 용수의 생산탄력성은 음식료 및 담배산업과 가구 및 기타 제조, 전자통신기기 산업에서 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 조정결정계수는 4가지 Case 모두 85%를 상회하였고, Durbin-Watson 통계량은 1.5 이상으로 자기상관의 문제는 없는 것으로 나타났다. 산업분류별로 살펴보면, 가구 및 기타제조(K), 운송장비(J), 일반기계(F) 산업 순으로 한계생산가치가 높게 나왔으며, 섬유·가죽(B) 산업에서 가장 낮은 한계생산가치를 보였다. Case 별로 살펴보면 2시그마로 데이터를 선별한 Case4의 경우가 검정통계량을 보았을 때 가장 유의한 것으로 추정되었다. Table 7은 산업분류에 따른 4가지 Case 별로 추정한 결과의 검정통계량과 생산탄력성, 한계생산가치를 나타내고 있다.

3.4 결과분석

모형에 따른 한계생산가치 추정 결과는 Cobb-Douglas 함수가 Translog 함수에 비해 높게 나타났으며, 더미변수를 포함한 Translog 함수는 Cobb-Douglas 함수의 결과와 유사하게 나타났다. 개별 섹터에 대해 분석한 결과 또한, 음식료 및 담배(A), 석유·가죽(B)를 제외한 나머지 산업유형에서 Cobb-Douglas 함수의 결과가 높게 나타났다. 사용자료에 따른 결과값의 변동은 한계생산가치 분석결과 가운데 최대값과 최소값을 기준으로 검토하였고, 전 산업의 경우 섹터 더미변수를 포함한 Translog 함수에서 변동이 32.2%로 가장 작게 나타났으며, Cobb-Douglas 함수에서 39.9%의 가장 큰 변동을 보였다. 산업유형별 결과는 전 산업에 의한 결과와 같이 Translog 함수에서 변동이 작게 나타났으며, 섹터별로 살펴보면 Cobb-Douglas 함수와

Translog 함수 모두 정밀기기(I)에서 한계생산가치 결과값의 변동이 가장 크게 나타났으며, 석유정제화학(D)에서 가장 낮은 변동성을 보였다.

4. 결 론

본 연구는 그 동안 국내에서 사용된 Cobb-Douglas와 Translog 생산함수 모형 외 Sector 더미변수를 고려한 Translog 생산함수 모형을 추가하여 비교하였고, 원자료는 2003년 산업총조사 자료를 활용하였다. 나아가 한계생산가치 결정과정에서 몇몇 초대기업(극대)으로 인해 왜곡될 가능성을 고려하여 4개의 자료세트(Case)를 마련하였고, 이에 따른 변동성을 검토하였다. 본 연구로부터의 주요 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 전 제조산업에 대한 한계생산가치는 3가지 분석모형을 기준으로 4개 자료세트를 이용하여 추정하였고, 모두 Cobb-Douglas 함수에서 가장 높은 결과를 보였으며, Translog 함수에서 가장 낮은 결과를 나타냈다. 자료세트에 따라서는 전 분석모형 모두에서 Case 2 (1 sigma)에서 가장 높은 결과를 보였고, Case 4 (2 sigma)에서 가장 낮은 결과를 나타냈다. 전 제조산업의 한계생산가치 추정결과는 최소 2,994원/ton에서 최대 5,357원/ton 까지 평가되어 Min (2006)과 Kim et al. (2009)의 연구결과와 유사하였다.

(2) 산업유형별 결과는 전 제조산업에 대한 분석결과와 마찬가지로 Cobb-Douglas 함수에서 높은 결과를 보였으며, 자료세트에 따른 결과는 절반 이상의 산업유형에서 Case 2 (1 sigma)에서 가장 높은 결과를 보였고, Case 4 (2 sigma)에서 가장 낮은 결과를 보였다. 그러나 전 제조산업 결과와 같이 뚜렷한 일관성을 나타내지는 못하였다.

(3) 섹터별 한계생산가치는 분석모형 모두 가구 및 기타 제조(K)에서 가장 높게 나왔으며, 섬유가죽(B)가 가장 낮은 것으로 분석되었다. 산업유형 가운데 가장 많은 사업체를 포함하는 비금속 및 1차산업(E)의 경우 최소 5,219원/ton에서 최대 9,146원으로 추정되었다.

(4) 사용된 자료세트(Case)에 따른 한계생산가치 결과의 변동성은 최대값과 최소값을 기준으로 검토하였는데, 전 산업에 대한 결과와 섹터별 분석결과 모두 Cobb-Douglas 함수에서 큰 변동성을 나타냈다. 섹터별 결과에서는 분석모형 모두 정밀기기(I)에서 한계생산가치 결과값의 변동이 가장 크게 나타났으며, 석유정제화학(D)에서 가장 낮은 변동성을 보였다.

공급용수를 포함한 용수공급 사업의 경제적 가치는 일반적으로 경제학적인 관점에서 평가하고 있으나, 본 연구에서 검토된 바와 같이 분석모형, 기초자료에 따라 많은 변동성을 보일 수 있다. 또한, 산업부문별 용수 의존도가 확연히 다른 것과 산업별 요구되는 공업용수의 수질 또한 다른 특성은 실질적인 가치 추정을 어렵게 한다. 공업용수 공급사업은 예비타당성조사를 비롯한 각종 타당성조사 과정에 자주 등장하는 사업이나, 생활용수에 비해 그 동안 국내연구가 미흡하였다. 향후 다학제간 합의가 이루어지기 위해서는

보다 활발한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술 연구사업의 연구비지원(13건설연구S01)에 의해 수행된 연구이며, 아울러 소중한 시간을 할애하여 논문을 심사해주시고 귀한 의견을 주신 익명의 심사위원들께도 감사드립니다.

References

- Christensen, LR, Jorgenson, DW and Lau LJ (1971). Conjugate duality and the transcendental logarithmic production function, *Econometrica*, 39(4), pp. 225-256. http://tci.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gsweb.cgi?o=dnclret&s=id=%22RF10002705056%22.&searchmode=basic&tcihsspage=tcisearch_opt2_search
- Dupont, D and Renzetti, S (2001). The Role of Water in Manufacturing, *Environmental and Resource Economics*, 18(4), pp. 411-432. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1011117319932>
- Frederick, KD, Hanson, J and VandenBerg, T (1996). *Economic Values of Freshwater in the United States*, Resources for the Future. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/10736/1/dp970003.pdf>
- Kim, GH, Lee, CS, Lee, SW and Sim, MP (2009). Estimation of Industrial Water Supply Benefits Using Production Function Approach, *J. of Civil Engineering*, 29(2B), pp. 173-179. [Korean Literature] <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE01240074>
- Kindler, J, Russell, CS and Bower, BT (1984). *Modeling Water Demands*, Academic Press. <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/2392/>
- Kmenta, J (1967). *On Estimation of CES production Function*, in *International Economic Review*. <https://pdfs.semanticscholar.org/e2a0/5cd3784a7e5a393c14199c8d948d8494735f.pdf>
- Lee, JS, Park, SY, Ryu, MH and Yoo, SH (2012). Economic Value of Industrial Water Use, *J. of Korea Water Resources Association*, 45(4), pp. 373-381. [Korean Literature] [http://www.kwra.or.kr/wonmun/KWRA_2_2012_45_4_373\(C\).pdf](http://www.kwra.or.kr/wonmun/KWRA_2_2012_45_4_373(C).pdf)
- Min, DG (2006). Estimating the Contribution of Industrial Water on Output and Price Elasticities in Manufacture, *Environmental and Resource Economics Review*, 15(5), pp. 961-974. [Korean Literature] <http://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=2587420>
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016). *Water Resources Plan*. [Korean Literature]
- Renzetti, S (1992). Estimating the Structure of Industrial Water

- Demands: The Case of Canadian Manufacturing, *Land Economics*, 68(4), pp. 396-404. <https://ideas.repec.org/a/uwp/landec/v68y1992i4p396-404.html>
- Schneider, ML and Whitlatch, EE (1991). User-Specific Water Demand Elasticities, *J. of Water Resources Planning and Management*, 117(1), pp. 52-73. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9496%281991%29117%3A1%2852%29>
- Wang, H, and Lall, S (1999). *Valuing Water for Chinese Industries : A Marginal Productivity Assessment*, The World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/250311468743988343/Valuing-water-for-Chinese-industries-a-marginal-productivity-assessment>
- Wang, H, and Lall, S (2002). Valuing water for Chinese industries : a marginal productivity analysis, *Applied Economics*, 34(6), pp. 759-765. <https://ideas.repec.org/a/taf/applec/v34y2002i6p759-765.html>