

# 수도산업의 공급지장비용 분석 - 산업연관분석을 활용하여

## The Economic Cost of Unsupplied Water in Korea Using Input-Output Analysis

어승섭\*, 유승훈\*\*, 문경훈\*\*\*

Seung-Seob Euh, Seung-Hoon Yoo, Kyung-Hoon Moon

### 요 지

산업 현장에서 용수는 필수적인 요소이다. 특히 안정적인 용수 공급이야말로 산업 활동을 지속적으로 이어가게 하는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 용수 공급이 차질을 빚을 경우 발생하는 공급지장비용(Water Shortage Cost)을 산업연관구조를 분해하여 산출해보고자 한다. 연구 결과, 수도 공급이 예기치 않은 이유로 감축되거나 절수되어야 할 때, 수도 산업의 최종 수요 소비자에게 수도 공급을 감축시킨다면, 사회에 미치는 한계비용은  $\text{m}^3$ 당 903원 이하로 나타났다. 그 다음으로는 제일 낮은 가치 승수를 가진 섬유·가죽 산업이 타깃이 되어 수도 공급을 감축하게 되는데 이때 발생하는 공급지장한계비용은  $\text{m}^3$ 당 55,710원 이하가 된다. 다시 세 번째 타깃은 음식점 및 숙박 산업이 공급지장 타깃이 되며, 이의 공급지장한계비용은  $\text{m}^3$ 당 78,053원 이하가 된다. 수도 수요가 수도 공급보다 많아 공급지장상황이 지속적으로 발생하여 공급 감축 타깃이 농산품에 이르면, 공급지장한계비용이  $\text{m}^3$ 당 435,206원에 이르는 것으로 분석되었다.

**핵심용어** : 공급지장비용, 수도산업, 산업연관분석, 투입산출분석

### 1. 서론

산업 현장에서 용수는 필수적인 요소이다. 특히 안정적인 용수 공급이야말로 산업 활동을 지속적으로 이어가게 하는 중요한 요소이다. 그런데 예기치 못하게 용수 공급에 지장이 생기면 경제적으로 막대한 손실을 가져온다. 용수 공급이 원활하지 못하게 되면 직접적으로는 생산 차질, 원료 공급 불안, 각종 장비 고장 등의 생산 및 공정상의 문제를 일으키고 간접적으로는 생산 차질에 따른 관련 산업의 생산 손실부터 실업 및 물가 상승 등의 문제까지 나타난다. 본 연구에서는 이러한 직·간접적인 손실을 공급지장비용이라고 정의한다. 본 연구에서는 용수 공급이 차질을 빚을 경우 발생하는 공급지장비용(Water Shortage Cost)을 산업연관분석을 분해하여 산출해보고자 한다.

### 2. 연구방법론

산업연관표를 행(row)으로 보면, 각 산업부문의 생산물의 배분구조를 알 수 있는데, 총산출( $X_i$ )은 중간수요( $Z_{ij}$ )와 최종수요( $Y_i$ )의 합으로 구해진다. 이를 행렬벡터로 변환하면,  $X = AX + Y$ 와 같다. 이를 다시 쓰면,  $(I - A)X = Y$ 을 얻는다. 여기에 수입 부문( $M$  : imports)을 도입해보면,  $(I - A)X = Y - M$ 과 같다. 한편, 이하의 방법론은 Chen et al. (1994)의 연구에 따라 전개하고자 한다. 수도 산업의 공급 효과를 명확히 보기 위해, 아래와 같이 분리하여 작성한다.

\* 정희원 · 고려대 경제학과 박사과정 · E-mail : livelab@korea.ac.kr

\*\* 정희원 · 호서대학교 사회과학대학 해외개발학과 교수 · E-mail : shyoo@hoseo.edu

\*\*\* 한국수자원공사 수도사업처 수도계획팀장

$$\begin{pmatrix} (I-\hat{A}) & -\alpha \\ -w & 1-y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{X} \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{Y} \\ Y_W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \hat{M} \\ M_W \end{pmatrix} \quad (1)$$

단,  $I$ 는  $(n-1) \times (n-1)$  단위행렬,  $\hat{A}$ 는 비수도업 부분의  $(n-1) \times (n-1)$  투입계수 행렬,  $\alpha$ 는 비수도업의 수도 부문 투입계수 열(column),  $w$ 는 비수도업의 수도 부문 투입계수 행(row),  $y$ 는 수도업 부분의 투입 계수,  $W$ 는 수도업의 총산출,  $\hat{X}$ 는 비수도업 부분의 총산출,  $\hat{Y}$ 는 비수도업 부분의 최종 수요,  $Y_W$ 는 수도업의 최종 수요,  $M$ 은 비 수도업 부분의 수입,  $M_W$ 은 수도업의 수입이라고 가정한다. 부가가치( $V$ )를 극대화하여 제한된 수도 자원을 다른 부문에 할당하는 최적의 방법을 찾기 위해 다음 극대화 식과 목적식을 도입한다.

$$\text{Maximize } TB = \hat{V}\hat{X} + V_W W \quad (2)$$

$$\text{목적식 : } (I-\hat{A})\hat{X} = \alpha W + (\hat{Y}-\hat{M}), \quad -w\hat{X} - Y_W = (y-1)W - M_W$$

$$0 \leq \hat{W} \leq \hat{W}^0, \quad 0 \leq \hat{X} \leq \hat{X}^0, \quad W = (1-S)W^0, \quad 0 \leq Y_W \leq Y_w^0$$

단,  $TB$ 는 전체 편익,  $\hat{V}$ 는 비수도업 부분의 부가가치 계수의 행(row)벡터,  $V_W$ 는 수도업 부분의 부가가치 계수,  $W^0, \hat{X}^0, \hat{Y}^0, Y_w^0$ 는  $W, \hat{X}, \hat{Y}, Y_W$ 의 최적 상태,  $S$ 는 공급되지 않는 수도 공급 비율로 가정한다. 그리고 식을 간단히 하기 위해 (3)과 같이 가정해보자.

$$B = \begin{bmatrix} I-\hat{A} & 0 \\ -w & -1 \end{bmatrix}, \quad X^* = \begin{bmatrix} \hat{X} \\ Y_W \end{bmatrix}, \quad \alpha^* = \begin{bmatrix} \alpha \\ y-1 \end{bmatrix}, \quad Y^* = \begin{bmatrix} \hat{Y} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad M^* = \begin{bmatrix} \hat{M} \\ M_w \end{bmatrix}$$

$$K = (I-\hat{A})^{-1}\alpha, \quad \omega = -w(I-\hat{A})^{-1}, \quad \theta = 1-y+\omega\alpha, \quad C_W = M_W - \omega\hat{M} \quad (3)$$

이를 적용하여 식 (1)은 식 (4a)와 식 (4b)와 같이 간단히 변형할 수 있다.

$$\hat{X} = KW + (I-\hat{A})^{-1}(\hat{Y}-\hat{M}) \quad (4a)$$

$$Y_W = \theta W + C_W + \omega\hat{Y} \quad (4b)$$

극대화식인 총 편익식을 간단히 하기 위해 식 (5)와 같이 정의해보자.

$$\beta = \hat{V}(I-\hat{A})^{-1}, \quad C_M = \beta\hat{M}, \quad Q = \hat{V}K + V_W = \beta\alpha + V_W \quad (5)$$

결국 식 (4a)와 식 (5)를 활용하면 총편익을 나타내는 식 (2)는 다음과 같이 간단하게 변형된다.

$$TB = \hat{V}\hat{X} + V_W W = \beta\hat{Y} + QW - C_M \quad (6)$$

수입 시설과 다른 요소들은 제한적 용량을 갖기에 수도 공급지장이 단기간에 발생한다면,  $C_M$ 은 상수 값을 갖는다. 그리고  $\beta = [\beta_j]$ 는 상수 벡터이고,  $Q$  역시 상수 벡터이므로, 식 (6)의 최적 편익 극대화는  $\beta$ 와  $\hat{Y}$ 의 영향을 받는다. 한편,  $\beta_j$ 는  $j$ 부문의 가치 승수(value multiplier)라고 한다. 제일 큰 가치 승수 값을 가진 어떤 부문의 최종 수요는 가장 큰 부가가치를 유발하게 된다. 그러므로 이를 경제적 관점에서 본다면, 모든 수요를 만족시키는 데에 지장이 생길 때, 보다 낮은 가치 승수를 갖는 부문에 첫 번째로 공급을 줄이는 것이 합리적이다. 이 같은 논리를 적용하면, 수도 공급지장이 발생할 시 최적의 할당 정책은 수도 공급이 전체 경제의 새로운 생산 체계에 충분히 적용할 때까지 가치 승수의 오름차순대로 한 부문씩 최종 수요를 줄여나가는 것이다.

수도 공급지장 상황에서는 수도 공급량은 일정한 상한선에서 고정될 것이다. 그러므로 아무리 수도 설비가 수도 공급을 할당시킨다 하더라도 수도 부문에 의해 발생된 직접적인 부가가치는  $V_W W$ 에서 고정된다. 최종 수요 소비자에게 수도를 공급하는 것은 단지 최종 수요 부문이 소비만 하고 부가가치를 발생시키지 않기 때문에 어떤 부가가치 효과도 유발하지 않을 것이다.

### 3. 공급지장비용 추정

전체 부가가치 극대화를 유일한 기준으로 둔다면 수도산업의 최종 수요 소비자가 수도 공급 감축의 첫 번째 타깃이 된다. 최적 해 추정 과정을 살펴보자. 위에서 언급한 오름차순 논리를 반영하면, 식 (4b)은 식 (7)과 같이 변형가능하다.

$$Y_W = \theta W^0(1 - S) + \sum_{k=1}^{n-1} \omega_k Y_k + C_W, \quad S = 1 - \frac{Y_W}{\theta W^0} + \frac{C_W}{\theta W^0} + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\omega_k Y_k}{\theta W^0} \quad (7)$$

각 산업 부문들의 최종수요의 최적 조건을  $Y_W^0, Y_{n-1}^0, Y_{n-2}^0, \dots, Y_1^0$ 이라 하면,  $S=0$ 일 때,  $Y_W = Y_W^0, Y_k = Y_k^0$  ( $k=1, 2, \dots, n-1$ ) 이 될 수 있다. 한편,  $\gamma_W = 1/\theta W^0$ ,  $\gamma_k = \omega_k/\theta W^0$  ( $k=1, 2, \dots, n-1$ )라고 하면, 식 (7)에서 공급지장비율과 최종 수요와의 관계가 도출된다.

$$S = \gamma_W(Y_W^0 - Y_W) - \left[ \sum_{k=1}^{n-1} \gamma_k(Y_k^0 - Y_k) \right] \quad (8)$$

공급지장 비율이 증가할수록 수도 시설은 전체 부가가치를 극대화하기 위해 수도의 최종수요자로부터 첫 번째로 수도 공급을 줄일 것이다. 이론적으로 보면,  $Y_W=0$ 일 때까지 첫 번째 수도 공급을 줄이게 될 것이다. 그런데도 만약 수도 수요가 수도 공급 보다 많다면, 가장 낮은 가치 승수를 가진 산업 부문의 최종 수요의 수도 공급을 줄일 것이다. 이러한 과정을 수식으로 단계적으로 살펴보면 다음과 같다.

$$S_W = \gamma_W Y_W^0, S_1 = \gamma_W Y_W^0 - \gamma_1 Y_1^0, S_t = \gamma_W Y_W^0 - \sum_{k=1}^t \gamma_k Y_k^0, \dots, S_{n-1} = \gamma_W Y_W^0 - \sum_{k=1}^{n-1} \gamma_k Y_k^0 \quad (9)$$

식 (6)으로부터  $t$ 단계에서의 전체 편익은 식 (10)과 같다.

$$TB_t = TB^0 - \sum_{k=1}^t \beta_k Y_k^0 - Q \Delta W \quad (10)$$

$t-1$ 단계에서  $t$ 단계까지의 수도 공급( $W$ ), 전체 편익( $TB$ )의 감소분은 다음과 같다.

$$\Delta W_t = (S_{t-1} - S_t) W^0 = \gamma_t Y_t^0 W^0 = \omega_t Y_t^0 / \theta, \Delta TB_t = Q \gamma_t Y_t^0 W^0 - \beta_t Y_t^0 \quad (11)$$

이를 바탕으로 공급 감축 전략을 따르는 한계 생산비용을 구하면, 식 (12)와 같다.

$$MC_t = \Delta TB_t / \Delta W_t = Q - \theta \beta_t / \omega_t \quad (12)$$

### 4. 수도산업의 공급지장비용 추정 결과

2005년 산업연관표에서 제시된 통합부문(소분류) 체계 중에서 수도 산업을 추출하고 그 나머지 산업 중 제조업 부문은 건설교통부의 2006년 수자원장기종합계획에 근거하여 분류하였으며, 비제조업 부문은 한국은행에서 제시하는 대분류체계로 분류하였다. 최적의 할당정책은 각 공급지장 상황에 따라 전체 사회적인 편익을 극대화하면서 이루어진다고 가정하고 있다. 다만, 경제적 관점에 따라 최종 수요 소비자에게 수도 공급을 제한할 수 있는지 여부와 최종 수요 소비자에게 부문별 공급을 어느 정도까지 줄일 수 있는지가 관건인 것이다. 그러기에 본 연구에서는 다음과 같은 경우를 가정하고자 한다. 즉, 공급감축 할당정책에 대한 가정을 다음과 같이 한다.

Case 1 : 경제적 관점에 따라 수도 공급을 최종 수요 소비자에게 제한할 수 있으며, 최종 수요 소비자에게 부문별 공급을 20%까지 최대로 줄일 수 있다고 가정

Case 2 : 경제적 관점은 Case 1과 동일, 30%까지 최대로 줄일 수 있다고 가정

단, 실증 분석을 진행할 때에는, 광산품의 최종수요가 음의 값을 갖기 때문에 각 공급 최대 감소 비율은 0으로 두고 분석할 것이다. 비수도 산업의 부문별 가치 승수를 구하면, 표 1과 같다. 섬

유·가죽 산업의 가치 승수가 0.9917로 가장 낮으며, 음식점 및 숙박 산업이 그 뒤를 잇고 있다.

표 1. 비수도 산업의 부문별 가치 승수

번호	부문별 명칭	가치승수	번호	부문별 명칭	가치승수
4	섬유·가죽	0.9917	11	정밀기기	0.9981
17	음식점 및 숙박	0.9941	19	통신및방송	0.9982
2	광산품	0.9941	18	운수	0.9982
24	사회 및 기타서비스	0.9950	20	금융 및 보험	0.9984
25	기타	0.9955	8	일반기계	0.9984
23	교육 및 보건	0.9964	12	운송장비	0.9984
6	석유·정제·화학	0.9971	9	전기기계장치	0.9984
22	공공행정 및 국방	0.9973	10	전자통신기기	0.9984
14	전력가스	0.9974	3	음식료 및 담배	0.9984
13	가구 및 기타제조업	0.9975	16	도소매	0.9984
21	부동산 및 사업서비스	0.9976	15	건설	0.9987
7	비금속 및 1차산업	0.9977	1	농산품	0.9989
5	목재·종이·출판	0.9981	-	-	-

표 2. 수도권 산업의 최소 공급지장비율과 공급지장평균비용 및 한계비용

단계	부문 별번호	Case 1		Case 2		평균비용 (원/m <sup>3</sup> )	한계비용 (원/m <sup>3</sup> )
		공급지장 비율(%)	총편익 (백만원)	공급지장 비율(%)	총편익 (백만원)		
0	0	0	851,982,152	0.00	851,982,152	0	-
1	26	0.07	851,554,308	0.11	851,340,386	903	903
2	4	0.09	844,948,638	0.14	841,431,881	11,875	55,710
3	17	0.11	836,850,565	0.16	829,284,772	21,740	78,053
4	2	0.11	836,850,565	0.16	829,284,772	21,740	78,980
5	24	0.12	827,345,948	0.18	815,027,845	30,824	92,070
6	25	0.12	827,035,631	0.19	814,562,370	31,095	103,235
7	23	0.15	804,899,633	0.23	781,358,373	48,389	129,661
8	6	0.16	789,781,648	0.25	758,681,397	58,241	159,152
9	22	0.18	776,182,268	0.27	738,282,327	66,022	169,723
10	14	0.18	773,950,648	0.27	734,934,896	67,229	177,533
11	13	0.18	772,130,587	0.27	732,204,805	68,211	182,457
12	21	0.20	750,753,195	0.30	700,138,717	79,100	195,945
13	7	0.20	744,930,120	0.30	691,404,103	81,790	200,020
14	5	0.20	744,274,642	0.30	690,420,887	82,123	245,050
15	11	0.20	741,724,632	0.31	686,595,872	83,419	250,032
16	19	0.21	737,339,232	0.31	680,017,772	85,637	258,321
17	18	0.21	728,487,982	0.32	666,740,898	89,998	264,437
18	20	0.22	721,363,626	0.32	656,054,363	93,464	281,214
19	8	0.22	710,933,122	0.33	640,408,607	98,330	282,432
20	12	0.23	693,596,645	0.35	614,403,892	105,918	284,647
21	9	0.24	678,823,674	0.36	592,244,435	111,950	287,471
22	10	0.25	665,975,722	0.37	572,972,507	116,880	287,563
23	3	0.25	656,845,421	0.38	559,277,055	120,224	288,216
24	16	0.26	645,996,781	0.38	543,004,096	124,052	290,309
25	15	0.27	617,829,115	0.40	500,752,597	134,627	357,438
26	1	0.27	614,831,935	0.40	496,256,827	135,812	435,206

가치 승수의 오름차순대로 구한 각 Case별 공급지장 비율, 총 편익, 공급지장평균비용, 공급지장한계비용은 표 2에 각각 제시하고 있다. 한편, 산업연관표상의 거래 금액은 화폐단위로 제시되어 있다. 이에  $m^3$ 당 원단위로 분석하기 위하여, 공급지장비용의 분석결과를 통계청의 「상수도통계」에서 제시하고 있는 2005년 전국  $m^3$ 당 평균수도요금 563.2원으로 나누었다.

표 2를 보면, 수도 산업과 가치 승수가 낮은 산업군부터 총편익이 감소한다. 수도의 정상적 공급상황을 보일 때 즉, 공급지장 현상이 발생하지 않을 경우 총편익은 851,982,152백만원인데, 수도 공급지장 현상이 발생하면 그 편익은 공급지장비율에 따라 계속 감소한다. 공급지장비율에 따른 총편익의 감소 편익분과 공급지장비율에 따른 수도 공급의 감소분을 이용하면 공급지장평균비용과 공급지장한계비용을 구할 수 있다. 수도 공급이 예기치 않은 이유로 감축되거나 절수되어야 할 때, 수도 산업의 최종 수요 소비자에게 수도 공급을 감축시킨다면, 표 2에서 보듯, 사회에 미치는 한계비용은  $m^3$ 당 903원 이하로 나타났다. 그 다음으로는 제일 낮은 가치 승수를 가진 섬유·가죽 산업이 타깃이 되어 수도 공급을 감축하게 된다. 이때 발생하는 공급지장한계비용은  $m^3$ 당 55,710원 이하가 된다. 다시 세 번째 타깃은 음식점 및 숙박 산업이 공급지장 타깃이 되며, 결국 수도 수요가 수도 공급보다 많아 공급지장상황이 지속적으로 발생하여 공급 감축 타깃이 농산품에 이르면, 공급지장한계비용이  $m^3$ 당 435,206원에 이르는 것으로 분석되었다. 그리고 총편익감소분만 분석해본다면, 공급감축할당 단계에 관계없이 최종수요가 큰 산업부문인 건설 부문, 교육 및 보건 부문, 부동산 및 사업서비스 부문, 운송장비 부문의 총편익의 감소폭이 큰 것으로 나타났다. 즉, 식 (6)에서 확인되듯, 총편익은 최종수요의 함수이기도 한 것이다. 한편, 각 Case별 공급지장 비율을 보면, Case 1은 총 27%에 이르고 Case 2는 총 40% 이른다. 즉, 최종 수요 공급 감소 지연율이 높을수록 수도 공급지장 비율이 낮아지는 것을 알 수 있다.

## 5. 소결

산업연관분석의 장점은 산업부문과 최종수요 변화간 자원의 흐름이 어떻게 외부 요인과 반응하는지를 살펴볼 수 있다는 것이다. 본 연구는 오름차순에 근거하여 가치 승수의 연쇄적 효과를 살펴봄으로써, 수도 공급에 문제가 생길 때 어떠한 심각한 상황이 발생하는지 예상할 수 있는 좋은 경로 분석연구라고 판단된다. 정책 담당자의 입장에서 보면 수도 공급지장비율과 비용 및 경로까지 예측할 수 있게 되는 것이다. 그렇지만 본 연구는 거시적 분석에 국한되어 있다는 한계가 있다. 산업연관분석 방법론은 거시적 관점에 근거하여, ‘특정 시기’, ‘어떤 경제’ 안에서 발생하는 수도 부문의 공급지장비용의 평균적 효과를 분석한 것이라는 사실을 상기해야 한다. 즉, 개별 기업과 개별 수용가 간의 공급지장 비율과 비용을 분석할 수 있는 것은 아니다. 그리고 공급지장 기간, 단수율, 공급지장 크기 등에 대한 연구는 다른 연구 영역에서 충분히 이루어져야 할 것이다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부 (2006), 수자원장기종합계획, 한국.
2. 통계청 (2005), 상수도통계, 한국.
3. 한국은행 (2004), 『산업연관분석해설』, 서울.
4. 한국은행 (2008), 『2005년 산업연관표』, 서울.
5. Chen, C.Y. and Vella, A.(1994), Estimating the economic cost of electricity shortages using input-output analysis : the case of Taiwan, Applied Economics, Vol. 26, pp1061-1069