

# 韓國 鐵鋼產業의 公害低減施設에 대한 適正規模 分析

이명헌\* · 김일중\*\*

〈目 次〉

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| I. 서 론            | IV. 자료 및 분석 결과 |
| II. 철강산업의 환경관리 실태 | V. 결 론         |
| III. 실증적 모형       |                |

## 요 약

철강산업에 있어서 공해저감시설의 설치와 증·개축시 발생하는 제반 문제점과 함께 불완전한 시장과 제약된 경영여건하에서 각 기업들은 주어진 요소의 시장가격으로 생산비용 최소화의 실현과 더불어 합리적이며 효율적인 생산활동을 하고 있다고는 할 수 없다. 본 연구에서는 한국 철강산업을 대상으로 일반비용 함수 방식에 의한 계수검정을 실시하여 공해저감시설 또는 자본을 포함한 각 생산요소의 상대가격 효율성 달성 여부를 알아본다. 그리고 비효율성으로 인한 생

\* 계명대학교 정경학부.

\*\* 동국대학교 경제통상학부.

산비용의 상승효과를 측정하고 공해저감자본의 실제 투입량과 적정수준과의 차이를 측정하여 공해저감자본에 대한 적정 투입물을 분석한다. 측정 결과, 상대가격의 비효율성으로 인하여 1982년부터 1994년까지의 기간 동안 철강산업의 생산비용이 연평균 약 13.6% 증가되었으며 공해저감자본은 적정수준에 비해 연평균 48.4% 적게 투입된 것으로 나타났다.

## I. 서론

1971년 공해방지법이 강화된 이후, 1980년대 초부터 본격적으로 철강산업의 환경관련 설비투자가 이루어지기 시작하여 총시설투자 대비 공해저감시설 투자비는 매년 증가하는 추세에 있다. 철광석, 석회석, 석탄 등의 원료를 대량으로 투입해야 하는 다공해 발생산업인 철강산업은 이를 처리하기 위해 일반 제조업체의 환경 투자비보다 훨씬 많은 비용을 투자하여 저감시설증설에 나서고 있다.

그러나 다른 한편으로는 철강산업의 공해저감시설의 규모가 다른 제조업분야에 비해 상대적으로 크기 때문에 설치시 장기간의 조업중단으로 인한 생산성 저하와 설치비용부담 등의 문제점이 존재한다. 또한, 공해저감용량을 높이기 위하여 저감시설을 증설할 경우에는 부지확보에 따른 어려움과 기존 공장건물의 강도약화로 인한 안전문제도 제기될 수 있다. 특히 공장내 대부분의 생산설비는 이미 조밀하게 배치된 상태이기 때문에 저감시설의 증·개축 또는 신축으로 인한 공간의 제한과 조업중단, 그리고 최악의 경우 모든 공장설비의 재배치 및 이전이라는 상황까지 발생할 수 있다.

이처럼 공해저감시설의 설치과정에서 야기되는 여러 가지 문제로 인하여 철강산업에서의 적정규모의 시설투자는 현실적으로 어려운 상황이다. 게다가 모든 산업의 공통된 현상으로서 요소시장과 상품시장의 산업조직적 불완전성, 완전한 정보의 부재, X-비효율성, 이윤극대화라는 단일 목적만을 추구할 수 없는 기업의 경영여건, 노사분규로 인한 요소사용비율의 변화 등 산업구조나 경영상의 제약하에서 각 기업들은 주어진 요소의 시장가격으로 생산비용최소화의 실현과 더

불어 합리적이며 효율적인 생산활동을 하고 있다고는 말할 수 없다.

본 연구에서는 한국 철강산업을 대상으로 일반비용합수 방식에 의한 계수검정을 실시하여 공해저감시설 또는 자본을 포함한 각 생산요소의 상대가격 효율성 달성 여부를 알아본다. 만약 효율성이 기각된다면 추정계수를 사용하여 비효율성으로 인한 생산비용의 상승효과를 측정하고, 공해저감자본의 실제 투입량과 적정수준과의 차이를 측정함으로써 공해저감자본에 대한 적정 투입률을 분석한다. 측정 결과, 상대가격의 비효율성으로 인하여 1982년부터 1994년까지 철강산업의 생산비용이 연평균 약 13.6% 증가되었으며 공해저감자본은 적정수준에 비해 연평균 48.4% 적게 투입된 것으로 나타났다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 철강산업에서의 공해저감시설 투자비 및 운영비 실태와 환경관리의 문제점 등을 살펴보고, 제Ⅲ장에서는 실증 분석에 필요한 일반비용합수모형과 절대가격 및 상대가격의 효율성 개념을 설명한다. 제Ⅳ장에서는 자료의 설명과 함께 추정 결과를 분석하고 이를 토대로 공해저감자본에 대한 적정 투입률을 계산한다. 마지막 제Ⅴ장은 결론부분이다.

## Ⅱ. 철강산업의 환경관리 실태

### 1. 공해방지시설 투자비 및 운영비

1971년 공해방지법이 강화되면서 철강산업의 환경관련 설비에 대한 투자가 본격적으로 이루어지기 시작하였다. 철강산업의 공해방지시설 투자의 현황을 살펴보면 투자비는 '89년 1,019억 원, '90년 2,476억 원, '91년 1,048억 원, '92년에는 3,598억 원으로 이는 총시설 투자 대비 '89년 3.9%, '90년 9.8%, '91년 4.1%, '92년 15.7%를 기록하고 있다. '92년의 총시설 투자비 중에서 공해방지시설에 대한 투자의 비중이 가장 높은 업종은 일관제철이었으며 다음은 제강압연, 냉간압연 순으로 나타났다. 일관제철에서의 공해방지시설 투자비는 '89년 751억 원으로 전체의 73.7%를 차지하였고, '90년 1,942억 원(78.4%),

〈표 1〉 공해방지시설 부문별 투자비

(단위 : 백만 원, %)

구 분	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993(P)
대 기	180,908 (75.8)	104,052 (79.8)	61,091 (60.0)	137,033 (55.3)	65,334 (62.4)	187,801 (52.2)	61,578 (51.0)
수 질	46,805 (19.6)	23,819 (18.3)	34,407 (33.7)	77,196 (31.2)	27,488 (26.2)	136,218 (37.9)	23,687 (19.6)
소음진동	1,682 (0.7)	1,373 (1.1)	5,372 (5.3)	25,435 (10.3)	803 (0.8)	13,898 (3.9)	2,103 (1.7)
폐 기 물	- -	- -	- -	- -	- -	9,824 (2.7)	31,839 (26.4)
기 타	9,393 (3.9)	1,109 (0.8)	1,021 (1.0)	7,932 (3.2)	11,137 (10.6)	12,092 (3.3)	1,672 (1.4)
계	238,788	130,353	101,891	247,696	104,762	359,833	120,789

자료 : 한국철강협회, 「철강보」, 1994, 2.

'91년 441억 원(42.1%), '92년 2,639억 원(78.3%)으로 나타났다. 〈표 1〉에서 보는 바와 같이 대기부문의 공해방지시설에 많은 투자가 이루어지고 있다.

공해방지시설 운영비의 연도별 지출은 '89년 834억 원, '90년 945억 원, '91년 1,305억 원, '92년에는 1,538억 원으로 나타났다. 이는 철강산업 총매출액의 1% 이상을 상회한 수준으로 업종별로는 일관제철 1.7%, 제강압연 1.1% 순으로 높았다. 운영비를 업종별로 비교하면 일관제철이 전체의 평균 70.1%를 점유하였고, 전기로 23.4%, 냉간압연, 강관 순으로 나타났다. 부문별 운영비는 〈표 2〉에서 보는 바와 같이 '92년의 경우 전력비가 735억 원, 폐기물 처리비 353억 원, 약품비 152억 원, 인건비 130억 원 등이다. 운영비 중 가장 비중이 높은 전력비는 '87년 375억 원에서 '92년 735억 원으로 96%의 증가율을 보였는데 이는 전력의 80% 이상을 대기부문의 집진시설을 운영하는 데 사용하고 있기 때문이다. 폐기물 처리비도 '87년 44억 원에서 '92년 353억 원으로 8배가량 증가하였다.

〈표 2〉 공해방지시설 부문별 운영비

(단위 : 백만 원, %)

구 분	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993(P)
전 력 비	37,455 (62.4)	51,873 (64.8)	46,344 (55.6)	48,458 (51.3)	62,175 (47.6)	73,514 (47.8)	83,296 (47.0)
약 품 비	5,782 (9.6)	8,765 (10.9)	10,477 (12.6)	12,866 (13.6)	15,311 (11.7)	15,249 (9.9)	17,880 (10.1)
정비보수비	6,178 (10.3)	8,410 (10.5)	8,751 (10.3)	6,250 (6.6)	15,307 (11.7)	16,555 (10.8)	18,533 (10.5)
인 건 비	3,580 (6.0)	6,018 (7.5)	7,108 (8.5)	9,753 (10.3)	9,896 (7.6)	12,954 (8.4)	14,265 (8.1)
폐기물처리	4,400 (7.3)	1,982 (2.5)	10,602 (12.7)	16,839 (17.8)	27,291 (20.9)	35,345 (23.0)	42,917 (24.2)
기 타	2,631 (4.4)	3,009 (3.8)	288 (0.3)	366 (0.4)	553 (0.4)	229 (0.1)	247 (0.1)
계	60,026	79,957	83,390	94,532	130,533	153,846	177,138

자료 : 한국철강협회, 「철강보」, 1994, 2.

## 2. 환경관리의 문제점

철강을 생산·가공하는 과정에서 많은 양의 원료(철광석, 석회석, 석탄)와 공기, 용수 등이 투입되어 다량의 공해물질이 배출됨으로써 이를 처리하기 위한 공해저감시설의 투자비율이 '92년에는 15.7%로 일반 제조업체의 환경투자비 약 1.0%에 비해 훨씬 많은 투자가 이루어져 왔다. 이와 같이 철강산업의 공해방지시설의 규모가 다른 제조업 분야보다 상대적으로 크기 때문에 설치시 장기간의 조업중단으로 인한 생산성의 저하뿐만 아니라 설치비용의 부담등 여러 문제점이 존재한다.

기존의 개발된 국내의 최선의 기술 및 설비로 대기환경보존법하의 1단계 수준인 현행 배출허용기준치의 준수는 가능하지만 앞으로 단계별 기준치가 강화될 경우 공해저감용량을 높이기 위해 방지시설의 증설시 이에 필요한 부지를 확보

하는 데 어려움이 있을 뿐 아니라 기존 공장건물의 강도약화로 인한 안전문제도 제기될 수 있다. 특히 공장내 대부분의 생산설비는 이미 조밀하게 배치된 상태이기 때문에 방지지설의 증·개축 또는 신축으로 인한 공간의 제한과 조업중단, 그리고 최악의 경우 모든 공장설비의 재배치 및 이전이라는 상황까지 발생할 수 있다.

국내 공해방지기술의 현황은 집진시설의 경우, 일본에서 설계기술을 도입하여 몇몇 국내의 시설업체가 시공하고 있으며 집진시설에서 주로 사용되고 있는 여과재는 국내에서 생산은 가능하지만 제조업체의 영세성으로 제품의 질이 낮은 상태이다. 철강산업에서의 환경관리는 대기업의 경우 신설된 전담부서에서 담당하고 있으나 중소기업의 경우에는 겸직으로 이루어지고 있다. 관리인원은 '92년 말 현재 38개 업체에 약 740명 가량이며 그 중 환경업무만 전담하는 인원은 약 500명 가량이다.

### Ⅲ. 실증적 모형

#### 1. 일반비용함수

공해를  $W$ 만큼 배출하는 기업의 생산량을  $Q$ 로 표시하면, 세 개의 생산요소와 두 개의 산출물과의 기술적 관계를 나타내는 轉換函數(transformation function)는 다음과 같다.

$$T(Q, W, K, L, E) = 0 \quad (1)$$

여기서  $K, L, E$ 는 각각 생산에 투입되는 자본과 노동, 그리고 에너지를 나타낸다.

한편,  $Q$ 의 생산과정에서 필연적으로 발생하는 소위 '원하지 않는 산출물'(undesirable output)인 공해물질에 대한 排出函數는 다음과 같이 나타낼

수 있다.

$$W = g(K, L, E, A) \quad (2)$$

여기서  $A$ 는 공해저감을 위하여 투입된 자본이다.

식 (1)과 식 (2)를 결합하면 다음과 같은 생산함수를 얻는다.

$$Q = f(K, L, E, A) \quad (3)$$

여기서 생산요소는  $Q$ 를 생산하기 위하여 사용되고  $A$ 는 공해저감을 위하여 투입되고 있다.

생산요소시장과 상품시장의 산업조직적 불완전성, 완전한 정보의 부재, X-비효율성, 이윤극대화라는 단일목적만을 추구할 수 없는 기업의 경영여건, 노사분규로 인한 요소사용비율의 변화 등 산업구조나 경영상의 제약하에서 기업이 생산비용을 최소화하기 위하여 최적수준의 투입요소량을 결정할 경우 라그랑지(Lagrange)함수를 사용하면 이에 대한 분석이 가능하다.

$$\mathcal{L} = \sum_x P_x x + \lambda(Q - f(X)) + \mu(RC - RC(X)) \quad (4)$$

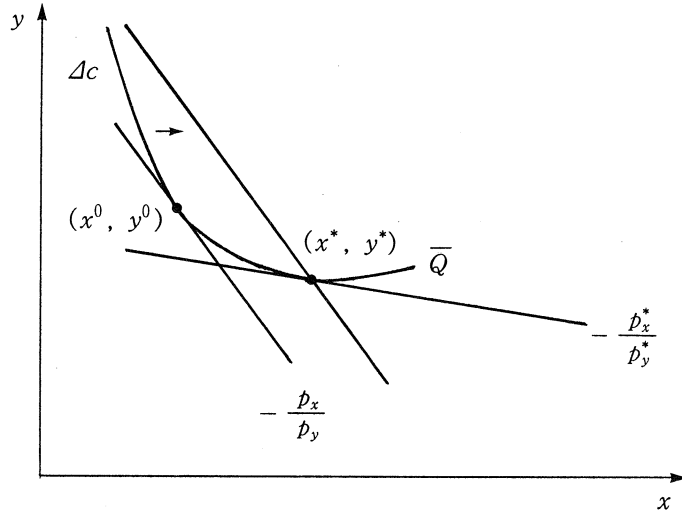
여기서  $P_x$ 는 투입요소,  $x = K, L, E, A$ 의 시장가격이고,  $X$ 는 투입요소들을 나타내는 벡터(vector)이다.  $RC$ 는 앞에서 언급된 바와 같이 기업이 현실적으로 직면한 여러 형태의 제약조건들을 나타내는 벡터이다.  $\lambda$ 와  $\mu$ 는 乘數(multiplier)들의 벡터이다.

투입요소  $x$ 와  $y$ 에 대한 비용최소화의 1차 필요조건은 다음 식과 같다.

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{P_x + \mu RC_x}{P_y + \mu RC_y} \equiv \frac{P_x^*}{P_y^*} \quad (5)$$

여기서  $f_x \equiv \partial f / \partial x$ ,  $RC_x \equiv \partial RC / \partial x$ 이다.  $P_x^*$ 를 요소  $x$ 의 暗默價格

〈그림 1〉 요소간 왜곡된 분배로 인한 비용상승효과



(shadow price)으로 정의하자. 식 (5)에서 보는 바와 같이 여러 형태의 제약 조건하에서는 일반적으로 생산요소간 한계기술대체율과 시장가격률이 일치하지 않는데 이는 생산과정에서 요소들간에 적정분배가 이루어지고 있지 않기 때문이다.

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이  $(x^0, y^0)$ 가 비용을 최소화시키는 요소의 조합이 되나 여러 제약조건하에서의 최적점은 등량곡선,  $\bar{Q}$ 를 따라  $(x^*, y^*)$ 로 이동되어 결국 요소간의 왜곡된 분배로 인한 비용상승효과는  $\Delta c$ 만큼 이루어진다.

Atkinson and Halvorsen(1984)에 의하면 각 투입요소에 대한 암묵가격을 다음과 같이 근사적으로 나타낼 수 있다.<sup>1)</sup>

$$P_x^* = k_x P_x, \quad x = K, L, E, A \quad (6)$$

1)  $g_x(0) = 0$  과  $\partial g_x(P_x)/\partial P_x \geq 0$ 의 성질을 가진 암묵가격  $P_x^*$ 에 대한 임의의 함수  $g_x(P_x)$ 를 1차 테일러전개(first-order Taylor's expansion)하여 얻는다.



여기서  $k_x$ 는 각 투입요소에 대한 歪曲常數(distortion factor)로 정의한다. 생산적 자본  $K$ 의 투입이 적정수준에서 이루어진다면 식 (6)에 표시된 왜곡 상수를 사용하여 다음과 같이 일반비용함수를 나타낼 수 있다.<sup>2)</sup>

$$GC = GC(k_L P_L, k_E P_E, k_A P_A, K, Q) \quad (7)$$

일반비용함수를 실증적으로 추정하기 위하여 다음과 같이 초월대수(transcendental logarithmic) 함수형태를 사용하였다.

$$\begin{aligned} \ln GC = & a_0 + \alpha_K \ln K + \alpha_Q \ln Q + \sum_x \alpha_x \ln(k_x P_x) + \\ & 0.5\gamma_{KK}(\ln K)^2 + 0.5\gamma_{QQ}(\ln Q)^2 + \\ & \sum_x \gamma_{xK} \ln(k_x P_x) \ln K + \sum_x \gamma_{xQ} \ln(k_x P_x) \ln Q + \\ & 0.5 \sum_x \sum_y \gamma_{xy} \ln(k_x P_x) \ln(k_y P_y) + \gamma_{KQ} \ln K \ln Q \\ & x, y = L, E, A \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $\gamma_{xy} = \gamma_{yx} (x \neq y)$  일반비용함수의 암묵요소가격에 대한 1차 동차성이 만족되기 위하여 다음의 제약조건이 가해져야 한다.

$$\begin{aligned} \sum_x \alpha_x = 1, \sum_x \gamma_{xy} = \sum_y \gamma_{xy} = \sum_x \sum_y \gamma_{xy} = \sum_x \gamma_{xK} = \sum_x \gamma_{xQ} = 0 \\ x, y = L, E, A \end{aligned} \quad (9)$$

셰퍼드정리(Shephard's lemma)에 의하여 식 (8)을 대수적으로(logarithmically) 미분하면 다음과 같은 암묵비용몫(shadow cost share) 방정식을 얻을 수 있다.

2) 기업의 자본투자는 미래의 경기·시장 변화 등을 고려한 장기적인 관점에서 이루어지기 때문에 실제로 투입된 자본은 귀납적으로 최적수준이 될 수 있다. 이러한 논리에 근거를 두고 본 논문에서는 기업의 생산적 자본재에 대한 투자는 적정수준에서 이루어지고 있다는 가정 하에서 출발하였다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln GC}{\partial \ln(k_x P_x)} &= \frac{\partial GC}{\partial k_x P_x} \cdot \frac{k_x P_x}{GC} = \frac{k_x P_x \cdot x}{GC} \\ &\equiv M_x^s = \alpha_x + \sum_y \gamma_{xy} \ln(k_y P_y) + \gamma_{xK} \ln K + \gamma_{xQ} \ln Q \quad (10) \\ x &= L, E, A \end{aligned}$$

그러나  $GC$ 와  $M_x^s$ 에 대한 자료가 존재하지 않기 때문에 추정될 방정식들을 실제총비용  $TC$ 와 실제비용몫  $M_x$  형태로 나타내야 한다.

투입요소  $x$ 에 대한 암묵비용몫 방정식 (10)으로부터 다음 식을 산출할 수 있다.

$$x = \frac{M_x^s \cdot GC}{k_x P_x} \quad (11)$$

식 (11)을 실제총비용에 대입하면 다음 식 (12)와 같다.

$$TC = \sum_x P_x x = \sum_x P_x \left( \frac{M_x^s GC}{k_x P_x} \right) = GC \sum_x \frac{M_x^s}{k_x} \quad (12)$$

대수를 취하면 다음과 같다.

$$\ln TC = \ln GC + \ln \sum_x \frac{M_x^s}{k_x} \quad (13)$$

식 (11)로부터  $x$ 를, 식 (12)로부터  $TC$ 를 각각 실제비용몫에 대입하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$M_x = \frac{P_x \cdot x}{TC} = \frac{M_x^s / k_x}{\sum_x M_x^s / k_x} \quad (14)$$

식 (13)과 식 (14)를 이용하여 추정될 방정식시스템은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ln TC = & a_o + a_K \ln K + a_Q \ln Q + \sum_x a_x \ln(k_x P_x) + 0.5 \gamma_{KK} (\ln K)^2 + \\ & 0.5 \gamma_{QQ} (\ln Q)^2 + \sum_x \gamma_{xK} \ln(k_x P_x) \ln K + \sum_x \gamma_{xQ} \ln(k_x P_x) \ln Q + \\ & 0.5 \sum_x \sum_y \gamma_{xy} \ln(k_x P_x) \ln(k_y P_y) + \gamma_{KQ} \ln K \ln Q + \\ & \ln \left[ \sum_x (a_x + \sum_y \gamma_{xy} \ln(k_y P_y) + \gamma_{xK} \ln K + \gamma_{xQ} \ln Q) / k_x \right] \end{aligned} \quad (15)$$

$x, y = L, E, A$

$$M_x = \frac{[a_x + \sum_y \gamma_{xy} \ln(k_y P_y) + \gamma_{xK} \ln K + \gamma_{xQ} \ln Q] / k_x}{\sum_x [a_x + \sum_y \gamma_{xy} \ln(k_y P_y) + \gamma_{xK} \ln K + \gamma_{xQ} \ln Q] / k_x} \quad (16)$$

$x, y = L, E, A$

Atkinson and Halvorsen(1991)이 증명한 바와 같이 식 (15)와 식 (16)은  $k_x$ 에 대하여 0차 동차이므로 각 요소의 왜곡상수 중 하나를 1로 표준화시켜야 하는데 여기서는  $k_L$ 을 택하였다.

실제총비용 (15)와 실제비용몫 (16)은 (9)의 제약조건하에서 반복 켈너(iterative Zellner) 방법으로 추정되었다.<sup>3)</sup> 여기서 각 요소의 비용몫의 합이 1이기 때문에 어느 한 요소의 비용몫을 추정대상에서 제해야 되는데 어느 비용몫을 제하더라도 추정계수의 값은 동일하다.

## 2. 효율성 검정

만약 모든 요소에 대하여 요소간의 한계기술대체율과 시장가격의 비율이 일치되면 상대가격 효율성이 존재하고 각 요소의 한계생산과 시장가격이 일치되면 절대가격의 효율성에 도달하게 된다. 상대가격의 효율성이란 최소의 비용으로 생산이 이루어짐을 의미하며, 절대가격의 효율성은 비용의 최소화뿐만 아니라

3) 추정시 SHAZAM 통계패키지를 사용하였다.

효율적인 수준의 생산도 이루어지고 있음을 의미한다.

일반비용함수를 사용할 경우, 요소  $x$ 와  $y$ 에 대하여  $k_x = k_y$ 가 성립되면  $x$ 와  $y$ 에 대한 상대가격의 효율성이 이루어지며 모든 요소  $x$ 에 대하여  $k_x = 1$ 이 성립되면 절대가격의 효율성이 이루어진다. 그러나 실제 총비용함수와 실제 비용몫 방정식이  $k_x$ 에 대하여 0차 동차이기 때문에<sup>4)</sup>  $k_x$ 의 모든 값을 추정하기는 불가능하여 절대가격의 효율성에 대한 검정은 실시할 수 없지만 적당한 표준화과정을 통하여  $k_x$ 의 상대값은 구할 수 있기 때문에 상대가격의 효율성은 검정할 수 있다.

요소  $x$ 와  $y$  간 상대가격의 효율성을 검정하기 위하여  $k_x = k_y$ 로 제약한 경우와 제약하지 않은 경우의 방정식시스템을 각각 추정하여  $-2\log \lambda$ 의 값을 계산한다. 여기서  $\lambda$ 는 제약조건하에서 추정된 방정식시스템의 최대尤度함수값과 아무 제약없이 추정된 방정식시스템의 최대尤度함수값의 비율을 나타낸다. 검정 통계량은 漸近的으로(asymtotically) 자유도가 제약조건의 수와 동일한  $\chi^2$  분포를 갖는다.

#### IV. 자료 및 분석 결과

통계청의 「광공업통계조사보고서」에 나타난 철강산업의 1982년부터 1994년까지의 연도별 자료를 사용하였다. 생산량과 생산적 자본량은 각각 생산액과 유형고정자산의 연말총액을 생산자물가지수로 실질가치하여 사용하였다. 공해저감 자본량을 구하기 위하여 「광공업통계조사보고서」의 1983년 공해방지시설 자산총액을 기준으로 산업은행의 「설비투자계획조사」에 보고된 상·하반기별 공해방지용 설비투자액을 사용하여 연도별 공해방지시설의 총액을 계산한 후, 생산자물가지수로 실질가치화하였다. 공해저감자본의 가격은 부가가치에서 연간 급여액을 공제하여 유형고정자산의 연말 잔액으로 나눈 값을 사용하였으며, 노동가

4) 증명은 Atkinson and Halvorsen(1991)의 부록을 참조하십시오.

韓國 鐵鋼産業의 公害低減施設에 대한 適定規模 分析

〈표 3〉 철강산업에 대한 일반비용함수의 추정결과

계 수	추 정 치	표준오차
$\alpha_0$	-0.0355*	0.0117
$\alpha_K$	-0.4166*	0.0121
$\alpha_Q$	0.9078*	0.0179
$\alpha_A$	0.0152	0.0073
$\alpha_E$	1.0036*	0.0169
$\alpha_L$	-0.0188	0.0165
$\gamma_{KK}$	-0.6401*	0.0596
$\gamma_{QQ}$	-3.1386*	0.1623
$\gamma_{AK}$	-0.0805*	0.0191
$\gamma_{EK}$	0.4329*	0.0060
$\gamma_{LK}$	-0.3524*	0.0214
$\gamma_{AQ}$	0.3328*	0.0085
$\gamma_{EQ}$	0.0391	0.0491
$\gamma_{LQ}$	-0.3719*	0.0516
$\gamma_{AA}$	0.0738*	0.0057
$\gamma_{AE}$	0.0437*	0.0105
$\gamma_{AL}$	-0.1176*	0.0157
$\gamma_{EE}$	0.8985*	0.0177
$\gamma_{EL}$	-0.9422*	0.0259
$\gamma_{LL}$	1.0598*	0.0407
$k_A$	1.1067*	0.0090
$k_E$	0.5497*	0.0067
$k_L$	1.0000	-

주 : \*표시는 0.01 수준하에서 유의적임을 나타낸다.

〈표 4〉 철강산업에 대한 효율성 검정 결과(0.01 유의수준)

제약조건	통계량	임계치	자유도
$k_A = k_E = 1$	73.03	9.21	2
$k_A = 1$	68.99	6.63	1
$k_E = 1$	50.40	6.63	1
$k_A = k_E$	16.27	6.63	1

격을 구하기 위해서 연간 급여액을 월평균 종사자수로 나누었다. 에너지가격은 석탄가격으로 「에너지통계연보」에 보고된 무연탄의 정부고시가를 사용하였으며, 에너지비용은 「광공업통계조사보고서」에 있는 연료비를 사용하였다. 생산비용에 대한 자료는 공해저감 자본량과 가격을 곱한 공해저감 자본비용과 연간 급여액, 그리고 연료비를 합계하여 사용하였다. 대수형태로 입력되는 모든 변수들은 총 자료 평균치에서 1이 되도록 표준화하였다.

철강산업에 대한 일반비용함수의 추정 결과는 〈표 3〉에 나타나 있다. 추정된 방정식 (12)의  $R^2$  값은 0.75이다. 상대가격의 효율성 여부를 알기 위하여  $k_L = 1$ 로 표준화한 다음, 〈표 4〉에서 보는 바와 같이  $k_A = k_E = 1$ 의 제약조건을 검정한 결과 0.01 유의수준하에서 기각되었다.<sup>5)</sup> 이는 철강산업에서 생산의 비효율성으로 비용최소화가 이루어지고 있지 못함을 의미한다. 세부적으로는 공해저감자본과 노동, 노동과 에너지, 그리고 공해저감자본과 에너지 간의 상대 효율성을 각각 나타내는  $k_A = 1$ ,  $k_E = 1$ , 그리고  $k_A = k_E$  제약조건들이 0.01 유의수준하에서 모두 기각됨에 따라 공해저감자본과 노동, 노동과 에너지, 그리고 공해저감자본과 에너지는 서로 비효율적으로 사용되고 있음을 알 수 있다.

잘 갖춰진(well-behaved) 생산함수가 되기 위하여 일반비용함수가 암묵가격에 대하여 單調的으로(monotonically) 증가해야 하며 오목(concave)해야 한다.<sup>6)</sup> 추정 결과, 두 개의 관찰치가 단조성을 위반하였으며 오목성은 모든 관

5) 방정식시스템 추정시 자유도는  $(m \times n - k)$ 로서 방정식수,  $m=3$ , 관찰치수,  $n=13$ , 그리고 추정계수의 수  $k=16$ 을 대입하여 계산하면 26이다.

찰치에서 위반되었다. 생산의 비효율성이 비용 및 투입요소 등에 미치는 효과를 측정하는 데 있어서 오목성을 충족시키기 위하여 Jorgenson and Fraumeni (1981)의 제약방법을 사용하였다.

철강산업에서의 비효율성에 의한 생산비용의 상승효과를 측정하기 위하여 식 (12)로부터 추정된 실제 총비용( $FTC$ )과 상대가격의 효율성이 이루어질 경우의 총비용( $FTC_{eff}$ ), 즉  $k_A = k_E = 1$ 로 놓고 추정된 비용을 다음과 같이 계산한다.

$$\frac{FTC - FTC_{eff}}{FTC_{eff}}$$

상대가격의 비효율성이 각 요소의 수요량에 미치는 효과를 측정하기 위하여 식 (11)에서  $TC$ 와  $M_x$ 를 추정하여 얻은 요소수요량( $FX$ )과 상대가격의 효율성이 이루어질 경우의 요소수요량, 즉  $TC$ 와  $M_x$ 에서  $k_A = k_E = 1$ 로 놓고 추정된 요소수요량( $FX_{eff}$ )을 다음과 같이 계산한다.

$$\frac{FX - FX_{eff}}{FX_{eff}}$$

상대가격의 비효율성으로 인하여 1982년부터 1994년까지 철강산업의 생산비용이 연평균 약 13.6% 증가된 것으로 나타났다. 각 요소의 투입현황을 살펴보면 공해저감에 사용된 자본량은 적정수준에 비해 연평균 48.4% 적게 투입된 반면에 에너지량과 노동량은 각각 135.8%, 26.5%나 더 사용되었다. 따라서, 공해저감자본은 적정수준보다 적은 양으로 투입되었으나 과잉투입된 에너지량과 노동량으로 인하여 생산비용의 상승이 초래되었음을 알 수 있다. 이는 효율적인 에너지 사용과 절약, 그리고 노동인력의 감축 등을 통하여 생산비용의 감소는

---

6) 단조성(monotonicity)을 만족시키기 위해서는 추정된 각 요소에 대한 암묵비용몹이 양수이어야 하며 비용함수의 오목성(concavity)이 만족되기 위해서는 헤시안행렬(Hessian matrix)이 陰의 準定符號(negative semi-definite)이어야 한다.

〈표 5〉 철강산업의 공해저감 시설규모에 대한 연도별 현황

연 도	적정수준 대비(%)	SAK	SAC	SAQ
1982	-57.3	0.058	0.038	0.017
1983	-54.9	0.055	0.042	0.015
1984	-49.9	0.061	0.047	0.016
1985	-50.0	0.073	0.057	0.020
1986	-47.7	0.076	0.050	0.021
1987	-47.5	0.054	0.037	0.015
1988	-48.0	0.047	0.035	0.012
1989	-46.8	0.041	0.029	0.010
1990	-49.1	0.031	0.023	0.009
1991	-44.7	0.047	0.035	0.016
1992	-48.3	0.043	0.036	0.014
1993	-43.3	0.047	0.038	0.014
1994	-41.7	0.050	0.041	0.016
평 균	-48.4	0.053	0.039	0.015

주 : SAK는 총자본비용에 대한 공해저감 시설비용의 점유율.  
 SAC는 총생산비용에 대한 공해저감 시설비용의 점유율.  
 SAQ는 총생산액에 대한 공해저감 시설비용의 점유율.

효과적으로 이루어질 수 있음을 의미한다.

1982년부터 1994년까지의 기간에 걸쳐 적정수준 대비 공해저감 자본규모의 연도별 현황을 살펴보면 〈표 5〉에서 보는 바와 같이 1982년에 -57.3%로 최저치를 기록한 후 연도가 바뀔 때마다 소폭의 등락이 이어지다가 1994년에 -41.7%의 가장 높은 수치를 나타내었다. 같은 기간 동안 실제 공해저감 시설 투자에 들어간 비용규모의 연도별 변화추이를 파악하기 위하여 총자본비용에 대한 점유율(SAK), 총생산비용에 대한 점유율(SAC),<sup>7)</sup> 그리고 총생산액에 대한 점유율(SAQ) 등을 통하여 살펴보았다. 그 결과, 투자비용의 점유율이 가장 많

7) 여기서 총생산비용은 생산적 자본비용, 노동비용, 연료비용, 공해저감 자본비용의 총액이며, 원재료구입에 지출된 비용은 포함되어 있지 않다.



〈표 6〉 철강산업의 공해저감 시설규모의 점유율에 대한 연도별 적정수준의 추정

연 도	SAK	SAC	SAQ
1982	0.125	0.084	0.039
1983	0.115	0.090	0.033
1984	0.114	0.090	0.033
1985	0.136	0.108	0.040
1986	0.136	0.092	0.040
1987	0.099	0.069	0.028
1988	0.086	0.065	0.023
1989	0.075	0.053	0.020
1990	0.059	0.043	0.018
1991	0.082	0.061	0.028
1992	0.080	0.067	0.028
1993	0.081	0.066	0.025
1994	0.082	0.068	0.027
평 균	0.098	0.073	0.029

이 늘어난 시기는 1985년과 1986년도로 SAC의 경우 1985년에, SAK와 SAQ의 경우는 1986년에 각각 최고치를 기록하였으나 1990년에는 이들 세 가지 형태의 점유율 모두 최저치를 보임으로써 투자실적이 상대적으로 가장 저조한 것으로 나타났다. 적정수준 대비 공해저감시설의 자본규모와 투자비용의 점유율을 연도별로 비교할 때 이들 순위가 서로 일치하지 않는 이유는, 예컨대 공해저감시설이 확장되더라도 생산시설의 자본규모나 제강능력 등이 그 이상 늘어날 경우 공해저감시설의 투자비용점유율은 오히려 떨어질 수 있기 때문이다.

〈표 5〉에 나타난 적정수준 대비 공해저감시설에 대한 연도별 규모의 추정치를 사용하여 SAK 및 SAC, 그리고 SAQ에 대한 연도별 적정수준의 산정이 가능하다. 그 결과는 〈표 6〉에서 보는 바와 같다. 1982년부터 1994년까지의 기간 동안 SAK, SAC, SAQ의 적정수준을 연도별로 비교해 보면 세 가지 형태의 점유율 모두 1985년에 가장 높은 수치를 나타냈으며 가장 낮게 나타난 시

기는 1990년이었다. SAK의 경우 연평균 적정수준이 0.098을, SAC와 SAQ는 0.073과 0.029를 각각 기록하였다.

## V. 결 론

1982년부터 1994년까지의 기간에 걸쳐 한국 철강산업을 대상으로 일반비용합수를 추정하여 효율성 검정을 실시한 결과, 비용을 최소화시키면서 생산활동을 하고 있다는 가설은 기각되었다. 상대가격의 비효율성으로 인하여 철강산업의 생산비용이 연평균 13.6% 증가된 것으로 나타났다. 또한, 각 요소의 투입 현황을 살펴보면 공해저감에 사용된 자본량은 적정수준에 비해 연평균 48.4% 적게 투입된 반면에 에너지량과 노동량은 각각 135.8%, 26.5%나 더 사용되었다. 따라서, 공해저감자본은 적정수준보다 적은 양으로 투입되었으나 과잉투입된 에너지량과 노동량으로 인하여 생산비용의 상승이 초래되었음을 알 수 있다. 특히 공해저감시설에 대한 규모를 연도별로 살펴보면 적정수준에 비해 최고 57.3%에서 최저 41.7% 적게 나타났다. 연도별 적정수준 대비 공해저감시설에 대한 규모의 추정치를 사용하여 총자본비용, 총생산비용, 총생산액 등에 대한 공해저감 자본비용 점유율의 연평균 적정수준을 계산한 결과, 각각 0.098, 0.073, 0.029로 나타났다.

그러나 본 연구의 결과를 해석하는 데 있어 몇 가지 유의해야 할 사항들이 있다. 첫째, 분석모형의 전개과정에서 기계설비등 생산적 자본에 대한 투자는 적정수준으로 이루어지고 있음을 가정하고 있다. 실제로 철강산업에서 생산적 자본이 과잉 또는 부족하게 투자될 경우, 생산의 비효율성으로 인하여 비용상승효과 및 공해저감자본을 포함한 기타 생산요소의 투입에 미치는 효과는 본 추정결과와 다르게 나타날 수 있다. 둘째, 연도별 공해저감시설의 규모를 파악함에 있어서 「광공업통계조사보고서」에서 규정한 공해방지시설 자산총액과 「설비투자계획조사」의 공해방지용 설비투자비의 내용 및 범위에 차이가 존재할 경우 추정결과는 偏倚될 수 있다. 셋째, 본 연구에서 추정된 공해저감시설의 적정규모는

주어진 생산량을 효율적으로 달성하는 데 필요한 수준을 의미하며 기후변화협약 등 앞으로 예상되는 국·내외적인 환경규제에 능동적으로 대처하기 위한 공해저감시설의 필요량은 포함되지 않았다.

### 참 고 문 헌

1. 산업은행, 「설비투자계획조사」, 1982~1994.
2. 통계청, 「광공업통계조사보고서」, 1982~1994.
3. 통상산업부, 『에너지통계연보』, 1994.
4. 이명현, “SO<sub>2</sub> 규제가 미국 석탄발전산업에 미치는 영향—일반비용함수를 통한 재고찰”, 『자원경제학회지』, 제4권 제2호, 1995, pp. 267~289.
5. \_\_\_\_\_, “한국 제조업의 계수효율성 검증—일반비용함수를 통하여”, 『계량경제학보』, 제7권, 1996(a), pp. 57~68.
6. \_\_\_\_\_, “한국 전기업에 대한 효율성 분석”, 『자원경제학회지』, 제6권 제1호, 1996(b), pp. 45~57.
7. Atkinson, Scott E. and Robert Halvorsen, “A Test of Relative and Absolute Price Efficiency in Regulated Utilities,” *The Review of Economics and Statistics*, 62, February 1980, pp. 81~88.
8. \_\_\_\_\_, “Parametric Efficiency Tests, Economies of Scale, and Input Demand in U.S. Electric Power Generation,” *International Economic Review*, Vol. 25, No. 3, 1984, pp. 647~662.
9. \_\_\_\_\_, “The Relative Efficiency of Public and Private Firms in a Regulated Environment : The Case of U.S. Electric Utilities,” *Journal of Public Economics* 29, 1986, pp. 281~294.
10. \_\_\_\_\_, “Parametric Tests for Static Equilibrium,” *Discussion Paper*, No. 91-03, University of Washington, 1991.
11. Jorgenson, D. W. and B. M. Fraumeni, “Relative Prices and Technical Change,” in E. R. Berndt and B. Field (eds.), *Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*,

- Cambridge : M.I.T. Press, 1981, pp. 17~47.
12. Kmenta, Jan, *Elements of Econometrics*, Macmillan Publishing Company, N.Y., 1986.
  13. Kumbhakar, Subal C., "Allocative Distortions, Technical Progress, and Input Demand in U.S. Airlines : 1970~1984," *International Economic Review*, Vol. 33, No. 3, 1992, pp. 723~737.
  14. Lee, M., "The Effect of Environmental Regulations on The Electric Power Industry : A Generalized Cost Approach," *Unpublished Ph.D. Dissertation*, University of Washington, 1993.