

환경관련투자의 효율성 분석: 우리나라 제조업을 중심으로

민승기*

An Efficiency Analysis of Korea's CGEI and IPEP in the Manufacturing Industries

Seung-Ki Min

서경대학교 경제학과(Dept. of Economics, Seokyeong University)

제출: 2011년 2월 8일 수정: 2011년 4월 13일 승인: 2011년 6월 2일

국문요약

제조업을 중심으로 분석한 환경관련투자 효율성의 주요 연구 결과는 다음과 같다. 내부수익률과 편익의 현재가치를 가변비용절감부문, 투자비용절감부문, 임대수입부문으로 분해함으로써 기존 연구의 범위를 확장했다. 그리고 단기 총비용과 임대수입의 역할을 탐구하여 편익의 현재가치는 편익의 크기만을 나타내는 반면, 내부수익률은 효율성의 존재여부를 나타냄을 발견했다. 그리고 내부수익률과 시장이자율을 비교하는 투자효율성 방법론으로 환경관련투자 관련 투자효율성과 편익을 분석함으로써 사후 비용편익분석을 수행했다. 그 결과 환경투자, 공해방지투자 모두 비효율적인데, 공해방지투자가 환경투자보다 더 비효율적임을 발견했다.

주제어 투자효율성, 내부수익률, 편익의 현재가치, 사후 비용편익분석, 중앙정부환경투자, 공해방지투자

Abstract

We analyzed the efficiency of environment investments by taking examples of central government's environmental investment (CGEI hereafter) and investment in prevention of environmental pollution (IPEP hereafter). We expanded the scope of existing studies by decomposing the internal rate of return (IRR hereafter) and present value of benefit (Bpv hereafter) into variable cost (VC hereafter) reduction, investment cost reduction (STC-VC hereafter), and rent. And we found that Bpv checks only the magnitude of benefit, while IRR indicates the existence of efficiency by investigating short-run total cost (STC hereafter) reduction and rent. Finally, by analyzing investment efficiency and changing benefit with respect to CGEI and IPEP through the investment efficiency methodology that compares IRR with

* skmin305@yahoo.co.kr

market interest rate, we executed retrospective benefit-cost analysis. Accordingly, CGEI and IPEP are not efficient. However, IPEP is even more inefficient than CGEI.

■ **Keywords** ■ Investment Efficiency, Internal Rate of Return, Present Value off Benefit, Retrospective Benefit-cost Analysis, Prevention of Environmental Pollution Investment, Central Government's Environmental Investment

I. 서론

환경개선이 국가경영의 주요 관심사항으로 대두됨에 따라 환경투자수요의 지속적인 증대와 더불어 환경관련투자가 지속적으로 확충되어 왔으며, 환경관련투자는 국제경쟁력과 경제성장을 더욱 더 강화시킨다. 이에 따라 환경관련투자에 따른 비용절감, 장기경제효과, 투자정책에 대한 암시 등과 같은 환경관련투자에 대한 효율성 분석이 주요한 관심사로 떠오르고 있는 실정이다.

그러나 우리나라 제조업체는 관련 산업과 고도성장을 완수하기 위해 수요증가에 부응하여 생산과 직접 관련된 설비투자에 급급한 나머지 공해방지설비에 대한 투자를 미룸에 따라 선진국의 수준과 비교할 때 아직도 미흡한 실정이다. 이러한 우리나라의 공해시설의 비교 저위는 우리나라 산업의 발전단계 및 국제경쟁력 측면에서 그간 산업정책상 불가피한 결과라고 할 수 있다. 따라서 산업공해문제를 극복하지 않고서는 산업의 자립기반 구축이 불가능하다는 점을 강조하지 않을 수 없다.¹⁾

21세기에 접어들어 인류는 지구 생태계 변화와 더불어 환경문제를 고려하지 않을 수 없는 상황에 처해 있다. 따라서 환경을 단순히 비용으로 간주하는 체계에서 새로운 발전의 원천이자 자원으로 인식할 수 있는 사회경제체계를 만드는 일은 국가적 과제로 대두되고 있다. 지난 세기는 경제적 효율성에 근거한 자원 다소비형 산업구조를 해소하지 못하고, 경제개발정책이 환경보전정책보다 우선시되었다. 특히 환경오염을 관리할 때 사전예방보다는 사후처리에 중점을 두어 환경오염이 계속 악화됨에 따라 기초환경을 획기적으로 개선할 새로운 환경정책이 요구되고 있다. 또한 환경산업을, 환경기술을 선진국 수준으로 끌어올려 국내 환경수준을 개선하면서 해외시장을 개척하기 위해 환경과 경제를 동시에 살리는 새로운 정책이 모색되어야 할 필요성이 커지고 있다. 정

1) 철강보(1978), pp.28-32.

부의 환경분야 투자방향도 이러한 인식을 바탕으로 하여 사전예방적이고 통합적인 환경정책 수립을 지원하고 미래의 전략핵심기술인 환경기술(ET)을 개발하고 있다.²⁾

이에 따라 이 논문에서는 효율성 분석에 관한 이론적 토대를 근거로 하여 환경관련 투자의 효율성을 분석함으로써 환경개선사업에 도움이 되도록 하였다. 본 연구의 목적은 제조업을 중심으로 한 환경투자 및 공해방지투자의 내부수익률과 편익의 현재가치를 활용하여 환경투자 및 공해방지투자의 효율성을 분석하는 데 있다.

이 논문에서는 1999~2008년간의 우리나라 전국의 환경투자(중앙정부) 및 1999~2006년간의 우리나라 전국의 공해방지투자(제조업체) 관련 자료를 준고정요소로 하여 제조업 관련 가변비용함수를 추정하고, 회임기간, 가격조정률, 내부수익률, 감가상각률, 예상산출증가율, 시장가격, 잠재가격, 시장이자율, 충족도를 사용하여 구한 환경투자 및 공해방지투자의 내부수익률과 편익의 현재가치를 통해 효율성을 분석하였다. 즉 내부수익률과 시장이자율을 비교하여, 전자가 후자보다 클 경우 투자효율성이 존재하고, 그 반대일 경우 투자효율성이 존재하지 않는다는 투자효율성 방법론을 활용하였다.

이 논문에서는 과거의 투자자료로 효율성을 분석하였는데 Keeler and Ying(1988)과 Greene and Jones(1997)는 이를 사후 비용편익분석이라고 불렀다. 그리고 환경관련투자의 효율성을 분석하기 위해 Schankerman and Nadiri(1984)가 처음 제시한 내부수익률 측정방법론을 참고하였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 문헌고찰, 3장은 이론적 틀, 4장에서는 분석모형의 설정, 자료설명, 함수를 추정하였으며, 5장은 환경관련투자에 대한 효율성을 비교 분석하였고, 6장에서는 결론을 제시하였다.

II. 문헌고찰

산업계에서 본 연구와 같이 환경투자 관련 비용함수를 활용하여 비용구조를 계량적으로 분석한 연구는 다음과 같다. 이명헌 외(1998)는 철강산업의 공해방지투자 관련 비용구조를 분석하였다. 분석 결과 철강산업에서 상대가격은 비효율성으로 인해 생산비용이 연평균 13.6% 증가하였으며, 공해저감자본은 적정수준에 비해 연평균 48.4% 적

2) 백규석(2004), p.46.

게 투자되는 것으로 나타났다. 민승기(2010a 및 b)는 총족도, q 값, 단기불균형지수, 가변비용의 산출탄력성, 규모의 보수, 산출의 공해방지투자 탄력성, 가변비용의 공해방지투자 탄력성, 잠재가격³⁾과 관련하여 제조업체의 공해방지투자와 중앙정부의 환경투자를 비교하여 그 특징을 분석하였다. 이러한 비용구조 분석은 기존 환경연구가 주로 환경규제와 생산성 간의 관계 분석에 집중하는 데서 비롯된 한계를 보완했다는 점에 큰 의미가 있다.

또한 김지옥(2002)은 환경오염과 환경오염저감방지를 위한 정부나 기업의 기술 및 연구개발투자지출이 한 나라의 경제성장에 미치는 영향을 분석하기 위해 이론적 모형을 구축하고, 한국 자료를 이용하여 실증분석을 시도하였다. 분석 결과 재생산가능 자본의 축적만이 경제성장에 정(+)의 효과를 미치고, 환경오염방지투자지출은 경제성장에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

이외에는 환경규제가 생산성에 주는 영향에 대한 연구가 대부분이다. 국외연구를 살펴보면, Denison(1979)은 환경규제가 기업체의 생산성을 16% 감소시킨다는 사실을 발견했으며, Norsworthy et.al(1979)도 환경규제가 제조업체의 노동생산성을 12% 감소시킨다는 사실을 발견했다. Haveman and Christainsen(1981)은 환경규제가 미국연방의 생산성을 8~12% 감소시켰다고 주장했으며, Barbera et.al(1990)은 환경규제로 5개 공해산업의 생산성이 10~30% 감소되었다고 주장했다. 국내연구를 보면, 이명현(1997)은 환경규제가 없었다면 생산성이 14% 더 증가한다는 결론을 얻었다. 또한 강만옥 외(1999)는 우리나라의 경우, 총요소생산성 성장은 미국보다 높지만, 환경규제에 대응하여 환경효율성을 발휘하는 에코이노베이션(eco-innovation)의 기술혁신 측면에서는 매우 뒤떨어져 있음을 확인하였다.

Lee(2007)는 환경규제가 우리나라 제조업체의 생산성을 12% 감소시킨다는 사실을 발견했다. 기타 환경관련연구를 살펴보면, 김유정(2001)은 국내 제조업을 대상으로 환경투자가 불변부가가치와 어떠한 관계를 갖고 있는지에 대한 인과관계를 분석하였다. 그 결과, 환경투자가 불변부가가치를 감소시킨다는 것과, 불변부가가치와 연구개발이 환경투자를 유도한다는 것을 발견하였다.

3) 총족도는 준고정요소의 현재수준을 준고정요소의 적정수준으로 나눈 값이다. q 값은 준고정요소의 잠재가격을 준고정요소의 시장가격으로 나눈 값이다. 단기불균형지수는 단기총비용에서 장기총비용을 뺀 값을 장기총비용으로 나눈 값이다. 비용의 산출탄력성은 산출 1% 변화가 비용을 몇 % 변화시키는지를 측정하는 값이다. 규모의 보수는 1에서 비용의 산출탄력성을 빼서 구한 값이다. 산출의 준고정요소 탄력성은 준고정요소투자 1% 변화가 산출을 몇 % 변화시키는지를 측정하는 값이다. 가변비용의 준고정요소 탄력성은 준고정요소투자 1% 변화가 가변비용을 몇 % 변화시키는지를 측정하는 값이다. 잠재가격은 준고정요소투자가 가변비용을 얼마나 감소시키는지 측정하는 값이다.

III. 이론적 틀

현실적으로 모든 생산요소들이 각 생산점에서 항상 최적량으로 사용된다고는 볼 수 없다. 왜냐하면 생산요소 중에는 그 성질에 따라 양을 쉽게 변화시킬 수 없는 준고정요소(quasi-fixed factors)⁴⁾가 있기 때문이다. 이러한 준고정요소가 존재하는 경우의 각 생산점은 장기균형생산점(long run equilibrium production point)이 될 수 없고, 주어진 준고정요소 하에서 자본, 노동, 재료와 같은 가변요소들(variable inputs)만이 최적량으로 사용되는 단기균형생산점(short run equilibrium production point)이 될 수밖에 없다. 이러한 단기균형생산점에서는 총비용(total cost)이 최소화되는 것이 아니고, 주어진 양의 준고정요소 하에서 가변비용(variable cost)만이 최소화된다. 따라서 이러한 경우에는 총비용함수(total cost function)가 존재하지 않고, 가변비용함수(variable cost function)만 존재한다. 이때는 가변요소들이 각 생산점에서 가장 적절한 양으로 사용되어 가변비용이 최소화될 때, 생산과 비용 사이에 쌍대관계가 성립된다.⁵⁾ 따라서 생산구조(structure of production)는 생산함수로부터 직접 분석될 수도 있지만, 비용함수(cost function)에 의해서도 분석될 수 있다.⁶⁾

기업의 경우 준고정요소는 자본, 노동, 재료와 같이 기술적으로 그 양을 쉽게 변화시킬 수 없으며, 외생적으로 주어지는 것이 일반적이다. 그러므로 기업에서의 각 생산점은 주어진 양의 준고정요소 하에서 자본, 노동, 재료와 같은 가변요소만을 최적량으로 사용하여 생산하는 단기균형생산점이다. 이 생산점에서는 가변비용이 최소화되며, 다음과 같은 가변비용함수로 정의된다.⁷⁾

$$VC = VC(W, Y; Z, T) \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 VC 는 가변비용, W 는 각각 가변요소가격이고, Y 는 산출, Z 는 준고정요소

4) 기업은 일반적으로 단기간에 요소의 투입량을 변경할 때 각 요소의 성질에 따라 즉각적으로 아무런 비용 지불 없이 조정할 수 없다. 예컨대 토지나 건물 같은 것에는 보통 임대기간이 있고, 또 그것을 구매하거나 처분하는 데에도 시간이 걸린다. 관리능력이나 고도의 기술 등은 양적 변화가 곤란하기 때문에 시간이 걸린다. 또 어떤 기업의 특수한 조건에 맞추어 설계된 중장비 같은 것도 단시일 내에 수량을 변경하기 곤란하다. 즉 물리적 특성상, 즉각적으로, 또는 아무런 비용을 들이지 않고 최적 수요량을 결정하기 힘들거나 기업이 직접 수급을 통제하기 어렵다. 따라서 이러한 생산요소에 대해서는 단기에는 투자 비용, 각종규제, 자본시장의 불안전성 등에 의한 기업활동 제약으로 최적화 과정을 거칠 수 없으며, 장기에서 비로소 최적화를 달성하게 된다(이종인, 1998, pp.124-126; 박승록·이상권, 1996, pp.17-18).

5) 최정표(1986), p.52.

6) Shephard(1953); Samuelson(1953-4); Uzawa(1962).

7) 최정표(1986), p.54.

이며 T 는 시간추세이다. 가변비용함수는 W 에 대해 단조증가(monotonic non-decreasing)이고, 오목(concave)하며, Y 에 대해서는 단조증가(monotonic non-decreasing)이고, 볼록(convex)하며, Z 그리고 T 에 대해서는 단조감소(monotonic non-increasing)이고, 볼록(convex)한 것으로 가정된다.⁸⁾

가변비용함수가 이렇게 정의되면, 단기총비용함수는 준고정요소를 포함하여 다음과 같이 가정된다.⁹⁾

$$STC = TC = VC(W, Y; Z, T) + rZ = TC(W, Y; r, T) \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 STC 는 단기총비용, TC 총비용, r 은 준고정요소의 사용자비용이다. 그리고 $\frac{\partial STC}{\partial Z}$ 는 정(+의 값, 또는 부(-)의 값이 되며, 엔벨로프조건 $-\frac{\partial VC}{\partial Z} = r$ 이 만족되면, 영(0)이 된다.

단기총비용함수가 이렇게 정의되면, 장기총비용함수는 장기에 최적화된 모든 생산요소 수요를 반영하여 생산요소 가격 및 산출량의 함수로 표시된다.¹⁰⁾

$$LTC = TC^* = VC^*(W, Y; Z^*, T) + rZ^* = TC^*(W, Y; r, T) \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 LTC 는 장기총비용, TC^* 는 장기최적화된 준고정요소 하의 총비용, VC^* 는 장기최적화된 준고정요소 하의 가변비용, Z^* 는 장기최적화된 준고정요소이다.

IV. 모형설정, 자료설명과 함수추정

1.

트랜스로그함수 형태는 비용함수를 나타내기 위해 널리 사용되는 유연한 형태로 2차 테일러급수에서 $\ln w = 0$ 인 점까지 $\ln c(w)$ 를 확대시키면,

8) 비용함수의 이론적 조건에 관한 문헌은 아래와 같다.
김영식(1995), pp.95-97, pp.160-165; 권혁제 역, Dowling, E. T. 지음(1990), pp. 378-380; 박승록·이상권(1996), p.22.

9) 강정모·권진균·박승록(1997), p.212.

10) 박승록·이상권(1996), p.19.

$$\ln c \approx \beta_0 + \sum_{i=1}^M \left(\frac{\partial \ln c}{\partial \ln w_i} \right) \ln w_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \left(\frac{\partial^2 \ln c}{\partial \ln w_i \partial \ln w_j} \right) \ln w_i \ln w_j$$

가 되는데, 여기에서 미분계수들의 값이 구해진다. 만약 이러한 미분계수들을 파라미터로 보고, 교차가격 미분계수들에 대칭성을 부과하면, 다음과 같은 트랜스로그 비용함수가 도출된다.

$$\ln c = \beta_0 + \beta_1 \ln w_1 + \dots + \beta_M \ln w_M + \delta_{11} (1/2 \ln^2 w_1) + \delta_{12} \ln w_1 \ln w_2 + \delta_{22} (1/2 \ln^2 w_2) + \dots + \delta_{MM} (1/2 \ln^2 w_M)$$

이 논문에서는 실증분석모형으로 일반적 2차 다항식인 트랜스로그 형태를 적용한 트랜스로그 비용함수¹¹⁾를 가변비용함수로 선택하여 환경관련투자의 효율성을 분석하기로 하였다.

$$\begin{aligned} \ln VC = & A + \sum_i B_i \ln W_i + \sum_j C_j \ln Z_j + D \ln T + E \ln Y \\ & + 1/2 \sum_i \sum_h F_{ih} \ln W_i \ln W_h + \sum_i \sum_j G_{ij} \ln W_i \ln Z_j \\ & + \sum_i H_i \ln W_i \ln T + \sum_i J_i \ln W_i \ln Y + 1/2 \sum_j \sum_n X_{jn} \ln Z_j \ln Z_n \\ & + \sum_j L_j \ln Z_j \ln T + \sum_j M_j \ln Z_j \ln Y + 1/2 N (\ln T)^2 + P \ln T \ln Y \\ & + 1/2 R (\ln Y)^2 (i = k, l, m, j = o) \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

가변비용함수로서 트랜스로그 비용함수에서는 VC(가변비용)는 종속변수이고, W_i (가변요소가격), Z_j (준고정요소), T (시간추세), Y (산출)는 독립변수이다. 그리고 A (α_{con})는 상수이며, $B(\alpha_k, \alpha_l, \alpha_m)$, $C(\alpha_o)$, $D(\alpha_t)$, $E(\alpha_y)$, $F(r_{kk}, r_{ll}, r_{mm}, r_{kl}, r_{km}, r_{lm})$, $G(r_{ko}, r_{lo}, r_{mo})$, $H(r_{kt}, r_{lt}, r_{mt})$, $J(r_{ky}, r_{ly}, r_{my})$, $X(r_{oo})$, $L(r_{ot})$, $M(r_{oy})$, $N(r_{tt})$, $P(r_{ty})$, $R(r_{yy})$ 은 가변비용함수의 추정되어야 할 계수이다.

대칭성(symmetry)과 동차성(homogeneity) 제약은 다음과 같다.

$$F_{ih} = F_{hi} \text{ 그리고 } X_{jn} = X_{nj} \text{ (모든 } i, j, h, n \text{에 대해)} \dots \dots \dots (5)$$

11) Christensen et al.(1973).

$$\begin{aligned}
 \sum_i B_i &= 1 \\
 \sum_i F_{ih} &= \sum_h F_{ih} = \sum_i \sum_h F_{ih} = 0 \text{ (모든 } i, h \text{에 대해)} \\
 \sum_i \sum_j G_{ij} &= 0 \text{ (모든 } j \text{에 대해)} \\
 \sum_i J_i &= 0 \\
 \sum_i H_i &= 0 \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

또한 가변비용함수를 더욱 효율적으로 추정하기 위해 가변비용함수를 요소가격으로 미분하고, 비용최소화 가정 하에 Shephard's Lemma($\partial VC/\partial W_i = X_i$)를 적용하여 요소 수요함수를 얻어냈다.

$$\partial \ln VC / \partial \ln W_i = S_i = B_i + \sum_h F_{ih} \ln W_h + \sum_j G_{ij} \ln Z_j + H_i \ln T + J_i \ln Y \dots\dots\dots (7)$$

식 (7)의 방정식 3개는 선형종속으로 가변요소의 비용분배율의 합이 1이고, 가변요소가격에 대해 동차성 제약이 주어졌으므로 2개의 방정식에 대한 계수 값이 추정되면, 나머지 하나의 방정식에 대한 계수 값은 저절로 결정된다. 그러므로 식 (5)와 식 (6)의 제약 하에 있는 식 (4)의 1개 방정식과 식 (7)의 2개 방정식 모두 3개의 연립방정식에 대해 외견무관회귀(Seemingly Unrelated Regression)모형¹²⁾을 적용했다.

여기에서 비용의 산출탄력성(E_{CY})은

$$E_{CY} = \partial \ln VC / \partial \ln Y = E + \sum_i J_i \ln W_i + \sum_j M_j \ln Z_j + P \ln T + R \ln Y$$

으로, 비용의 준고정요소탄력성(E_{CZ_j})은

$$E_{CZ_j} = \partial \ln VC / \partial \ln Z_j = C_j + \sum_i G_{ij} \ln W_i + \sum_n X_{jn} \ln Z_n + L_j \ln T + M_j \ln Y$$

으로 계산하였다.

12) 가변비용함수와 조건부요소수요함수를 연립방정식체계로 구성할 경우, 조건부요소수요함수 각각은 상이한 계수 값을 지닌 독립변수들로 구성되어 있어 문제가 없으나, 이들 함수 각각의 오차항들 간에는 상관관계가 존재함에 따라 적용하게 되는데, 이 경우, 자유도가 추가적으로 확보되어 계수 값을 효율적으로 추정할 수 있다. 합당한 함수 형태를 찾아내기 위해 잠재가격의 부호 형태, 총족도, 대체가격 탄력성과 이의 측정을 위한 장기가변비용의 몫, 규모에 대한 보수, 기술변화, 준고정요소 관련 계수 값의 부호 형태를 살펴보았다.

2. 가

내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)은 순현재가치(Net Present Value, NPV)가 영(0)인 할인율이다. 순현재가치는 편익의 현재가치에서 비용의 현재가치를 뺀 값이다.

$$e^{\theta\rho} = \int_0^{\infty} B_t e^{-\rho t} dt \dots\dots\dots (8)$$

식 (8)¹³⁾에서 왼쪽의 준고정요소의 단위투자의 현재가치($e^{\theta\rho}$)와 오른쪽의 t 기 준고정요소의 단위투자의 총사적보수(the gross private returns at time t : B_t)의 현재가치(B_{PV})(이하 “편익의 현재가치(B_{PV})”)를 같게 할 때에 내부수익률(IRR) ρ 를 구할 수 있다. 그리고 θ 는 회임기간 즉 사업기간으로서 투자비가 분배되는 기간을 의미하며, 비용과 관련되어 있다.

여기에서 준고정요소의 단위투자는 비용이고, 준고정요소의 단위투자에서 얻어낸 t 기의 총사적보수(B_t)는 편익이며, 식 (9)로 표시된다.

$$B_t = (P_t - STC_t) e^{gt} + re^{-\phi t^{14}} \dots\dots\dots (9)$$

이 식에서 첫 번째 항은 준고정요소의 단위투자에 따른 기업의 t 기 비용절감이고, 두 번째 항은 준고정요소의 단위투자에 따른 기업의 t 기 임대료이다. P_t 는 t 기의 총수입, STC_t 는 t 기의 단기총비용, g 는 예상산출증가율, ϕ 는 감가상각률이다.

기업의 t 기 비용절감¹⁵⁾은 준고정요소의 단위투자에 따라 발생하는 사적 보수로서 $P_t - STC_t = (STC_0 - STC_t)e^{-\delta t}$ 로 표기된다. 여기에서 δ 는 가격조정률이다. 그러나 정의에 의하여 $STC_t = STC_0 + \frac{\partial STC_0}{\partial Z_t}$ 이고, 감가상각을 반영한 결과, $\frac{\partial STC_0}{\partial Z_t} = (\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0})e^{-\phi t}$ 이다. 그러므로 t 기의 총사적보수(B_t)는 편익으로서 식 (10a)로 표기된다.

$$B_t = -(\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0})e^{-(\delta + \phi - g)t} + re^{-\phi t^{16}} \dots\dots\dots (10a)$$

13) Schankerman and Nadiri(1984), 식 (19).

14) Schankerman and Nadiri(1984), 식 (20).

15) 가변비용(VC)을 기준으로 하지 않고, 단기총비용(STC)을 기준으로 하여 비용절감 관련 수식을 전개한 이유는 엔벨로프조건 $-(\partial VC_0/\partial Z_0) = r$, 그리고 $\rho = i$ 인 상태, 즉 준고정요소의 총족도가 1인 상태에서는 단기총비용을 기준으로 할 경우에만 가격조정률(δ)이 제거된 $r = e^{\theta i}(i + \phi)$ 이 도출됨으로써 이론적 타당성이 입증되기 때문이다.

다음부터는 식 (11), (14), (16), (18), (20), (22)를 통해 내부수익률과 편익의 현재가치를 각각 구성요소별로 분해한다. 식 (10a)를 식 (8)에 대입하면($\delta + \phi > g$), 다음 식을 얻게 된다.

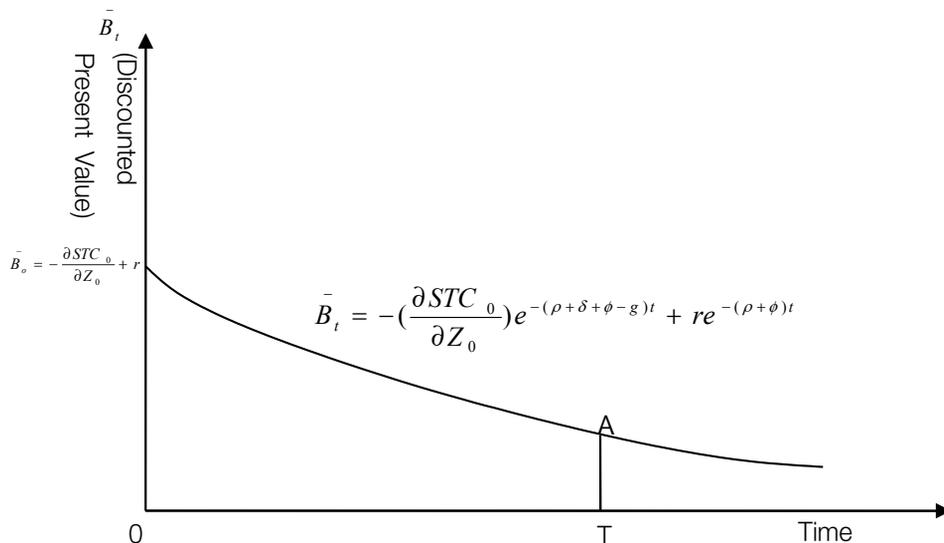
$$e^{\theta\rho} = -\left(\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0}\right) \int_0^{\infty} e^{-(\rho+\delta+\phi-g)t} dt + r \int_0^{\infty} e^{-(\rho+\phi)t} dt$$

이에 따라 t 기의 총사적보수는 다음과 같다.

$$\bar{B}_t = -\left(\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0}\right) e^{-(\rho+\delta+\theta-g)t} + r e^{-(\rho+\phi)t} \dots\dots\dots (10b)$$

그러므로 식 (8)의 오른쪽의 단위투자에 대한 총사적보수의 현재가치(이하 B_{PV})는 식 (10b)를 적분하여 계산할 수 있다. 그러므로 B_{PV} 는 그림 1에서 보는 바와 같이 OB_0AT 로서 $t=0$ 로부터 $t=T$ 까지의 편익의 현재가치의 흐름을 의미한다.

그림 1 연속적으로 할인된 편익의 현재가치



16) Schankerman and Nadiri(1984), 식 (21).

그러므로

$$\begin{aligned}
 B_{PV} &= \int_0^T B_t dt = - \left(\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0} \right) \int_0^T e^{-(\rho+\delta+\phi-g)t} dt + r \int_0^T e^{-(\rho+\phi)t} dt \\
 &= - \left(\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0} \right) \left[- \frac{1}{(\rho+\delta+\phi-g)} e^{-(\rho+\delta+\phi-g)t} \right]_0^T + r \left[- \frac{1}{(\rho+\phi)} e^{-(\rho+\phi)t} \right]_0^T \\
 &= \frac{\left(\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0} \right)}{(\rho+\delta+\phi-g)} [e^{-(\rho+\delta+\phi-g)t}]_0^T - \frac{r}{(\rho+\phi)} [e^{-(\rho+\phi)t}]_0^T \\
 &= \frac{\left(\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0} \right)}{(\rho+\delta+\phi-g)} (e^{-(\rho+\delta+\phi-g)T} - 1) - \frac{r}{(\rho+\phi)} (e^{-(\rho+\phi)T} - 1)
 \end{aligned}$$

여기에서 $T \rightarrow \infty$ 와 식 (2)에 따라 B_{PV} 는 3개 부분: (i) 가변비용절감부분, 준고정요소의 단위투자에 따른 가변비용(VC)절감; (ii) 투자비용절감부분, 준고정요소의 단위투자에 따른 투자비용($STC-VC$)절감; (iii) 임대부분, 준고정요소의 단위투자에 따른 임대수입을 측정하는 식 (11)로 변형된다.

$$B_{PV} = \frac{\left(- \frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} \right)}{(\rho+\delta+\phi-g)} + \frac{(-r)}{(\rho+\delta+\phi-g)} + \frac{r}{(\rho+\phi)} \dots\dots\dots (11)$$

결국 식 (8)에 따라 준고정요소의 단위투자의 현재가치($e^{\theta\rho}$)와 편익의 현재가치(B_{PV})는 같아야 하므로 다음 식이 도출된다.

$$e^{\theta\rho} = \frac{\left(- \frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} \right)}{(\rho+\delta+\phi-g)} + \frac{(-r)}{(\rho+\delta+\phi-g)} + \frac{r}{(\rho+\phi)} \dots\dots\dots (12)$$

이에 따라 다음과 같은 내부수익률 측정공식이 도출된다.

$$e^{\theta\rho}(\rho+\delta+\phi-g) - r \frac{(\delta-g)}{(\rho+\phi)} = \left(- \frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} \right)^{17} \dots\dots\dots (13)$$

여기에서 엔벨로프조건 $-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} = r$, 그리고 $\rho = i$ 를 식 (13)에 대입하면,

17) Schankerman and Nadiri(1984), 식 (22).

$r = e^{\theta i}(i + \phi)$ ¹⁸⁾가 도출되는데, 이는 엔벨로프조건이 부과되었을 때, 경험적 작업에 사용되는 준고정요소를 위한 적절한 시장가격으로 정의된다. 이를 다시 식 (13)에 대입하면, 내부수익률 측정공식 식 (14)가 도출된다.

$$e^{\theta \rho}(\rho + \delta + \phi - g) - e^{\theta i}(\delta - g) \frac{(i + \phi)}{(\rho + \phi)} = \left(-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0}\right)^{19)} \dots\dots\dots (14)$$

다음으로는 편익의 현재가치(B_{PV})의 여러 가지 형태와 관련하여 도출되는 내부수익률 측정공식을 살펴보기로 한다.

첫째, 준고정요소의 단위투자에 따른 가변비용(VC) 절감만을 편익의 현재가치로 볼 경우, 식 (11)로부터 식 (15)가 도출된다.

$$B_{PV} = \frac{\left(-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0}\right)}{(\rho + \delta + \phi - g)} \dots\dots\dots (15)$$

식 (8)에 따라 준고정요소의 단위투자의 현재가치($e^{\theta \rho}$)와 편익의 현재가치(B_{PV})는 같아야 하므로 이 경우, 내부수익률은 식 (16)으로 측정되며, 식 (14)의 두 번째 조합이 삭제된 것이다.

$$e^{\theta \rho}(\rho + \delta + \phi - g) = \left(-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0}\right)^{20)} \dots\dots\dots (16)$$

둘째, 준고정요소의 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감 - 준고정요소의 단위투자에 따른 가변비용(VC) 절감(이하 “투자비용($STC - VC$) 절감”)만을 편익의 현재가치로 볼 경우, 식 (11)로부터 식 (17)이 도출된다.

$$B_{PV} = \frac{(-r)}{(\rho + \delta + \phi - g)} \dots\dots\dots (17)$$

식 (8)에 따라 준고정요소의 단위투자의 현재가치($e^{\theta \rho}$)와 편익의 현재가치(B_{PV})는 같아야 하므로 이 경우, 내부수익률은 식 (18)로 측정된다.

18) Schankerman and Nadiri(1984), 식 (23).

19) Schankerman and Nadiri(1984), 식 (24).

20) Schankerman and Nadiri(1984), p.20.

$$e^{\theta\rho}(\rho + \delta + \phi - g) = (-r) \dots\dots\dots (18)$$

셋째, 준고정요소의 단위투자에 따른 임대수입을 편익의 현재가치로 볼 경우, 식 (11)로부터 식 (19)가 도출된다.

$$B_{PV} = \frac{r}{(\rho + \phi)} \dots\dots\dots (19)$$

식 (8)에 따라 준고정요소의 단위투자의 현재가치($e^{\theta\rho}$)와 편익의 현재가치(B_{PV})는 같아야 하므로 이 경우, 내부수익률은 식 (20)으로 측정된다.

$$e^{\theta\rho}(\rho + \phi) = r \dots\dots\dots (20)$$

넷째, 준고정요소의 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감만을 편익의 현재가치로 볼 경우, 식 (11)로부터 식 (21)이 도출된다.

$$B_{PV} = \frac{(-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0})}{(\rho + \delta + \phi - g)} + \frac{(-r)}{(\rho + \delta + \phi - g)} \dots\dots\dots (21)$$

식 (8)에 따라 준고정요소의 단위투자의 현재가치($e^{\theta\rho}$)와 편익의 현재가치(B_{PV})는 같아야 하므로 이 경우, 내부수익률은 식 (22)로 측정된다.

$$e^{\theta\rho}(\rho + \delta + \phi - g) = (-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0}) - r \dots\dots\dots (22)$$

여기에서, ρ : 내부수익률(IRR), θ : 회임기간, δ : 가격조정률, ϕ : 감가상각률,
 g : 예상산출증가율, r : 준고정요소의 시장가격, $r^s (= -\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0})$: 준고정요소의 잠재 가격
 (투자단위에 대한 한계생산물가치($\frac{\partial Y}{\partial Z} \cdot P$)), i : 시장이자율, SD_Z (sufficiency degree of
 quasi-fixed factor): 준고정요소의 충족도이다.

3.

환경투자의 경우, 9차 한국표준산업분류에 따라 종사자 수 10인 이상인 제조업체를

대상으로 1999년부터 2008년까지 10년간, 20개 업종으로 하여 200개 패널자료를 구성하였으며, 기준연도는 2005년이다.

본 연구의 가변비용함수는 트랜스로그 형태이므로 식 (4)와 같이 28개의 독립변수로 구성되었다. 여기에서 환경투자 자료는 환경부에서 취합한 중앙정부 환경예산(환경부²¹⁾이다. 환경투자비의 가격(r)은 자본비용을 민간자본스톡으로 나눈 값을 사용하였으며, 중앙정부 환경예산에 근거한 환경투자비용을 불변화하기 위해 국내총생산 디플레이터를 사용하였다.

표 1 환경투자비 추이(2005년 불변가격기준)

(단위: 억원)

연도	gdp deflator	경상기준	불변기준
1999	0.965222	27,636	28,631.8
2000	0.955021	30,581	32,021.3
2001	0.942186	31,229	33,145.3
2002	0.94701	32,544	34,365.0
2003	0.954733	33,425	35,009.8
2004	1.020853	31,183	30,546.0
2005	1.000000	35,578	35,578.0
2006	0.956896	33,978	35,508.6
2007	0.963933	32,837	34,065.7
2008	1.004723	36,568	36,396.1

자료: 1) 환경부(2010), 「환경예산과 예산제도」.
2) 한국은행 홈페이지.

공해방지투자의 경우, 8차 한국표준산업분류에 따라 종사자수 5인 이상인 제조업체의 1999~2006년의 8년간, 11개 업종으로 하여 88개 패널자료로 구성하였으며, 기준연도는 2000년이다. 또한 「설비투자계획조사」(한국산업은행)의 공해방지투자 자료는 8차 한국표준산업분류를 따르고 있으므로 이에 해당되는 「광업·제조업통계조사보고서」(통계청) 자료는 2006년까지로 한정되어 있다. 이에 따라 연구기간을 2006년까지로 한정하였다.

「설비투자계획조사」(한국산업은행)의 공해방지투자 자료를 살펴본 결과, 연도별로 투자가 이루어지지 않은 업종이 있어 추정이 불가능하게 됨에 따라 <표 2>에 나와 있

21) 결산자료를 사용해야 하지만, 결산자료에는 예산자료와 같이 환경부뿐만 아니라 국토해양부, 행정안전부, 농림수산식품부, 해양수산부, 기획재정부, 소방방재청, 해양경찰청과 같은 현재 및 과거의 타 부서의 자료를 취합하지 않고 있어 자료로 활용하는 것이 불가능하며, 예산과 큰 차이가 없으므로 예산자료를 사용하였다. 또한 이 예산자료에는 공해정화 보조금 지급과 공해방지기술·시설에 대한 연구개발투자 지원이 포함되어 있다.

는 것 같이 업종을 11개로 재조정한 결과, 가구 및 기타제조업은 연구대상에서 제외되었다. 공해방지투자는 코크스·석유정제품·핵연료, 제1차금속제품, 운송장비 순으로 크게 증가했으며, 나머지 업종은 감소하였다. 공해방지투자비의 가격(r)은 자본가격으로 대응하였으며, 「설비투자계획조사」(한국산업은행)의 공해방지투자비용을 불변화하기 위해 자본재 형태별 총자본형성 디플레이터가 사용되었다.

「설비투자계획조사」(한국산업은행) 가운데 제조업체의 1999~2008년간의 투자동기별 설비투자동향을 살펴보면 다음과 같다. 우선 설비투자 가운데 차지하는 비중을 살펴보면, 설비능력의 증가 68.51%, 합리화투자 18.37%, 공해방지투자 0.93%, 연구개발투자 5.09%, 기타 7.09%로 공해방지투자 0.93%는 투자동기 가운데 가장 낮은 수준이고, 선진국의 5% 수준에 비하면 크게 떨어진다. 다음으로 1999~2008년간의 연평균증가율을 살펴보면, 설비능력의 증가 15.65%, 합리화투자 7.88%, 공해방지투자 -0.15%, 연구개발투자 -2.09%, 기타 12.10%로 공해방지투자 -0.15%는 연평균증가율 12.71%에 크게 미치지 못하고 있다. 이러한 결과는 기업들의 거둬들인 환경개선의지 천명과는 동떨어진 것임을 보여주고 있다.²²⁾

또한 해당 연도별 업종별 자료의 총비용과 출하액을 해당 연도별 업종별 업체수로 나누어 1개 업체당 자료로 변경시킴으로써 업체수의 크기에 따른 자료의 편의를 제거하였다.

표 2 공해방지투자비 추이(2000년 불변가격기준)

(단위: 억원, %)

업종	음식료품 및담배	섬유제품, 의복, 모피, 가죽, 가방, 신발	목재, 나무, 펄프, 종이, 종이제품	코크스, 석유 정제품, 핵연료	화학 제품	고무및 플라스틱 제품	비금속 광물제품	제1차 금속제품	조립 금속 제품	전기 전자	운송 장비	계
1999	108	32	50	49	474	103	123	450	14	1,002	196	2,601
2000	131	32	233	85	726	31	126	917	18	1,297	1,759	5,355
2001	59	104	292	132	433	35	199	1,116	10	151	567	3,098
2002	99	33	357	106	728	37	160	1,295	2	69	410	3,296
2003	149	15	499	113	477	5	143	1,062	19	135	821	3,438
2004	128	42	91	267	502	75	445	1,333	10	377	174	3,444
2005	98	12	107	181	356	60	146	1,029	19	189	243	2,440
2006	83	2	48	169	274	39	50	1,102	11	124	280	2,182
연평균 증가율(%)	-3.74	-31.41	-0.61	19.33	-7.54	-12.91	-12.18	13.64	-3.29	-25.85	5.18	-2.49

주: 전기전자는 일반기계, 장비, 가전, 컴퓨터, 사무용기기, 전기기계, 전기변환장치, 반도체, 전자부품, 영상, 음향, 통신장비이다. 본 자료는 철강의 투자가 대부분이므로, 사실상 제조업이라고 보기에 무리가 있음.
자료: 한국산업은행(각 연도), 「설비투자계획조사」.

22) 정재영(1991), p.403을 참조하였으며, 우리나라 제조업의 설비투자 중에 대부분을 차지하는 설비능력증가 및 합리화투자 속에 공해방지의 역할이 높아져가 있는 경우가 많다.

자본비용은 자본의 기회비용과 감가상각비로 구성된다. 자본의 기회비용은 불변화된 민간자본스톡과 홈페이지 통계자료(한국은행)의 3년 만기 회사채수익률을 곱하여 구했다. 민간자본스톡의 경우, 「광업·제조업통계조사보고서」(통계청)에 수록된 건물 및 구축물, 기계장치·용광로, 차량·선박·운반구, 공구·기구·비품 각각에 대해 홈페이지 통계자료(한국은행)에 수록된 자본재 형태별(비주거용건물 및 구축물, 기계류, 운수장비) 총자본형성 디플레이터를 적용하여 불변가격 기준으로 환산했다. 감가상각비는 「광업·제조업통계조사보고서」(통계청)에 수록된 자료에 3개 부문 자본재 형태별 총자본형성 디플레이터의 가중평균 값을 적용하여 불변화시켰다. 이에 따라 감가상각비와 자본의 기회비용(=민간자본스톡×3년 만기 회사채수익률)으로 구성된 자본비용을 건물 및 구축물, 기계장치·용광로, 차량·선박·운반구, 공구·기구·비품으로 구성된 민간자본스톡으로 나누어 자본가격을 구하였다.

노동비용은 「광업·제조업통계조사보고서」(통계청)에 수록된 제조업 부문의 급여액 자료를 활용하였으며, 홈페이지 통계자료(통계청 및 한국은행)의 소비자물가지수로 불변화하였다. 이와 같이 구한 제조업의 업종별 연간 총급여액을 「광업·제조업통계조사보고서」(통계청)에 수록된 피용자 수로 나누어 노동가격을 구하였다.

원재료비, 에너지비, 전력비는 「광업·제조업통계조사보고서」(통계청)를, 각종 생산자물가지수와 가공단계별물가지수는 홈페이지 통계자료 및 내부자료(한국은행)를 활용했다. 원재료가격과 에너지가격은 평균생산비용의 개념을 적용하여 구하였다.²³⁾ 이에 따라 원재료가격은 불변원재료비를 불변부가가치로 나누어 구하였으며, 원재료비 불변화를 위해 업종별 가공단계별 물가지수가 사용되었다. 에너지가격은 불변에너지비를 불변부가가치로 나누어 구하였으며, 에너지비 불변화에는 에너지 생산자물가지수가 사용되었다. 전력가격은 한전의 산업용 전력단가를 산업용전력 생산자물가지수로 불변화하여 구하였다. 그리고 원재료가격, 에너지가격, 전력가격 각각에 대해 원재료비, 에너지비, 전력비로 구성된 재료비 기준 가중합을 적용하여 재료가격을 구하였다.

이리하여 자본비용은 감가상각비, 자본의 기회비용으로, 노동비용은 급여액으로, 재료비는 원재료비, 에너지비, 전력비로 구성된다.

산출은 「광업·제조업통계조사보고서」(통계청)에 수록된 출하액을 기준으로 하였으며, 업종별 생산자물가지수를 사용하여 불변가격 기준으로 환산하였다.

23) 윤창호·신재명·김남주(1985), pp.29-30; 박희석(1990), p.52.

4. 24)

추정되어야 할 계수를 식 (4)와 관련하여 설명하면, α_{con} 은 A, $\alpha_k, \alpha_l, \alpha_m$ 은 B, α_o 는 C, α_t 는 D, α_y 는 E, $r_{kk}, r_{ll}, r_{mm}, r_{kl}, r_{km}, r_{lm}$ 는 F, r_{ko}, r_{lo}, r_{mo} 는 G, r_{kt}, r_{lt}, r_{mt} 는 H, r_{ky}, r_{ly}, r_{my} 는 J, r_{oo} 는 X, r_{ot} 는 L, r_{oy} 는 M, r_{tt} 는 N, r_{ty} 는 P, r_{yy} 는 R로 모두 28개이다. 여기에서 각 독립변수의 하첨자 k, l, m, o, t, y는 각각 자본, 노동, 재료, 환경관련투자, 시간추세, 산출을 나타낸다.

환경투자의 경우, 자유도 558²⁵⁾, $\alpha=0.05$ 일 경우, $t_{0.025}$ 의 임계값 1.960 기준 하²⁶⁾에 독립변수의 계수 값의 의미를 살펴보기로 한다. $\alpha_k > 0, \alpha_l > 0, \alpha_m > 0$ 이므로 자본가격, 노동가격, 재료가격 증가는 제조업체의 가변비용을 증가시키고, $\alpha_y > 0$ 이므로 산출은 가변비용 사용과 정(+)의 관계이다.

공해방지투자의 경우, 자유도 222²⁷⁾, $\alpha=0.05$ 일 경우, $t_{0.025}$ 의 임계값 1.960 기준 하²⁸⁾에 독립변수의 계수 값의 의미를 살펴보기로 한다. $\alpha_k > 0, \alpha_l > 0, \alpha_m > 0$ 이므로 자본가격, 노동가격, 재료가격 증가는 제조업체의 가변비용을 증가시키고, $\alpha_o > 0$ 이므로 공해방지 투자는 제조업체 가변비용 사용과 정(+)의 관계이며, $r_{yy} > 0$ 이므로 평균가변비용곡선은 U자형²⁹⁾이다. $r_{ko} > 0, r_{lo} > 0, r_{mo} < 0$ 이므로 공해방지투자는 자본사용적, 노동사용적, 재료절약적이며, $r_{kt} > 0, r_{lt} > 0, r_{mt} < 0$ 이므로 자본사용적, 노동사용적, 재료절약적 기술진보가 존재하고 있다.

24) 검정 및 비용구조분석은 참고문헌 민승기(2010a), 민승기(2010b)를 참조.

25) '자유도 = 관측치의 수 × 방정식 수 - 계수의 수(상수항 포함)' 이므로 $200 \times 3 - (28 + 7 + 7) = 558$, 또는 3개 방정식 각각에 대해 '자유도 = 관측치의 수 - 파라미터 수(상수항 포함)'를 적용하면, $(200 - 28) + (200 - 7) + (200 - 7) = 558$. 따라서 외견무관회귀모형에서는 자유도가 22가 아니라 558이다.

26) 이 의미는 자유도 558, 한쪽꼬리 넓이 0.025에서 t 값은 1.960이므로 t 가 -1.960보다 작고, 또 t 가 1.960보다 클 확률은 0.05, 즉 $P(T \leq -1.960 \text{ 또는 } T \geq 1.960) = 0.05$ 라는 뜻이다. 이것은 t 가 -1.960보다 크고, 또 t 가 1.960보다 작을 확률 즉 $P(-1.960 \leq T \leq 1.960) = 0.95$ 라는 것과 같다.

27) '자유도 = 관측치의 수 × 방정식 수 - 계수의 수(상수항 포함)'이므로 $88 \times 3 - (28 + 7 + 7) = 222$, 또는 3개 방정식 각각에 대해 '자유도 = 관측치의 수 - 파라미터 수(상수항 포함)'를 적용하면, $(88 - 28) + (88 - 7) + (88 - 7) = 222$, 따라서 외견무관 회귀모형에서는 자유도가 22가 아니라 222이다.

28) 이 의미는 자유도 222, 한쪽꼬리 넓이 0.025에서 t 값은 1.960이므로 t 가 -1.960보다 작고, 또 t 가 1.960보다 클 확률은 0.05, 즉 $P(T \leq -1.960 \text{ 또는 } T \geq 1.960) = 0.05$ 라는 뜻이다. 이것은 t 가 -1.960보다 크고, 또 t 가 1.960보다 작을 확률 즉 $P(-1.960 \leq T \leq 1.960) = 0.95$ 라는 것과 같다.

29) Spady et al.(1978), p.171.

표 3 가변비용함수 추정 결과(환경투자)

계수	계수 값	표준오차	T값	유의도	계수	계수 값	표준오차	T값	유의도
1. α_{con}	-0.0104	0.0040	-2.5792	0.0099	15. r_{km}	-0.0659	0.0343	-1.9198	0.0549
2. α_k	0.1819	0.0064	28.4562	0.0000	16. r_{ko}	0.0651	0.0581	1.1197	0.2629
3. α_l	0.3401	0.0118	28.9314	0.0000	17. r_{kt}	0.0023	0.0252	0.0904	0.9279
4. α_m	0.4780	0.0157	30.4343	0.0000	18. r_{kv}	-0.0817	0.0307	-2.6615	0.0078
5. α_o	-0.1580	0.1764	-0.8955	0.3705	19. r_{lm}	-0.1910	0.0625	-3.0554	0.0022
6. α_t	-0.0983	0.0272	-3.6117	0.0003	20. r_{lo}	0.1093	0.1095	0.9982	0.3182
7. α_y	0.6127	0.0206	29.7903	0.0000	21. r_{lt}	-0.0556	0.0428	-1.3000	0.1936
8. r_{kk}	0.0544	0.0235	2.3132	0.0207	22. r_{lv}	0.0143	0.0554	0.2582	0.7962
9. r_{ll}	0.1794	0.0572	3.1366	0.0017	23. r_{mo}	-0.1744	0.1486	-1.1737	0.2405
10. r_{mm}	0.2569	0.0843	3.0486	0.0023	24. r_{mt}	0.0533	0.0533	0.9995	0.3175
11. r_{oo}	-2.9510	2.9500	-1.0003	0.3171	25. r_{mv}	0.0674	0.0745	0.9039	0.3661
12. r_{tt}	-0.4958	0.2929	-1.6928	0.0905	26. r_{ot}	1.2105	0.8799	1.3758	0.1689
13. r_{yy}	-0.0402	0.0958	-0.4199	0.6745	27. r_{oy}	0.7429	0.3212	2.3128	0.0207
14. r_{kl}	0.0116	0.0300	0.3850	0.7002	28. r_{tv}	-0.0595	0.1017	-0.5849	0.5586

$$R^2 = 0.9040$$

표 4 가변비용함수 추정 결과(공해방지투자)

계수	계수값	표준오차	T값	유의도	계수	계수값	표준오차	T값	유의도
1. α_{con}	-0.0215	0.0061	-3.5326	0.0004	15. r_{km}	0.1523	0.0215	7.0898	0.0000
2. α_k	0.1170	0.0111	10.4947	0.0000	16. r_{ko}	0.0318	0.0059	5.3590	0.0000
3. α_l	0.1355	0.0158	8.5802	0.0000	17. r_{kt}	0.1224	0.0178	6.8710	0.0000
4. α_m	0.7475	0.0248	30.0985	0.0000	18. r_{kv}	-0.1006	0.0329	-3.0527	0.0023
5. α_o	0.0560	0.0065	8.6356	0.0000	19. r_{lm}	0.3526	0.0290	12.1470	0.0000
6. α_t	-0.1880	0.0172	-10.9231	0.0000	20. r_{lo}	0.0356	0.0084	4.2449	0.0000
7. α_y	-0.0907	0.0572	-1.5852	0.1129	21. r_{lt}	0.1173	0.0217	5.4114	0.0000
8. r_{kk}	0.0622	0.0343	1.8131	0.0698	22. r_{lv}	-0.1482	0.0465	-3.1865	0.0014
9. r_{ll}	-0.1382	0.0302	-4.5731	0.0000	23. r_{mo}	-0.0673	0.0130	-5.1770	0.0000
10. r_{mm}	-0.5050	0.0454	-11.1232	0.0000	24. r_{mt}	-0.2397	0.0294	-8.1464	0.0000
11. r_{oo}	-0.0152	0.0051	-2.9546	0.0031	25. r_{mv}	0.2487	0.0719	3.4586	0.0005
12. r_{tt}	0.1999	0.0306	6.5382	0.0000	26. r_{ot}	-0.0346	0.0074	-4.6911	0.0000
13. r_{yy}	0.3816	0.1703	2.2403	0.0251	27. r_{oy}	-0.1650	0.0261	-6.3268	0.0000
14. r_{kl}	-0.2145	0.0293	-7.3155	0.0000	28. r_{tv}	0.5103	0.0652	7.8213	0.0000

$$R^2 = 0.8818$$

V. 실증분석 결과

킬러와 잉(Keeler and Ying, 1988)³⁰⁾은 비용편익분석을 두 가지로 구분하였다. 즉 장래를 바라보고(forward-looking), 미래편익(future benefit)과 비용으로 미래의 현금흐름을 추정함으로써 “계획된 개별투자사업의 타당성 여부를 판단”하는 비용편익분석과 투자사업 실시 이후 “투자사업에 대한 가치를 사후적으로 입증”하는 사후 비용편익분석(after-the-fact benefit-cost analysis 또는 retrospective benefit-cost studies)이다. 이 가운데 사후 비용편익분석은 투자사업의 효과를 판단하기 위해 과거의 경험(자료)으로부터 중요한 교훈을 얻어내므로 회고적인 방법에 해당된다고 하였다.

포겔(Fogel, 1979)은 사회적 편익에 대한 논쟁을 언급하였다. 그린과 존스(Greene and Jones, 1997)는 사회적 편익에 대해 논의하는 가운데 킬러와 잉(Keeler and Ying, 1988)의 사후 비용편익분석을 “ex post cost-benefit assessment”라고 표현했으며, 포겔(Fogel, 1964, 1979), 피시로(Fishlow, 1965)의 방법을 언급하였다.

1.

본 논문에서는 식 (14)로 측정한 내부수익률을 활용하여 환경투자와 공해방지투자의 효율성을 분석하고자 한다. 이러한 내부수익률 추정에 사용되는 변수의 값을 살펴보면 다음과 같다. 즉, 감가상각률(ϕ)은 환경투자 0.1149, 공해방지투자 0.1159³¹⁾을, 예상산출증가율(g)은 1999~2020년간 제조업 제품의 출하액 증가율 전망값 4.68%³²⁾를, 시장이자율(i)은 자금의 기회비용으로서 중앙정부환경투자의 경우 1999~2008년간의 공공 및 기타부문 대출금리(신규취급액기준)의 평균값 6.4500%를, 공해방지투자의 경우 1999~2006년간의 기업대출(시설자금 신규취급액기준)의 평균값 7.5588%를 사용하였다.³³⁾

30) Keeler and Ying(1988), pp. 69~85를 보면, 1950~1983년간 미국 48개 주의 Class I 화물자동차운송업체의 가변비용함수를 활용한 고속도로투자 연구에서 화물자동차운송업체의 고속도로투자에 따른 매년 운송비용 절감비율에 화물자동차운송업체의 톤-마일당 가변비용을 곱하여 고속도로투자로 인한 화물자동차운송업체의 톤-마일당 운송비용 절감액(명목가격 기준)을 구하고, 이를 사후 비용편익분석이라고 했으며, 관련 연구사례로서 피시로(Fishlow, 1965), 포겔(Fogel, 1964)을 들고 있다.

31) 잔액체감률법에 따라 건물·구축물은 잔액체감률 1.4를 내용연수(32,857)로 나누어 구했으며, 기계는 잔액체감률 1.9를 내용연수(11,500)로 나누어 구했다. 잔액체감률은 한국은행의 내부자료를 활용했으며, 내용연수는 『유형고정자산 내용연수표』(한국감정원, 1999)에 따라, 건물·구축물은 공장의 평균값을, 기계는 공해방지시설의 평균값을 활용하였다. 건물·구축물과 기계 각각에 대한 가중치는 1999~2008년간의 『광업·제조업 통계조사보고서』의 유형고정자산 가운데 건물·구축물과 기계의 연말잔액값을 기준으로 구하였다.

32) 교통개발연구원(2002), p.112.

33) 한국은행(각 연도).

시장이자율은 자본시장에서 자금을 대한 수요와 공급곡선에 의해 결정되며, 현재가치를 미래가치와 교환하는 할인율의 하나이므로 사회적 할인율로 대응되고 있다. 그러나 시장할인율이 개인적인 측면에서 미래에 적용될 경우, 집단적 측면에서 미래에 적용될 경우보다 높은 할인율이 적용되므로 사회적 할인율로서 공공정책분석에 이용되는 할인율은 시장할인율보다 낮다.³⁴⁾ 그리고 시장가격(r)은 환경투자의 경우 1.0153, 공해방지투자의 경우 0.8854, 잠재가격($-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} = r^s$)은 환경투자의 경우 0.2651, 공해방지투자의 경우 -0.0430 을 활용하였다. 총족도는 환경투자의 경우, 0.7230, 공해방지투자의 경우, 0.0954를 활용하였다.

회임기간은 부록식 (1)을 활용하여 환경투자의 경우, 19.4262, 공해방지투자의 경우, 1.9319를, 가격조정률은 부록식 (2)를 활용하여 환경투자의 경우, 0.4249, 공해방지투자의 경우, 0.5118을 활용했다.

2.

식 (11)로 측정된 편익의 현재가치(B_{PV})는 단위투자에 따른 가변비용(VC)(자본비용, 노동비용, 재료비용) 절감부문, 단위투자에 따른 투자비용($STC - VC$)(환경투자: 환경투자비용, 공해방지투자: 공해방지투자비용) 절감부문, 단위투자에 따른 임대수입 부문으로 구성되어 있다. 그리고 단위투자에 따른 가변비용(VC) 절감부문과 단위투자에 따른 투자비용($STC - VC$) 절감부문을 합쳐 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감부문이라고 하며, 환경투자의 경우 자본비용, 노동비용, 재료비용, 환경투자비용으로, 공해방지투자의 경우, 자본비용, 노동비용, 재료비용, 공해방지투자비용으로 구성된다.

편익의 현재가치인 환경투자 4.554, 공해방지투자 4.463(이 경우 내부수익률은 환경투자 5.658%, 공해방지투자 3.227%)은 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감 환경투자 -1.365 , 공해방지투자 -1.514 와 단위투자에 따른 임대수입 환경투자 5.919, 공해방지투자 5.977로 분해된다. 그러므로 환경투자, 공해방지투자 모두, 단위투자에 따른 임대수입은 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감보다 더 크다.

이 가운데 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감 환경투자 -1.365 , 공해방지투자 -1.514 는 단위투자에 따른 가변비용(VC) 절감 환경투자 0.482, 공해방지투자 -0.070

34) 김홍배(1997), p.166.

(내부수익률: 환경투자 -2.885%, 공해방지투자 -77.157%)과 단위투자에 따른 투자비용($STC-VC$) 절감 환경투자 -1.847, 공해방지투자 -1.444로 분해된다. 따라서 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감이 부(-)의 값인 이유는 단위투자에 따른 투자비용($STC-VC$) 절감이 단위투자에 따른 가변비용(VC) 절감보다 더 크기 때문이다. 그리고 단위투자에 따른 가변비용(VC) 절감은 환경투자에서만 나타나고 있다.

한편 단위투자에 따른 임대수입은 환경투자 5.919, 공해방지투자 5.977로서 이때의 내부수익률은 환경투자 8.392%, 공해방지투자 34.170%로 환경투자, 공해방지투자 모두 연구기간의 시장이자율보다 커, 환경투자, 공해방지투자 모두 효율적임을 나타내고 있다. 이는 환경투자 및 공해방지투자로부터 얻는 임대수입은 환경투자 및 공해방지투자의 편익의 공공성이 환경투자 및 공해방지투자의 효율성을 가져오고 있음을 의미한다.

표 5 편익의 현재가치 및 내부수익률 분해

편익의 현재가치 구성요소		단위투자에 따른 단기총비용(STC)절감		단위투자에 따른 임대수입	단위투자에 따른 단기총비용절감 및 임대수입
		단위투자에 따른 가변비용(VC) 절감	단위투자에 따른 투자비용($STC-VC$) 절감		
편익의 현재가치		식 (21)		식 (19)	식 (11)
		식 (15)	식 (17)		
내부수익률		식 (22)		식 (20)	식 (14)
		식 (16)	식 (18)		
환경투자	편익의 현재가치	-1.365		5.919	4.554
		0.482	-1.847		
	내부 수익률	-		8.392%	5.658%
		-2.885%	-		
공해방지 투자	편익의 현재가치	-1.514		5.977	4.463
		-0.070	-1.444		
	내부 수익률	-		34.170%	3.227%
		-77.157%	-		

주: 1) 환경투자의 경우, 단위투자의 현재가치($e^{\theta\rho}$)가 3.002로서 편익의 현재가치(B_{PV}) 4.554보다 작은 이유는 식 (14)에서 r 대신 $r' = e^{\theta i}(i + \phi)$ 이 사용되었기 때문이다.

2) 공해방지투자의 경우, 단위투자의 현재가치($e^{\theta\rho}$)가 1.064로서 편익의 현재가치(B_{PV}) 4.463보다 작은 이유는 식 (14)에서 r 대신 $r' = e^{\theta i}(i + \phi)$ 이 사용되었기 때문이다.

자원비용(resource cost)³⁵⁾은 단위투자에 따른 임대수입을 나타내는 식 (20)이 내부 수익률 대신 시장이자율을 반영하는 것을 보여준다. 이에 따라 내부수익률을 식 (20)으로 측정하지 않고, 단위투자에 따른 단기총비용(*STC*) 절감과 단위투자에 따른 임대수입을 나타내는 식 (14)로 측정하였다. 여기에서 단위투자에 따른 단기총비용(*STC*) 절감은 제조업체가 환경투자 및 공해방지투자 부담으로 인해 감수해야 하는 총비용 절감을, 단위투자에 따른 임대수입은 환경투자 또는 공해방지투자의 공공성에 따라 발생하는 공공적 편익이다.

이에 따라 식 (14)로 측정한 내부수익률은 환경투자의 경우 5.658%로서 시장이자율 6.450%보다 작고, 공해방지투자의 경우 3.227%로서 시장이자율 7.559%보다 작다. 그러므로 환경투자, 공해방지투자 모두 비효율적인데, 공해방지투자가 환경투자보다 더 비효율적이다. 그리고 환경투자의 편익의 현재가치(4.554)와 공해방지투자의 편익의 현재가치(4.463)가 모두 정(+의 값인 이유는 공공적 편익으로서의 정(+의 단위투자에 따른 임대수입이 부(-)의 단위투자에 따른 단기총비용(*STC*) 절감보다 크기 때문이다.

표 6 내부수익률 측정 결과

환경투자				공해방지투자			
IRR	회임기간	19.426		IRR	회임기간	1.932	
	가격조정률	0.425	식 (14) 5.658%		가격조정률	0.512	식 (14) 3.227%
시장이자율		6.450%		시장이자율		7.559%	
B_{PV}	식 (11)	4.554		B_{PV}	식 (11)	4.463	

다음은 투자효율성 방법론의 사례이다.

Schankerman and Nadiri(1984)는 통신업의 경우, 민간자본과 연구개발자본에 대해 회임기간 0, 2, 4, 가격조정률 0.25, 0.30, 0.35로 하여 내부수익률을 측정했다. 측정 결과를 살펴보면, 민간자본은 0.041~0.047, 연구개발자본은 0.102~0.242이다. 따라서 시장이자율 0.055와 비교해보면, 민간자본은 낮고 연구개발자본은 높다. 따라서 연구개발자본투자는 효율적이고, 민간자본투자는 비효율적이다.

35) Bruno(1972), pp.19-20; Lee(1982), pp.7-8.

Shah(1992)는 제조업에서 민간자본과 공공자본에 대해 회임기간을 0, 1, 2, 3, 5, 가격조정률을 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.50으로 하여 내부수익률을 측정했다. 측정 결과를 살펴보면, 민간자본은 0.143~0.182, 공공자본은 0.054~0.073이다. 따라서 실질시장이자율 0.103과 비교해보면, 민간자본은 높고 공공자본은 낮다. 따라서 민간자본투자는 효율적이고, 공공자본투자는 비효율적이다.

민승기(2004)는 제조업의 경우, 도로와 철도에 대해 회임기간은 도로 7, 철도 10으로, 가격조정률은 도로, 철도 모두 Shah(1992)의 기준에 따라 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.50으로 하여 내부수익률을 측정했다. 측정 결과를 살펴보면, 도로는 0.124~0.118, 철도는 0.105~0.108이다. 이를 명목시장이자율 0.111과 비교해 보면, 도로는 높고 철도는 낮다. 따라서 도로투자는 효율적이고, 철도투자는 비효율적이다.

VI. 결 론

환경관련투자는 환경개선, 생산활동의 간접지원, 투자 촉진, 경제개발 촉진, 기술혁신촉진 등의 역할로 인해 투자수요가 증대함에 따라 지속적으로 확충되어 왔다. 이에 따라 환경관련투자의 효과를 분석할 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 Schankerman and Nadiri(1984)의 내부수익률 측정공식을 참조하여, 제조업 관련 환경투자 및 공해방지투자의 투자효율성과 편익을 측정하였다. 이와 같이 과거의 투자자료를 활용하는 효율성 분석을 Keeler and Ying(1988)은 사후 비용편익분석이라고 하였다. 본 연구의 목적은 제조업 관련 환경투자 및 공해방지투자의 내부수익률과 편익의 현재가치를 활용하여 환경투자 및 공해방지투자의 효율성을 분석하는 데 있다.

이를 위해 가변비용함수에 대한 자료 및 변수 설명, 모형 설정 및 함수추정을 거쳐 관련 변수 측정값 및 기존자료를 활용하여 환경투자 및 공해방지투자의 편익의 변화와 투자효율성을 분석하였다. 가변비용함수의 계수 추정에 사용된 자료는 환경투자의 경우 1999~2008년 10년간의 제조업 20개 업종의 200개 패널자료이고, 공해방지투자의 경우 1999~2006년 8년간의 제조업 11개 업종의 88개 패널자료이다.

본 논문의 주요 연구 결과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 회임기간과 가격조정률 공식을 개발함으로써 내부수익률과 편익의 현재가치를 단위투자에 따른 가변비용(VC)(자본비용, 노동비용, 재료비용) 절감부문, 단위투자

에 따른 투자비용($STC - VC$)(환경투자: 환경투자비용, 공해방지투자: 공해방지투자비용) 절감부문, 단위투자에 따른 임대수입부문으로 분해하여 효율성을 분석하였다.

둘째, 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감이 환경투자 -1.365, 공해방지투자 -1.514로 부(-)의 값인 것은 주로 단위투자에 따른 투자비용($STC - VC$) 절감 환경투자 -1.847, 공해방지투자 -1.444의 영향을 받은 결과이다. 그러므로 제조업체는 환경투자비 및 공해방지투자비 부담으로 인해 단기총비용을 절감하지 못함을 보여주고 있다.

셋째, 단위투자에 따른 임대수입은 환경투자 5.919, 공해방지투자 5.977이며, 이 경우 내부수익률은 환경투자 8.392%, 공해방지투자 34.170%로 환경투자, 공해방지투자 모두 연구기간의 시장이자율보다 커, 환경투자 및 공해방지투자 모두 효율적임을 보여주고 있다. 이는 제조업체가 환경투자 및 공해방지투자의 공공성으로 인해 환경투자 및 공해방지투자를 효율적인 것으로 이끌어가고 있음을 의미한다.

넷째, 편익의 현재가치는 편익의 크기만을 조사하는 데 비해, 내부수익률은 효율성의 존재 여부를 분석한다.

다섯째, 환경투자 및 공해방지투자 투자로부터 얻는 내부수익률을 구하기 위해 자원비용에 따라 단위투자에 따른 단기총비용(STC) 절감과 단위투자에 따른 임대수입을 나타내는 식 (14)를 활용하였다. 그 결과 환경투자는 5.658%, 공해방지투자는 3.227%이므로 환경투자, 공해방지투자 모두 연구기간의 시장이자율보다 더 작다. 그러므로 환경투자, 공해방지투자 모두 비효율적인데, 공해방지투자가 환경투자보다 더 비효율적이다.

기업체는 공해방지투자를 적정수준으로 끌어올려 공해방지투자를 효율화함으로써 공해방지투자를 통해 가변비용을 절감해야 할 것이다. 이를 위해서는 생산설비투자와 병행하여 공해방지사설을 지속적으로 증대시킬 수 있는 지원정책이 필요하다. 따라서 정책금융의 별도 우대 배정, 도입시설재의 관세 면제, 공해방지준비금의 손금처리와 특별상각제도 신설 인정 및 투자감세의 수혜범위 확대 등 세제상의 혜택을 부여할 수 있는 제도를 갖추어야 할 것이다.³⁶⁾

민승기(2010b)를 보면, 잠재가격 측면에서 환경투자는 공해방지투자와는 달리 효율적이지만, 본 논문에서 환경투자는 공해방지투자보다는 덜 비효율적임에도 불구하고, 비효율적인 것으로 분석되었다. 그러므로 환경투자가 제조업체의 가변비용을 줄이고,

36) 철강보(1978), p.32.

생산을 늘릴 수 있는 방안이 요구되고 있다. 이를 위해 공공기관 의무구매 실시, 환경산업 발전전략 수립(2001) 등으로 친환경 상품수 대폭 확대 및 환경산업 해외수출 증대, 환경산업의 경쟁력 제고를 위한 환경관련 연구개발투자과 설비투자 등의 지속적인 확대, 환경산업에 대한 수출전략산업으로의 육성, 제2차 환경기술개발종합계획(2008-2012년)에 따른 미래 유망 환경기술 개발을 위한 투자 강화, 성장잠재력이 있는 유망한 환경기업의 기술개발·설비투자 등에 대한 필요한 자금 용자지원을 추진하고 있다.³⁷⁾ 이외에도 환경투자를 간접적으로 지원할 수 있는 보완책으로는 탄소세의 도입과 탄소세원의 환경분야 투자 및 R&D 사용, 녹색인증제, 녹색펀드를 들 수 있다.³⁸⁾

공해문제는 기업차원이 아닌 사회 전체 차원에서 환경수준과 주민복지수준의 변화와 관련하여 다루어야 하는데, 본 연구는 기업차원 연구에 한정된다는 한계를 지니고 있다. 또한 환경투자와 공해방지투자의 효율성 여부 및 상호 비교 결과는 환경투자와 공해방지투자의 결정 절차에 대한 매우 복잡하고 다양한 요인을 고려하지 못한 제한성을 지니고 있다.

37) 환경부(2010), pp.26-30.

38) 환경부 내부자료(2011).

참고 문헌

- 강정모, 권진균, 박승록. 1997. "한국 중화학산업의 성장과 수출지향정책". 『국제경제연구』 3(2): 207-241.
- 교통개발연구원. 2002. 『중부·영남권 내륙화물기지건설 기본계획 수립: 영남권 내륙화물기지편』.
- 권혁제 역, Dowling, E. T. 지음. 1990. 『경제·경영수학』. 정일출판사.
- 김영식. 1995. 『생산경제학』. 박영사.
- 김지욱. 2002. "환경오염과 환경투자가 경제성장에 미치는 영향 분석". 『경제논문집』 17: 125-136. 중앙대학교 경제연구소.
- 김홍배. 1997. 『비용편익분석론』. 홍문사.
- 민승기. 2010a. "제조업 공해방지투자의 비용분석". 『국토연구』 64: 149-166.
- _____. 2010b. "중앙정부의 환경투자 관련 제조업의 비용분석". 『환경정책연구』 9(3): 3-27.
- _____. 2004. 『제조업을 중심으로 한 도로 및 철도의 투자효율성에 관한 연구』. 단국대학교 대학원 박사학위논문.
- 박승록, 이상권. 1996. "한국 제조업에서 사회간접자본의 경제적 의미". 『국제경제연구』 2(1): 15-34.
- 박희석. 1990. 『우리나라 제조업부문에 있어서 비용함수에 의한 기술진보의 효과』. 한양대학교 대학원 석사학위논문.
- 백규석. 2004. "지속가능한 생명공동체 건설을 위한 환경투자 확대". 『나라경제』 15(11): 46-49.
- 윤창호, 신재명, 김남주. 1985. 『섬유산업의 구조조정에 관한 실증연구』.
- 이종원, 이상돈. 2005. 『RATS를 이용한 계량경제분석』. 제3판. 박영사.
- 이종인. 1998. 『교통경제학』. 효성출판사.
- 정재영. 1991. "환경비용 12조원, 기업부담은 4천억원". 『신동아』 380: 400-407.
- 철강보. 1978. "공해방지 설비투자의 촉진방안". 4(4): 28-32. 한국철강협회.
- 최정표. 1986. "신축적 가변비용함수를 통한 농업부문의 생산구조 분석". 『국제경제연구』 6: 49-66. 세종대학교 국제경제연구소.
- 통계청. 각 연도. 『광업·제조업통계조사보고서』.

- 한국감정원 감정평가연구소. 1999. 「유형고정자산 내용연수표」.
- 한국산업은행. 각 연도. 「설비투자계획조사」.
- 한국은행. 각 연도. 「경제통계연보」.
- 환경부. 2010. 「환경예산과 예산제도」.
- Bruno, M. 1972. "Domestic Resource Costs and Effective Protection: Clarification and Synthesis". *Journal of Political Economy*, 80(1): 16-33.
- Christensen, L. R., D. W. Jorgenson, and L. J. Lau. 1973. "Transcendental Logarithmic Production Frontiers". *The Review of Economics and Statistics*, 55(1): 28-45.
- Fishlow, A. 1965. *American Railroads and the Transformation of the Ante-Bellum Economy*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Fogel, R. W. 1964. *Railroads and American Economic Growth*. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins Press.
- _____. 1979. "Notes on the Social Saving Controversy". *The Journal of Economic History*, 39(1): 1-54.
- Greene, D. L. and D. W. Jones. 1997. "The Full Costs and Benefits of Transportation: Conceptual and Theoretical Issues". *The Full Costs and Benefits of Transportation*. Greene, D. L., D. W. Jones, and M. A. Delucchi eds. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Kalecki, M. 1969. *Theory of Economic Dynamics*. 2nd ed. New York: Augustus M. Kelley-Publishers.
- Keeler, T. E. and J. S. Ying. 1988. "Measuring the Benefit of a Large Public Investment". *Journal of Public Economics*, 36: 69-85.
- Lee, Dongho. 1982. "Domestic Resource Cost of Major Industries in Korea". *Asian Economies*, 41: 5-23. Seoul.
- Marshall, A. 1890. *The Principles of Economics*. London: McMillan.
- Samuelson, P. A. 1953-4. "Prices of Factors and Goods in General Equilibrium". *The Review of Economic Studies*, 21: 1-20.
- Schankerman, M. and M. I. Nadiri. 1984. "Restricted Cost Functions and the Rate of Return to Quasi-Fixed Factors, with an Application to R&D and Capital in the Bell System". *NBER Working Paper*, No. 1259.

- Shah, A. 1992. "Dynamics of Public Infrastructure, Industrial Productivity and Profitability". *The Review of Economics and Statistics*, 74(1): 28-36.
- Shephard, R. W. 1953. *Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press.
- Spady, R. H. and A. F. Friedlaender. 1978. "Hedonic Cost Functions for the Regulated Trucking Industry". *The Bell Journal of Economics*, 9(1): 159-179.
- Uzawa, H. 1962. "Production Functions with Constant Elasticity of Substitution". *The Review of Economic Studies*, 29(4): 291-299.

부 록

1.

어떤 자극이 주어져 그 영향이 다른 부분에 미칠 때까지의 시간을 래그(lag: 시간의 지체)라고 한다. 래그는 투자가 된 다음 그것이 소득이 되어 사람들 사이에 파급되어가는 기간, 즉, 승수기간으로서의 래그와 자본설비에 대한 주문이 행해지고서부터 그것이 생산되어 실제로 인도되기까지의 기간, 즉 자본의 회임기간(gestation period of capital)으로서의 래그로 구분된다. Kalecki(1969)는 승수기간으로서의 래그³⁹⁾ 이외에도 회임기간으로서의 래그⁴⁰⁾를 추가하여 경기변동분석을 위한 모형을 구축하였다. 본

연구는 후자의 경우이다. 회임기간(θ)은 엔벨로프조건 $-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} = r$, 그리고 $\rho = i$ 를 식

(13)에 대입하여 도출한 $r = e^{\theta i}(i + \phi)$ 에 근거하여, $\ln r - \ln(i + \phi)$ 을 i 로 나누어 측정한다. 그러나 이 경우의 회임기간은 현실에서 일반적으로 수행되는 준고정요소 투자사업에서 준고정요소 부족 여부가 반영되지 않은 회임기간, 즉 준고정요소의 시장가격과 준고정요소의 잠재가격이 같고, 준고정요소의 내부수익률과 준고정요소의 시장이자율이 같을 경우, 즉 준고정요소의 충족도⁴¹⁾가 1일 경우를 가정하여 측정되는 회임기간이다. 그러므로 회임기간에 해당 준고정요소의 충족도를 반영시킴으로써 현실적으로 사용될 수 있는 회임기간(θ)을 측정할 수 있으며, 그 측정공식은 다음과 같다.

$$\theta = \frac{\ln r - \ln(i + \phi)}{i} \times SD_Z \dots\dots\dots \text{부록 (1)}$$

<부록표 1>을 보면, 회임기간(θ)은 시장이자율(i)이 낮을수록 길어지고, 높을수록 짧아지며, 감가상각률(ϕ)이 작을수록 길어지고, 클수록 짧아지며, 시장가격(r)이 높을수록 길어지고, 낮을수록 짧아지며, 준고정요소의 충족도(SD_Z)가 높을수록 길어지고,

39) Kalecki(1969), pp.53-69,

40) Kalecki(1969), pp.96-116.

41) 가변비용함수모형으로 준고정요소(Z)의 충족도를 구하기 위해서는 준고정요소의 장기최적량 Z^* 을 측정해야 하며, 이를 위해 식 (2)에 따라 $(\frac{\partial VC}{\partial Z}) + r_Z = 0$ 을 활용하면, $\frac{\partial VC}{\partial Z} = f(Z)$ 가 되어, $f(Z) + r_Z = 0$ 과 같은 방정식이 도출된다. 위의 방정식을 준고정요소에 대해 풀면, 장기최적량은 Z^* 이며, 이 생산점은 장기총비용이 최소화되는 장기균형생산점이다. 그리고 실제사용량을 Z 로 할 때, 준고정요소의 충족도는 실제사용량(Z)÷장기최적량(Z^*)으로 계산된다. 만약 준고정요소의 충족도<1이면 과소투자, 이와 반대로 준고정요소의 충족도>1이면 과잉투자이다.

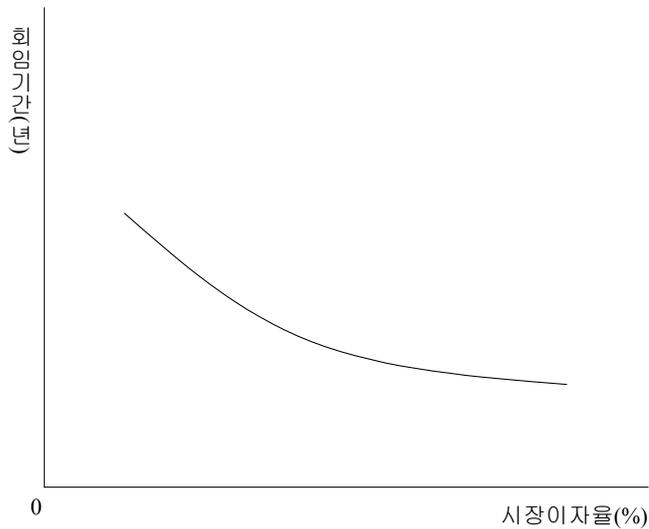
낮을수록 짧아진다.

시장이자율에 따라 회임기간이 어떻게 변화되는가를 회임기간곡선을 통해 살펴본 결과, 부(-)의 관계를 보여주고 있다.

부록표 1 회임기간에 대한 제 지표의 특성

회임기간(θ)	길어짐	짧아짐
시장이자율(i)	낮을수록	높을수록
감가상각률(ϕ)	작을수록	클수록
준고정요소의 시장가격(r)	높을수록	낮을수록
준고정요소의 충족도(SD_Z)	높을수록	낮을수록

부록그림 1 회임기간곡선



2. 가

준고정요소 투자에 따른 기업의 가변비용 절감은 가변비용 절감과 관련하여 기업의 기존 가격이 새로운 균형가격으로 조정되는 가격조정 크기에 의존하여 이루어지는데, 이와 같은 가격 조정 크기를 가격조정률이라고 한다. 그러므로 가격조정률은 준고정요소 투자에 따른 기업의 가변비용 절감과 관련하여 기업의 기존 가격이 새로운 균형가격으로 조정되는 가격조정 크기를 의미한다. 따라서 기업은 벌어들인 준고정요소의 단위투자에 따른 가변비용 절감에 대해 가격조정률을 적용시켜야 한다.⁴²⁾ 가격조정률은 준고정요소 투자에 따른 기업의 비용 절감에 대한 즉각적 조정 여부를 파악하기 위해 사용되고 있다. Schankerman and Nadiri(1984), Shah(1992)를 보면, 준고정요소는 충족도가 서로 다르지만, 동일한 가격조정률의 적용을 받고 있어, 준고정요소의 충족도 크기에 따라 가격조정률의 크기가 결정되지 않음을 알 수 있다.

따라서 기업의 비용 절감에 대한 즉각적 조정 여부와 관련되어 사용되는 가격조정률은 기존 준고정요소의 충족도 크기보다는 비용절감에 영향을 미치는 잠재가격과 시장가격의 관계를 통해 측정하는 것이 적합한 것으로 사료된다. 왜냐하면 잠재가격과 시장가격의 관계는 준고정요소 투자를 통해 기존 준고정요소의 충족도에 변화를 가져와 비용절감의 즉각적 조정에 영향을 미치고 있기 때문이다. 즉 식 (2)를 준고정요소로 미분하여 도출되는 잠재가격과 시장가격의 관계는 기존 준고정요소의 충족도에 변화를 가져와 비용절감의 즉각적 조정 수준에 영향을 미치므로 가격조정률 측정공식에서는 잠재가격과 시장가격의 관계를 활용한다.

그러므로 잠재가격과 시장가격의 차이를 나타내는 $|B|$ 를 활용하는 가격조정률은 기존 준고정요소의 충족도 변화에 따른 장기총비용절감에 적용된다. 이에 따라 $|B|$ 를 활용하여 가격조정률 측정공식을 도출하였다. 결국 준고정요소의 잠재가격과 준고정요소의 시장가격이 같을 경우에는 $|B| = 0$ 에 따라, 가격조정률은 0이 된다. 그러나 준고정요소의 잠재가격이 준고정요소의 시장가격과 같지 않을 경우에는 $|B| \neq 0$ 에 따라, 가격조정률은 0이 아니다.

즉 식 (2)에 근거하여 $\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0} = 0$ 일 경우에는 $-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} = r$ 으로, 준고정요소의 잠재가격과 준고정요소의 시장가격이 일치함에 따라 최적화된 준고정요소의 수준 하에

42) Schankerman and Nadiri (1984), pp.14-21.

$|B| = 0$ 에 따라, 가격조정률은 0이 되어, 비용절감에 대해 즉각적 조정이 이루어진다.

그러나 $\frac{\partial STC_0}{\partial Z_0} \neq 0$ 일 경우에는 $-\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} \neq r$ 으로, 준고정요소의 잠재가격과 준고정요

소의 시장가격이 일치하지 않아, 준고정요소가 최적수준이 아닌 상태에서 $|B| \neq 0$ 이 되어, 가격조정률은 0이 아니므로 비용절감에 대한 즉각적 조정은 이루어지지 않는다.

가격조정률에서 분모는 시장가격과 잠재가격 차이의 절대값에 시장가격과 잠재가격 가운데 값이 큰 것을 선택하여 합한다. 이는 분모가 가질 수 있는 최대의 크기를 확보하기 위한 것이다. 본 논문에서는 시장가격을 사용하였다. 분자는 시장가격과 잠재가격 차이의 절대값이다. 가격조정률(δ) 측정공식은 이러한 분모와 분자로 이루어진다.

$$\delta = \frac{|B|}{(r + |B|)} \dots\dots\dots \text{부록 (2)}$$

여기에서 $B: -\frac{\partial VC_0}{\partial Z_0} - r$ 이다.