

국내 화력발전산업에 대한 연료와 자본의 대체성 분석^{*}

이명현^{**} · 강상목^{***} · 정영근^{****}

요 약

화석연료 의존도가 높은 한국 산업부문에서 ‘지속가능한 성장’ 달성 여부는 친환경생산 공정의 도입과 에너지 고효율 설비 투자 시 에너지 투입량과 이들 자본스톡 사이의 원만한 대체 여부에 달려있다. 본 논문에서는 국내 화력발전 산업을 대상으로 적정수준의 자본스톡을 전제로 도출한 제약비용함수를 추정하여 화석연료와 자본 간 대체가능성을 분석하였다. 석유와 자본의 경우에만 서로 강한 대체관계가 있는 것으로 측정되었다. 수요탄력성 추정치를 사용하여 석유사용량과 자본투자 간 대체효과에 대한 시뮬레이션을 실시한 결과 자본투자의 석유수요 감소효과는 탄력적으로 나타났다. 이는 에너지절약 시설투자에 대한 보조금지원 정책은 CO₂ 발생을 억제하는 데 어느 정도 소기의 성과를 기대할 수 있음을 의미한다.

주요단어 : 연료-자본간 대체성, 제약비용함수, 화력발전산업

경제학문헌목록 주제분류 : C36, Q41, Q56, L94

* 이 논문은 2009년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2009-328-B00026).

** 인하대학교 국제통상학부 교수(주저자). leemh@inha.ac.kr

*** 부산대학교 경제학과 교수(교신저자). smkang@pusan.ac.kr

**** 선문대학교 국제경제통상학부 교수(공동저자). ykchung@sunmoon.ac.kr

I. 서 론

1997년 교토에서 개최한 기후변화협약 3차 당사국총회에서 39개 선진국들을 대상으로 2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축을 요구하는 교토의정서를 채택하였다. 세계 최대의 이산화탄소 배출국가인 미국은 중국, 인도 등 온실가스를 대량 배출하는 나라와 OECD 가입국인 한국, 멕시코 등 핵심 개도국의 참여를 강력히 요구하는 상황에서 산업계를 중시하는 공화당 정권으로 바뀐 다음 2001년에 이들 국가들에게 온실가스의 감축의무를 부여하지 않아 실효성에 의문을 제기하며 탈퇴를 선언하였다. 하지만 이산화탄소 배출 세계 3위의 러시아가 비준함으로써 2005년에 비로소 교토의정서는 공식 발효되었고, 2009년 출범한 민주당 오바마 정부는 지구온난화의 심각성을 인식하고 2012년 이후 온실가스 감축시한 및 목표, 선도 개도국의 자발적 감축규모 등을 다루는 포스트 교토의정서 틀 구성에 회원국 모두의 참여와 공동대응을 주문하였다.

작년에 EU는 2012년의 자동차 CO₂ 배출기준을 130g/km로 제시하고 위반할 경우 벌금을 부과하는 방안을 발표했으며, 미국 하원은 2020년부터 국제기준의 온실가스 규제를 하지 않은 수입품에 대하여 관세를 매기는 법안을 통과시켰다. 이처럼 선진국들의 온실가스 배출저감을 요구하는 다양한 통상압력에 선제적으로 대처하고, 미래 신성장동력으로 각광받고 있는 친환경 신재생에너지 산업의 선점을 위하여 선진국들이 치열하게 각축을 벌이고 있는 상황에서 환경기술 개발과 경쟁력 향상, 대체에너지시장의 능동적 참여의 불가피성을 절감한 정부는 기존의 소극적, 방어적 대응에서 탈피하여 작년 12월 코펜하겐 15차 기후변화협약 당사국 총회에서 2020년까지 자발적으로 온실가스를 예상 배출량(BAU) 대비 30% 삭감할 것을 선언하였다.

우리의 산업구조가 에너지 다소비 업종으로 구성되어 있고 화석연료 의존도가 80% 가까이 되는 상황에서 온실가스 배출을 억제할 경우 생산비용이 상승하여 산업 경쟁력이 저하되어 경제성장이 둔화될 수 있다.¹⁾ 2020년까지 온실가스 배출량 증가세가 유지될 경우 2020년 CO₂ BAU 대비 10% 감소시 GDP의 0.29%인 3조 4천억원의 GDP 감소가 예상된다(환경백서, 2007). 임재규(2009)는 선진국이 매 5년마다 온실가스 절대배출량을 5%씩 감축하는 상황을 설정하고 첫째 모든 개도국들이 절대배출량을 2020년까지 BAU 대비 10% 감축할 경우, 둘째 배출집약도를 10% 감축하는 경우, 셋째, 중국, 인도를 제외하고 한국이 포함된 일부 개도국들이 배출집약도를 10% 감축하는 경우 등 세 가지 포스트 교토 감축의무 시나리오를 제시하고 CGE 모형을 사용하여 시나리오별 파급효과를 분석하였다. 한국의 GDP는 시나리오 1과 2가 현실화되면 BAU 대비 0.05% 감소하며 시나리오 3의 경우에는 0.12% 감소할 것으로 예상하였다. 그러므로 환경보존과 경제성장을 동시에 추구하는 ‘지속가능한 성장’의 정책기조에 대한 가시적인 성과를 도모하기 위해서는 온실가스 저감에 따른 경제적 부담을 완화하고 파급효과를 최소화하는 것이 관건이라 할 수 있다.

화석에너지의 의존도를 줄이기 위한 대책방안으로는 크게 에너지저소비형 산업구조로의 전환, 전 부문에서의 에너지 효율 개선, 신재생에너지산업의 육성 및 기술개발 등을 들 수 있다. 이때 정책별로 현실적 여건이 상이하하여 예상되는 소요 기간 및 비용과 성과정도에 따라 시행시기의 우선순위를 조정하여 신축적으로 추진하는 것이 ‘지속가능한 성장’의 효과를 극대화하는 데 바람직하다. 특히 2005년 현재 총 온실가스 발생량의 54%를 배출하고 있는 산업·발전부문에서 에너지 절감을 위하여 친환경생산 공정을 도입하거나 에너지 고효율 설비나 장비에 투자할 경우 기존 에너지 투입량이 이들 자본스톡

1) 에너지 다소비 업종이 전체산업에서 차지하는 비중은 2006년 현재 일본은 4.6%, 미국은 3.1%인 반면에 한국은 8%이며, GDP에서 차지하는 비중 또한 독일 5.8%, 일본 5.4%, 미국 3.9%인데 비해 한국은 9.3%이다.

으로 어느 정도 원만한 대체가 이루어진다면 초기 시설 투자비용 부담을 극복하고 장기적으로 산업생산성을 끌어올릴 수 있는 개연성은 높아지게 된다.

본 논문에서는 국내 전력생산의 절반이상을 담당하는 화력발전산업을 대상으로 석탄, 석유, 가스 등의 화석연료와 자본스톡 간 대체여부와 정도를 분석하여 발전 산업에서의 ‘지속가능한 성장’의 가능성을 타진한다. 실증분석을 위하여 적정수준의 자본스톡을 가정하고 도출한 제약비용함수를 추정한다. 화석연료와 자본과의 관계뿐만 아니라 화석연료 간 교차 가격탄력성을 측정한 후, 시뮬레이션을 실시하여 탄소배출계수가 상대적으로 적은 가스 사용을 늘릴 목적으로 가격보조가 이루어질 경우 석탄, 석유 수요량의 변화를 분석하고 그에 따른 잠재적 CO₂ 감축량을 추산한다.

국내 전력 총생산량에서 화력발전과 원자력발전이 차지하는 비중은 90% 이상으로서 1991년부터 2009년까지의 변화를 살펴보면 화력발전은 48.3%에서 62.9%로 증가한 반면 원자력발전은 47.5%에서 34.1%로 감소하는 추세를 나타냈다. 화력발전에 사용한 연료별 비중은 1991~2009년 기간 동안 석탄은 51.1%에서 86.3%로 늘어났으나 석유는 38.2%에서 3.6%로 큰 폭으로 감소하였으며 LNG는 10.6%에서 10%로 차이가 거의 없었다.

에너지원 간 대체관계를 분석한 국내 선행 연구 가운데 Shin(1981)은 한국 경제 시계열자료를 사용하여 석유, 석탄, 전력 간 대체탄력성을 측정하였으며, 이영선(1990)은 한국 산업 106개 부문을 대상으로 석탄, 석유, 전력 간 대체성을 비교하였다. 박창수(2003), 박광수(2005), 김수일(2006)은 로짓(logit) 모형을 이용하여 한국 제조업의 석유, 가스, 전력, 석탄에 대한 가격탄력성을 추정하였으며 김수일은 추가적으로 전력산업의 석유, 가스, 석탄, 수력, 원자력에 대한 가격탄력성을 도출하였다. 하지만 이들 선행연구에서 개별 에너지원과 자본과의 대체성 분석은 이루어지지 않았다.

생산함수의 특성을 분석하는 데 있어서 기존 선행연구들은 생산함수 대신 통상적으로 쌍대(duality) 관계에 있는 비용함수 추정방식을 사용하였다.²⁾ 하

2) 비용함수 추정방식의 이점으로는 생산요소가격을 설명변수로 사용하기 때문에 내생성

지만 이명현(2003)이 지적한 대로 비용함수의 추정결과와 신뢰성을 제고하는데 있어서 걸림돌로 작용하는 것이 정확한 자본가격의 산정여부이다. 다양하고 세부적인 기초 통계자료가 제공되고 있는 자료 인프라 선진국의 특정산업을 대상으로 한 연구에서는 Christensen and Jorgenson(1969)의 공식에 의거하여 객관적인 자본가격의 산정이 가능하나, 관련 자료가 미비한 국내의 경우 산업별로 상이한 방식을 적용하였다.³⁾ 본 논문처럼 자본스톡의 투입이 단기적으로 적정수준에서 이루어지고 있다는 전제로 도출한 제약비용함수를 추정할 경우 자본가격의 산정이 불필요하게 되어 국내 산업을 대상으로 불편의(unbiased) 추정결과를 얻을 수 있다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 제II장에서는 실증분석을 위한 계량모형을 제시하였고, 제III장에서는 생산함수 특성을 측정하기 위한 가설검증을 실시하였다. 제IV장에서는 생산요소의 수요 및 대체탄력성 공식을 도출하였으며 제V장에서 분석결과를 서술하였다. 제VI장은 결론부분이다.

II. 분석모형

화력발전산업의 전력 생산량은 자본과 세 가지 화석연료, 석탄(C), 석유(O), 가스(G)의 함수로 표시할 경우 기술변화를 고려한 생산함수의 일반적인 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(endogeneity) 문제를 해결할 수 있으며 생산요소에 대한 수요의 가격탄력성과 대체탄력성 산정이 비교적 단순하여 추정값의 표준오차 계산을 용이하게 함으로써 추정결과와의 유의성을 판단할 수 있다는 점들을 들 수 있다.

- 3) 대표적 문헌을 보면, 이명현(1997)은 제조업을 대상으로 부가가치에서 연간급여액을 공제한 후 유형고정자산의 연말총액으로 나누어 자본가격을 산출하였고, 남성일(1990)은 자본가격을 사용자 자본비용으로 간주하여 차입금에 대한 평균이자율과 감가상각율의 합으로 구하였다. 손양훈·정태용(1993)은 전력산업을 대상으로 부채에 대한 지급이자과 시장의 공금리를 합산한 총자본비용을 발전설비용량으로 나누어 사용하였다.

$$Q = Q(F, K, T), \quad (1)$$

여기서 Q 는 발전량이고 F 는 화석연료 투입량의 벡터이다. K 는 자본스톡이며 T 는 시간지표이다.⁴⁾

Lau(1976), McFadden(1978), Berndt and Morrison(1981)을 따라서 K 는 생산비용을 최소화하는 최적수준에서 투입이 이루어진다는 전제하에 식 (1)에 대한 쌍대적(dual) 관계인 제약비용함수를 도출할 수 있다.

$$RC = RC(P_F, Q, K, T), \quad (2)$$

여기서 P_F 는 화석연료의 가격 벡터이다. RC 는 총비용에서 자본비용을 제외한 연료비용만을 고려한 것이다.

제약비용함수 (2)를 추정하기 위하여 다음과 같이 초월대수(translog) 함수 형태로 나타낸다.⁵⁾

$$\begin{aligned} \ln RC = & \alpha_0 + \alpha_Q \ln Q + \alpha_K \ln K + \alpha_T T + 0.5\gamma_{QQ}(\ln Q)^2 + 0.5\gamma_{KK}(\ln K)^2 \\ & + 0.5\gamma_{TT}T^2 + \sum_i \beta_i \ln P_i + 0.5 \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i \gamma_{iQ} \ln P_i \ln Q \\ & + \sum_i \gamma_{iK} \ln P_i \ln K + \sum_I \gamma_{iT} (\ln P_i) T + \gamma_{QK} \ln Q \ln K + \gamma_{QT} (\ln Q) T \\ & + \gamma_{KT} (\ln K) T, \quad i, j = C, O, G, \quad \gamma_{ij} = \gamma_{ji}, \quad i \neq j. \end{aligned} \quad (3)$$

4) 본 모형은 비가역성의 시설투자의 시차를 배제한 정태분석으로서 연료와 자본스톡 K 간 단기간의 대체가 용이함을 가정한다. 동태적 모형의 경우 생산량은 자본 투입량 뿐만 아니라 그 변화율에도 영향을 받으며 투입량이 변할 때 내적 적응비용(internal costs of adjustment)이 발생한다.

5) 초월대수함수 형태는 여러 장점으로 인하여 실증분석에서 보편적으로 사용되어 왔다. 그 중 대표적으로, 어떤 임의의 비용함수에 대해서도 2차 근사전개가 가능하여 유연성이 높으며, 생산함수 특성을 분석하는 데 있어서 해당 제약조건의 채택여부에 대한 검증이 용이하고(Christensen and Greene, 1976), 특히 다수의 산출물을 생산하는 비용함수에 유리한 측면으로서 추정계수의 수가 비교적 적다는 점을 들 수 있다(Caves et al., 1980).

제약비용함수가 화석연료 가격에 대하여 선형 동차성(linear homogeneity)이 성립되기 위해서는 다음의 제약조건이 만족되어야 한다.

$$\sum_i \alpha_i = 1, \sum_i \gamma_{ij} = \sum_j \gamma_{ij} = \sum_i \sum_j \gamma_{ij} = \sum_i \gamma_{iQ} = \sum_i \gamma_{iK} = \sum_i \gamma_{iT} = 0, \quad i, j = C, O, G.$$

식 (3)을 단독으로 추정하여 제약비용함수의 계수들을 얻을 수 있으나 추가적인 자유도 획득을 위하여 각 화석연료의 비용몫방정식을 결합한 연립방정식 체계로 추정하는 것이 바람직하다. 연료별 비용몫방정식은 셰퍼드(Shephard) 정리를 이용하여 식 (3)을 연료가격으로 대수적으로(logarithmically) 미분함으로써 도출한다.

$$S_i = \frac{\partial \ln RC}{\partial \ln P_i} = \frac{P_i F_i}{RC} = \beta_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_j + \gamma_{iQ} \ln Q + \gamma_{iK} \ln K + \gamma_{iT} \ln T, \quad i, j = C, O, G. \quad (4)$$

Q 와 K 가 내생변수이므로 식 (3)과 식 (4)를 반복 3단계 최소자승법(Iterative 3SLS) 기법으로 하나의 방정식체계로 동시에 추정한다. 이때 발전산업의 전력가격과 식 (3)내의 외생변수인 연료가격이나 시간지표 혹은 두 변수의 함수 형태 값을 수단변수(instrumental variable)로 사용한다.⁶⁾ 각 연료의 비용몫 합이 1이 되므로 연립방정식에서 특정 한 연료의 비용몫방정식을 제외해야 하며 어느 연료를 선택하느냐에 관계없이 추정결과는 동일하다.

연립방정식을 추정하여 얻은 계수에 대하여 일련의 상응한 제약조건의 성립여부를 검증함으로써 제반 생산함수의 특성을 파악할 수 있다. 가설검증을 위하여 월드(Wald) 검증법을 사용한다.

6) 잠재적 변수가 유효한 수단변수가 되기 위해서는 외생변수이어야 하면 내생변수들과 상관성이 존재해야 한다. 방정식체계 내에서의 외생변수를 사용할 경우 수단변수로서 최상의 선택이라 볼 수 있지만 추정상의 인식문제(identification problem)를 해결하기 위해서는 적어도 한 개는 모형에 속하지 않는 변수를 포함시켜야 한다. 본 논문에서는 전력가격이 여기에 해당된다.

Ⅲ. 생산함수 특성과 가설검증

생산함수가 투입요소에 대하여 1차 동차성이 성립하기 위해서는 다음의 조건이 충족되어야 한다.

$$\alpha_Q = 1 - \alpha_K, \quad \gamma_{iQ} = -\gamma_{iK}, \quad i = C, O, G, K, Q, T. \quad (5)$$

생산함수의 동차성이 기각될 경우 Caves et al.(1981) 방식에 의거하면 규모의 수익을 다음과 같이 계산할 수 있다(Halvorsen and Smith, 1986).

$$\frac{1 - \partial \ln RC / \partial \ln K}{\partial \ln RC / \partial \ln Q}. \quad (6)$$

화석연료의 자본으로부터의 대수적 강분리성(strong separability) 성립 여부를 검증하기 위하여 다음의 제약조건을 귀무가설로 설정한다.

$$\gamma_{CK} = \gamma_{OK} = \gamma_{GK} = 0. \quad (7)$$

제약조건 (7)이 채택될 경우 추가로 다음의 제약조건을 가하여 모든 투입요소 간 대수적 강분리성 성립 여부를 검증한다.

$$\gamma_{CO} = \gamma_{CG} = \gamma_{OG} = 0. \quad (8)$$

다음의 제약조건을 가하여 화석연료에 대한 Hicks 중립적(Hicks-neutral) 기술변화 여부를 검증한다.

$$\gamma_{CT} = \gamma_{OT} = \gamma_{GT} = 0. \quad (9)$$

규모에 대한 중립적인 기술변화는 다음의 제약조건이 충족되어야 한다.

$$\gamma_{QT} = \gamma_{KT} = 0. \quad (10)$$

식 (9)와 (10)의 제약조건과 함께 귀무가설 ‘기술변화는 존재하지 않는다.’의 채택여부를 검증하기 위하여 추가로 다음의 제약조건들을 부여한다.

$$\alpha_T = \gamma_{TT} = 0. \quad (11)$$

‘기술변화가 존재하지 않는다.’라는 귀무가설이 기각된다면 Caves et al.(1981)을 따라서 기술변화율을 다음과 같이 계산할 수 있다(Halvorsen and Smith, 1986).

$$-\frac{\partial \ln RC / \partial T}{\partial \ln RC / \partial \ln Q}. \quad (12)$$

IV. 수요탄력성 및 대체탄력성 측정

온실가스 규제로 화석연료의 사용 제한이 점점 강화되는 추세에서 ‘지속가능한 성장’의 잠재적 성과를 타진하기 위하여 생산요소 간 대체탄력성 측정이 요구된다. 특히 자본과 화석연료 사이의 대체가능성을 조사하는 데 있어서 일부 투입요소가 고정인 상태를 가정한 단기 탄력성보다는 장기 탄력성을 사용하는 것이 바람직하다. 장기 수요가격탄력성은 총비용함수에 기반, 셰퍼드 정리를 적용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{ij} = \frac{P_j \cdot TC_{ij}}{TC_i}, \quad i, j = C, O, G, K, \quad (13)$$

여기서 TC 는 총비용함수로서 제약비용함수(RC)에 자본비용을 합산한 비용이다. TC 아래첨자는 투입요소가격에 대한 편도함수 값을 나타낸다. 즉, $TC_i = \partial TC / \partial P_i$, $TC_{ij} = \partial^2 TC / \partial P_i \partial P_j$ 이다.

Brown and Christensen(1982)이 도출한 TC 와 RC 의 도함수 값 사이의 관계를 활용하여 식 (13)을 다음과 같이 제약비용함수로부터 도출이 가능하다. 수요의 자기 및 교차 가격탄력성 산출 공식은 다음과 같다.

$$E_{ii} = \frac{\gamma_{ii} - S_i + (S_i)^2}{S_i} - \frac{(\gamma_{iK} + S_i S_K)^2}{H \cdot S_i}, \quad i = C, O, G, \quad (14)$$

$$E_{ij} = \frac{\gamma_{ij} + S_i S_j}{S_i} - \frac{(\gamma_{iK} + S_i S_K)(\gamma_{jK} + S_j S_K)}{H \cdot S_i}, \quad i, j = C, O, G, \quad i \neq j, \quad (15)$$

$$E_{iK} = \frac{S_K(\gamma_{iK} + S_i S_K)}{H \cdot S_i}, \quad i = C, O, G, \quad (16)$$

$$E_{Ki} = -\frac{\gamma_{iK} + S_i S_K}{H}, \quad i = C, O, G, \quad (17)$$

$$E_{KK} = \frac{S_K}{H}, \quad (18)$$

여기서 S_i 는 각 연료비용이 제약비용에서 차지하는 비용몫이며, S_K 는 Hotelling 정리에 따라서 $S_K \equiv \partial \ln RC / \partial \ln K = -P_K \cdot K / RC$ 가 성립한다. $H \equiv \gamma_{KK} - S_K + (S_K)^2$ 이다.

Allen(1938) 편(partial) 대체탄력성은 수요의 교차 가격탄력성과 다음의 관계가 성립한다.

$$\sigma_{ij} = \frac{E_{ij}}{TS_j}, i, j = C, O, G, K, i \neq j, \quad (19)$$

여기서 TS_j 는 각 요소 $j = C, O, G, K$ 의 투입비용이 총비용에서 차지하는 비용몫이며 $TS_j = S_j / (1 - S_K)$ 가 성립한다.

V. 분석결과

실증분석을 위하여 국내 화력발전산업의 1987~2008년 기간 동안 연도별 시계열 자료를 사용하였다. 산출량(Q)는 화력발전량으로, 자본스톡(K)는 화력발전 설비용량으로 측정하였다. 석탄 투입량(C)은 무연탄과 유연탄의 사용 총량이며, 석탄가격(P_C)은 무연탄 가격과 『에너지통계연보』의 연료용 유연탄의 수입가격을 각 사용량으로 가중 평균하여 산출하였다. 석유 투입량(O)은 경유와 중유의 사용 총량이며, 석유가격(P_O)은 B-C유 가격과 경유가격을 각 사용량으로 가중 평균하여 구하였다. 가스 투입량(G)과 가스가격(P_G)은 각각 LNG 사용량과 LNG 산업 소비자가격을 사용하였다. 대수형태로 추정되는 변수들은 그 값이 1997년에서 1이 되도록 표준화하였으며 시간지표(T)는 1997년에서 0이 되도록 설정하였다. 수단변수로 사용한 전력가격(P)은 판매단가(원/kWh)로 측정하였다. 분석에 사용한 통계자료 대부분은 한국전력공사의 『경영통계』로부터 수집하였다. 변수별 통계자료를 <표 1>에서 요약하였다.

〈표 1〉 자료 통계 (표본크기 = 22)

변수	단위	평균	표준편차	최대	최소
Q^*	TWh	133.47	70.477	259.41	29.334
K^*	GW	26.343	11.995	47.588	11.043
P_C^*	천원/ton	45.044	22.160	135.50	31.125
S_C	-	0.308	0.073	0.527	0.223
P_O^*	천원/kl	191.50	131.24	586.98	73.917
S_O	-	0.260	0.112	0.438	0.074
P_G^*	천원/ton	354.78	129.32	641.26	228.13
S_G	-	0.432	0.083	0.614	0.339
RC^*	조원	4.5373	4.0575	16.912	0.972
P	원/kWh	67.197	8.664	78.760	52.940

* 모형 추정시 대수값을 사용함.

선형 동차성을 제약조건으로 초월대수 제약비용함수 (3)과 각 연료의 비용 몫방정식 (4)로 구성된 연립방정식을 반복 3단계 최소자승법으로 추정한 결과 방정식별로 R^2 값은 0.83~0.99의 범위를 보였다. IV절에서 제시한 각 생산함수 특성에 해당하는 제약조건을 귀무가설로 설정하여 1% 유의수준에서 그 채택여부를 검증하였다. <표 2>에서 가설검증 결과를 요약하였다. 1차 동차 생산함수는 기각되었으며, 연료와 자본 간, 그리고 모든 투입요소 간 분리성 모두 기각되었다. Hicks중립적인 기술변화는 기각되었으나 규모중립성은 채택되었다. ‘기술변화가 발생하지 않았다’의 귀무가설은 기각되었다. 내생변수 Q 와 K 의 2차항 간 공선성(collinearity)으로 인하여 이들 계수의 표준오차가 추정값에 비해 상대적으로 큼으로써 추정값의 정확성이 떨어지는 상황을 피하기 위하여 이들 계수의 배제여부를 검증한 결과 $\gamma_{QQ} = \gamma_{QK} = \gamma_{KK}$ 의 제약조건은 채택되었다. 개별적으로 채택된 규모중립성과 2차항 배제의 결합 역시 채택되어 최종형태의 모형을 추정하는 데 있어서 이들 해당 제약조건을 부여하였다.

〈표 2〉 가설검증 결과

가설	Wald 통계량	임계치 (1%)	자유도
a. 1차 동차 생산함수	17.88	16.81	6
대수적 강분리성:			
b. 연료와 자본	43.28	9.21	2
c. 모든 투입요소	88.05	15.09	5
기술변화:			
d. Hicks 중립성	49.90	9.21	2
e. 규모 중립성	7.11	9.21	2
f. 부재	70.21	16.81	6
기타:			
g. Q, K 의 2차항 배제	6.26	11.34	3
h. 결합제약조건: e+g	12.01	15.09	5

제약비용함수에 대한 정규조건(regularity condition) 충족여부를 확인한 결과, 자본스톡에 대한 단조성은 두 개 연도에서만 위반되었으며, 연료가격에 대한 단조성은 표본기간의 모든 연도에서 만족되었으나 오목성은 모든 연도에서 위반되었다.⁷⁾ Jorgenson and Fraumeni(1982)의 방식을 따라서 오목성을 충족시키기 위한 제약조건 $\gamma_{ij} = 0, i, j = C, O, G$ 과 함께 규모중립성과 2차항 배제의 결합 조건을 동시에 가한 최종 추정모형은 다음의 식 (3') (4')와 같다.

$$\begin{aligned}
 \ln RC = & \alpha_0 + \alpha_Q \ln Q + \alpha_K \ln K + \alpha_T T \\
 & + 0.5\gamma_{TT}T^2 + \sum_i \beta_i \ln P_i + \sum_i \gamma_{iQ} \ln P_i \ln Q \\
 & + \sum_i \gamma_{iK} \ln P_i \ln K + \sum_I \gamma_{iT} (\ln P_i) T, \\
 & i, j = C, O, G, \gamma_{ij} = \gamma_{ji}, i \neq j.
 \end{aligned} \tag{3'}$$

7) 추정 제약비용함수는 연료가격에 대하여 단조적으로(monotonically) 비체감(non-decreasing), 오목(concave) 해야 하며, 자본스톡에 대해서는 단조적으로 비체증(non-increasing), 볼록(convex)해야 한다. 연료가격의 단조성을 만족시키기 위해서는 각 연료의 비용몫방정식 추정치는 양수가 되어야 한다. 오목성이 만족되기 위해서는 헤시안(Hessian) 행렬이 준정 부호(positive semi-definite)이어야 한다.

$$S_i = \beta_i + \gamma_{iQ} \ln Q + \gamma_{iK} \ln K + \gamma_{iT} T, \quad i, j = C, O, G. \quad (4')$$

〈표 3〉 최종 형태의 제약비용함수 추정결과

계수	추정값	계수	추정값
α_0	1.2720(0.0172)**	γ_{GQ}	-0.4949(0.0833)**
α_Q	1.5450(0.0838)**	γ_{CK}	0.2276(0.1066)*
α_K	-0.2514(0.0868)**	γ_{OK}	-0.4679(0.0896)**
β_C	0.3191(0.0230)**	γ_{GK}	0.2403(0.1167)*
β_O	0.3445(0.0188)**	γ_{CT}	0.0030(0.0076)
β_G	0.3365(0.0250)**	γ_{OT}	-0.0341(0.0064)**
α_T	-0.0513(0.0101)**	γ_{GT}	0.0311(0.0083)**
γ_{CQ}	-0.1351(0.0775)*	γ_{TT}	0.0040(0.0007)**
γ_{OQ}	0.6300(0.0655)**		

주: 괄호 안의 숫자는 표준오차를 나타냄.

** (*) 표기는 1% (5%) 수준에서 유의적임을 나타냄.

최종 모형의 추정결과는 <표 3>에서 보는 바와 같다. 17개 계수 가운데 13개와 3개가 각각 1%와 5% 수준에서 유의적인 것으로 나타났다. <표 3>의 추정계수를 사용하여 식 (14)에서 식 (18)까지 주어진 수요의 자기 및 교차 가격탄력성을 계산하였다. <표 4>는 기준연도 1997년도에서 측정한 제반 수요의 가격탄력성 추정결과를 보여주고 있다. 모든 생산요소의 자기 가격탄력성은 예상대로 음수로 나타났으며 모두 1% 수준의 통계적 유의성을 확보하였다. 화석연료 가운데 석유수요의 가격탄력성이 -3.49로서 가장 높았는데 각각 약 -0.9를 기록한 석탄과 가스보다 4배 가까이 자기 가격의 변화에 민감하게 반응하였다. 자본의 가격탄력성은 -0.8로서 화석연료의 수요가 자본보다 자기 가격에 더 탄력적인 것으로 나타났다. 계수 γ_{OT} 와 γ_{GT} 가 각각 음수와 양수로 각각 추정됨에 따라 화력발전산업에서 석유절약(oil-saving), 가스사용(gas-using) 형태의 기술변화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 석유의

경우 수급불균형, 시장 지배력, 지정학적 요인 등으로 유가의 불안정한 움직임이 전개됨에 따라 상황이 상대적으로 나은 가스의 비중을 확대하는 추세가 반영된 것으로 해석할 수 있다. 계수 γ_{CT} 는 양수이나 통계적 유의성은 상실하였다. 이는 화석연료 가운데 가장 공급이 안정적이고 투입단가가 낮은 석탄으로 전환하는 방안은 국내외적으로 지구환경 보호의 중요성이 강조되어 청정연료의 사용이 점차 늘어나는 추세에서 화석연료 가운데 탄소배출계수가 가장 높은 석탄의 지속적 사용을 추구하는 데 한계가 존재함을 의미한다.⁸⁾

화석연료에 대한 교차 가격탄력성은 석탄-석유, 석유-가스 간 교차탄력성이 5% 수준에서 모두 유의적이면서 1보다 큰 양수로 추정됨에 따라 석탄-석유, 석유-가스 모두 서로 대체가능한 관계에 있는 것으로 조사되었다. 화석연료 가운데 청정연료인 가스의 사용을 확대하기 위하여 1% 가격보조를 실시할 경우 석유사용량은 1.13% 감소하고 가스사용량은 0.9% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 석유와 가스의 증감비율의 차이로 인한 CO₂ 감축량을 추산하기 위하여 다음의 연료별 CO₂ 배출량 산정공식을 사용한다.

$$CO_2^i = F^i \times (cv^i/10^7) \times tc^i \times cr^i \times (44/12), i = C, O, G,$$

여기서 F^i 는 연료별 투입량(톤, kl), cv^i 는 발열량(kcal/kg, kcal/l), tc^i 는 탄소배출계수(톤/TOE), cr^i 는 연소율을 나타낸다.⁹⁾ 기준연도 1997년에 1%의 가스가 격보조를 실시할 경우 가스사용 증가와 석유사용 감소에 따른 CO₂ 배출량은 각각 약 14만5천톤의 증가와 35만2천톤의 감소가 수반되어 순 CO₂ 감축량은 약 20만7천톤에 이르게 된다. 석탄-가스의 교차 가격탄력성 역시 양수값을 기록하였지만 크기 자체가 작을뿐더러 통계적 유의성이 존재하지 않아 두 연료 사이의 대체가능성 여부를 판단할 수 없었다.

8) 주요 화석연료별 탄소배출계수(ton C/TOE)는 유연탄은 1.059, 중유는 0.875, 천연가스는 0.637이다.

9) 1 석유환산톤(TOE)은 $cv/10^7$ kcal로 정의된다.

석탄과 자본 간 교차 가격탄력성의 경우 음수로서 석탄(자본)가격이 1% 상승할 경우 자본(석탄)수요는 약 0.5%(0.4%) 감소하는 것으로 나타나 ‘두 요소는 서로 약한 보완적인 관계’로 규정할 수 있지만 통계적으로 이러한 가설은 5% 유의수준에서 기각되었다. 사실 화력발전산업에서 ‘지속가능한 성장’의 잠재적 성과 여부는 온실가스 규제의 국제적 합의에 따라 탄소세를 부과하거나 일정량의 의무감축이 부여될 경우 석탄 사용을 줄이고 어느 정도 자본스톡 투입으로 생산량 감소 없이 대체할 수 있느냐에 달려있다고 할 수 있다.¹⁰⁾ 가스과 자본 간 관계는 석탄과 자본 간 상황과 차이가 거의 없어서 5% 유의수준에서 판단할 때 가스가격 인상으로 인한 자본수요의 감소 여부는 확실하지 않다.

석유와 자본 간 교차탄력성은 E_{KO} 와 E_{OK} 양 방향 모두 양수로서 1보다 크게 측정되었으며 통계적으로 강한 유의성을 보였다. 석유(자본스톡) 가격이 1% 상승(하락)하면 자본스톡(석유)에 대한 수요는 약 1.8%(1.3%) 증가(감소)할 것으로 예상할 수 있다. 가격탄력성 E_{KO} 와 E_{OO} 의 추정치를 사용하여 석유투입량 감소에 따른 자본투자의 대체효과를 시뮬레이션 한 결과 다른 조건들이 일정불변할 때 온실가스 감축을 목적으로 석유가격에 탄소세를 부과하여 석유사용량을 10% 줄일 경우 자본스톡은 약 5% 증가하는 것으로 나타났다.¹¹⁾ 석탄, 가스 사용 감소 여부가 불분명한 상황에서 자본투자 대비 석유투입량 감소효과가 탄력적인 경우 자본투자 촉진정책은 CO2 발생을 억제하는데 어느 정도의 소기의 성과를 올릴 수 있을 것이다. E_{OK} 와 E_{KK} 의 추정치로 실행한 자본투자 증대의 석유 감소효과에 대한 시뮬레이션 결과에 따르면 에너지절약 시설에 대한 투자를 장려하기 위하여 설치 비용단가에 대한 가격 보조를 통하여 자본스톡 규모를 10% 증가시킬 경우 석유사용량은 16% 감소하는 것으로 나타났다.¹²⁾

10) 여기서 자본스톡의 투입은 연료효율적이며 생산성이 높은 친환경 전력생산 공정의 도입을 전제로 한다.

11) $\partial \ln K / \partial \ln O = (\partial \ln K / \partial \ln P_O) / (\partial \ln O / \partial \ln P_O) = E_{KO} / E_{OO} = 1.7624 / (-3.4924) = -0.5$

12) $\partial \ln O / \partial \ln K = (\partial \ln O / \partial \ln P_K) / (\partial \ln K / \partial \ln P_K) = E_{OK} / E_{KK} = 1.2863 / (-0.7991) = -1.6$

〈표 4〉 자기 및 교차탄력성 추정결과 (1997년 기준)

가격탄력성	추정값	가격탄력성	추정값
E_{CC}	-0.8973(0.3131)**	E_{OG}	1.1331(0.6697)*
E_{OO}	-3.4924(0.9166)**	E_{GO}	1.1602(0.6857)*
E_{GG}	-0.8926(0.3433)**	E_{CK}	-0.3691(0.2671)
E_{KK}	-0.7991(0.0554)**	E_{KC}	-0.4684(0.3389)
E_{CO}	1.1585(0.6412)*	E_{OK}	1.2863(0.2078)**
E_{OC}	1.0730(0.5939)*	E_{KO}	1.7624(0.2847)**
E_{CG}	0.1079(0.1345)	E_{GK}	-0.3698(0.2772)
E_{GC}	0.1023(0.1275)	E_{KG}	-0.4949(0.3709)

주: 괄호 안의 숫자는 표준오차를 나타냄.

** (*) 표기는 1% (5%) 수준에서 유의적임을 나타냄.

1997년 기준연도에서 측정한 생산요소 간 Allen 대체탄력성의 추정결과를 <표 5>에서 제시하였다. 석탄과 석유, 석유와 가스 사이의 대체탄력성 추정치는 두 경우 모두 통계적으로 유의적이면서 4이상을 기록함에 따라 석탄과 석유 그리고 석유와 가스는 각각 서로 강한 대체관계에 있는 것으로 조사되었다. 석탄과 가스의 경우 비록 대체탄력성 값은 양수로 추정되었으나 통계적 유의성을 상실하여 대체, 보완 여부를 확인할 수 없었다.

자본과 연료 간 관계에서는 석탄과 자본, 가스와 자본 간 대체탄력성은 모두 음수 값으로 추정되어 두 경우 모두 보완관계로 판단할 수 있으나 통계적 유의성 확보에는 실패하였다. 반면 석유와 자본 간 대체탄력성 값은 6보다 크며 통계적으로 유의성을 보임에 따라 두 요소는 서로 강한 대체관계임을 알 수 있다.

〈표 5〉 대체탄력성 추정결과 (1997년 기준)

대체탄력성	추정값	대체탄력성	추정값
σ_{CO}	4.2086(2.3293)*	σ_{CK}	-1.8371(1.3294)
σ_{CG}	0.4012(0.5001)	σ_{OK}	6.4022(1.0343)**
σ_{OG}	4.2146(2.4909)*	σ_{GK}	-1.8408(1.3795)

주: 괄호 안의 숫자는 표준오차를 나타냄.

** (*) 표기는 1% (5%) 수준에서 유의적임을 나타냄.

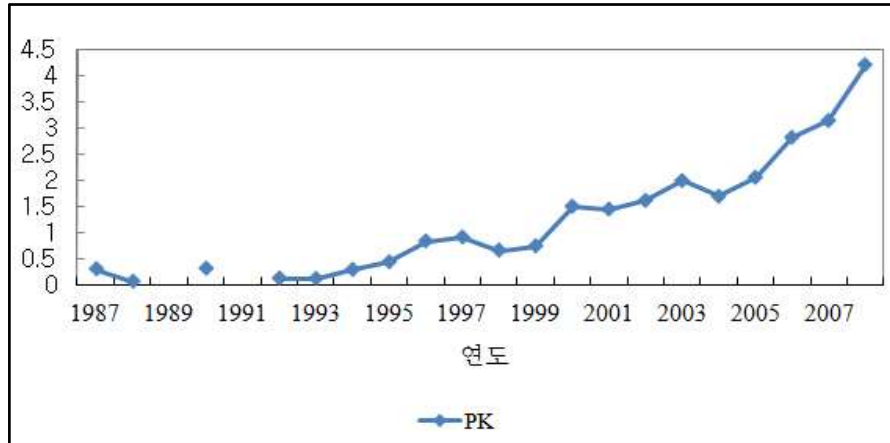
생산함수의 동차성이 기각됨에 따라 식 (6)을 이용하여 규모의 수익을 계산한 결과 1997년 기준연도에서 0.81을 기록하였으며 연도별로 최저 0.78에서 최고 0.90의 범위에서 움직였다. 이는 국내 화력발전산업이 규모에 대한 수익 체감 영역에서 전력을 생산하고 있음을 의미한다. 기술변화의 부재가 기각됨에 따라 식 (12)을 이용하여 계산한 기술변화율은 기준연도 1997년에서 3.3%로 나타났다.

호텔링(Hotelling) 정리를 이용하여 제약비용함수로부터 다음과 같이 자본의 암묵가격(shadow price)을 도출할 수 있다(Halvorsen and Smith, 1984, 1991).

$$\begin{aligned}\widehat{P}_K &= -\frac{\partial RC}{\partial K} = -\frac{\partial \ln RC}{\partial \ln K} \cdot \frac{RC}{K} \\ &= -(\alpha_K + \gamma_{KK} \ln K + \sum_i \gamma_{iK} \ln P_i + \gamma_{QK} \ln Q + \gamma_{KT} T) \cdot \frac{RC}{K}.\end{aligned}$$

연도별 자본의 암묵가격 추정치 $\widehat{P}_K$ 는 1987-2008기간 동안 자본스톡에 대한 단조성 조건이 위반된 1989년과 1991년을 제외하고 평균 1.25로서 1988년 최저 0.04에서 2008년 최고 4.2의 범위에서 움직였다. $\widehat{P}_K$ 의 연간 변화추이는 [그림 1]에서 'PK'로부터 알 수 있듯이 전반적으로 상승추세를 보였다. $\widehat{P}_K$ 를 시간지표 T 로 OLS 선형회귀분석을 실시한 결과 평균적으로 매년 약 16%씩 증가하는 것으로 나타났다.¹³⁾

[그림 1] 자본암묵가격 연도별 변화 추이



VI. 결 론

교토협약 이후 개도국에 대한 온실가스 감축의무를 요구하는 목소리가 높아지고 EU를 비롯한 선진국에서는 자국 수입품에 대한 온실가스 배출기준을 준수하지 않을 경우 벌금, 관세를 부과하는 등 통상압력을 강화하고 있다. 한국은 온실가스 배출규모, 에너지사용 증가율이 세계 10위권으로서 화석연료 의존도가 거의 80%에 이르기 때문에 CO₂ 배출 규제를 실시할 경우 기업의 생산비용 상승을 유발시켜 산업생산성 감소가 불가피한 상황이다. 만약 화석연료 투입량의 일정부분이 생산량 감소 없이 연료효율적인 친환경공정의 자본스톡으로 대체가 순조롭게 이루어진다면 초기의 자본투자비용의 부담을 극복하고 장기적으로 생산성이 증가하는 ‘지속가능한 성장’의 개연성은 높아지게 된다.

13) 회귀방정식 추정결과는 다음과 같다.

$$\ln \hat{P}_K = 1.0472 + 0.1618 \cdot T + \epsilon_t$$

(8.877) (8.627) $R^2 = 0.80$,

여기서 ϵ_t 는 오차항이며, 괄호 숫자는 t -값을 나타낸다.

본 논문에서는 국내 화력발전산업을 대상으로 적정수준의 자본스톡을 전제로 도출한 제약비용함수를 추정하여 화석연료와 자본 간 대체가능성을 측정하였다. 석탄과 자본, 가스와 자본 사이의 관계는 수요 및 대체 탄력성 값이 통계적으로 유의하지 않아서 대체여부를 확인할 수 없었다. 석유와 자본의 경우 서로 강한 대체관계가 성립하였다. 석유가격이 1% 상승하면 자본스톡에 대한 수요는 약 1.8% 증가하는 것으로 나타났다. 수요탄력성 추정치를 사용하여 석유사용량과 자본투자 간 대체효과에 대한 시뮬레이션을 실시한 결과 다른 조건들이 일정불변할 때 온실가스 감축을 목적으로 탄소세를 부과하여 석유사용량을 10% 줄일 경우 자본스톡은 약 5% 증가하며, 반대로 에너지절약 시설 투자비용 단가에 대한 가격보조를 통하여 자본스톡 규모를 10% 증가시킬 경우 석유사용량은 16% 감소하는 것으로 나타났다. 석탄, 가스에 대한 수요에서 자본투자로의 대체가 용이하지 않은 상황에서 이처럼 자본투자의 석유수요 감소효과가 탄력적일 경우 에너지절약 시설투자에 대한 보조금 지원 정책은 CO₂ 발생을 억제하는 데 어느 정도의 소기의 성과를 기대할 수 있을 것이다.

화석연료 간 대체탄력성을 측정한 결과 석탄과 석유, 석유와 가스는 각각 서로 강한 대체관계를 나타냈으나 석탄과 가스 사이에는 어떤 유의적인 관계가 성립하지 않았다. 석유와 가스의 자기 및 교차탄력성 추정값을 사용하여 가스에 대한 가격보조의 CO₂ 감축효과를 시뮬레이션 한 결과 기준연도 1997에서 가격보조가 1% 이루어질 경우 석유 감소분이 가스 증가분을 상쇄시켜 약 20만7천톤의 CO₂ 배출량을 감축할 수 있는 것으로 추산되었다.

접수일(2011년 3월 19일), 수정일(2010년 3월 29일), 게재확정일(2010년 3월 29일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김수일. 2006. 계량경제모형을 통한 발전부문의 연료대체에 관한 연구. 기본연구 보고서 06-06. 경기 의왕 : 에너지경제연구원.
- 남성일. 1990. “한국 제조업의 대체탄력성과 노동수요탄력성: Translog 비용함수에 의한 추정.” 경제학연구 38(2) : 359-384.
- 박광수. 2005. 환경규제에 따른 산업부문의 에너지원간 대체관계 및 온실가스 배출 저감 효과 분석. 기본연구보고서 05-13. 경기 의왕 : 에너지경제연구원.
- 박창수. 2003. 산업부문내의 에너지 대체효과 분석. 기본연구보고서 03-13. 경기 의왕 : 에너지경제연구원.
- 손양훈 · 정태용. 1993. “전력산업의 규모의 경제성에 관한 연구.” 경제학연구 41 (2) : 29-47.
- 에너지경제연구원. 1999. 에너지통계연보. 경기 의왕 : 에너지경제연구원.
- 이명현. 1997. “한국 제조업에 대한 환경규제의 파급효과 분석: 생산성 및 요소수요를 중심으로.” 경제학연구 45(3) : 275-287.
- 이명현. 2003. “한국 제조업에 대한 새로운 자본가격의 산정과 생산함수 특성 분석.” 국제경제연구 9(1) : 167-185.
- 이영선. 1990. “산업연관분석과 에너지원간 대체성.” 한국의 에너지수요와 생산요소간 대체성 분석, 신의순외 공저, 한국자원경제학회 : 172-194.
- 임재규. 2009. “Post-Kyoto 협상의 주요 쟁점사항과 시사점: 연산일반균형(CGЕ)모형을 활용한 경제적 분석.” 자원 · 환경경제연구 18(3) : 457-493.
- 한국전력공사. 1999. 경영통계. 한국전력공사.
- 한국전력공사. 2009. 한국전력통계. 한국전력공사.
- 환경부. 2000-2007. 환경백서. 환경부.

- Allen, R. G. D.. 1938. *Mathematical Analysis for Economists*. London : Macmillan.
- Berndt, E. R. and Morrison, C. J.. 1981. "Capacity utilization measures: underlying economic theory and an alternative approach." *American Economic Review* 71(2) : 48-52.
- Brown, R.S. and Christensen, L. R.. 1982. "Estimating elasticities of substitution in a model of partial static equilibrium: an application to U.S. agriculture 1947 to 1974." in: E. R. Berndt and B. C. Field(eds.), *Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*. Cambridge, Massachusetts : M.I.T. Press.
- Caves, D. W., Christensen, L. R. and Swanson, J. A.. 1981. "Productivity growth, scale economies, and capacity utilization in U.S. railroads, 1955-74." *American Economic Review* 71 : 994-1002.
- Caves, D. W., Christensen, L. R. and Tretheway, M. W.. 1980. "Flexible cost functions for multiproduct firms." *Review of Economics and Statistics* 62(3) : 477-481.
- Christensen, L. R., and Greene, W. H.. 1976. "Economies of scale in U.S. electric power generation." *Journal of Political Economy* 84(4) : 655-676.
- Christensen, L. R. and Jorgenson, D. W.. 1969. "The measurement of U.S. real capital input, 1929-1967." *Review of Income and Wealth* 15 : 293-320.
- Halvorsen, R. and Smith, T. R.. 1984. "On measuring natural resource scarcity." *Journal of Political Economy* 92 : 954-964.
- Halvorsen, R. and Smith, T. R.. 1986. "Substitution possibilities for unpriced natural resources: restricted cost function for the Canadian metal mining industry." *Review of Economics and Statistics* 68 : 398-405.
- Halvorsen, R. and Smith, T. R.. 1991. "A test of the theory of exhaustible resources." *Quarterly Journal of Economics* 106 : 123-140.
- Jorgenson, D. W., Fraumeni, B. M.. 1982. "Relative prices and technical change." in: E.R. Berndt and B.C. Field(eds.), *Modeling and Measuring Natural*

Resources Substitution. Cambridge, Massachusetts : MIT Press.

Lau, L. J.. 1976. "A characterization of the normalized restricted profit function."
Journal of Economic Theory 12 : 131-163.

McFadden, D.. 1978. "Cost, revenue, and profit functions." in: M. Fuss and D.
McFadden(eds.). *Production Economics: A Dual Approach to Theory and
Application* Vol. 1. Amsterdam : North-Holland.

Shin, E.. 1981. "Inter-energy substitution in Korea, 1962-1975." *Journal of Economic
Development* 6 : 33-46.

ABSTRACT

An Analysis of Substitution between Fuel and
Capital in the Korean Fossil-fuel Power
Generation Industry

Myunghun Lee* and Sangmok Kang** and Young-Keun Chung***

The more substitutable energy is with capital, the easier it is to achieve the goal of sustainable development in highly energy intensive Korean industrial sector. This paper estimates a restricted cost function, which is derived given the optimal level of capital stock, and measures elasticities of substitution between fossil fuels and capital in the Korean thermal power generation. Empirical results show that capital is strongly substitutable with oil. The effect on the demand for oil of price subsidy for capital is simulated with the estimated price elasticities of demand. The use of oil would be reduced by more than the extent to which the use of capital would be increased, suggesting that a subsidy for investment on improving boiler fuel-efficiency would be likely to be effective in reducing some degree of CO₂ emissions.

Keyword : Fuel-capital substitution, Restricted cost function, Thermal power generation

* Professor, Department of International trade, Inha University (Main Author). leemh@inha.ac.kr

** Professor, Department of Economics, Pusan National University (Corresponding Author). smkang@pusan.ac.kr

*** Professor, Division of International Economics and Trade, Sunmoon University (The Third Author). ykchung@sunmoon.ac.kr