

# 에너지절약투자의 온실가스 배출 감소 효과

김현\* · 정경수\*\*

## 〈차 례〉

- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| I. 서 론              | IV. 에너지절약투자의 효과 |
| II. 에너지 소비와 온실가스 배출 | V. 요약 및 결론      |
| III. 에너지 수요분석       |                 |

## I. 서 론

1995년 “기후변화에 관한 정부간 위원회(IPCC) 제2차 보고서”에 의하면 온실가스가 현재 추세대로 증가할 경우 2100년의 지구 평균기온이 0.8~3.5℃ 상승하고 현수면도 15~95cm 높아질 것으로 전망된다.

우리 나라의 온실가스 배출량은 높은 증가세를 보여 1990년 83,296천TC에서 1997년 141,334천TC로 1.7배가 증가하였으며, 동 기간의 GDP 증가율 7.1%를 상회하는 수준인 7.9%의 증가율을 보였다. 이는 1997년 세계 11위(세계 전체의

\* 건국대학교 경제학과 대학원생.

\*\* 건국대학교 경제학과 부교수.

1.8%)에 해당되는 배출수준이다. 1990년을 기준으로 보면 온실가스 배출량 중 가장 높은 점유율은 CO<sub>2</sub>가 87.7%로 대부분을 차지하고 있는데, CO<sub>2</sub>의 배출은 특히 에너지부문에서 94.4% 발생하고 있다.

CO<sub>2</sub>의 배출전망과 감축을 위한 정책제안을 위해서는 에너지 수요부문에 대한 연구가 선행되어야 한다. 에너지 수요에 대한 연구는 1차·2차 오일쇼크를 겪으면서 본격화되었다. 하지만 이 때의 주요 관심사는 장기적인 경제발전을 가져오는데 에너지 공급부족의 역효과가 크기 때문에 에너지부문과 경제성장의 문제, 생산요소로서 에너지와 자본 간의 대체·보완관계에 집중되어 있다.

이 연구에서는 에너지 수요에 대한 가격, 소득 이외의 에너지절약투자를 변수로 사용하여 에너지 수요에 미치는 가격, 소득, 에너지절약투자 탄력성을 추정한다. 그리고 탄소배출계수를 통해 에너지 수요에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하고 이를 이용하여 에너지절약투자가 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석한다.

## II. 에너지 소비와 온실가스 배출

### 1. 에너지 소비 현황

우리 나라의 에너지 소비는 중화학공업 중심의 산업구조 발전과 더불어 급격히 증가해 왔다. 1차 에너지 소비는 1981년 45,717천TOE에서 1997년 174,962천TOE로 3.83배 증가하여 1981~1997년 기간 연평균 8.7%의 높은 성장률을 보였다. 이를 에너지 탄성치<sup>1)</sup>로 살펴보면 <표 1>과 같이 1990년대 들어 에너지 소비 성장률이 GDP 성장률을 초과하고 있다.

---

1) 에너지 탄성치 = 에너지소비증가율 / GDP 성장률.

〈표 1〉 에너지 탄성치 현황

연 도	에너지 탄성치	연 도	에너지 탄성치	연 도	에너지 탄성치
1980	-0.739	1989	1.376	1998	1.217
1981	0.636	1990	1.573	1999	0.872
1982	-0.028	1991	1.213	1980~1989 : 0.877 1990~1999 : 1.363	
1983	0.778	1992	2.199		
1984	1.009	1993	1.706		
1985	0.797	1994	0.989		
1986	0.837	1995	1.079		
1987	0.950	1996	1.455		
1988	1.053	1997	1.863		

자료 : 에너지경제연구원, 「에너지통계연보」,  
한국은행, 「국민소득통계」.

에너지 소비 중에서도 1차 에너지원 소비는 많은 변화를 나타내었다. 1997년을 기준으로 1차 에너지원 중에 석유가 전체 1차 에너지 소비 중 60.4%를 점유하여 가장 높은 비중을 차지하고 있는데, 석탄은 1981년 33.3%에서 1997년 19.3%로 급격히 하락하여 1차 에너지 소비 비중이 석탄에서 석유로 이전되고 있다. 부문별 최종에너지 소비는 산업부문의 점유율이 1997년도 기준으로 53.4%로 가장 높아서 에너지 소비 부문에서는 산업부문의 영향력이 가장 크게 나타났는데, 전체적으로는 1980년대에 비해 1990년대 들어 보다 높은 증가율을 보였다.

## 2. 에너지 소비에 따른 온실가스 배출

우리 나라의 전체 1차 에너지 소비 중에서 화석에너지 소비는 1997년에 152,995천TOE로 1981년도 대비 3.7배 증가하였고, 1981~1997년 기간 연평균 8.4%의 높은 증가세를 보였다. 이에 따라 온실가스 배출량도 증가하여 1997

년도의 온실가스 배출량은 117,517천TC로 1981년 대비 약 3배 증가하였고, 1981~1997년 기간 연평균 7.3%의 높은 증가세를 보였다.

1997년도 온실가스 배출량은 117,516.8천TC인데, 부문별 비중을 보면 산업부문이 34.0%로 가장 높고, 다음이 전환부문으로 26.2%, 수송부문이 21.4%를 차지하였다. 또한 가정·상업부문과 공공·기타부문은 각각 17.3%와 1.1%를 차지하고 있다. 부문별 특징으로는 수송부문이 과거 가장 높은 배출량 증가를 보여 전체온실가스 배출량 중 비중이 1981년의 8.1%에서 1997년에는 21.4%로 상승하였는데, 이는 주로 자가용 승용차의 증가에서 기인한다. 산업부문은 현재 온실가스 점유율이 가장 높은 분야로서 1990년에 36.1%로 가장 높았던 이후 점진적으로 감소하여 1997년에는 34.0%를 차지하여 약간 감소를 보이고 있다. 가정·상업부문은 온실가스 배출 비중이 1981년의 35.9%에서 1997년에는 17.3%로 하락하였는데, 이는 주로 난방연료가 고탄소연료(석탄) → 중탄소연료(석유) → 저탄소연료(천연가스)로 급격히 전환되었기 때문으로 볼 수 있다.

3대(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 온실가스 배출 중에서 CO<sub>2</sub>가 대부분을 차지하고 있는데, 지난 10여 년 간 CO<sub>2</sub> 배출 비중은 전체온실가스 중에서 98~99%이며 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O는 1% 내외로 나타났다. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량은 1997년 116,918.2천TC로 1981년 37,110.4천TC에 비하여 3.2배가 증가하여 연평균 7.4%로 높은 증가세를 보였는데 1997년에 석유류가 60.9%를 배출하여 가장 높았고, 다음이 석탄류로 31.1%를 배출하였다.

우리 나라의 온실가스 총배출량에서 에너지 부문의 배출이 80% 이상을 점하여 절대적인 위치를 차지하고 그 비중도 점차 증가하는 추세이다. 에너지부문은 1990~1997년간 매년 8.8% 증가하여 전체온실가스 배출량 중에서 차지하는 비중이 1990년에 81.1%에서 1997년에는 83.9%로 높아졌다.

### Ⅲ. 에너지 수요분석

#### 1. 실증모형 및 자료

에너지절약투자가 CO<sub>2</sub>배출량에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 에너지 수요함수를 구축하고, 그에 따라 에너지 수요에 대한 각 변수들의 탄력성을 측정하는 것이 필요하다. 에너지수요함수는 일반적으로 생산함수를 가정하고 주어진 산출량 제약요건하에서 비용최소화를 통해 달성되는 최소비용함수를 전제하여, 이에 셰퍼드 정리(Shepard's lemma)를 이용하여 도출한다. 그러나 생산요소인 자본, 노동, 원재료 자료는 연구자들의 자료선택에 따라 상이하고 결과도 다르게 나타나므로, 이 연구에서는 마샬리안 수요함수(Marshallian demand function)를 설정하고, 변수로써 가격과 소득 이외의 에너지절약투자를 사용하였다. 각 부문의 에너지 수요함수는 에너지 비용 점유율을 통해 계산된 디비지아(Divisia) 가격지수를 포함한다. 따라서 추정된 디비지아 가격지수탄력성으로는 개별 에너지원들의 에너지수요에 대한 영향을 파악할 수 없다. 이런 경우에는 비용점유율방정식을 통해 알렌편대체탄력성과 수요의 가격탄력성, 대체탄력성을 추정해야 한다. 각 부문의 총계의 에너지 수요방정식을 식 (1)과 같은 단순한 대수형태의 방정식으로 설정한다.

$$\ln Q_t = \alpha + \beta \ln P_t + \gamma \ln Y_t + \delta \ln ES_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

$Q$  = 각 부문의 최종에너지 소비량

$P$  = 석유, 석탄, 전력의 디비지아지수

$Y$  = 각 부문의 GDP의 실질가치(1995=100)

$ES$  = 각 부문 해당년도의 총투자액으로 실질가치화한  
에너지절약투자액

각 부문의 에너지 총량은 디비지아 가격지수에 의해 에너지 지출액으로 나누어진다. 또한 에너지 가격지수 안에서 개별 연료—석유, 석탄, 전력—는 약분리성(weakly seperability)을 가정한다. 즉, 개별 에너지원의 한계대체율은 총에너지가 다른 생산요소—자본, 노동, 원재료—와의 대체와는 독립적임을 말한다. 각 부문의 개별 에너지원들은 에너지 총계 안에서 결합비율이 결정된다. 따라서 개별 에너지원이 에너지수요에 어떤 영향을 미치는지를 파악하기 위해서는 개별 에너지원을 생산요소로 사용하는 생산함수를 가정하고, 쌍대관계에 있는 비용함수를 구축하고 이를 각 개별 에너지원으로 대수 편미분하고 여기에 셰퍼드 정리를 사용하면 비용점유율 방정식을 얻을 수 있다. 비용점유율 방정식을 도출하는 방법으로는 초월대수함수를 이용하였다.

식 (2)에서와 같이 각 에너지원에 대하여 연속으로 2차 미분이 가능한 생산함수를 가정한다.

$$Q = f(P_o, P_c, P_e) \quad (2)$$

$Q$  = 각 부문의 에너지 총생산량

$P_o$  = 석유제품의 가격

$P_c$  = 석탄제품의 가격

$P_e$  = 전력가격

식 (2)는 비용최소화원칙이 주어지고 투입요소의 가격과 생산수준이 외생적(exogenous)으로 결정된다면, 생산함수와 비용함수 간의 쌍대성(duality)에 의해 식 (3)과 같은 비용함수로 변환될 수 있다.

$$C = C(Q, P_o, P_c, P_e) \quad (3)$$

$C$  = 총생산비

$Q$  = 총생산량

$P_o, P_c, P_e$  = 석유, 석탄, 전력가격

여기서 식 (3)의 비용함수를 초월대수비용함수(translog cost function)를 적용하여 나타내면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \ln C &= \alpha_0 + \alpha_Q \ln Q + \alpha_i \sum_i P_i \\ &+ 1/2 \beta_{QQ} (\ln Q)^2 + 1/2 \sum_i \sum_j \beta_{ij} (\ln P_i)(\ln P_j) \\ &+ \sum_i \beta_{iQ} (\ln Q)(\ln P_i) \\ &i, j = O, C, E \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)를 생산요소의 가격  $P_i (i = O, C, E)$ 로 대수 편미분하고 셰퍼드 정리를 적용하면 ( $X_i = \partial C / \partial P_i$ ) 다음과 같은  $i$  요소의 비용점유율 방정식이 도출된다.

$$\begin{aligned} S_i &= \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial C}{\partial P_i} \frac{P_i}{C} \\ &= \frac{P_i X_i}{C} = \alpha_i + \beta_{iQ} \ln Q + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j \\ &i, j = O, E, C \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의 비용함수가 이론적으로 하자가 없는 생산함수를 반영하기 위해서는 다음의 합계제약조건과 대칭성조건이 만족되어야 한다.

$$\begin{aligned} \sum_i \alpha_i &= 1 \\ \sum_i \beta_{ij} &= \sum_j \beta_{ji} = 0 \\ \sum_i \beta_{iQ} &= 0 \\ \beta_{ij} &= \beta_{ji}, \quad i \neq j \end{aligned} \quad (6)$$

앞에서와 같은 초월대수비용함수의 체계하에서 알렌편대체탄력성(Allen partial elasticity of substitution:  $\sigma_{ij}$ )과 수요의 가격탄력성( $\eta_{ij}$ )은 식 (4)의 비용함수 또는 식 (5)의 비용점유율 방정식에 나타난 파라미터들에 의해 다음과 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{ii} &= \frac{b_{ii} + S_i(S_i - 1)}{S_i^2} \\ \sigma_{ij} &= \frac{b_{ij} + S_i S_j}{S_i S_j} \\ \eta_{ii} &= \frac{b_{ii} + S_i(S_i - 1)}{S_i} \\ \eta_{ij} &= \frac{b_{ij} + S_i S_j}{S_i} \end{aligned} \tag{7}$$

$i, j = O, C, E$

위의 식을 이용하여 측정된 대체탄력성의 부호가 양(+)이면 두 요소는 대체재, 음(-)이면 보완재를 의미한다. 대체탄력성은  $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ 의 관계가 성립한다. 수요의 가격탄력성에서도 부호는 동일한 관계가 표현하나,  $\eta_{ij} \neq \eta_{ji}$ 로 대칭성이 성립되지는 않는다. 그리고  $S_i$ 가 비용점유율이므로 알렌편대체탄력성과 가격탄력성은 일정한 것이 아니라 비용점유율에 따라 변하게 된다.

실증분석을 위하여 사용된 자료는 1984년부터 1998년까지의 연도별 자료를 사용하였다. 이것은 산업은행에서 조사하는 「설비투자동향」 자료가 1982년부터 시작되었고, 부문별 최종에너지수요량은 1983년부터만 존재하기 때문이다. 그리고 에너지 부문의 디비지아지수를 만들기 위해서 1984년부터 자료로 사용하였다. 에너지의 부문별 수요는 산업부문, 가정·상업부문, 수송부문, 공공부문으로 나누어진다.

에너지 각 부문별 수요는 에너지경제연구원에서 제공하는 「에너지통계연보」



의 해당년도 최종 에너지수요량이다.

에너지 가격은 석유제품, 석탄, 전력의 세 가지 에너지 요소를 가중 종합한 디비지아지수를 사용하였다.<sup>2)</sup> 석유제품은 「에너지통계연보」에 나타난 석유류 제품들의 가격을 각 부문에서 사용된 비율로 가중 평균하여 구하였다. 연도별 석탄가격은 「에너지통계연보」에 나타난 무연탄의 정부고시가격을 지속일수로 가중 평균하여 사용하였고, 전력가격은 「에너지통계연보」에 나와 있는 가격자료를 이용하여 가정·상업용, 공공부문은 전등용 판매단가를, 산업부문과 수송부문은 동력용 판매단가를 사용하였다.

에너지효율을 향상시키기 위한 에너지절약투자비용은 산업은행의 「설비투자동향」의 각 연도에 부문별 에너지절약 투자비용 자료를 실질 가치화하여 사용하였다.

## 2. 통계적 추정

에너지 수요함수내에서 가격은 내생성을 가지기 때문에 동시성(simultaneity)의 문제를 야기한다. 이러한 문제는 도구변수(instrumental variable)를 이용하여 추정함으로써 일관된 추정량(consistent estimates)을 구할 수 있다. 그러나 도구변수가 외생적이지 않으면 사용할 수 없는데 거시지표인 산출량과 소득 등에 석유가격이 영향을 미치기 때문에, 이런 경우에 GMM(Generalized Method

2) 사용된 디비지아지수는 다음과 같이 산출된다.

$$\log P_t - \log P_{t-1} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (S_{it} + S_{it-1}) (\log P_{it} - \log P_{it-1})$$

여기서  $P_t$ 와  $P_{it}$ 는 각각  $t$ 년도에서의 에너지가격과  $t$ 년도  $i$ 번째 에너지 요소의 가격이고,  $S_{it}$ 는  $t$ 년도  $i$ 번째 에너지 요소의 소비가 총에너지 소비에서 차지하는 비율이다. 즉,  $S_{it} = (P_{it} \times Q_{it}) / (\sum_j P_{jt} \times Q_{jt})$ 이다. 여기서  $Q_{it}$ 는 각 에너지 부문에서의  $t$ 년도  $i$ 번째 에너지 요소에 대한 소비량이다. 그리고 각 에너지 요소의 가격을 나타내는 단위가 서로 상이하기 때문에 석유환산계수를 사용하여 가격단위를 원/TOE(ton of oil equivalent)로 통일하였다.

of Moments) 추정자를 사용하면 일치된 추정량을 얻을 수 있다(Hamilton, 1983). GMM 추정방식은 추정대상에 대한 확률분포의 정보 없이도 일치추정량의 속성을 지니는 모수를 추정해 낼 수 있는 장점을 가진다.

비용점유율방정식은 각 부문의 에너지원의 비용점유율방정식을 가지고 있는 연립방정식 체계이다. 따라서 각 부문의 비용점유율방정식 중 하나를 임의의 제외하고 추정하였고, 제외된 방정식의 추정계수는 합계조건과 대칭성 조건을 이용하여 추정하였다. 방정식의 오차항간에 발생할 수 있는 동시대적 상관성(contemporaneous correlation)을 해결하기 위하여 SUR(Seemingly Unrelated Regression)을 이용하여 각 에너지원별 대체탄력성과 가격의 수요탄력성을 추정하였다.

White테스트 검증 결과 이분산(heteroscedasticity)의 존재가 의심되었다. 이를 수정하기 위해서 이분산의 정확한 구조를 모를 경우에도 적용할 수 있는 White (1980)의 HCCM(heteroskedasticity consistent covariance matrix)의 방법을 보다 일반화시킨 Newey-West (1987)의 HAC (heteroskedasticity autocorrelation covariance) 방법을 적용하였다.

GMM 추정자를 사용할 경우, 가정에서 도구변수와 오차항의 관계에 확률적 관계를 설정하기 때문에 자기상관을 검정하기 위해서는 DW 검정 방법이 부적합하다. 따라서 자기상관을 검정하기 위해서 Box and Pierce의 Q-테스트를 하였고, Newey-West (1987)의 Bandwidth 방법을 통하여 수정하였다.

모형의 신뢰성을 검증하기 위해 F-테스트를 실시하였는데, 모든 부문의 회귀 방정식에 대해 1%의 유의수준에서 귀무가설을 기각하였다.

모형의 추정능력을 평가하기 위하여 Gauss-Seidel 해법을 이용한 역사적 시뮬레이션(historical simulation)을 수행하여 사후(ex post)적 결과와 실제치를 비교하여 Theil의 부등호 계수(inequality coefficients)  $U_1$ 과  $U_2$ 를 계산하였는데 그 값이 0.01~0.02에 있어 각 부문들이 모두 0에 근접한 값을 나타내므로 추정모형의 적합성이 의심되지 않았다.

### 3. 추정 결과의 평가 및 해석

에너지 수요 실증모형에 대한 <표 2>와 같다. 비용점유율방정식을 이용하여 에너지 수요함수 방정식 안에 포함되어 있는 에너지원들의 대체탄력성과 수요의 가격탄력성을 추정하였다.

에너지 수요함수의 추정 결과에서 에너지 디비아지수의 탄력성은 모두 통계적으로 유의하지 않았다. 그리고 산업부문, 가정·상업부문과 공공부문은 음(-)의 부호를 나타내 일반적인 수요함수의 가격탄력성과 동일하게 나왔으나, 수송부문은 양(+)의 부호를 보여 일반적인 기대가설과는 다른 결과를 보였다. 지난 1985년 이래로 정부는 물가안정과 경제성장을 위해서 경제활동의 필수재가 되고 있는 에너지 가격은 최소한으로 유지되어야 한다는 저에너지 가격유지 정책을 실시하였고, 그 결과로써 가격구조가 시장의 정보를 제대로 반영하지 못하기 때문에 왜곡된 추정 결과를 보인 것으로 추정된다.

<표 2> 기본방정식 추정 결과

변 수 \ 부 문	산업부문	수송부문	가정·상업부문	공공부문
상수항	-7.8125 (-4.0312)***	-4.4800 (-9.7498)***	4.9143 (8.8128)***	4.7220 (3.1290)*
에너지 디비아지수	-0.8182 (-1.3765)	0.4323 (1.2968)	-0.8052 (-0.7492)	-0.9889 (-0.9711)
각 부문별 GDP	1.5657 (9.2579)***	1.4222 (25.958)***	0.4665 (8.3848)***	0.3496 (1.9782)*
에너지절약투자	-0.3973 (-2.8742)**	-0.0361 (-2.4707)**	-0.0227 (-1.3125)	0.04947 (1.7088)*
$R^2$	0.976	0.978	0.88.2	0.256

주 : \*, \*\*, \*\*\* 은 유의수준 10%, 5%, 1%임. 괄호 안의 숫자는 t-통계량임.

에너지 수요함수의 이동요인(shift factor)인 각 부문의 GDP는 모두 유의수준 1%에서 유의하였으며, 예상부호인 양(+)<sup>1)</sup>의 부호를 나타내고 있다. 이는 각 부문의 GDP가 증가함에 따라서 에너지 수요량도 양(+)<sup>2)</sup>의 관계를 가짐을 나타낸다. 에너지의 주요 사용부문인 산업부문과 수송부문의 계수는 1.5657과 1.4228로 탄력적으로 추정되었고, 가정·상업부문과 공공부문에 대해서는 탄력성이 0.4665와 0.3496으로 추정되어 비탄력적인 관계를 나타내었다. 이는 모든 부문에서 경제성장이 이루어짐에 따라 에너지수요량도 증가하고 있다는 기존의 견해를 재확인시켜 주었다고 할 수 있다.

에너지절약투자에 대한 탄력성은 공공부문을 제외하고 전 부문이 기대가설대로 음(-)<sup>3)</sup>의 부호를 나타내었고, 대체적으로 유의적이었다. 산업부문은 -0.3973으로 다른 부문에 비해 상대적으로 가장 탄력적으로 추정되었는데, 이는 에너지절약투자가 1% 증가되었을 때 0.4%의 에너지 수요의 감소를 의미한다. 예를 들면, 에너지절약투자가 평균적으로 351억 원 증가했을 때, 370천TOE의 에너지 감소효과를 가져옴을 의미한다.

비용점유율 방정식을 통해 추정된 결과는 <표 3>과 <표 4>와 같은데, 산업부문에서 석유와 석탄은 대체관계(0.803), 석유와 전력은 보완관계(-0.902), 석탄과 전력은 대체관계(0.286)를 나타내었다. 고정된 요소가격하에서 석유의 1% 증가는 석탄의 0.8%의 감소와 전력의 0.9%의 증가를 의미한다.

가정·상업부문은 석유와 석탄에 대해서 대체관계(4.835)를 보였는데, 이는 석유와 석탄이 주로 가정·상업부문에서 연료용으로 사용되는 것에 따른 결과로 추정되며 석유와 전력의 경우도 산업부문과 마찬가지로 보완관계(-1.443)를 나타낸다. 산업부문은 모두 낮은 탄력성을 보이는데(석유: -0.014, 전력: -0.024) 이는 산업부문의 석유제품의 가격과 산업용 전력가격이 산업 및 수출 경쟁력을 높이기 위해 정부주도의 가격정책을 실시하여 저가유지를 한 결과로 볼 수 있다. 그리고 석탄의 가격탄력성은 상대적으로 큰 값이었는데(-0.495), 대체재의 존재와 석탄에서 석유나 가스 등으로 연료소비구조가 변화함에 따른 것으로 판단된다. 대체탄력성도 이런 결과가 반영되어, 석유와 석탄은 대체관계

에너지절약투자의 온실가스 배출 감소 효과

〈표 3〉 비용점유율 방정식의 파라미터 추정 결과

파라미터	산업부문	수출부문	가정·상업부문	공공부문
$\beta_{OO}$	0.229682 (3.495811)**	0.013914 (7.798494)***	-0.122398 (-1.181255)	0.815340 (11.21936)***
$\beta_{CC}$	0.057580 (3.617037)**	-	-0.322725 (-2.248713)**	-
$\beta_{EE}$	0.05758	0.013914 (7.798494)***	0.426977	0.815340 (11.21936)***
$\beta_{OC}$	-0.020900 (-2.537418)**	-	0.436050 (3.879290)***	-
$\beta_{OE}$	-0.25058	-0.013914	-0.31365	-0.815340
$\beta_{CE}$	0.193002	-	-0.11333	-

주 : \*, \*\*, \*\*\*은 유의수준 10%, 5%, 1%임. 괄호 안의 숫자는  $t$ -통계량임.

〈표 4〉 알렌편도체탄력성( $\sigma_{ij}$ )과 수요의 가격탄력성( $\eta_{ij}$ )

구분	산업부문	수출부문	가정·상업부문	공공부문
$\sigma_{OC}$	0.803163	-	4.835054	-
$\sigma_{OE}$	-0.90188	-2.19741	-1.4427	-2.98506
$\sigma_{CE}$	0.286166	-	-0.17323	-
$\eta_{OO}$	-0.01353	0.009604	-0.619	0.85649
$\eta_{CC}$	-0.49518	-	-2.4783	-
$\eta_{EE}$	-0.02415	2.187807	1.17616	2.128567
$\eta_{OC}$	0.139838	-	0.933593	-
$\eta_{OE}$	-0.19485	-0.0096	-0.31459	-0.85649
$\eta_{CO}$	0.489806	-	2.847147	-
$\eta_{CE}$	0.061825	-	-0.03777	-
$\eta_{EO}$	-0.55001	0.973092	-0.84594	0.973092
$\eta_{EC}$	1.067447	-	-0.32662	-

(0.140), 석탄과 석유 역시 대체관계(0.500)를 나타낸다. 그리고 석탄과 전력, 전력과 석탄 역시 (0.062, 1.067)의 대체관계를 나타낸다.

가정·상업부문에서는 석탄의 연료 비중이 감소되는 현실을 반영하듯 석탄의 탄력성은 크게 나타나고(-2.478), 석유도 비교적 높은 수치를 나타내어(-0.619) 가격에 대한 수요량의 반응이 민감함을 알 수 있다. 전력의 경우는 양(+ )의 부호를 나타내는데, 전력단가가 상대적으로 낮은 가격임에 원인이 있다고 볼 수 있다. 요금수준 국제비교의 주택용과 일반용 단가는 우리 나라를 100으로 볼 때 일본은 263, 230, 영국은 132, 101을 보이고 있는데, 이러한 원인에 의한 것으로 보인다. 대체탄력성은 거의 완전하게 대체관계(0.934)를 보이고, 석탄과 석유는 높은 대체관계(2.847)를 보인다. 이것 역시 석탄소비량이 줄어들고 있는 현실을 반영한 결과라 할 수 있다. 석유와 전력, 전력과 석유는 모두 보완관계(-0.315, -0.846)를 보이고 석탄과 전력, 전력과 석탄도 모두 보완관계(-0.038, -0.327)를 나타내었다.

#### IV. 에너지절약투자의 효과

추정된 수요함수를 이용하여 소비추정을 하고 이를 각 부문 구성비, 각 부문 별 원별 구성비로 계산한다. 마지막으로 추정된 에너지절약투자의 계수값을 이용하여 각 부문의 에너지수요의 감소량을 계산하고, 여기에 '기후변화에 관한 정부간 위원회'(IPCC)에서 제공하는 탄소배출계수를 이용하여 온실가스 감소량을 추정한다.

## 1. 에너지 수요 전망

에너지 수요의 전망은 외생적으로 결정되는 경제성장률, 에너지원단위, 에너지기술개발투자 등에 따라 달라진다. 따라서 이 연구에서는 정부의 '기후변화협약 대응 종합대책'의 에너지 수요 전망을 이용하였다. 정부의 주요 BAU (Business As Usual)의 전망전제는 산업연구원의 장기 산업구조 전망, 각 협회의 제조업 업종별 성장 및 에너지 다소비 제품생산 전망, KIET의 장기 구조 전망안, 교통개발원의 자동차 보급전망을 따른다. 각 부문별 수요전망의 연평균 증가율을 이 연구에서 조정되어 사용된<sup>3)</sup> 각 부문의 최종 에너지 수요량 자료에 적용하여 재구성하면 <표 5>와 같다.

<표 5> 부문별 최종에너지 수요 전망

(단위 : 백만 TOE, 구성비, %)

구 분	1995	2000	2010	2020	1996~2020 연평균증가율
산업부문	54.0(48.3)	60.5(47.8)	75.9(46.8)	95.3(45.8)	2.3
수송부문	27.1(24.2)	31.6(25.0)	42.9(26.5)	58.2(28.0)	3.1
가정·상업부문	24.0(25.6)	26.7(25.1)	33.2(24.4)	41.3(23.7)	2.2
공공부문	1.9( 8.1)	2.7( 2.1)	3.7( 2.3)	5.2( 2.5)	3.4
합 계	107.0	121.5	155.7	200	2.6

## 2. 온실가스 배출량 전망

에너지원별 구성비는 각 부문별 수요전망에 기준년도(1995년)의 에너지원별

3) 예를 들어, 산업용 원료로 쓰이는 납사와 같은 석유제품은 가격자료가 없으므로 수요량 총계에서 제외하였고, 또한 에너지절약투자변수와 일치하지 않는 농업부문의 수요량도 제외하였다.

〈표 6〉 CO<sub>2</sub> 배출량 전망

(단위 : 천TC)

CO <sub>2</sub> 배출량	1995	2000	2010	2020
산업부문	50876.22	57006.73	74562.02	89833.62
수송부문	22092.85	25735.87	34924.1	47392.27
가정·상업부문	20511.33	22843.74	28397.2	35300.76
공공부문	1973.416	2332.467	3258.61	4552.296

구성비가 변하지 않는다는 가정을 하고, 각 부문의 최종에너지 수요 증가율을 적용하여 산출하였다. CO<sub>2</sub> 배출량의 추정은 각 부문의 에너지원에 탄소배출계수를 이용하면 얻을 수 있다. 탄소배출계수는 석유제품의 경우, 연료원에 따라 조금씩의 차이가 존재하므로 각 연료원의 탄소배출계수를 기준년의 석유제품의 구성비로 가중평균하여 사용하였고, 전력부문 역시 발전연료 소비의 구성비로 가중평균하여 사용하였다.

〈표 6〉은 최종에너지 원별 구성비에 탄소배출계수를 이용하여 산출한 CO<sub>2</sub> 배출량을 나타낸다.

### 3. 에너지절약투자의 온실가스 감소 효과

정부는 「국가에너지 기본계획」(1997~2006)을 세우고, 2006년도 최종에너지 수요의 10% 감축을 목표로 에너지정책을 수립하여 시행하고 있다. 산업자원부에서는 이에 따라 에너지기술개발투자를 2배 이상 늘리고, 2006년까지 총 2조 472억 원을 투자할 계획을 세우고 있다. 또한 산업은행의 2000년도 「설비투자 동향 간이보고서」에 의하면, 전체설비투자증가율이 30% 정도에 이를 전망이다. 따라서 에너지절약 설비투자가 이런 추세를 따를 때 에너지소비 감소를 추정해 보았다.



에너지절약투자의 온실가스 배출 감소 효과

<표 7> 에너지절약투자에 따른 에너지 소비 감소

에너지소비감소율	에너지절약투자 증가율(%)				
	10	20	30	40	50
산업부문	3.973	7.946	11.919	15.784	19.865
수송부문	0.361	0.722	1.083	1.444	1.805
가정·상업부문	0.227	0.454	0.681	0.908	1.135

<표 8> 에너지절약투자에 따른 CO<sub>2</sub> 배출 감소량

(단위 : TC)

CO <sub>2</sub> 배출 감소량	에너지절약투자 증가율(%)				
	10	20	30	40	50
산업부문	1,911,923	3,823,848	5,735,772	7,595,725	9,559,621
수송부문	97,823	166,005	249,007	332,009	415,011
가정·상업부문	44,662	89,326	124,986	178,646	223,311

<표 7>에서 나타나듯이 에너지절약투자로 인한 에너지 소비 감소율을 보면, 산업부문은 설비투자증가율을 30%로 보았을 때 에너지 소비는 11.9% 정도로 감소하는데, 이는 산업부문이 온실가스 배출량의 가장 큰 부분을 차지하고 있고, 에너지절약투자도 가장 많이 투자된 결과라고 보인다. 수송부문과 가정·상업부문의 에너지 감소율은 1.08과 0.68로 적게 나타났다. 에너지절약투자에 따른 에너지 소비 감소가 적게 나타났다.

위의 내용을 기준년도(1995년)의 CO<sub>2</sub>배출 감소량으로 나타내면 <표 8>에 나타나 있듯이 기준시나리오인 30%의 에너지절약투자 증가에 대해 산업부문은 5,735,772TC CO<sub>2</sub> 배출량의 감소를 보이는데, 이는 1995년 산업부문 CO<sub>2</sub> 배출량 50,876천TC의 약 11.27%에 달한다. 에너지절약투자 증가율이 50%에

이를 경우는 약 18.79% 정도의 CO<sub>2</sub> 배출 감소 효과가 나타났다. 수송부문과 가정·상업부문은 산업부문과 달리 감소효과가 1.127%와 0.061%로 미미하게 나타났다.

## V. 요약 및 결론

기본방정식을 통한 추정 결과는 에너지 디비아 가격지수를 제외하고, 부문별 GDP와 에너지절약투자는 통계적으로 유의한 결과를 나타내었다. 또한 개별 에너지원들의 가격탄력성과 대체탄력성도 기존의 연구 결과들과 비슷한 결과를 보였다.

에너지 디비아 가격지수가 통계적 유의성을 지니지 못한 것은 에너지가격을 경제성장과 산업 및 수출경쟁력을 높이기 위해 저가정책으로 일관하여 온 정부의 정책과 관련이 있다고 할 수 있다. 따라서 에너지 가격이 시장의 정보를 제대로 반영하여 가격기능을 원활히 수행할 수 없음을 나타낸다. 부문별 GDP는 산업부문과 수송부문은 양(+)의 부호가 탄력적, 가정·상업부문과 공공부문은 비탄력적으로 나타났는데, 이는 기존의 이론과 부합하나 역시 에너지저소비형 구조로 변화가 필요함을 나타내는 결과이다. 에너지절약투자는 유의하게 음(-)의 부호를 나타냈는데, 이는 에너지절약투자로 에너지 수요가 감소될 수 있음을 알 수 있다. 개별 에너지원의 가격탄력성과 대체탄력성도 대체적으로 이론적 결과와 일치된 결과를 보였다. 이는 OECD 비산유국과 비교해 볼 때 에너지 가격이 현실적으로 낮은 가격임에 따른 결과이다. 정부도 「에너지이용합리화계획」(1998~2002)에서 휘발유, 경유, 전력, 가스 등 주요 에너지원의 가격을 OECD 비산유국 평균수준으로 올리기 위해 에너지가격구조개편안을 발표하고 가격의 현실화를 추진하고 있다.

계측된 탄력성은 부문별 GDP에 대해서는 산업부문과 수송부문은 1.3160과

### 에너지절약투자의 온실가스 배출 감소 효과

1.4778로 탄력적이었으며, 가정·상업부문과 공공부문은 0.4740과 0.3496으로 비탄력적이었다. 에너지절약투자에 대한 탄력성은 산업부문이  $-0.3973$ 으로 비탄력적이었으나, 수송부문과 가정·상업부문의  $-0.0361$ 과  $-0.02277$ 에 비해 상대적으로 가장 큰 탄력성을 나타내었다. 알렌편대체탄력성은 산업부문에서는 석유와 석탄은 대체관계(0.803), 석유와 전력은 보완관계( $-0.902$ ), 석탄과 전력은 대체관계(0.286)를 나타내었고, 가정·상업부문에서는 석유와 석탄은 역시 대체관계(4.835), 석유와 전력은 보완관계( $-1.443$ ), 석탄과 전력은 보완관계( $-0.173$ )를 보였다. 가격탄력성은 산업부문에서는 석유, 석탄, 전력이 각각  $-0.014$ ,  $-0.024$ ,  $-0.495$ 를 보여 수요이론과 부합되며, 가정부문은 석유와 석탄에 대해서  $-0.619$ 와  $-2.478$ 을 나타내었다.

추정 결과의 에너지절약투자 계수를 이용하여 에너지절약투자 증가에 따른 에너지 소비 감소와 CO<sub>2</sub> 배출 감소효과를 측정하였다. 설비투자증가율이 30%라고 예상하면, 산업부문의 경우 기준년도(1995년)의 에너지소비의 11.9% 정도를 감소시킬 수 있으며, 이에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량 11.27%의 감소효과가 나타났다. 따라서 에너지절약투자로 인한 에너지효율성의 증가가 에너지 소비 감소와 CO<sub>2</sub> 배출의 감소효과를 나타냄을 알 수 있다.

이 연구는 에너지절약투자의 효과가 환경오염과 관련하여 어떤 이익을 발생시키는가에 대하여 실증적으로 분석했다는데 의의를 가진다. 그러나 에너지절약투자에 대한 자료의 한계로 인해 통계적 추정의 어려움이 존재한다. 또한 에너지 수요는 원별·부문별 수요를 종합적으로 고려해야 할 것이다.

### ◎ 참고 문헌 ◎

1. 국무조정실 기후변화협약 실무대책회의, 「기후변화협약 대응 종합대책」, 1999.
2. 김병수, “우리나라 가정·상업부문의 분기별 에너지수요 추정기법에 대한 연구”, 「자원경제학회지」, 제2권 제1호, 1992.

3. 나인강, “동태적 OLS를 이용한 전력수요의 장기탄력성 연구”, 「자원경제학회지」, 제9권 제1호, 1999.
4. 나인강 · 서정환, “산업용 전력수요의 탄력성 분석”, 「자원경제학회지」, 제9권 제2호, 2000.
5. 문춘걸, 「에너지원간의 대체와 수요행태의 구조적 변화를 고려한 한국의 에너지 수요함수에 관한 연구」, 에너지경제연구원 민간출연연구보고서 97-06, 1997.
6. 박창원 · 김정인 · 김진욱 · 정경수, “중국의 에너지 수요와 대기오염량 추정”, 「자원경제학회지」, 제7권 제2호, 1998.
7. 이달석 · 심의섭, “에너지-비에너지효율 요소간 대체성 분석”, 「자원경제학회 2000년도 정기학술대회 논문집」, 2000.
8. 정기호, “가정 · 상업부문의 에너지수요 단기모형”, 「자원경제학회지」, 제3권 제1호, 1993.
9. Baker, T., Ekins, P. and N. Johnstone, *Global Warming and Energy Demand*, Routledge, 1995.
10. Considine, Timothy J., “The Impact of Weather Variations on Energy Demand and Carbon Emissions,” *Resource and Energy Economics*, 22, 2000, pp. 295~314.
11. Considine, Timothy J. and Timothy D. Mount, “The Use of Linear Models for Dynamic Input Demand Systems,” *The Review of Economics and Statistics* 64, 1984, pp. 434~443.
12. Fuss, M. A. and D. McFadden, *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications*, vol. 1, 2, North-Holland, 1976.
13. Greene, William H., *Econometric Analysis*, 4th ed., Prentice Hall, 2000.
- 14 Hamilton, J. D., Oil and the Macroeconomy Since World War II, *Journal of Political Economy* 91, 1983.
15. Jonstone, J., *Econometric Methods*, 3th ed., Mcgraw-Hill, 1991.
16. Newey, W. K. and K. D. West, A Simple, Positive Semi-definite, Heteroscedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix, *Econometrica* 55, 1987, pp. 703~708.
17. Pindyck, R. S., “Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: And

- International Comparison,” *Review of Economics and Statistics*, 61, 1979, pp. 169~179.
18. Pindyck, Robert S. and Daniel L. Rubinfeld, *Econometric Models and Economic Forecasts*, 4th ed., McGraw-Hill, 1998.
19. Sterner, Tomas, *International Energy Economics*, Chapman & Hall, 1992.
20. White, H. A., Heteroscedasticity-consistent Covariance Matrix Estimator and A Direct Test for Heteroscedasticity, *Econometrica* 48, 1980, pp. 817~838.
21. Zarnikau, Jay, “Defining Total Energy Use in Economic Studies: Does the Aggregation Approach Matter?”, *Energy Economics*, 21, 1999, pp. 485~492.

## ABSTRACT

---

# The Effect of Energy-Saving Investment on Reduction of Greenhouse Gas Emissions

---

Hyeon Kim · Kyeong-Soo Jeong

This paper analyses the impact of energy-saving investment on Greenhouse gas emissions using a model of energy demand in Korea. SUR method was employed to estimate the demand equation. The econometric estimates provide information about the energy price division index, sector income, and energy saving-investment elasticities of energy demand.

Except for energy price division, the elasticities of each variable are statistically significant. Also, the price and substitution elasticities of each energy price are similar to the results reported by the previous studies. The energy-saving investment is statistically significant and elasticities of each sector is inelastic.

Using the coefficient of energy-saving investment and carbon transmission coefficient, the amount of reduction of energy demand and the reduction of carbon emissions can be estimated. The simulation is performed with the scenario that the energy-saving investment increase by 10~50%, keeping up with Equipment Investment Plan of 30% increase in energy-saving investment by 2000.

The results show that the reduction of energy demand measured as 11.2% based upon 1995's level of the energy demand, in industrial sector. Accordingly, the carbon emissions will be reduced by 11.3% based upon 1995's level of the carbon emissions in industrial sector.