

확률변경함수를 이용한 우리나라의 주거용 에너지 수요함수 추정

이형호*, 김상미**, 구영완***

요약

본 논문은 2000년부터 2010년까지 16개 광역시도별 자료를 활용한 확률변경함수(Stochastic Frontier Function)를 이용하여 주거·상업용 에너지 수요의 결정요인을 규명하고, 지역별 에너지 효율성을 비교 분석하는데 연구의 목적을 두었다. 본 연구의 주요 연구결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 인구, 가족원수, 난방도일의 증가는 주거용 에너지 수요의 증가로 연결되었으나, 냉방도일이 증가하면 에너지 소비는 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 소득은 주거용 에너지 소비와 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타났다. 둘째, 지역별로 주거용 에너지 효율성은 통계적으로 유의미한 차이를 보였으며, 효율성이 가장 높은 지역은 강원도로 나타났고 가장 낮은 지역은 부산광역시로 나타났다. 마지막으로 기존에 많이 사용하고 있는 에너지 원단위를 통한 지역별 에너지 효율성 순위를 비교해 본 결과 분석방법에 따라 지역별 에너지 효율성 순위가 크게 상이한 것으로 나타나 에너지 소비와 관련한 정책 수립할 때에는 에너지 소비에 미치는 탄력성을 고려하거나 지역별 차별화 할 필요가 있다는 것을 시사한다.

핵심 주제어 : 주거용 에너지, 지역별 에너지 효율성, 확률변경모형, 확률변경함수

* 제1저자, 충북대학교 경제학과 석사과정, 충북 청주시 흥덕구 내수동로52, lenkt1234@gmail.com
** 충북대학교 경제학과 박사과정, 충북 청주시 흥덕구 내수동로52, sangmi@cbnu.ac.kr
*** 교신저자, 충북대학교 경제학과 교수, 충북 청주시 흥덕구 내수동로52, 043-261-2217, ywgoo@cbnu.ac.kr

I. 서론

우리나라는 대부분의 에너지를 수입에 의존하고 있는 상황이고 해외에서 에너지를 수입하는 비중이 높은 만큼 에너지 가격에 대해 매우 취약한 경제구조이다¹⁾. 또한 소득이 증가함에 따라 삶의 질이 높아지고 높은 인구밀도로 에너지 소비는 지속적으로 늘어나고 있는 상황이다. 대외적으로 에너지 가격의 충격에 대한 불안정과 대내적인 에너지 수급의 구조적 문제 속에서도 에너지 소비가 줄지 않는다는 상황에서 현재는 사황은 에너지 위기로도 직결될 위험을 내포하고 있는 시점이다.

에너지에 대한 연구로는 에너지의 수요-공급을 예측하여 미래 에너지수급에 대비하거나, 에너지 효율성 또는 지표에 대한 연구를 통해 에너지 소비를 관리하는 방법에 대한 시사점을 얻는데 연구의 초점이 맞추어져 있다.

에너지 수급에 관한 연구로는 동북아시아 국가들의 중장기 에너지수급계획에 대한 분석하거나(양의석 외, 2009), 우리나라의 에너지 수급 예측 모형에 대한 개발을 시도한 연구들이 있다(차경수 외, 2008). 이러한 연구는 에너지의 수요-공급을 예측하여 우리나라 에너지 관리 정책에 대한 시사점을 제공하는데 그 목적이 있다.

에너지에 대한 또 다른 연구는 에너지 소비의 효율성에 대한 연구가 있는데 주로 산업의 에너지 효율성, 에너지 효율화 정책, 개별 제품이나 건물 또는 교통수단별 에너지 효율성, 에너지 효율성 지표개선 등을 연구하여 에너지 소비 관리 정책에 대한 시사점을 제공하였다. 산업용 에너지 효율성에 관한 연구를 보면, 이현주(2011)는 에너지 원단위를 이용하여 중국의 업종별 에너지 소비구조와 효율성을 분석하였다. 정용훈(2012)은 에너지원단위와 확률변경함수를 이용해 사업체별 에너지 효율성을 측정함으로써 에너지 효율성 지표의 개선과 사업체별 이질성을 반영하는 정책의 필요성을 제시하였다.

에너지 효율화 정책에 관한 연구를 보면, 정웅태(2008)는 일본, 미국, EU 27개국 등의 에너지 소비현황과 각 부문별(산업, 가정·상업, 수송) 에너지 효율화에 대한 정책 분석을 통해 우리나라 에너지 소비현황과 부문별 에너지 효율화 정책의 개선책을 제시하였다.

건물이나 교통수단별 에너지 효율성을 분석한 연구를 보면, 이종영(2011)은 “유럽연합의 2010년 건물 에너지효율성 지침”에 관한 소개와 분석을 통해 국내 건물 에너지 효율성 향상 방안을 제시하였고, 한상용(2011)은 원단위와 맘퀴스트 생산성 지수(Malmquist Productivity Index, MPI) 분석법을 사용하여 OECD국가 교통수단별 에너지 소비량과 수송실적 자료를 이용해 교통 부문별 에너지 효율성을 분석하였다. 이러한 선행연구들은 에너지 소비하는데 있어서 효율성을 개선하는 방법을 제시하여 에너지 위기에 대비하는 방안을 모색하고자 하였다. 이에 가장 많은 에너지를 소비하고 있는 산업용 에너지 소비에 대한 분석이 주를 이루고 있다.

1) 2012년 우리나라 에너지의 수입의존도는 원자력발전을 제외할 경우 96%이며, 원자력 발전을 포함하는 경우 84.6%로 매우

높은 수준임(국가에너지통계 종합정보시스템 www.kesis.net).

분석 방법으로는 자료포락분석 방법(Data Envelopment Analysis), 에너지 원단위 분석방법을 이용한 방법 등이 대부분이다. 그러나 현재 사용하고 있는 여러 에너지 효율성 지표들 중 하나인 에너지 원단위가 경제가 발전하고 기술이 발전함에 따라 당위적 결과로 에너지 원단위가 개선됨에 따라 이를 활용한 연구가 적절치 않다는 점을 지적하는 연구들이 늘고 있다(박성배;2008, 2009, Murray G Patterson;1996, Filippini and Hunt;2009). 또한 자료포락분석(data envelopment analysis:DEA)은 효율변경(technical inefficiency)으로부터의 모든 편차를 비효율성으로 간주하고 무작위오차를 허용하지 않음으로써 비효율성이 과대 추정된다는 단점이 있다(유금록: 2009).

이러한 문제점을 해결하기 위해 Filippini and Hunt(2009)는 에너지 효율성 지표로서 확률변경함수(Stochastic Frontier)를 활용한 분석을 제안하였다. 확률변경분석은 실제 생산이 최대생산(maximum production)을 의미하는 생산변경(production frontier)으로부터 떨어진 편차(deviation), 또는 실제 비용이 최소비용을 의미하는 비용변경(cost frontier)으로부터 떨어진 확률오차(stochastic error)와 기술적 비효율성(technical inefficiency)으로 분해하여 기술적 비효율성을 측정하기 때문에 자료포락분석보다 효율성을 더 정확하게 측정할 수 있다는 장점이 있다(유금록: 2009).

앞에서 살펴본 것과 같이 기존의 국내 연구들은 주로 산업, 건물, 정책 등의 에너지 효율성을 대상으로 한 연구가 대부분으로 주거·상업용 에너지 효율성에 관한 연구는 부족한 편이다. 이는 주거·상업용 에너지 소비 비율이 산업용 에너지 소비에 비해 상대적으로 적은 양이기 때문이다.²⁾ 그러나 우리나라 전체 에너지 소비의 20%를 차지하고 있으며, 지속적으로 소비량이 증가하고 있는 만큼 주거·상업용 에너지 수요에 대한 효율성 분석도 필요하다. 따라서 본 논문은 소비 측면에서 효율극대화를 통하여 도출된 주거·상업용 에너지수요함수를 추정하여 에너지소비 효율성을 분석하고자 한다.

주거용 에너지 효율성에 관한 연구를 보면, Filippini and Hunt(2012)는 미국 48개주 주거용 에너지 효율성 측정에 있어 Filippini and Hunt(2009)에서 제시한 새로운 에너지 효율성 지표를 48개주의 패널 자료를 통해 에너지 효율성 지표를 분석하였다. 우리나라에서는 송규동(2006), 이병인(2010), 김연희(2009) 등의 연구처럼 주거용 건축물 에너지 효율성에 대한 연구가 대표적으로 시행되었으나, 이외에는 실질적으로 우리나라의 주거·상업용 에너지 효율성에 관한 논문은 국내에서 찾아보기 힘들만큼 적다고 할 수 있다.

본 논문은 우리나라 16개 광역시도별 패널자료를 이용하여 주거·상업용(이하 주거용)에너지 효율성을 확률변경함수 모형으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 확률변경함수를 활용한 선행연구를 검토하여 본 연구에서 사용할 실증분석 모형을 도출하고 분석에 사용할 자료를 설명한다. 이후 3장에서 실증분석을 통해 분석 결과에 대해 해석하고, 그 결과를 바탕으로 4장에서 결론과 시사점 및 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

2) 2012년 통계청의 부문별 최종 에너지 소비 자료를 살펴보면 산업용 에너지의 소비 비율이 61.7%로 가장 높고 주거·상업용이 18.2%, 수송부문이 17.8%, 공공 기타부문이 2.3%를 차지하고 있다.

II. 확률변경함수와 분석자료

1. 확률변경함수 모형

확률변경모형(Stochastic Frontier Analysis)은 Aigner, Lovell, and Schmidt(1977)과 Meeusen and van den Broeck(1977)에 의해 발표되었고, 이후 바로 Battese and Corra(1977)가 발전시켰었다. Battese and Corra(1977)의 확률변경모형은 실제생산 혹은 실제비용이 최대생산 혹은 최소비용에서 떨어진 편차를 무작위오차(random error) 또는 확률오차(stochastic error)와 기술적 비효율(technical inefficiency)로 분해하여 비효율성을 측정한다.

소비측면에서의 확률변경모형은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$Y_{it} = \alpha + \chi_{it}\beta + (V_{it} - U_{it}) \quad (1)$$

이 식에서 i 는 지역을 나타내며, Y 는 i 지역의 소비량을 나타낸다. χ_i 는 t 기의 소비에 영향을 주는 요소 벡터이고 β 는 계수를 의미한다. 여기서 V_i 와 U_i 두 개의 오차항이 나오게 되는데, V_i 는 회귀분석 시의 일반 오차항을 의미하고, U_i 는 양의 값이며 기술적 비효율성으로 인해 현재 상황에서 소비가 가능했지만 소비하지 못한 양을 나타낸다고 볼 수 있다. 즉, 비효율성으로 인한 소비의 손실이라고 할 수 있다.

주어진 조건하에서 실현가능한 최대 소비량과 실제 소비량 사이의 차이가 소비의 비효율성으로 보고 식 (1)에서 기술적 비효율성인 U_i 를 오차항에서 분리하려면 U_i 에 대해 반정규분포(half normal), 지수(exponential)분포와 같은 일반항분포(one-sided distribution)의 가정이 필요하며, U_i 와 생산요소들은 서로 독립적이라는 가정 또한 필요하다. 추정방식은 V_i 와 U_i 의 확률분포함수 가정에서 $V_i - U_i$ 의 확률밀도함수를 도출해 최우추정법 혹은 Aigner, Lovell, and Schmidt(1977)이 제시한 수정 최소 자승법을 이용해 추정한다. 소비함수를 추정한 후에 U_i 를 추정하는 방식은 Jondrow, Lovell, Materov, and Schmidt(1982)에서 제시한 $V_i - U_i$ 조건부 기대값을 이용한다.

하지만, 패널자료를 이용한 확률변경모형은 기존의 확률변경모형이 가진 제약을 완화하여 개발되었다.³⁾ Pitt and Lee(1981), Schmidt and Sickles(1984)는 일반 패널자료 모형을 확률변경모형에 적용하여 효율성을 추정하는 방법을 제시하였는데 모형은 다음과 같다.

$$Y_{it} = \alpha_0 + \chi_{it}\beta + v_{it} - u_i = \chi_{it}\beta + \alpha_i + v_{it} \quad (2)$$

3) 패널 자료에 대한 가정은 횡단면자료의 확률변경분석의 효율성에 대한 확률분포가정, 효율성과 생산요소 독립성가정을 완화시켰다.

여기서 t 는 시간을 나타낸다. 이 식은 비효율성이 시간불변⁴⁾임을 가정하고 있으며, $\alpha_i = \alpha_0 - u_i$ 는 i 번째 소비에 해당하는 지역의 상수항으로 패널자료모형의 개별효과를 나타낸다. 식(2)를 추정함에 있어 고정효과 모형을 이용하면 α_i 가 고정됨을 가정하고 있다. 식(2)에서 α_i 에서 u_i 를 분리하는 방법을 Schmidt and Sickles(1984)가 제시하였다.

$$\hat{u}_i = (\hat{\alpha}_0 - \hat{\alpha}_i), \quad \hat{\alpha}_0 = \max_i \hat{\alpha}_i \quad (3)$$

$\hat{\alpha}_i$ 가 가장 큰 소비주체인 지역이 100% 효율적인 소비단위로 가정하고 다른 지역의 비효율성을 가장 효율적인 지역과의 차이로 추정한다. 기술적 효율성의 추정량은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$TE_i = \exp(-\hat{u}_i) \quad (4)$$

위의 시간불변 확률 변경 모형은 횡단면 모형이 지닌 제약을 완화시키며 시간이 지나도 기술적 비효율성은 불변이라는 가정을 지니고 있다. 광만순(2005)에 따르면 오랜 기간동안 효율성 수준이 변하지 않는다는 가정은 비현실적이므로 장기 시계열이 있는 패널 자료를 이용할 경우 이 모형이 적합하지 않다고 하였다. 이에 본 연구는 단기 시계열 자료를 이용하여 시간 불변 모형을 이용해 연구를 진행하였다.

2. 분석자료

본 논문에서 연구하고자 하는 주거용 에너지 효율성을 결정하는 요인으로는 난방, 냉방, 전동, 요리, 온수 등의 주거활동에서 에너지 사용이 결정된다고 볼 수 있다. 본 논문에서 주거용 에너지 총수요 관계를 다음과 같이 정의하였다.⁵⁾

$$E_{it} = E(P_{it}, Y_{it}, POP_{it}, AHS_{it}, HDD_{it}, CDD_{it}, SDH_i, D_t) \quad (5)$$

관계식 (5)에서 E_{it} 는 지역별 주거용 총에너지 소비이고 Y_{it} 는 지역별 실질소득, P_{it} 는 지역별 에너지 가격, POP_{it} 는 지역별 인구, AHS_{it} 는 지역별 평균 가족 구성원 수, HDD_{it} 는 지역별 난방도일, CDD_{it} 는 지역별 냉방도일, 지역별 SDH_i 는 단독주택 비율을 뜻한다. (여기에서 i 는 지역, t 는 년도를 의미한다.) D_t 는 시간더미이다.

본 연구에서 사용한 자료는 에너지경제연구원의 에너지통계시스템과 통계청 자료를 정리

4) 본 논문은 분석 대상이 되는 기간이 짧기 때문에 패널자료를 이용한 확률변경모형 중 Pitt and Lee(1981)서 제시한 시간불변모형을 이용하여 분석하였다.

5) Fillipini and Hunt(2012)에서 변수들을 참고함.

하여 국내 16개 광역시도(i=1,...,16)를 기준으로 2000년부터 2010(t=2000~2010)년까지의 균형 패널 자료를 바탕으로 분석하였다.

에너지 소비 자료의 경우 에너지경제연구원의 16개 광역시도의 지역별 주거용 에너지 총 소비량(천TOE)을 사용하였다. 에너지에 포함되는 에너지원은 석탄, 석유, 도시가스, 전력, 열에너지, 기타로 나누어진 에너지 자료를 이용한 것이다. 에너지가격의 경우 통계청의 지출목적별 물가지수(2010=100) 중 주택·수도·전기 및 연료물가지수를 지역별 에너지가격 지수를 사용하였다.

소득 자료의 경우 2005년을 기준으로 작성된 통계청의 지역별 제도부문별 소득 계정 중 개인의 원천(10억)을 지역별 소득 자료로 사용하였다. 16개 광역시도의 인구 자료의 경우 각 지역별로 통계청의 인구주택 총조사 자료를 이용하였다. 평균 가족 구성원수의 경우는 앞서 이용한 통계청의 16개 광역시도 지역의 인구자료를 바탕으로 각 지역별 가구 수로 나누어 평균 가족 구성원 수 자료로 계산한 것이다.

또한, 16개 광역시도의 난방도일(HDD)과 냉방도일(CDD)은 미국 해양 대기 관리처(NOAA)에서 발표하는 냉·난방도일의 기준(65°F)을 에너지경제연구원에서 산정하여 발표하는 18°C를 기준으로 16개 광역시도의 냉·난방도일을 계산하여 자료로 사용하였다.⁶⁾

단독주택 비율은 주택 총조사 자료를 바탕으로 단독주택 호수를 총 주택 호수로 나눈 비율이다. 아래의 [표 1]은 각 변수별에 대한 단위 및 출처, 기초통계량을 나타낸 것이다.

[표 1] 변수별 단위 및 출처, 기초통계량

자료명			평균	표준편차	최소값	최대값
자료명 (단위)	출처	변수명				
주거용 에너지소비 (TOE)	에너지경제 연구원	E	2,225.26	2,342.16	295	9153
에너지가격 (2010년도=100)	통계청	P	83.3038	11.5534	61.428	104.357
지역별소득 (십억 원, 2005년 기준)	통계청	Y	37865.6	80268.7	4121.3	982944
인구 (명)	통계청	POP	3,000,000	2,900,000	533551	11936855
가족구성원수 (인구/가구 수)	통계청	AH	3.05341	0.194172	2.5	3.4
난방도일 (기준 : 18°C)	기상청	HDD	2,384	396.691	1477	3334
냉방도일 (기준 : 18°C)	기상청	CDD	766.864	108.11	524	1044.9
단독주택비율 (단독주택 호수/주택수)	통계청	DET			0.1	0.7

6) 도별 평균기온을 측정하는 데에는 무리가 있으므로, 광역도의 경우 인구수가 가장 많은 도시를 기준으로 도시를 선정하여 강원도의 경우 춘천, 경기도의 경우 수원, 경남의 경우 창원, 경북의 경우 구미, 전남의 경우 목포, 전북의 경우 전주, 충남의 경우 부여, 충북의 경우 청주의 평균 기온을 사용해 냉난방도일을 산정하였음.

Ⅲ. 모형설정과 실증분석

본격적으로 우리나라의 지역별 주거용 에너지 효율성에 대해 알아보기 위하여 식 (5)의 변수를 가지고 다음과 같은 함수를 적용하였다(Aigner et al. (1977) 참조).

$$e_{it} = \alpha + \alpha^p p_{it} + \alpha^y y_{it} + \alpha^{pop} pop_{it} + \alpha^{ahs} ahs_{it} + \alpha^{hdd} hdd_{it} + \alpha^{cdd} cdd_{it} + \alpha^{SDH} SDH_i + \alpha_t^{Dt} D_t + v_{it} - u_i \quad (7)$$

위 식7)에서 e_{it} 는 지역별 에너지 소비의 자연로그 값을 의미하고 p_{it} 는 지역별 에너지 가격의 자연로그 수치를 의미한다. y_{it} 는 지역별 소득의 자연로그 값이다. pop_{it} 는 지역별 인구의 자연로그로 표시한 값이다. ahs_{it} 는 지역별 가족구성원수의 자연로그 값이고, hdd_{it} 와 cdd_{it} 는 지역별 난방도일과 냉방도일의 자연로그 값을 의미한다. SDH_i 는 시도별 단독 주택 비율을 의미한다. D_t 는 시간더미이고, 오차항 v_{it} 와 u_i 는 앞의 이론적 배경에서 설명한 것과 같이 v_{it} 는 일반적인 오차항을 의미하고 u_i 는 소비의 비효율성을 의미한다.

앞의 식(3)을 바탕으로 지역별 주거용 에너지 효율성에 대해 확률변경모형으로 추정하였다. 추정결과를 살펴보기에 앞서 표본을 대상으로 한 추정모형의 설정이 타당한가와 비효율성이 존재하는가에 대한 가설검정을 실시하였다. 지수분포를 갖고 에너지 소비에 있어 비효율성이 존재하지 않는다는 귀무가설($H_0 : \sigma_u = 0$)을 검증하기 위한 우도비(likelihood:LR) 검정통계량이 68.01로 1% 유의수준에서 기각되었다. 따라서 비효율성이 존재한다고 볼 수 있다. 그리고 모든 독립변수의 계수가 동시에 0이라는 귀무가설을 검증하는 왈드 검정통계량이 2204.31로 1%유의 수준에서 앞의 귀무가설이 기각되므로 확률변경함수로 추정하는 것이 적합하다고 볼 수 있다. 또한 패널자료 추정은 고정효과모형과 확률효과모형으로 나누어지는데, 두 모형 중 어떤 모형으로 추정하는 것이 타당한가에 대한 판단 근거로서 하우스만 검정(Hausman test)를 시행하였다. 하우스만 검정 결과 통계량 값이 14.94로 나타났고, P값이 1%유의 수준에서 기각하지 않아 확률효과 모형을 사용하였다. 추정결과에 따르면 확률변경함수를 이용한 에너지 수요 모형의 추정된 결과는 [표 2]와 같다⁸⁾. 실증분석 결과를 살

7) 위 식에서 단독주택 비율을 제외한 모든 자료들은 각 변수들에 영향을 미치는 외생적인 기술진보와 다른 외적 요소의 충격을 제거하기 위하여 자연로그로 변환하여 자료로 이용했다. Fillipini and Hunt(2009)에 따르면 에너지 원단위는 시간이 지남에 따라 계속 개선되는 데 이 개선의 원인을 기술진보에서 찾았다. 그러므로 본 논문에서도 우리나라의 주거용 에너지 효율성을 분석하는데 있어 기술진보의 영향을 제거하기 위해 자연로그로 변환하여 분석에 사용하였다.

8) 단독주택비율을 독립변수로 추가한 경우의 추정 결과를 관찰했을 때, 단독주택비율 변수가 통계적 유의성이 없는 것으로 나타나 본 논문에서는 결과를 제시하지 않았다. 단독주택 비율은 시간에 따른 변화가 거의 없는 변수이다. 본 연구에서는 인구 자료와 가족구성원수 자료, 단독주택 비율 자료를 두 가지를 사용해 추정하였는데, 통계청의 인구 주택 총조사 자료와 추계인구 자료를 이용하였다. 두 자료 중 인구 주택 총조사 자료의 경우가 더 유의성이 있음을 확인하였고, 본 연구에서는 인구 주택 총조사 자료를 이용하였다.

해보면 분석한 변수의 형태가 로그값이므로 계수 값들은 독립변수에 대한 에너지소비의 탄력성으로 볼 수 있다. 분석 후 나타난 계수 값 외에 μ , $\frac{1}{\gamma}$, $\ln(\sigma_s^2)$ 값이 나타나는데 이들은 모두 랜덤항과 비효율성항의 특성을 나타내고 있다.⁹⁾

<표 2> 확률변경함수 추정 결과

변수	계수값	변수	계수값
에너지 가격	0.2797** (0.112)	냉방도일	-0.1786*** (0.062)
인구	0.9544*** (0.053)	상수	-9.9502*** (1.651)
소득	0.0580 (0.040)	$\mu^{10)}$	0.1181 (0.090)
가족 구성원수	0.6168* (0.316)	$\ln(\sigma_s^2)$	-4.1047*** (0.424)
난방도일	0.2803** (0.132)	$\frac{1}{\gamma}$	0.2222 (0.786)

주 : ***, **, *는 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 통계적으로 유의함.
()안의 값은 표준편차를 말함.

분석결과 우리나라의 에너지 가격과 인구증가에 따른 에너지 수요의 탄력성은 각각 0.29, 0.95로 나타났으며, 이는 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 에너지 가격 지수가 1% 상승하면 0.29%만큼 에너지 소비가 늘어나는 것으로 나타났으며, 인구가 1% 증가하면 에너지소비는 0.95%만큼 증가하는 것으로 나타났다.

또한 가족 구성원 수, 난방도일, 냉방도일에 대한 주거용 에너지 수요의 탄력성은 각각 0.65, 0.27, -0.16으로 5% 유의수준에서 의미를 갖는다. 따라서 가족 구성원수와 난방도일이 늘어날수록 그리고 냉방도일이 감소할수록 에너지 소비는 늘어난다는 결과를 보였다. 이를 정리하면, 에너지 소비는 에너지 가격이 올라갈수록, 인구가 증가할수록, 가족 구성원수가 늘어날수록, 난방도일이 증가할수록, 냉방도일이 감소할수록 늘어난다는 결과를 얻을 수 있었다¹¹⁾. 이 분석에서 발견한 특이한 점은 첫째, 수요의 법칙에 따르면 에너지 가격이 오르면 에너지 소비가 감소해야하는 것임에도 불구하고 에너지 소비가 증가했다는 것이다. 그 이유는 에너지 가격으로 사용된 지수의 시간에[대한 변화가 거의 나타나지 않았기(표준 편차가 11.55로 자연로그로 변화 시 표준편차는 0.1392가 됨.) 때문이며 또한 김치냉장고와 같은 에너지 소비가 높은 가전제품의 보급

9) γ 는 σ_u^2/σ_s^2 이고, $\frac{1}{\gamma}$ 은 γ 의 inverse logit으로 표시한 최적화 값(the optimized value in terms of the inverse logit of γ)이고 σ_s^2 는 $\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ 이다.

10) 의미는 절단정규분포의 평균 (the mean of the truncated-normal distribution)이다.

11) Okajima 외(2013)과 최용록 외(2012) 등에 나타난 것처럼 소득수준이 비슷한 서울특별시와 6개 광역시로 한정된 패널자료를 분석시, 이들 지역은 다른 지역에 비해 에너지가격에 대한 탄력성이 낮아지고, 인구의 탄력성이 증가하는 것으로 나타났다.

률이 높아졌기 때문이다¹²⁾.

둘째, 냉방도일이 증가해도 에너지 소비가 감소한다는 것이다. 우리나라의 계절 특성상 냉방도일의 기준이 되는 온도인 18℃가 적합하지 않을 가능성도 있고¹³⁾, 도별 자료의 전체 평균적인 기온의 자료가 없어서 대리변수로 선정된 대표 도시의 기온으로 그 지역을 대표한 것도 이유가 될 수 있다. 또한, 냉방은 낮시간에 전력을 필요로 하는 경우가 많은데, 이 경우 회사에서 근무를 하느라 주거용전력은 상대적으로 덜 사용하기 때문에 저녁시간에 필요로 하는 주거용 난방전력과 다른 부호의 결과가 나온 것으로도 해석 가능하다.

아래의 [표 3]은 확률변경함수로 추정한 각 지역별 에너지 효율성과 에너지 원단위 순위를 나타낸 표이다. 지역별로 살펴보면 강원도가 98.3%로 가장 효율적으로 나타났고, 그 뒤를 이어 서울이 97.9%로 두 번째로 효율적으로 나타났다. 반면 가장 효율이 낮은 지역은 부산으로 78.0%로 비효율성이 가장 큰 것으로 나타났다.

2011년도 지역별 에너지 원단위(에너지소비/소득)를 분석해본 결과 가장 원단위가 낮은 지역은 충청북도이고 그 뒤를 이어 울산광역시, 제주도, 부산광역시 순으로 나타났으며 강원도가 최하위를 기록하여 확률변경모형으로 분석한 에너지 효율성 순위와 상반되는 결과를 보였다. 확률변경모형에서 도출된 에너지 효율성은 주어진 조건하에서 실현가능한 최대 소비량과 실제 소비량 사이의 차이가 소비의 비효율성으로 추정된 값인 반면, 기존의 에너지 원단위는 소득 당 에너지소비의 크기를 활용하여 에너지 효율성의 지수로 반영한 계수이다. 따라서 주어진 조건하에서 같은 소득자료를 이용하여 에너지 소비의 효율성을 본다면 에너지 원단위는 효율성의 지표로 간주하기 어려운 측면이 있다.

<표 3> 지역별 에너지 효율성 및 순위(2000-2010).

	에너지 효율성	확률변경함수 효율성 순위	에너지원단위 효율성 순위
강원도	0.983	1	16
서울특별시	0.979	2	7
울산광역시	0.966	3	2
대전광역시	0.962	4	9
충청남도	0.959	5	14
충청북도	0.926	6	1
경상북도	0.910	7	15
경기도	0.905	8	11
대구광역시	0.894	9	8
전라북도	0.881	10	12
제주도	0.872	11	3
경상남도	0.839	12	6
광주광역시	0.835	13	5
인천광역시	0.820	14	10
전라남도	0.782	15	13
부산광역시	0.780	16	4

12) 전력통계 시스템에 따르면 2000년 가구당 0.11대였던 김치냉장고가 2002년 0.33대, 2004년 0.48대, 2006년 0.63대, 2009년 0.75대로 증가하여 에너지 가격의 증가율보다 에너지 소비가 높은 가전제품의 보급률이 높았던 것으로 나타났다.

13) 냉방도일의 기준을 26℃ 및 28℃으로도 추정하였으나 통계적으로 의미 있는 값을 구하지 못하였다.

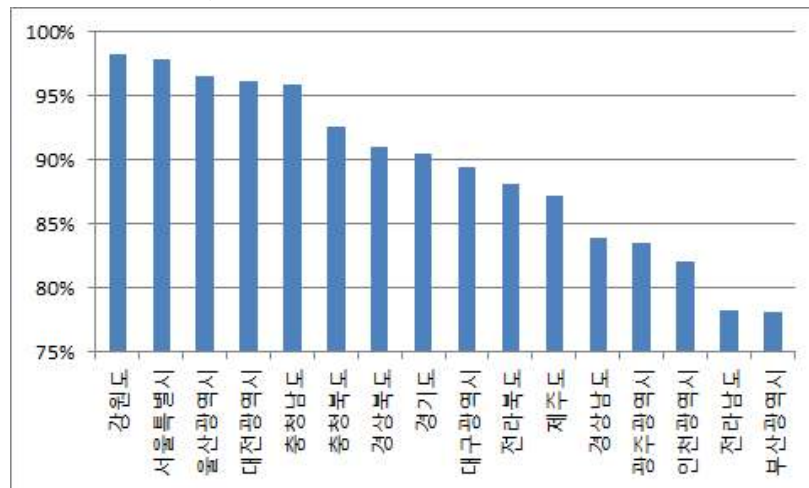
위 표를 보면 소득이 가장 높은 지역인 서울특별시가 원단위에서는 7위의 효율성을 보였으나 확률변경모형에서 추정된 효율성으로는 0.979로 2위로 나타났다. 또한 소득이 가장 낮은 지역인 제주도가 지역소득 대비 에너지 사용량인 원단위의 경우 효율성이 높은 3위에 기록되었으나 확률변경모형에서 추정된 값으로 판단하면 0.87으로 상대적으로 비효율적인 그룹인 11위에 기록했다. 따라서 확률변경모형에서 추정된 효율성은 원단위와 많은 차이를 보이고 있다. 확률변경모형의 효율성은 1.0인 경우 비효율성이 존재하지 않는 즉, 100%효율적으로 이루어지고 있는 상태이므로 효율성이 가장 높은 강원도도 효율성을 높일 여지가 있는 상황이며, 효율성이 가장 낮은 부산광역시의 경우 0.78으로 소비측면에서 주거용 에너지의 효율성을 높이기 위한 정책의 도입이 필요한 상황이라고 볼 수 있다.

지역별로 보면 충청권은 상대적으로 높은 효율성(충청남도는 0.95, 충청북도는 0.92)을 보이고, 경상도는 도별 광역시별 편차가 크고, 호남권은 중하위에 머물고 있다. 서울시와 인접지역인 강원도는 상위권에 머물고 있지만 경기도는 8위로 중위권에 위치하고 있다.

특별시 및 광역시를 보면 광역시는 중위권에 머무는 대구광역지만 제외하면 상위권에 3개 하위권에 3개로 주로 효율적 혹은 비효율적인 위치에 머물고 있다. 반면 기타 지방은 고른 분포를 보이고 있다.

기존 연구인 Fillipini and Hunt(2012)의 연구에 따르면 미국의 평균 효율성은 89%로 우리나라와 같은 수치를 나타냈다. 우리나라에서 주거용 에너지 소비의 효율성이 가장 높은 지역의 효율성은 98%이고, 미국의 경우 99% 효율적으로 나타났다.

[그림 1] 지역별 에너지 효율성 (2000~2010)



그림에 나타난 것처럼 강원도와 서울특별시는 상대적으로 높은 효율성을 보이고 있고, 울산광역시와 대전광역시, 충청남도가 그다음 두 번째 그룹이고, 충청북도부터 인천광역시까지는 효율성이 더 낮은 그룹이다. 최하위그룹인 전라남도과 부산광역시는 효율성이 가장 높은 그룹에 비해 크게 떨어지고 있는 모습을 보인다. 따라서 효율성을 높일 필요가 있는 지역이

하위 두 개의 전라남도과 부산광역시이다.

지역별로 혹은 주거용 에너지 소비 그룹별로 차별화된 주거용 에너지 소비에 대한 차등적인 세금제도나 기타 에너지 소비의 효율성을 높일 수 있는 정책을 시행함에 있어 본 연구방법이 고려되어야 할 것이다. 기존의 에너지 원단위는 단순히 부가가치 혹은 소득 대비 에너지 소비로써 단순 비교에는 좋으나 분석의 대상의 특이성(예컨대 기후, 인구, 소득 등)을 전혀 고려하지 않는다는 점에서 단순한 수치의 계산에는 매우 편리하나 지역별로 세분화된 정책 적용에 있어서는 적합하지 않다고 볼 수 있다.

IV. 결론

국제 에너지 가격의 변동과 에너지 수급의 불균형에 대한 불안이 지속적으로 발생하는 상황 속에서도 우리나라의 에너지 소비는 급격히 늘어나고 있다. 따라서 에너지에 대한 연구는 다양한 측면에서 분석 되었으나 주거용 에너지 소비에 대한 연구는 거의 없는 상황이다. 이에 따라 본 연구는 우리나라 16개 광역시도별 패널 자료를 이용하여 주거용 에너지 소비의 효율성을 확률변경함수 모형으로 분석하였다.

본 논문에서 검증한 주요 내용은 다음과 같다. 먼저, 에너지 가격 지수가 1% 증가했을 때 주거용 에너지 소비는 0.29% 늘어나고 있다. 에너지 가격지수에 대한 부호가 양의 부호로 나타난 까닭은 에너지 가격지수의 변화의 폭이 미세한 것이 원인으로 작용했을 것으로 판단된다. 따라서 에너지 소비는 가격에 비탄력적이라고 말할 수 있다. 또한 인구에 대한 주거용 에너지 수요의 탄력성은 0.95로 양의 탄력성을 가졌으며, 그 외에 가족 구성원 수, 난방도일, 냉방도일에 대한 주거용 에너지 수요 탄력성은 각각 0.61, 0.28, -0.17로 나타났다. (여기에서 냉방도일은 소비에 대해 비탄력적으로 나타났고, 기대치와는 달리 냉방도일은 음의 탄력성을 보였다. 이런 결과는 여름철 발전소의 잦은 고장과 수급 불안정으로 인한 순환 정전과 낮시간대에 주택서 에너지 소비가 낮은 점 등 여러 요인 때문으로 보인다.)

둘째, 주거용 에너지 소비에 있어 비효율성이 존재하는 것으로 나타났다.. 특히 가장 효율적인 지역이라고 볼 수 있는 강원도도 에너지 효율성을 높일 여지가 있는 것으로 분석되었다. 또한 지역적인 편차가 있는 것으로 분석되었다. 확률변경함수로 추정된 지역별 에너지 효율성 결과를 살펴보면, 강원도가 98.3%로 효율적으로 가장 효율적임을 나타내었으며, 그 뒤로 서울특별시가 97.9%, 울산광역시가 96.6% 순으로 나타났다. 가장 효율성이 낮은 지역은 부산광역시로 78.0% 효율적인 것으로 나타났다.

마지막으로 주거용 에너지 원단위(지역별 에너지 소비/ 지역별 소득) 방법을 사용한 지역별 에너지 소비 효율성 순위와 확률변경함수로 추정된 효율성 순위와 비교한 결과 큰 차이를 보였다. 이러한 차이는 기존의 에너지 원단위 분석의 경우 많은 연구들이 지적인 것처럼 단순히 에너지 소비 대비 부가가치(혹은 소득)의 크기를 비교함으로써 지역별로 상이한 특징들을 전혀 고려하지 않는 분석방법이기에 본 연구에서의 추정결과와 매우 상이한 결과를 나타낸 것으로 보인다.

본 연구에서는 지역별 혹은 주거용 에너지 소비 그룹별로 차별화된 주거용 에너지 소비에 대한 차등적인 세금제도나 기타 에너지 소비의 효율성을 높일 수 있는 정책을 수립할 필요성이 있음을 보인다. 또한, 주거용 에너지 소비 효율 분야뿐만 아니라 산업용 에너지 소비 효율의 산업별, 지역별, 에너지 소비 효율성을 분석시 기존의 원단위 분석과 다른 결과를 보일 수 있으므로 확률변경모형을 고려할 필요도 있다.

개별 에너지 가격의 변동성 특히 석유정제제품의 경우 가격 변동성이 크게 나타나고 있지만, 본 논문에서 사용된 주거용 에너지 가격의 변동성은 미미한 것으로 나타났다. 따라서 개별 에너지 수요에 대한 분석을 할 필요성이 존재한다. 또한 확률변경함수를 활용한 주거용 에너지 효율성을 분석한 선행연구가 부족하다는 점이 본 연구의 한계일 것이다. 그러나 이러한 한계점에도 불구하고 본 연구는 주거용 에너지 효율성 분석 분야의 초석이 될 만한 연구가 될 것이다.

참고문헌

- 곽만순, 이영훈. "효율성추정과 확률적 생산변경모형에 대한 문헌연구." 계량경제학보 16.4 (2005): 107-130.
- 김연희. "국내외 주거용 건물의 에너지성능 평가방법 비교분석." 한국태양에너지학회 2009년도 추계학술발표대회 논문집, 191~ 198 쪽 (총 8 쪽) (2009).
- 박성배 외. "한국과 일본산업의 에너지효율 비교." 삼성경제연구소. 2008.
- 박성배 외. "한국 에너지 多消費산업의 에너지효율 분석." 삼성경제연구소 2009.
- 송규동. "공동주택의 에너지효율등급 평가기법 개발 및 등급 설정에 관한 연구." 大韓建築學會論文集 計劃系 22.12 (2006): 319-326.
- 양의석,홍철선,이진식,노남진 , "동북아 중장기 에너지수급계획 분석 연구" , 에너지경제연구원 정책연구자료 ,2009 /12 ,2009. ,1-243 ,에너지경제연구원
- 유금록. "확률변경분석을 이용한 공공부문의 효율성 평가: 공공도서관에 대한 거리함수 접근법." 한국행정학보 43.4(2009):261-283
- 이병인. "한국과 영국의 주거용 건물 에너지효율등급인증제도 운영 및 평가 방식과 에너지 소요량 산출방법 비교 분석." 大韓建築學會論文集 計劃系 26.5 (2010): 363-372.
- 이종영. "유럽연합의 건물 에너지효율성 향상에 관한 지침에 관한 연구." 환경법연구 33.1 (2011): 167-198.
- 이현주. "중국 제조업 부문 에너지 효율성 분석." 中國學研究 Vol. 58 (2011): 449-479
- 정용태. "해외 에너지 효율화 정책 동향 분석 연구". 에너지경제연구원. 2008.
- 정용훈. "에너지효율향상에 영향을 미치는 요인에 대한 기업별 회귀분석과 정책적 시사점 : 우리나라 제조업 통계조사". 에너지경제연구원. 2012.
- 차경수,박광수,김수일 , "에너지 수급 분석 및 전망 기반구축 (2차년도)" , 에너지경제연구원

- 정책연구자료 ,2008 /12 ,2008. ,1-82 ,에너지경제연구원.
- 최용록 ,장녕 , "국제경제 : 중국의 지역별 에너지효율성과 한계저감비용의 실증분석", 국제 지역연구/16, 2012., 289-302, 국제지역학회
- 최영은. "한반도 난, 냉방도일의 시공간 분포 특성 변화에 관한 연구." 대한지리학회지 40.5 (2005): 584-593.
- 최창용. "국내 15 개 주요지역의 난방도일 재산정에 관한 연구." 설비공학논문집 22.7 (2010): 436-441.
- 한상용, 서영욱, "OECD 국가의 교통부문별 에너지 효율성 비교 분석", 交通研究/17, (2010), 1-12, 한국교통연구원
- Aigner, D.J. · C.A.K. Lovell · P.J. Schmidt(1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models," Journal of Econometrics, 21-37.
- Battese, George E., and Greg S. Corra. "Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of Eastern Australia." Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 21.3 (1977): 169-179.
- Filippini, Massimo, and Lester C. Hunt. "Energy demand and energy efficiency in the OECD countries: a stochastic demand frontier approach." Energy Journal 32.2 (2009) 59-80.
- Filippini, Massimo, and Lester C. Hunt. "US residential energy demand and energy efficiency: A stochastic demand frontier approach." Energy economics 34.5 (2012): 1484-1491.
- Meeusen and van den Broeck(1977), "Efficiency Estimation from Cobb Douglas Production Functions with Composed Error," International Economic Review, 18, 2, 435-444.
- Jondrow, J., C. A. K. Lovell, I. S. Materov, and P. Schmidt(1982), "On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model," Journal of Econometrics, 19, 233-238.
- Okajima, Shigeharu, and Hiroko Okajima. "Estimation of Japanese price elasticities of residential electricity demand, 1990 - 2007." Energy Economics 40 (2013): 433-440.
- Patterson, Murray G. "What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues." Energy policy 24.5 (1996): 377-390.
- Pitt, M. and L.-F. Lee(1981), "The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry," Journal of Development Economics, 9, 43-64.
- Schmidt, Peter, and Robin C. Sickles. "Production frontiers and panel data." Journal of Business & Economic Statistics 2.4 (1984): 367-374.

Korea's Residential Energy Demand Analysis Using A Stochastic Frontier Function*

Lee, Hyeong-ho*, Kim, Sang-Mi**, Goo, Young-Wan***

Abstract

This paper estimates Korea's residential energy demand function using panel data for 16 regions over the period 2000 to 2010. This study is to compare the regional energy efficiency. The main findings of this study are as follows. First, the population, average household size, and heating degree days increased energy consumption. Second, residential energy efficiency among 16 regions differs from the highest efficiency region, 'Gangwon' to the lowest region, 'Busan'. Finally, the efficiency ranking derived from stochastic frontier are different from the previous results calculated from energy intensity. This paper implies that a government considers the appropriate and different energy policies for each region because each region has different energy efficiency.

Key Words : residential energy, regional energy efficiency, stochastic frontier analysis, stochastic frontier function

* First Author, Graduate Student of Chungbuk University, 52, Naesudong-ro, Seowon-gu Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea, lenkt1234@gmail.com

** Second Author, Doctoral Student of Chungbuk University, 52, Naesudong-ro, Seowon-gu Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea, sangmi@cbnu.ac.kr

*** Corresponding Author, Professor, Department of Economics, Chungbuk University, 52, Naesudong-ro, Seowon-gu Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea, ywgoo@cbnu.ac.kr