

## 메타경계모형을 이용한 개별 가구의 난방 효율성 분석

신동현\* · 조하현\*\* · 임형우\*\*\*

본 연구는 난방에너지원에 따른 난방 소비의 기술적 효율성을 추정하였다. 2015~2016년에 대해 주 난방연료로 도시가스, 지역난방, 등유 및 심야전력을 사용하는 4,195개 국내 가구를 대상으로 난방용 에너지 소비량을 도출한 후, 메타확률경계모형을 통해 기술적 효율성을 추정하였다. 실증분석 결과에 따르면 등유의 난방 효율성이 가장 높았으며, 지역난방과 도시가스가 유사한 수준을 보였고, 심야전력의 효율성이 가장 낮았다. 이를 바탕으로 효율성 개선에 따른 난방 지출비용 감소율을 계산한 결과, 가구 평균 8.4% 감소가 가능함을 확인하였다. 특히 지역난방의 경우 16%의 감소율을 보여 타 에너지원 대비 효율 개선에 따른 비용감소폭이 큼을 확인하였다. 이러한 결과는 에너지원별 난방 효율성 수준을 비교함과 동시에, 최근 에너지 복지정책의 하나로 시행되고 있는 효율성 개선정책의 예상효과를 검토할 수 있는 기반이 된다.

**핵심주제어:** 난방에너지, 메타확률경계모형, 난방에너지 효율성, 메타 기술적 효율성, 난방 지출비용

**경제학문헌목록 주제분류:** Q40, Q48

### I. 서론

2016년 여름 동안 높은 기온으로 가정의 냉방비용 지출이 급증하면서, 정부는 작년 여름까지 지속적으로 전기요금을 낮추는 정책을 고수하고 있다. 반면, 가정

---

\* 주저자, 에너지경제연구원 연구위원, 전화: (052) 714-2094, E-mail: dhshin@keei.re.kr

\*\* 공동저자, 연세대학교 경제학부, 전화: (02) 2123-2484, E-mail: hahyunjo@hanmail.net

\*\*\* 교신저자, 연세대학교 경제학부, 전화: (02) 2123-2484, E-mail: hyungwoo.lim0206@gmail.com

논문투고일: 2020. 4. 16    수정일: 2020. 10. 21    게재확정일: 2020. 11. 19

의 난방비용에 대해서는 가정의 부담을 줄여주거나 소비 효율 개선 사업 등의 정책은 미흡한 상황이다. 한국에너지재단 및 한국지역난방공사 등 일부 기관을 중심으로 단열공사 등 에너지 효율 개선 사업을 진행하고 있으나, 이로 인해 얼마만큼의 효율성이 개선되었는지 등에 대한 측정이 어렵고 어떤 가구에 효율 개선 사업을 실시해야 하는지 등에 대한 조사가 미흡한 상황이다. 또한 소비자 측면에서 난방에너지 소비 효율 개선이 소비자에게 가져오는 효과의 크기가 에너지원별로 다르고, 난방에너지 소비 효율 개선을 위한 정책 수용성과 행동 변화 측면에서 중요하지만 에너지원별로 난방에너지 소비 효율을 분석한 연구는 매우 부족한 상황이다.

난방 효율은 주택 및 가구의 특징 등과 함께 고려해야 하기 때문에 단순히 난방비만으로는 측정하기 어려운 측면이 존재한다. 공학적 측면으로서의 주택 특성과 함께 주택에 거주하는 거주자의 나이, 가구원 수, 소득 등 여러 요인을 종합하여 난방 효율을 측정할 필요가 있다. 특히 도시가스, 지역난방, 등유 등 에너지원에 따라 사용하는 패턴이 다르고, 가격 등이 상이하기 때문에 이러한 에너지원별 차이를 고려하여 효율성을 추정할 필요가 있다. 또한 이를 바탕으로 효율성이 개선될 때 난방 연료비의 감소폭이 어느 정도가 될지에 대한 연구도 필요하다.

일반적으로 기존 연구들에서 가구의 에너지 소비 효율은 가구원당 에너지 소비 또는 거주면적당 에너지 소비로 정의한다(이성근·이성인, 2008). 이러한 집약도 또는 원단위 지표는 에너지 소비 효율 변화를 손쉽게 측정할 수 있는 장점이 있으나, 에너지를 소비하는 가구의 의사결정을 충분히 반영하지 못한다는 지적이 있다(김지호·남수현, 2016). 소비자의 의사결정을 충분히 반영하지 못하는 원단위 지표의 문제 때문에 최적의 에너지 소비와 실제 에너지 소비의 격차를 기술적 효율(technical efficiency)로 정의하고 분석해야 한다는 연구도 있다(Hass, 1997; Filippini and Hunt, 2010, 2011). 이에 따라 확률경계모형(stochastic frontier analysis) 및 자료포락 분석(data envelopment analysis) 등 기술적 효율성을 추정하는 다양한 방안이 에너지 효율성에 적용되고 있다(Filippini *et al.*, 2014; Mardani *et al.*, 2017).

하지만 국내에는 난방 효율에 대한 연구가 미흡한 상황이며, 이를 측정하기 위한 난방용 에너지 소비량 자료도 구축되지 않은 상태이다. 본 연구는 가구의 에너지원별 총사용량에서 난방용 에너지 소비량을 추출하여 난방 효율을 측정하였다. 신동현 외(2019) 기법을 바탕으로 평균차분방식을 적용하여 난방용 에너지 소비량만을 추출하여 효율성 측정시의 정확도를 높였다. 또한 가정의 난방에너지

소비는 에너지원 및 난방기기에 따라 이질적인 행태를 보이기 때문에, 이러한 차이를 고려할 수 있는 메타확률경계모형(meta stochastic frontier analysis)을 활용하여 에너지 소비 경계 및 기술적 효율성을 추출하였다. 메타확률경계모형은 난방에너지 소비에 영향을 미치는 요인들의 효과를 에너지원에 따라 각기 다르게 반영할 수 있기 때문에 난방 효율 측정시의 정확도를 높일 수 있다. 더 나아가 본 연구에서는 난방에너지 효율 개선에 따른 난방비 절감 잠재량을 계산하였다. 이를 통해 향후 난방 효율 개선 정책 등을 시행할 때 난방비 절감 효과가 큰 에너지원을 중심으로 지원하는 등의 정책적 시사점을 도출하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ절에서는 에너지 소비의 경제적 효율을 분석하는 메타확률경계모형 및 가정의 에너지 소비 효율과 관련된 기존연구를 고찰한다. 제Ⅲ절에서는 분석 자료와 메타확률경계모형의 구조를 살펴보고, 제Ⅳ절에서는 모형 추정 결과 및 에너지원별 난방 효율을 비교한다. 또한 이를 바탕으로 난방 효율이 개선된 경우의 에너지원별 예상 난방 지출비용 감소율을 분석하였다. 마지막으로 제Ⅴ절에서는 결론 및 시사점을 정리한다.

## Ⅱ. 선행연구 개관

### 1. 메타확률경계모형

일반적인 확률경계모형(meta stochastic frontier analysis)은 비효율성을 측정하기 위한 방법론으로 주어진 투입물을 활용한 최대 생산량 또는 최소 비용의 경계(frontier)를 설정하고, 이 경계와의 격차를 비효율성으로 정의한다(Aigner *et al.*, 1977; Meeusen and van den Broeck, 1977). 이러한 확률경계모형은 에너지 효율성 측정을 위해 다양한 연구에서 활용되었다(신동현 외, 2019; Filippini and Hunt, 2011, 2015). 특히 Filippini and Hunt(2011)는 필요투입물모형(input requirement model)을 제시하며, 에너지 효율을 측정하는 축약형(reduced form)모형을 제안하였다.

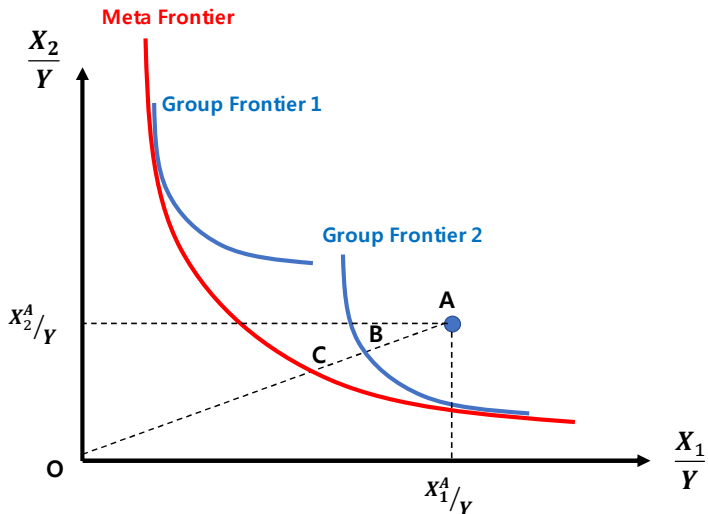
하지만 이러한 에너지 효율 추정 모형을 난방에너지에 직접 적용하기에는 한계가 존재한다. 난방에너지의 경우, 에너지원별로 보일러 가동 여부나 열 효율성 등 특성이 다르기 때문에 동일한 경계를 갖는다고 가정하기 어렵다. 만약 단일의 동일한 경계를 가정할 경우 각 에너지원별의 특성이 누락될 수 있으며, 이는 효

율성 측정시의 오류로 이어질 수 있다.

Battese *et al.*(2004)은 이러한 문제를 해결하기 위해 그룹별로 각기 다른 경계를 갖도록 하고, 모든 그룹의 경계를 추가로 설정하는 메타확률경계모형(meta stochastic frontier model)을 제안하였다. 하지만 이 기법은 그룹 내 경계는 확률적(stochastic)이라고 가정하는 반면, 그룹 간 경계는 결정적(deterministic)이라고 가정하는 등의 한계를 보였다. Huang *et al.*(2014)은 기존 Battese *et al.*(2004)의 문제를 개선하여 2단계 메타확률경계모형을 제안했다. 이 기법을 통해 그룹 내 경계 및 그룹 간 경계를 모두 확률적이라고 가정한 후 기술적 효율성 추출이 가능하다.

아래 <그림 1>은 메타확률경계모형을 통해 효율성을 도출하는 방법을 설명한 개념도이다. 본 그림에서  $Y$ 는 난방에너지 소비량,  $X$ 는 난방에너지 소비에 영향을 미치는 요인으로 볼 수 있으며, 요인  $X$ 는 크게  $X_1$ 과  $X_2$ 로 구분된다고 가정한다. 그룹1은 지역난방, 그룹2는 도시가스라고 가정한다면, 가구1은 도시가스를 가용하는 가구 중  $X_1^A$ ,  $X_2^A$ 에 기반하여 A 지점에서 난방에너지를 소비한다고 볼 수 있다. 하지만 이 경우 가구1은 난방에너지를 주어진 조건 하에서 과도하게 이용하고 있다.  $X_1^A$ ,  $X_2^A$  하에서 최소한의 난방에너지를 소비한다면 C 지점이 가능하다.

<그림 1> 메타확률경계모형 개념도



즉, 가구1의 메타 기술적 효율성(meta technical efficiency: MTE)은  $\frac{\overline{OC}}{\overline{OA}}$ 가 된다. 이때 가구1의 비효율성이 발생하는 원인은 2가지이다. 첫째 원인은 그룹 내 비효율성(technical efficiency: TE)으로, 도시가스 사용 가구의 경계와 비교할 때 가구1이 초과로 사용하는 난방에너지를 의미한다. 이는 <그림 1>을 통해 볼 때,  $\overline{AB}$ 에 해당한다. 두 번째 원인은 그룹 자체의 비효율성(technology gap ratio: TGR)이며, 본 예시에서는 도시가스 자체의 비효율성을 의미한다. 타 에너지원과 비교할 때 가구1이 사용하고 있는 도시가스 자체의 기술적 비효율성이 존재하며, 이는 <그림 1>의  $\overline{BC}$ 를 의미한다.

효율성을 0과 1 사이의 값으로 제한하기 위해 메타 기술적 효율성은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$MTE_{j,i} = \frac{TGR_{j,i} \times TE_{j,i}}{\overline{OC}/\overline{OB} \times \overline{OB}/\overline{OA}} \tag{1}$$

여기서, *MTE*: 메타 기술적 효율성  
*TE*: 그룹 *j*의 경계에 대한 가구 *i*의 기술적 효율성  
*TGR*: 그룹 *j*의 효율성

Huang *et al.*(2014)은 이를 다음과 같은 수식으로 모형화시켜 나타냈다. 여기서 *Y*는 에너지원 *j*를 사용하는 가구 *i*의 난방에너지 소비량을 의미하며, *X*는 난방에너지 소비량에 영향을 미치는 요인들, *v*는 순수오차항, *u*는 난방에너지 소비의 비효율성을 의미한다. 또한 오차항 *v*는 일반적으로 정규분포를, *u*는 절반정규분포(half-normal)를 따른다고 가정한다.

$$\ln(Y_{j,i}) = \ln f^j(X_{j,i}) + v_{j,i} + u_{j,i} \text{ for all group } j \tag{2}$$

$$\ln \hat{f}^j(X_{j,i}) = \ln f^M(X_{j,i}) + v_{j,i}^M + u_{j,i}^M \tag{3}$$

$$v_{j,i}, v_{j,i}^M \sim Normal, \quad u_{j,i}, u_{j,i}^M \sim Half Normal$$

Huang *et al.*(2014)은 이를 2단계 과정을 거쳐 추정하는 방안을 제안하였다. 먼저 1단계에서는 각 그룹에 대해 식 (2)를 추정하여 그룹별 경계를 도출한다. 1 단계에서 도출한 그룹별 경계를 바탕으로 2단계에서는 식 (3)을 통해 메타확률경계를 도출한다. 이때 메타 기술적 효율성 수준은 식 (2)에서 도출한 그룹 내 효

율성과 식 (3)에서 도출한 그룹 자체 효율성의 곱셈 형태로 도출한다. 즉, 수식으로 나타낸다면 다음 식 (4)와 같다.

$$MTE_{j,i} = TGR_{j,i} \times TE_{j,i} \quad (4)$$

$$\text{여기서, } TGR_{j,i} = \hat{E}(e^{u_{j,i}^M} | \ln \hat{f}^M(X_{j,i}) - \ln \hat{f}^M(X_{j,i}))$$

$$TE_{j,i} = \hat{E}(e^{u_{j,i}} | \ln Y_{j,i} - \ln \hat{f}(X_{j,i}))$$

## 2. 가구의 에너지 소비 효율 관련 연구

가구의 에너지 소비를 용도별로 엄밀하게 구분하여 난방용 에너지 소비 효율을 분석한 국내 연구는 찾아보기 힘들다. 이는 국내 가구의 에너지 소비에 관한 통계가 용도별로 구분하여 수집되고 있지 않기 때문에 전체 에너지 소비 효율을 분석하는 것이 용이하기 때문으로 추측된다. 이런 측면에서 경제적 효율까지 고려하여 난방용 에너지 소비 효율을 분석한 연구는 더욱 찾기 힘들다. 반면, 경제적 효율로 가구의 전체 전력 소비 효율을 분석한 국내 연구는 존재한다. 김지효·남수현(2016)은 확률경계모형으로 가구의 전력소비에 대한 경제적 효율 실증 분석하였는데 국내 가구의 전력 소비 효율은 가구원 수, 가전기기의 에너지 소비 효율 등급, 소득 등에 영향을 받는다라는 결과를 제시하였다. 노정녀(2014) 연구에서도 가구 소득이 전력사용량에 유의미한 영향을 미친다고 밝힌 바 있다.

난방용 에너지 소비 효율에 관한 분석이 매우 부족한 가운데, 난방용 에너지 소비에 관한 연구로 범위를 확대하더라도 전력 소비에 비해 상대적으로 관련 연구가 부족한 실정이다. 이성근(2010), 오현영(2013) 등 일부 연구에서 난방용 에너지 소비의 결정요인이 기온, 소득, 난방용 연료 요금 등임을 밝히고 있다.

해외에서도 가구의 에너지 소비 효율에 대한 분석이 존재하는데 주로 효율에 영향을 미치는 요인에 대한 분석이 많았다. Jones and Lomas(2015)에 따르면 주택 면적과 자녀 유무가 가구의 전력소비량과 효율이 달라진다고 하였다. Nair *et al.*(2010)은 스웨덴의 주택에너지 소비를 분석하였는데, 소득 변화가 가구의 에너지 소비 효율에 유의한 영향을 주며 그 형태는 비선형적이라는 결과를 제시하였다. Meier and Rehdanz(2010)은 영국의 5,000가구를 대상으로 난방 지출비용의 결정요인을 분석하였고, Rehdanz(2007)은 독일의 12,000가구에 대해 난방 및 온수의 지출비용을 분석하였는데 주택 소유 여부, 연료 가격 등이 주요 요인임을 보였다.

### Ⅲ. 분석 자료 및 난방용 에너지 소비량 추정

#### 1. 가구에너지상설표본조사 자료

현재 국내 가정의 에너지 소비에 관한 정보를 포함하는 통계는 ‘에너지밸런스’, ‘에너지총조사’, ‘가구에너지상설표본조사’ 등이 있다. 이 중 가구에너지상설표본조사 자료는 에너지 소비량과 함께 가구의 주요 인구적·물리적 특징까지 조사하고 있어 에너지 소비 효율 분석이라는 본 연구의 목적에 가장 부합한다.<sup>1)</sup>

본 연구에서는 2015년과 2016년 가구의 에너지 소비를 조사한 2016년과 2017년의 가구에너지상설표본조사 자료를 이용하였다. 표본조사 자료에는 구체적으로 월별 에너지 소비 행태, 주택 특성 및 가구 특성이 포함되어 있다. 에너지 소비에 관한 내용은 매월 연료원별 사용량이 포함된다. 월별 소비량이 제공되기 때문에 동계 기간의 난방용 소비량을 분석할 수 있다. 주택 특성과 가구 특성에는 주택 형태, 주택 방향, 건축 연도, 주택 면적, 가구원 수, 고령가구 유무, 가구 소득 등에 관한 정보가 해당 자료에 포함되어 있다. <표 1>은 본 연구에서 이용하고 있는 가구에너지상설표본조사 자료를 요약한 것이다.

가구에너지상설표본조사 자료에서 가구는 총 9개의 연료가 난방용 에너지 소비에 이용하고 있다. 본 연구에서는 이 중 대표적인 난방연료인 지역난방, 도시가스, 등유, 심야전력 사용 가구만을 대상으로 하여 2015~2016년 총 4,195가구에 대한 분석을 진행하였다.

1) 에너지 밸런스는 공급자의 판매 정보에 근거하고 있기에 소비량으로 보기 어렵고, 에너지총 조사는 상업 부문의 소비 정보가 가정 부문에 일부 포함되어 있는 문제가 있다.

&lt;표 1&gt; 가구에너지상설표본조사 자료 변수 요약

주요 변수		변수 설명	단위
에너지 소비 형태	주 난방연료	주 난방연료원 (지역난방, 도시가스, 등유, 심야전력)	-
	보조 난방방식	보조 난방방식 사용 유무(가변수)	-
	주 취사연료	주 취사연료원 (연탄, 석유, 프로판, 도시가스, 전력, 기타)	-
	월별 에너지 소비량	각 월별 에너지 소비량 (도시가스, 열에너지)	Mcal
주택 특성	주택 종류	주택 형태(유형) (단독, 연립/다세대, 아파트, 기타)	-
	주택 방향	주택의 정면 방향 (동, 서, 남, 북, 남동, 남서, 북동, 북서)	-
	건축 연도	주택의 건축 연도 (1970년 이전, 1970년대, 1980년대, 1990년대, 2000년대, 2010년 이후)	-
	주택 면적	주택의 공급 면적	평
	주택 위치	도시 위치에 대한 가변수 (특별시, 광역시 및 도)	-
가구 특성	가구 총소득	가구 구성원의 소득 합계	만 원
	가구원 수	가구 구성원의 수	명
	만 65세 이상 가구원 수	만 65세 이상 가구원의 수	명
	가구주 교육수준	가구주의 교육 정도 (중졸 이하, 고졸, 대졸, 대학원 이상)	-
	가구원 구성	가구원의 구성 정보 (1인, 부부, 부부+자녀, 부부+자녀+부모)	-

## 2. 가구의 난방 에너지 소비량 추정

본 연구는 난방 수요가 발생하는 기간을 1년 중에서 11월, 12월, 1월, 2월, 3월로 보고 해당 월의 에너지 소비량에서 난방용에만 이용된 에너지 소비량을 추정하였다. 본 연구에서는 신동현 외(2019)의 기법에 기반하여 난방용 에너지 소비량을 도출하였다. 신동현 외(2019)에서는 ‘평균차감방식’과 ‘추정차감방식’을 적용하여 취사용 에너지 소비량과 난방용 에너지 소비량을 구분하였다.



구체적으로 난방용 에너지와 취사용 에너지가 다른 가구는 난방용에 이용되는 에너지 소비 전체를 난방 에너지 소비량으로 볼 수 있다. 반면 난방용과 취사용의 에너지 같은 가구는 ‘평균차감방식’ 및 ‘추정차감방식’을 통해 난방 에너지 소비량을 계산하였다(신동현 외, 2019). ‘평균차감방식’은 난방 수요가 발생하지 않는 여름 동안 발생한 월별 취사용 에너지 소비량의 평균을 차감하는 방식이다. ‘추정차감방식’은 가구원 수, 소득, 보조 취사연료 등을 이용하여 취사용 에너지 소비량을 회귀분석하여 추정값을 도출한 후 차감하는 방식이다. 두 방법의 결과는 매우 유사하여 난방에너지 소비 추정 결과의 강건성(robustness)을 확인할 수 있다. 이후 분석 결과는 평균차감방식으로 도출한 결과를 활용하였다.<sup>2)</sup>

<표 2>는 2015~2016년 동계 기간 동안 지역난방, 도시가스, 등유, 심야전력의 난방용 소비량을 평균차분방식으로 도출하여 계산한 후 주요 통계량을 정리한 것이다. 본 연구의 분석 대상 중 63%의 가구가 도시가스를 주 난방에너지원으로 선택하였다. 이에 비해 등유는 23%, 지역난방은 9% 수준으로 사용 비중이 작았다. 분석 대상 가구의 경우 동계 기간 중 월 평균 1,094Mcal 정도의 난방에너지를 소비하고 있었다. 특징적으로 에너지원에 따른 평균적인 난방에너지 소비량의 차이는 크지 않았다. 다만, 심야전력의 경우 평균 소비량이 1,612Mcal로 타 에너지원에 비해 상당히 높은 모습을 보였다.

<표 2> 연도별 동계 난방용 에너지 소비량 비교

통계량	난방용 에너지 소비량(Mcal)				
	지역난방	도시가스	등유	심야전력	평균
평균	1,091	1,039	1,144	1,612	<b>1,094</b>
중위값	1,069	990	1,055	1,675	<b>1,026</b>
최댓값	3,484	4,488	3,516	4,325	<b>4,488</b>
최솟값	10	3	229	24	<b>3</b>
표준편차	571	565	548	979	<b>600</b>
가구 수	387	2,656	956	196	<b>4,195</b>

주: 동계 기간(1, 2, 3, 11, 12월)의 난방용 에너지 소비량 합계이다.

2) 추정차감방식으로 동일한 분석을 진행한 경우에도 유사한 결과가 도출됨을 확인하였다.

&lt;표 3&gt; 연도별 판매단가 및 월평균 지출비용 비교

난방연료	판매단가(원/Mcal)	월평균 지출비용(원)
지역난방	95.3	101,083
도시가스	94.0	94,983
등유	97.2	114,261
심야전력	93.5	143,951
평균	<b>94.8</b>	<b>102,227</b>

주: 연도별 판매가격은 12월 기준이다.

<표 3>은 난방연료의 판매단가 및 평균 난방비 지출액을 정리한 결과이다. 판매단가는 지역별·공급자별로 구분하여 평균한 값으로 1Mcal 사용시 지불해야 하는 사용량 요금이다. 2015~2016년 국제유가 하락으로 2016년 12월 기준 2015년 12월 기준 대비 도시가스와 등유의 요금이 하락하였고, 도시가스 판매 요금 변화에 연동하는 지역난방 요금도 같이 하락하였다. 이에 따라 평균적인 판매단가는 에너지원별로 상당히 유사한 모습을 보인다. 다만 심야전력의 경우 93원/Mcal로 타 에너지원에 비해 가장 저렴했으며, 등유는 97원/Mcal로 상대적으로 가격이 높았다.

난방에너지 소비량과 가격을 곱하여 계산한 지출비용의 경우, 심야전력의 지출비용이 가장 많았으며, 등유가 그 다음으로 지출비용이 많았다. 이 두 에너지원의 경우 지역난방 및 도시가스에 비해 소비량이 더 많았기 때문에 지출비용 역시 높게 나타나는 것으로 보인다. 난방 지출비용이 가장 적은 에너지원은 도시가스로 나타났으며, 지역난방 역시 도시가스와 큰 차이를 보이지 않았다.

## IV. 분석모형 및 실증분석 결과

### 1. 분석모형

단순히 에너지원별 소비량 및 지출비용의 격차만을 통해서는 에너지원별 기술적 효율성 수준을 도출하기 어렵다. 이에 따라 본 연구에서는 Huang *et al.*(2014)에 기반하여 다음과 같은 회귀식을 구축하여 메타확률경계를 추정하였으며, 이를

바탕으로 각 가구의 효율성 정도를 측정하였다.

1단계 분석에서는 주 난방에너지원별로 경계를 추정하여 그룹 내 비효율성 정도를 측정한다. 그룹 내 경계에 영향을 미치는 요인으로는 크게 주택 특성과 가구 특성 및 연도·지역 가변수를 활용하였다. 본 모형에 활용한 변수들은 선행연구를 바탕으로 선정하였다. 이후 2단계 분석에서는 1단계에서 도출한 그룹별 경계를 바탕으로 메타확률경계를 추정하였다.

[1단계]

$$\ln(Y_{j,i}) = \ln f^j(X_{j,i}) + v_{j,i} + u_{j,i} \text{ for all } j$$

( $j$ =지역난방, 도시가스, 등유, 심야전력) (5)

$$X_{j,i} = (HT_{j,i}, HF_{j,i}, HBD_{j,i}, \ln(HS_{j,i}), SHT_{j,i},$$

$$\ln(HI_{j,i}), \ln(SP_{j,i}), \ln(HN_{j,i}), HO_{j,i}, HE_{j,i}, HC_{j,i}, (YR_{j,i} \times CITY_{j,i}))'$$

$$v_{j,i} \sim Normal(0, \sigma_v^2), \quad u_{j,i} \sim Half\ Normal(0, \sigma_u^2)$$

[2단계]

$$\ln \hat{f}^j(X_{j,i}) = \ln f^M(X_{j,i}) + v_{j,i}^M + u_{j,i}^M \quad (6)$$

$$v_{j,i}^M \sim Normal(0, \sigma_{v^M}^2), \quad u_{j,i}^M \sim Half\ Normal(0, \sigma_{u^M}^2)$$

여기서 1단계의 종속변수인  $Y_{j,i}$ 는  $j$  난방연료를 이용하는 가구  $i$ 의 난방에너지 소비량을 의미한다. 경계를 결정하는 영향요인으로는 주택 특성과 가구 특성을 활용하였다. 주택 특성과 관련된 변수로는  $HT$ (주택 종류, 아파트면 1의 값을 갖는 가변수),  $HF$ (주택 방향, 남향이면 1의 값을 갖는 가변수),  $HBD$ (건축 연도, 2000년 이후 건축시 1의 값을 갖는 가변수),  $HS$ (주택 면적, 주택의 크기) 및  $SHT$ (보조 난방, 보조 난방 사용시 1의 값을 갖는 가변수)를 반영하였다. 또한 가구 특성과 관련된 변수로는  $HI$ (가구 총소득),  $SP$ (연료가격),  $HN$ (가구원 수),  $HO$ (65세 이상 가구원 비중),  $HE$ (가구주 교육수준) 및  $HC$ (자녀 포함 가구, 자녀가 포함된 가구의 경우 1의 값을 갖는 가변수)를 활용하였다. 이외에도 조사시점 및 거주지역을 반영하기 위해  $YR$ (연도, 2016년의 경우 1의 값을 갖는 가변수)과  $CITY$ (도시, 16개 지자체에 대한 가변수)의 값을 모형 내에 추가하였다.<sup>3)</sup>

3) 일반적으로 산업 및 상업 부문의 에너지 효율 측정을 위해서는 거리함수(input distance function)를 이용하거나, 투입물필요함수(input requirement function)을 이용하는 등 생산함

각 변수에 대한 기초통계량은 <표 4>와 같다. 기초통계량을 확인해 보면 지역난방 및 도시가스는 비교적 유사한 특성을 보였으나, 등유 및 심야전력 사용 가구는 이들과 상이한 특성을 보이고 있다. 주택 종류 측면에서 지역난방은 거의 모든 가구가 아파트에 해당한 반면, 심야전력의 경우 모든 가구가 비아파트(단독주택 및 연립주택 등)에 거주했다. 가구 소득 측면에서도 지역난방 사용 가구의 평균 소득은 등유 사용 가구의 약 2배 수준이었다. 이외에도 65세 이상 가구 비중, 가구주 교육수준 등 연료원별로 상이한 특성이 관찰된다.

<표 4> 난방에너지 영향요인의 기초통계량

변수명		지역난방		도시가스		등유		심야전력	
		평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
주택 특성	주택 종류 (아파트=1)	0.99	0.09	0.59	0.49	0.02	0.14	0	0
	주택 방향 (남향=1)	0.67	0.47	0.64	0.48	0.59	0.49	0.51	0.50
	건축 연도 (2000년 이후=1)	0.58	0.49	0.38	0.49	0.14	0.35	0.31	0.46
	주택 면적	30.32	10.12	26.46	8.41	23.76	8.61	28.03	9.65
	보조 난방 사용 여부(사용=1)	0.59	0.49	0.69	0.46	0.90	0.30	0.71	0.46
가구 특성	가구 총소득	5,420	2,240	4,175	1,997	2,739	1,684	3,100	2,101
	연료가격	95.29	14.52	93.95	17.51	97.24	30.17	93.46	13.32
	가구원 수	3.38	1.06	3.20	1.17	2.51	1.25	2.49	1.38
	만 65세 이상 가구원 비중(%)	10.90	28.08	15.05	32.77	43.78	45.30	43.20	44.89
	가구주 교육수준	0.76	0.43	0.48	0.50	0.19	0.39	0.24	0.43
	자녀 포함 가구	0.78	0.42	0.67	0.47	0.35	0.48	0.33	0.47

수(production function)를 기반으로 모형을 구축한다. 하지만 가정 부분의 경우 생산함수를 설정하기 어렵기 때문에 많은 연구들에서 가정 부문 에너지 수요에 영향을 미치는 여러 요인들을 설명변수로 활용하는 투입물수요함수(input demand function)를 이용한다(Filippini and Hunt, 2011; Filippini *et al.*, 2014).

## 2. 에너지원별 난방소비함수 추정 결과

<표 5>는 추정된 에너지원별 난방 소비량을 바탕으로 주택 특성, 가구 특성 관련 변수를 활용하여 에너지원별 난방 효율성을 추정한 결과이다. 이때 난방에너지원별로 특성이 다르기 때문에 본 연구에서는 메타확률경계 분석을 적용하여 모형을 추정하였다. <표 5>의 좌측 4개 열은 각 에너지원별 1단계 추정 결과를 의미하며, 우측 1개 열은 2단계 추정 결과를 의미한다.

<표 5> 가구의 난방소비함수 추정 결과(1단계 및 2단계)

설명변수		1단계				2단계
		지역난방	도시가스	등유	심야전력	
주택 특성	주택 종류 (아파트=1)	0.817***	-0.144***	-0.085	-	-0.061***
	주택 방향 (남향=1)	-0.047	-0.053**	0.027	-0.097***	-0.030***
	건축 연도	0.018	-0.043*	0.028	0.176***	0.022***
	주택 면적	0.431***	0.293***	0.120***	0.071	0.239***
	보조 난방 사용 여부 (사용=1)	-0.087*	-0.046**	0.028	-0.222**	-0.071***
가구 특성	가구 총소득	-0.086	0.208***	0.079*	-0.249***	0.148***
	연료가격	-0.103	-0.161***	-0.155*	0.237***	-0.163***
	가구원 수	0.123	0.067	0.161***	0.306*	0.107**
	만 65세 이상 가구원 비중	0.188*	-0.080*	0.028	-0.135***	-0.036***
	가구주 교육수준	-0.019	0.031	-0.009	-0.267***	0.022***
	자녀 포함 가구	0.083	0.026	-0.052	-0.363	0.002
연도 및 지역	연도×지역 가변수	0	0	0	0	0
가구 수		387	2,656	956	196	4,195

주: 1) '\*\*\*'는 1% 유의수준, '\*\*'는 5% 유의수준, '\*'는 10% 유의수준을 의미하고, 상수항의 추정 결과는 생략하였다.

2) robust standard error를 적용한 결과이다.

먼저 1단계 추정 결과 중 관측치 수가 가장 많은 도시가스를 기준으로 보면, 주택 특성과 관련된 변수는 모두 난방 소비량에 유의적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 아파트에 거주하거나, 주택의 방향이 남향인 경우, 신식 주택일 때 난방 소비량은 감소하였다. 일반적으로 아파트 및 신식 주택일수록 에너지 효율성이 더 높기 때문에 난방 소비량을 감소시키는 효과가 존재하는 것으로 예상된다. 반면, 주택 면적이 넓어질수록 동계 난방 소비량은 유의적으로 증가하였다.

가구 특성과 관련된 변수의 경우 소득 및 연료가격이 유의적인 영향을 미쳤다. 가구 소득의 1% 증가는 0.2%의 난방 소비로 이어졌다. 반면 연료가격의 1% 증가는 0.16%의 난방 소비 감소를 야기했다. 이러한 추정 결과는 가구별 난방 소비가 소득 및 연료가격에 따라 상당한 영향을 받음을 의미한다. 다만 이러한 효과는 에너지원에 따라 일부 다른 모습으로 나타났다. 아파트 가변수의 경우, 지역 난방은 오히려 양의 효과로 나타났다. 이는 지역난방 사용자의 약 99%가 아파트에 거주하고 있기 때문에 발생하는 효과로 보인다. 반면 주택 면적의 증가는 심야전력을 제외한 모든 에너지원의 난방 소비를 증가시키는 것으로 나타났으며, 연료가격 역시 심야전력을 제외하고 음의 효과를 미치는 것으로 나타났다.

<표 5>의 마지막 열은 2단계 기술격차에 대한 추정 결과이다. 자녀 포함 가변수를 제외한 모든 설명변수들이 통계적 유의성을 확보하였으며, 선행연구 및 직관과 부합하는 방향성을 보였다.

### 3. 에너지원별 난방 소비의 기술적 효율성 비교

다음 <표 6>은 메타확률경계 분석을 통해 도출한 에너지원별 효율성 수준을 보여준다. 효율성 수준은 0과 1 사이에 제약되어 있으며, 값이 클수록 기술적 효

<표 6> 난방 에너지원별 기술적 효율성

	지역난방	도시가스	등유	심야전력
TE (그룹 내 효율성)	0.91	0.92	0.96	0.91
TGR (기술격차, 그룹 자체의 효율성)	0.97	0.98	0.98	0.93
MTE (메타 기술적 효율성)	0.89	0.89	0.94	0.84

효율이 더 높음을 의미한다. 메타 효율성 측면에서 보면, 등유의 효율성이 0.94로 가장 높았으며, 지역난방 및 도시가스는 0.89로 유사하게 나타났다. 반면 심야전력의 경우 0.84로 타 에너지원에 비해 낮은 효율성을 보였다.

메타 기술적 효율성을 그룹 내 효율성과 기술격차로 구분하여 살펴보면, 그룹 내 효율성은 등유가 가장 높게 나타났으며, 나머지 에너지원들은 유사한 수준으로 나타났다. 등유의 그룹 내 효율성 수준이 높게 나타난 것은 등유를 사용하는 대부분의 가구들이 유사하게 효율적인 수준으로 에너지를 사용하고 있음을 의미한다. 반면 타 에너지원의 경우 가구에 따라 그룹 내 효율성 수준의 차이가 존재했으며, 표준편차 역시 등유에 비해 더 컸다. 이는 등유를 제외한 나머지 난방에너지를 이용하는 가구들에서 가구마다의 소비패턴 차이가 상당히 존재했음을 의미한다.

반면 기술격차는 심야전력을 제외한 나머지 난방에너지원들이 0.97~0.98로 유사한 수준을 보였다. 이는 이들 에너지원들의 경우 메타확률경계와 비교할 때 개별 에너지원들의 경계의 차이가 크지 않음을 의미한다. 이에 비해 심야전력의 경우 그룹 자체의 효율성이 0.93으로 타 에너지원들에 비해 확연히 낮은 모습을 보이고 있다.

그렇다면 난방 효율성이 경계수준으로 개선될 경우 각 에너지원별 난방 소비량 및 지출비용은 어떻게 변할까? <표 7>은 각 가구별로 메타 기술적 효율성이 1로 개선된 경우의 월평균 난방 소비량 및 지출비용을 에너지원별 기준으로 정리한 표이다. 난방 효율성이 개선된 경우 에너지 소비량은 평균적으로 7.8%, 난방 지출액은 8.4% 감소한 모습을 보였다.<sup>4)</sup>

독특한 부분은 최적효율 수준 달성시 지역난방의 월평균 난방 지출비용이 도시가스에 비해 감소하는 현상이 발견된다는 점이다. 효율 개선을 가정했을 때 도시가스의 지출비용은 8.2% 감소하였으나, 지역난방의 경우 16% 감소하여 가장 높은 감소율을 보였다. 이에 따라 도시가스 대비 월평균 6,000원가량 더 비쌌던 지역난방은 효율 개선에 따라 오히려 약 2,000원가량 더 저렴해진다. 이러한 차이는 지역난방이 채택하고 있는 요금구조의 차이 및 소비구조에 기인한 것으로 보인다. 지역난방의 경우 판매단가 측면에서는 도시가스에 비해 비싸지만, 사용요금 측면에서는 도시가스에 비해 1Mcal당 약 5원가량 저렴하다. 또한 소비량 측면에

4) 에너지 소비량 감소폭과 난방 지출액 감소폭이 다른 이유는, 도시가스, 지역난방의 경우 난방비가 기본요금과 사용요금으로 구분되기 때문이다. 도시가스는 정액 기본요금을 부과하며, 지역난방은 주택면적에 따른 기본요금을 부과한다.

&lt;표 7&gt; 최적효율 수준에서의 월평균 난방 소비량 및 지출비용

난방연료	월평균 난방 소비량(Mcal)	월평균 난방 지출비용(원)	기존 대비 난방 지출비용 감소율(%)
지역난방	994	84,912	-16.0
도시가스	953	87,156	-8.2
등 유	1,085	108,334	-5.2
심야전력	1,414	126,284	-12.3
평 균	1,008	93,603	-8.4

주: 최적효율 달성(메타 기술적 효율성=1)을 가정한 경우의 소비량을 이용.

서도 도시가스 난방에 비해 더 많은 양을 소비한다. 이에 따라 난방에너지 효율성이 개선될 경우, 지역난방의 소비량 감소폭이 상대적으로 더 크고, 이는 곧 지출액 감소로 이어질 수 있다. 실제 효율 개선에 따른 지역난방의 에너지 소비량 감소는 약 8.9%로 도시가스 8.3%에 비해 감소폭이 더 컸다.

## V. 결론 및 시사점

지금까지 본 연구는 2015~2016년 4,195개 가구의 에너지 소비 행태에 관한 가구에너지상설표본조사 자료를 이용하여 국내 주택용 난방에너지 소비의 효율성을 실증분석하였다. 본 연구는 난방용 에너지 소비량을 에너지원별로 추정하고, 난방 소비의 가구 의사결정을 고려한 기술적 효율성을 측정하였다. 이때 에너지원별 특징을 고려하기 위하여 메타확률경계모형을 적용하였다. 이를 통해서 기술적 효율성 측면에서 지역난방, 도시가스, 등유 및 심야전력의 효율성 수준을 비교하고 시사점을 도출하고자 하였다. 여기서 에너지원별로 분석이 중요한 이유는 가구가 난방용으로 이용하는 에너지는 그 종류에 따라 공급 형태는 물론 요금체계, 관련 정책 및 제도가 매우 이질적이기 때문에, 에너지원별 분석을 통한 맞춤형 정책 수립이 에너지 소비 효율 개선에 필요하기 때문이다.

추정된 난방 소비량에 대해 메타확률경계모형을 적용하여 에너지원별로 경제적 효율성을 비교한 결과 등유의 효율성이 0.94로 가장 높았으며, 뒤이어 지역난방 및 도시가스가 0.89로 나타났고, 심야전력은 0.84로 가장 낮게 나타났다. 이를



바탕으로 효율성 개선의 효과를 살펴보면, 가구 평균 8.4%의 난방 지출비용 감소를 확인할 수 있었다. 특히 지역난방의 경우 기존 대비 16%의 감소율을 보여 타 에너지원에 비해 효율 개선에 따른 효과가 클 수 있음을 확인하였다.

본 연구의 분석 결과를 통해 효율 개선으로 인한 효과가 지역난방에서 높다는 사실을 확인할 수 있었다. 열병합 발전과 미활용 열을 활용하여 공급 효율이 높은 지역난방 사업이 소비 효율 관점에서 확대 보급할 수 있는 근거를 확보할 수 있다. 또한 에너지 복지정책의 하나로 취약계층에 난방비용 지원제도 및 효율성 개선정책을 강화해야 한다는 의견이 제시되고 있다. 본 연구는 이러한 복지정책에 앞서 효율성 개선을 통한 비용감소 효과를 예상해 볼 수 있는 기반을 제공하며, 효율성 개선이 이루어질 경우 어떤 에너지원의 비용 감소폭이 큰지를 확인할 수 있었다. 이는 향후 복지정책 효과 분석에 중요한 연구 자료로 활용될 수 있다.

본 연구는 용도별 에너지 소비에 관한 자료가 없는 상황에서 난방용 에너지 소비량을 에너지원별로 추정하여 기술적 효율성을 비교하고 효율성 개선에 따른 비용 감소 시나리오를 검토했다는 점에서 의의가 있다. 그러나 난방 지출비용에 중요한 결정요인으로 생각되는 보조 난방 사용량과 지출비용을 엄밀하게 반영하지 못하였다는 한계가 존재한다. 비록 보조 난방 사용 유무는 결정요인으로 고려하였으나 정확한 보조 난방의 사용으로 인한 비용까지는 반영할 수 없었다. 등유를 사용하는 가구의 약 89%가 보조 난방을 사용하는 것으로 나타났는데, 이 경우 등유 소비량만의 고려하여 난방 소비 효율을 추정하는 것은 한계가 존재한다. 향후 보조 난방 사용에 대한 정확한 정보가 수집되고, 나아가 용도별·에너지원별 통계가 확보된다면 더 정확한 난방 소비의 효율성을 도출할 수 있을 것이다. 이러한 점은 이후 연구에서 개선되기를 기대한다.

## 부록

### 난방에너지 추정 방법(신동현 외, 2019)

본 연구에서는 가구의 에너지 소비량은 난방용 에너지 소비량과 취사용 에너지 소비량의 합이라고 가정하였다. 가구에너지상설표본조사에는 주 난방연료원 및 주 취사연료원에 대한 자료가 제공되기 때문에 이를 바탕으로 다음과 같이 구분하였다.

#### (1) 주 난방연료와 주 취사연료가 다른 가구

해당 가구가 응답한 주 난방연료와 주 취사연료가 다른 경우 주 난방연료 전부를 난방용 에너지로 간주할 수 있다. 즉, 주 난방연료로 등유, 지역난방, 심야전력을 사용하는 가구의 경우 동계 기간의 해당 에너지 소비량이 곧 난방용 에너지 소비량이다.

#### (2) 주 난방연료와 주 취사연료가 동일한 경우

주 난방연료로 도시가스를 사용하는 가구의 경우 주 취사연료 역시 동일한 연료원을 이용하기 때문에 난방용 에너지 소비와 취사용 에너지 소비가 구분되지 않는다. 본 연구에서는 다음의 2가지 방법으로 해당 에너지원 중 취사용 에너지 소비량과 난방용 에너지 소비량을 분리하였다.

##### ① 평균차감방식

도시가스를 취사용으로만 사용하는 가구 자료를 바탕으로 가구원 수별 평균적인 취사용 에너지 소비량을 추출한 후 이를 일반적인 취사용 에너지 소비량으로 간주한다. 이후 주 난방연료가 도시가스인 가구의 해당 연료원 전체 사용량 중에서 평균적인 취사용 에너지 소비량을 차감하여 계산하였다.

##### ② 추정차감방식

해당 연료를 취사용으로만 사용하는 가구 자료를 바탕으로 취사용 에너지 소

비량을 추정하고, 해당 연료원의 전체 사용량 중에서 추정된 취사용 에너지 소비량을 차감하여 난방용 에너지 소비량을 계산하였다.

취사용 에너지 소비량을 추정하기 위해 다음 식 (A-1) 형태의 회귀식을 활용하였다.

$$E_{i,j} = \alpha + \beta_1 R_{i,j} + \beta_2 S_{i,j} + \beta_3 Y_{i,j} + \beta_4 D_{i,j}^a + \beta_5 T_{i,j} + \epsilon_{i,j} \quad (\text{A-1})$$

여기서  $j$ 는 주 취사연료를 나타내며 도시가스이다.  $i$ 는 주 난방연료로 도시가스를 사용하지 않는 가구를 의미한다.  $E$ 는 도시가스 소비량,  $R$ 은 가구원 수,  $Y$ 는 가구 소득,  $D^a$ 는 보조 취사 사용을 나타내는 가변수,  $T$ 는 기온을 의미한다. 보조 취사 사용 가변수와 기온을 제외한 변수들은 모두 로그값으로 활용했다.

## 참 고 문 헌

- 김지효·남수현, “가정 부문 전력사용 효율성 실증 연구: 가구에너지 소비 상설표본조사자료 분석,” 수시연구 보고서 16-12, 에너지경제연구원, 2016.
- 노승철·이희연, “가정 부문의 주거·교통 에너지 소비구조 분석에 관한 연구,” 『지역연구』 29(2), 2013, 47~67.
- 노정녀, “가정 구성원 특성과 가전제품 사용에 따른 가정용 전력 수요의 예측,” 『한국경제연구』 32(2), 2014, 177~202.
- 신동현, “국내 도시 가구 전력소비효율의 결정요인 분석,” 『에너지경제연구』 17(2), 2018, 147~181.
- 신동현·임형우·조하현, “확률경계모형(SFA)을 이용한 국내 주택용 난방에너지 소비효율 비교 분석,” 『한국경제연구』 37(2), 2019, 151~185.
- 안영수·김기중·이승일, “서울시 주택의 규모와 종류, 건축연도별 특성이 에너지 소비량의 차이에 미치는 영향 실증 연구,” 『국토계획』, 49(3), 2014, 175~194.
- 이성근, “가정부문 용도별 에너지 소비량 및 소급추정에 관한 연구,” 기본연구 보고서 10-05, 에너지경제연구원, 2010.
- 이성근·이성인, “국가 에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선방안 연구: 가정·상업 부문의 에너지효율 평가,” 기본연구 보고서 08-10, 에너지경제연구원, 2008.
- 오현영, “가구당 지역난방열 소비량의 변화요인 분석,” 수시연구 보고서 13-18, 에너지경제연구원, 2013.
- Aigner, D., C. K. Lovell, and P. Schmidt, “Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models,” *Journal of Econometrics*, 6(1), 1977, 21~37.
- Battese, G. E., D. P. Rao, and C. J. O'donnell, “A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating under Different Technologies,” *Journal of Productivity Analysis*, 21(1), 2004, 91~103.
- Filippini, M. and L. C. Hunt, “Energy Demand and Energy Efficiency in the OECD Countries: A Stochastic Demand Frontier Approach,” *The Energy*

- Journal*, 32(2), 2010, 59~80.
- \_\_\_\_\_, “US Residential Energy Demand and Energy Efficiency: A Stochastic Demand Frontier Approach,” *Energy Economics*, 34(5), 2011, 1484~1491.
- Filippini, M., L. C. Hunt, and J. Zorić, “Impact of Energy Policy Instruments on the Estimated Level of Underlying Energy Efficiency in the EU Residential Sector,” *Energy Policy*, 69, 2014, 73~81.
- Hass, R., “Energy Efficiency Indicators in the Residential Sector: What Do We Know and What Has to be Ensured?” *Energy Policy*, 25(7-9), 1997, 789~802.
- Huang, C. J., T. H. Huang, and N. H. Liu, “A New Approach to Estimating the Metafrontier Production Function Based on a Stochastic Frontier Framework,” *Journal of Productivity Analysis*, 42(3), 2014, 241~254.
- Jondrow, J., C. K. Lovell, I. S. Materov, and P. Schmidt, “On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model,” *Journal of Econometrics*, 19(2-3), 1982, 233~238.
- Jones, R. V. and K. J. Lomas, “Determinants of High Electrical Energy Demand in UK Homes: Socio-economic and Dwelling Characteristics,” *Energy and Buildings*, 101, 2015, 24~34.
- Mardani, A., E. K. Zavadskas, D. Streimikiene, A. Jusoh, and M. Khoshnoudi, “A Comprehensive Review of Data Envelopment Analysis(DEA) Approach in Energy Efficiency,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 2017, 1298~1322.
- Meeusen, W. and J. van den Broeck, “Technical Efficiency and Dimension of the Firm: Some Results on the Use of Frontier Production Functions,” *Empirical Economics*, 2(2), 1977, 109~122.
- Meier, H. and K. Rehdanz, “Determinants of Residential Space Heating Expenditures in Great Britain,” *Energy Economics*, 32(5), 2010, 949~959.
- Nair, G., L. Gustavsson, and K. Mahapatra, “Factors Influencing Energy Efficiency Investments in Existing Swedish Residential Buildings,” *Energy Policy*, 38(6), 2010, 2956~2963.
- Rehdanz, K., “Determinants of Residential Space Heating Expenditures in Germany,” *Energy Economics*, 29(2), 2007, 167~182.

[Abstract]

## Analysis of Heating Efficiency of Individual Households Using Meta Stochastic Frontier Model

Donghyun Shin\* · Ha-Hyun Jo\*\* · Hyungwoo Lim\*\*\*

This study estimated the meta technical efficiency of heating consumption from 4 different energy sources. We used 4,195 domestic households data from 2015 to 2016 which are using urban gas, district heating, kerosene and late-night power as main heating fuel. In order to estimate technical efficiency, the meta stochastic frontier model was used. According to the empirical result, kerosene had the highest heating efficiency, followed by district heating and city gas. Late-night electricity had the lowest efficiency level. Further, we calculated the reduction rate of heating expenditure due to efficiency improvement, and confirmed that the average reduction of 8.4% for households was possible. In particular, in the case of district heating, the reduction rate was 16%, which is the largest among energy sources. These results provide a basis for comparing the level of heating efficiency by energy source while also examining the expected effects of efficiency improvement policies that have recently been implemented as part of the energy welfare policy.

Keywords: heating energy, meta stochastic frontier model, heating efficiency, meta technical efficiency, heating expenditure

JEL Classification: Q40, Q48

---

\* First Author, KEEI researcher, Tel: +82-52-714-2094, E-mail: dhshin@keei.re.kr

\*\* Co-author, Yonsei university, Department of Economics, Tel: +82-2-2123-2484, E-mail: hahyunjo@hanmail.net

\*\*\* Corresponding Author, Yonsei University, Department of Economics, Tel: +82-2-2123-2484, E-mail: hyungwoo.lim0206@gmail.com