

확률경계모형(SFA)을 이용한 국내 주택용 난방에너지 소비효율 비교 분석

신동현* · 임형우** · 조하현***

본 연구는 2015년 국내 2,325가구를 대상으로 에너지 소비 실태를 조사한 ‘가구에너지 상설표본조사’ 자료를 바탕으로 연료원별 난방용 에너지의 효율성을 비교 분석하였다. 전체 에너지 소비량 중 난방용 에너지 소비량 자료를 추출하여 확률경계모형(Stochastic Frontier Analysis)을 이용해 분석한 결과, 자료 처리 과정에서 문제가 존재했던 연탄 및 프로판을 제외하면 열에너지의 효율성이 가장 높았으며, 중질중유, 도시가스, 등유 순서로 효율성이 감소하였다. 이러한 효율성의 격차는 연료원별 차이뿐 아니라 주택 종류, 건축 연도, 주택 면적, 주택 소유 형태, 도시 규모, 소득 수준, 가구원 수 및 가구주 연령 등 다양한 요인에 영향을 받는 것으로 나타났다. 평균적으로는 중질중유, 열에너지, 도시가스의 난방에너지 효율이 높았으며, 이는 향후 국가 에너지시스템의 공급효율 개선과 에너지 소비효율 향상 측면에서 열에너지 및 도시가스 보급을 확대할 필요성이 있음을 시사한다.

핵심주제어: 난방수요, 에너지 소비효율, 열에너지, 도시가스, 확률경계모형(SFA)
경제학문헌목록 주제분류: Q40

I. 서론

지난 2017년 12월부터 2018년 2월까지 난방수요의 급증으로 아홉 번의 급전지시가 발령되는 등, 난방수요의 변동성 확대로 전체 에너지 수요관리에 어려움을 겪고 있다.¹⁾ 최대 전력소비와 같은 에너지 소비의 변동성 변화는 가정·상업 부문에서 발생하고, 국내 가정 부문의 에너지 소비 중에서 난방용이 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 그러므로 가정 부문 난방용 에너지 소비 변화는 전체 에너

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

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

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

논문투고일: 2019. 2. 22 수정일: 2019. 3. 19 게재확정일: 2019. 5. 8

1) 대표적인 예로서, 작년 겨울에 이미 최대 전력수요는 ‘제8차 전력수급 기본계획’의 8,520만 kW를 초과하였다.

지 소비 변화를 이끄는 가장 중요한 요인이다(신동현, 2018). 이런 점에서 가정 부문 난방용 에너지의 소비효율을 개선한다면 난방수요 급증에 따른 에너지 수요관리의 어려움을 해결하고 에너지 소비의 변동성을 안정화하는 데 크게 도움이 될 것이다.

본 연구는 국내 가정 부문 난방에너지 소비의 효율을 에너지원별로 비교 분석하고, 난방용 에너지 소비효율의 결정요인을 식별하여 난방 소비효율을 개선할 수 있는 시사점을 도출하고자 한다. 난방용 에너지 소비효율은 에너지원의 종류에 따라 계절요인, 난방기기 보급 확대, 소득 증가, 고령화, 주택 형태 등과 같이 다양한 가구의 인구적·물리적 특징에 영향을 받을 것이다. 에너지원별로 에너지 소비효율과 여러 요인과의 상호 관계를 실증적으로 분석하여 에너지원별 소비효율의 결정요인을 구체적으로 밝힐 수 있다면 난방용 에너지 소비효율을 개선하도록 하는 정책수립에 유용한 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

가구의 에너지 소비효율을 측정하는 지표로는 거주면적당 또는 가구원 1명당 에너지 소비량과 같은 원단위 또는 집약도의 개념이 주로 이용된다(이성근·이성인, 2008). 원단위 지표는 효율 변화를 손쉽게 측정하여 분석할 수 있다는 장점이 있으나 에너지를 소비하는 가구의 의사결정이 충분히 반영되지 않는다는 문제점이 있다(김지효·남수현, 2016). 이러한 원단위 지표의 문제를 해결하기 위해서 신동현(2018)은 거주면적당 소비량과 1인당 소비량을 결합하여 원단위 지표를 개선하여 전력 소비효율의 결정요인을 분석하기도 하였다. 또한 에너지 소비효율의 투자 의지 또는 소비효율이 높은 에너지기기의 선호 정도를 에너지 소비효율의 지표로 간주하는 연구들도 존재한다(Davis, 2010; Gillingham *et al.*, 2012; Frederiks *et al.*, 2015; 김창훈·이지연, 2014). 그 외 에너지 소비 주체의 효율 극대화에 따른 최적 에너지 소비의 의사결정 문제를 고려한 효율 개념을 적용하여 에너지 소비효율 지표로 사용할 수 있다. 소비 주체의 효율을 고려한 에너지 소비효율의 개념은 선택 가능한 경제적 에너지효율과 가구의 실제 에너지 소비 효율 간 격차로 이해할 수 있다(Hass, 1997; Filippini and Hunt, 2010, 2011).

가구의 에너지원별 난방 소비가 이루어지는 에너지원별 난방기기는 종류와 용도가 이질적이므로 난방을 위한 에너지원 선택과 소비량 결정에 있어서 가구의 의사결정이 매우 중요하다. 이런 점에서 본 연구는 가구별 환경에 따른 난방용 에너지 소비효율을 분석하였다.

난방용 에너지원별 소비효율의 분석에 앞서, 가구의 에너지원별 난방 소비량을 추정할 필요가 있다. 현재 국내 가정 부문 에너지 소비 자료는 ‘에너지밸런스’,

‘에너지총조사’, ‘가구에너지 상설표본조사’ 등을 통해 확보할 수 있으나, 에너지원 별로 총사용량만을 수집하기 때문에 용도별 사용량은 확인할 수 없다. 따라서 본 연구는 ‘가구에너지 상설표본조사’의 자료에서 제공하는 가구의 에너지원별 총사용량 중 난방용 에너지 소비량을 추출하는 방식을 취하였다.²⁾

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ절에서는 가구의 난방에너지 소비효율과 관련된 선행연구를 소개한다. 제Ⅲ절에서는 확률경계모형(Stochastic Frontier Analysis)의 방법론과 가구의 에너지원별 난방용 소비량을 추정하는 방법을 중심으로 분석 자료를 설명하고, 난방용 에너지 소비량을 도출한다. 제Ⅳ절에서는 가구의 에너지원별 난방 소비효율과 난방 소비효율에 영향을 주는 요인에 관한 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 제Ⅴ절에서는 결론 및 시사점을 도출한다.

Ⅱ. 선행연구

가구의 난방에너지 소비효율을 경제학적 관점에서 분석한 연구는 의외로 부족하다. 이성근·이성인(2008), 신동현(2018) 등은 가정 부문 에너지 소비효율과 결정요인을 통계적으로 분석하였으나 난방용 에너지를 원별로 구분하여 분석한 것이 아니라 전체 전력 소비 또는 총에너지 소비의 효율을 분석대상으로 하고 있다. 더욱이 이들 연구는 에너지 소비효율을 원단위 자료로 정의하였기 때문에 가구의 에너지 소비 관련 의사결정을 충분히 고려하지 않았다는 지적을 피하기 어렵다.

김지효·남수현(2016)은 에너지원별 난방용 소비가 아닌 전체 전력 소비효율을 분석하고 있지만, 확률경계모형을 적용하여 효율 달성을 위한 최적 에너지 소비 측면에서 전력 소비효율을 정의하고 전력 소비효율에 영향을 주는 요인을 분석하였다. 김지효·남수현(2016)에 따르면 국내 가구의 전력 소비효율은 가구원수, 가전기기의 에너지 소비효율 등급, 소득 등에 영향을 받는다.

이윤재 외(2011)는 설문조사를 통해 절약 성향이 연령대, 가구특성, 성별 등의

2) 에너지 밸런스는 공급기관의 판매 자료에 근거하므로 가정의 최종 에너지 소비 자료로 간주하기에는 무리가 있고, 에너지 총조사의 자료는 조사주기가 3년이고, 상업 부문의 에너지 소비가 가정 부문에 일부 포함되는 등의 문제가 있다. 가구에너지 상설표본조사 자료는 1년 주기로 조사되고 가구의 연료원별 소비량과 함께 가구의 인구적·물리적 특징을 조사하고 있다. 이런 점에서 본 연구는 가정 부문 에너지 소비 자료 중에서 연구목적에 가장 부합하는 ‘가구에너지 상설표본조사’의 자료를 이용하였다.

조건에 따라 다르게 나타남을 보였다. 설문조사 결과, 고령층의 절약 성향이 청년층보다 상대적으로 강했으며, 미혼 및 신혼 집단의 에너지 절약 성향이 낮음을 보였다. 다만 남녀의 성별에 따른 에너지 절약 성향의 차이는 유의미하지 않았다.

난방용 에너지 소비효율에 관한 분석이 매우 부족한 가운데, 난방용 에너지 소비효율이 아닌 난방용 에너지 소비에 관한 연구로 범위를 확대하더라도 관련 연구는 소수이다. 이성근(2010), 오현영(2013) 등에서 난방용 에너지 소비의 결정요인으로 기온, 실질소득, 난방용 연료 요금 등을 제시하고 있다.

일부 해외 연구에서는 전력을 중심으로 에너지 소비 효율성에 대한 분석을 진행하였다. Jones and Lomas(2015)는 영국 주택 설문조사 자료를 바탕으로, 주택면적이 클수록 전력 다소비 그룹에 해당하는 비율이 높아짐을 보였으며, 자녀가 포함된 가구에서 전력 소비량이 유의적으로 많아짐을 확인하였다. Nair *et al.* (2010)은 스웨덴 주택의 에너지 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석한 후, 소득 증가가 에너지 효율성에 양의 비선형적인 영향을 미친다는 사실을 밝혔다.

대부분 전력을 사용하는 냉방용 에너지 소비와 달리, 난방용 에너지 소비는 가구별로 난방기기 선택이 달라서 시간 및 물리적 공간에 따라 상이한 에너지원을 소비할 수 있다. 그러므로 난방용 에너지 소비행태에는 가구의 의사결정이 매우 중요하게 작용한다. 이런 점에서 난방용 에너지 소비효율은 원단위 개념으로 측정하기보다 최적 에너지 소비와의 격차 측면에서 고려되는 것이 바람직하다. 경제적 관점에서 가구의 에너지원별 난방 소비효율 관련 연구가 거의 없으므로, 본 연구는 에너지원별 난방 소비의 효율을 추정하고 효율에 영향을 주는 요인을 분석하여 난방용 에너지 소비효율 개선을 위한 시사점을 제시하고자 한다.

본 연구는 크게 두 가지 측면에서 기존 연구와 차별점을 가진다. 첫째, 가구의 총에너지 소비 중 난방용 수요 데이터를 추정하여 생성했다. 국내 가구의 에너지 소비 자료에는 난방수요에 대한 데이터가 아닌 총에너지 수요 데이터만 존재한다. 이에 따라 대부분의 선행연구는 전력, 도시가스 등 특정 연료원만을 대상으로 용도의 구분 없이 분석을 진행하였다(이성근·이성인, 2008; 임기추, 2008; 김지효·남수현, 2016; 신동현, 2018). 하지만 이러한 접근 방식을 통해서만 난방용 에너지 소비효율을 엄밀하게 분석할 수 없다. 또한 전체 에너지 소비량을 난방용 에너지 소비의 대리변수로 간주할 경우, 난방용 에너지 소비에 영향을 미치는 요인에 대한 분석이 어렵다. 난방용 에너지 소비에 영향을 미치는 요인과 전체 에너지 소비에 영향을 미치는 요인이 다르기 때문에 엄밀한 식별이 불가능하다. 그러므로 난방용 에너지 소비량을 정확하게 추출한 후, 난방용 에너지 소비의 효율

성을 분석하는 과정이 이루어져야 한다.³⁾ 본 연구는 난방에너지 소비량을 추정하여, 난방을 위해 사용된 에너지원별 소비량에 대한 소비효율을 측정하고 비교 분석하였기 때문에 식별 문제에서 벗어날 수 있다.

둘째, 추정된 에너지원별 난방수요에 확률경계모형을 적용하여 난방용 에너지 소비효율을 비교 분석하였다. 확률경계모형은 효율성 및 비효율성을 측정하는데 최적화된 방법론이다. 이에 따라, 생산 및 지출 과정에서 발생하는 효율성(비효율성) 등을 측정하기 위해 확률경계모형이 자주 사용되었다. 김지호·남수현(2016)의 연구에서는 확률경계모형을 활용하여 최적 전기사용요금(일종의 frontier)을 설정하고 이와 실제 지출액 사이의 거리를 비효율성으로 추출하여 분석을 진행하였다. 이외에도 철강산업의 기술적 효율성(신현근, 2007), 한국 쌀 농가의 기술 효율성 분석(전웅찬, 2017) 등 다양한 분야에서 효율성 분석에 확률경계모형을 활용하였다. 하지만 국내 난방용 에너지 소비 부문에 확률경계모형을 적용한 사례는 전무하다. 난방의 경우 사용하는 에너지원에 따라 특징이 다르고, 효율성 차이가 크기 때문에 확률경계모형을 이용한 연료원 간의 경제적 효율성 비교 분석이 필요하다.

Ⅲ. 분석방법론 · 자료 및 난방용 에너지 소비 추정

1. 확률경계모형

확률경계모형(Stochastic Frontier Analysis)은 생산함수 혹은 비용함수에서 발생하는 비효율성을 측정하기 위한 방법론으로 Aigner *et al.*(1977) 및 Meeusen and van den Broeck(1977)에 의해 고안되었다. 확률경계모형은 주어진 투입물을 활용하여 최대 생산량의 경계(frontier)를 설정하고, 이에 미치지 못하는 부분 중 일부를 기술적 비효율성으로 판단한다.⁴⁾

본 연구에서는 연료원별 효율성을 비교하는 데 초점을 두었기 때문에, 생산함수 개념을 도입하여 일반적인 난방비용보다 더 적게 지출하는 비용을 경제적 효율성으로 판단하였다. 확률경계모형의 장점은 이처럼 효율성 수준을 계산할 수

3) 만약, 난방수요모형의 적합도가 낮으면 수요모형의 오차가 커져 난방수요의 효율성이 제대로 포착되지 않는 문제가 발생한다.

4) 만약, 비용함수이면 비용 측면의 비효율성을 의미한다.

있다는 점이다. 기존의 회귀 분석을 통해서도 난방비용의 결정요인을 분석할 수 있으나, 효율성을 비교하기는 어렵다.

또한 확률경계모형을 통해 도출한 효율성은 공학적 개념의 효율성과는 다르다. 확률경계모형에서의 효율성은 가구 및 주택의 특성과 같이 주어진 환경조건(가구원 수, 가구 소득, 주택 종류, 주택 면적, 건축 연도 등)에 따른 효율성을 의미한다. 예를 들어, 유사한 소득의 4인 가구가 거주하는 아파트 중 A 가구는 도시가스를 소비하고, B 가구는 열에너지를 소비한다고 가정할 때, 두 가구가 요구하는 열량 수준은 유사할 것이다. 만약 두 가구의 에너지소비량이 상이하다면, 이는 에너지를 사용하는 효율 수준의 차이로 해석할 수 있다. 즉, 유사한 가구의 일반적인 난방비 지출액과 비교하여 특정 가구의 지출액이 더 적다면 이 격차를 효율성으로 정의할 수 있다.

확률경계모형 형태로 난방지출비용을 표현하면 다음과 같다.

$$y_i = g(x_i, \beta) + \epsilon_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\epsilon_i = u_i - \eta_i \quad (2)$$

$$u_i \sim N(0, \sigma_u^2), \quad \eta_i \sim N^+(0, \sigma_\eta^2) \quad (u_i \text{와 } \eta_i \text{는 독립}) \quad (3)$$

여기서, y_i 는 난방지출비용, x_i 는 난방지출비용에 영향을 주는 요인(input)이다. 오차항 ϵ_i 는 순수한 오차항인 u_i 와 비용 측면의 효율성을 의미하는 η_i 로 구성된다. 본 연구에서는 u_i 는 정규분포를 따르며, η_i 는 half-normal 분포를 따른다고 가정하였다.⁵⁾ 이때 하첨자 i 는 개별 가구를 의미한다.

식 (1)에서 일반적인 가구들은 난방지출비용으로 $g(x_i, \beta) + u_i$ 만큼을 지불한다. 하지만 난방연료원, 주택 형태 등에 따라 가구별로 난방 효율성 차이가 존재하며, 효율적으로 난방에너지를 사용하는 가구는 일반 가구의 난방비용보다 더 적은 금액($-\eta_i$)을 지출한다. 즉, 효율적으로 난방에너지를 사용하는 가구는 효율성(η_i)이 크기에 지출하는 비용($g(x_i, \beta) + u_i - \eta_i$) 역시 작아진다. 확률경계모형은 u_i 와 η_i 의 분포를 다르게 가정하여 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)으로 계수를 추정하고, 가구별 효율성 수준을 추출한다.

5) 효율성의 분포를 사전적으로 알기는 어렵기 때문에 일반적으로 다수의 연구에서 half-normal 또는 절삭된 정규분포(truncated-normal)를 활용하고 있다. 즉, 효율성이 낮은 가구($\eta_i \approx 0$)가 대부분이며, 소수의 가구가 높은 효율성을 갖는다는 가정이다.

초기 확률경계모형은 개별 관측치마다의 $\hat{\eta}_i$ 를 추출(decompose)할 수 없다는 한계를 지니고 있었다. 이후 Jondrow *et al.*(1982)는 조건분포(conditional distribution)를 이용하여 개별 관측치마다의 $\hat{\eta}_i$ 를 추출하는 방식을 고안하였다. 즉, $\hat{\eta}_i = \hat{E}(\eta | \epsilon)$ 로 계산하여 개별 가구의 효율성을 계산할 수 있도록 수정하였다.⁶⁾

2. 분석 자료

본 연구에서는 2016년 ‘가구에너지 상설표본조사’(Household Energy Standing Survey, 이하 에너지표본조사) 자료를 활용하여 분석을 진행하였다. 에너지표본 조사는 국내 16개 시도의 표본을 추출하여 에너지 소비 현황 및 주택 특성, 가구 형태 등을 조사한 자료이다. 에너지표본조사 자료는 2011년부터 패널 자료로 구축되었으나, 가구가 이사를 하거나 독립을 하는 경우에 대한 추적이 제대로 이루어지지 않아 원표본 유지율이 매우 낮다(최문선, 2015).⁷⁾

본 연구에서 중점적으로 살펴보고자 하는 난방에너지의 경우, 7가지 연료원을 고려하기 때문에 표본 가구 수 확보가 중요하다. 과거 에너지표본조사 자료를 추가하여 패널 분석을 진행할 경우 분석 가능한 표본 수가 적어져 연료원 간 효율성 분석이 어려우므로, 본 분석에서는 2016년 자료만을 이용하여 횡단면 분석을 진행하였다.⁸⁾ 또한 전체 2,520가구 중 에너지 소비량 부분에 결측치가 존재하는 가구를 분석대상에서 제외하여 총 2,325가구로 확정하였다. 분석에 활용한 자료는 <표 1>과 같다.

6) Jondrow *et al.*(1982)에서 개별 관측치별 효율성을 추출한 자세한 방법은 부록 2를 참고하라.

7) 2011년의 원표본 기준 36.9%가 유지되었다.

8) 가구에너지 상설표본조사에는 월별 에너지 소비량 자료가 존재하지만, 다른 자료들(소득, 주택 특성, 가구 특성 등)은 모두 연간 단위이기 때문에, 본 연구에서는 월별 패널 분석이 아닌 횡단면 분석을 진행하였다.

<표 1> 활용 변수 소개

주요 변수		변수 생성 방법 및 설명	단위	
종속 변수	동계 월평균 난방비 지출비용	주난방연료의 동계(1, 2, 3월 및 11, 12월) 월평균 난방비 지출비용	원	
설명 변수	주택 특성	주택 종류	아파트면 1, 그 외 주택은 0의 값을 갖는 가변수	-
		주택 방향	남향 및 남동향이면 1, 그 외는 0의 값을 갖는 가변수	-
		건축 연도	2000년대 이후 건설 시 1, 그 이전은 0의 값을 갖는 가변수	-
		주택 면적	주택 면적이 클수록 난방에너지 많이 필요	m ²
		이중창 비율	이중창 비중이 높을수록 보온율이 높음	%
		주택 소유 형태	자가면 1, 그 외는 0의 값을 갖는 가변수	-
		보조난방 사용 여부	보조난방 사용 시 1, 미사용 시 0의 값을 갖는 가변수	-
	가구 특성	가구 총소득	가구 구성원의 소득 합계	만 원
		가구원 수	가구 구성원의 수	명
		만 65세 이상 가구원 비중	전체 가구원 중 만65세 이상의 비중	%
		가구주 성별	여자면 1, 남자면 0의 값을 갖는 가변수	-
		가구주 교육 수준	대졸 이상이면 1, 그 외는 0의 값을 갖는 가변수	-
		1인 가구	1인 가구 시 1, 그 외는 0의 값을 갖는 가변수	-
		자녀 포함 가구	가구 구성원 중 자녀 포함 시 1, 그 외는 0의 값을 갖는 가변수	-
에어컨 설정 온도	절약 및 더위 민감도에 대한 대리변수	℃		

난방에너지 지출액에는 위의 설명변수와 같은 다양한 요인이 영향을 미칠 것으로 기대한다. 다음 <표 2>는 각 설명변수의 예상 영향 관계를 정리한 표이다.⁹⁾

9) 기온 변화는 난방수요의 중요한 결정요인이거나 본 연구는 특정 연도의 겨울철 난방수요를 분석하였기에 가구별로 시간에 따른 기온 변화는 동일하므로 기온은 주요인으로 고려하지 않았다.

<표 2> 난방용 에너지 소비효율과 주요인 간 관계 예상

주요인	예상부호	영향 관계
주택 종류	-	일반적으로 아파트의 에너지 소비 효율성이 높음
주택 방향	-	일조량 측면에서 남향이 유리함
건축 연도	-	최근에 지어진 주택일수록 에너지 효율성이 높음
주택 면적	+	주택 면적이 클수록 난방에너지 많이 필요
이중창 비율	-	이중창 비중이 높을수록 보온율이 높음
주택 소유 형태	?	자가 여부에 따라 에너지 소비 형태가 변화
보조난방 사용 여부	-	보조난방을 사용할 경우 주난방연료 소비량 감소
가구 총소득	+	소득이 높을수록 난방에너지 더 많이 소비
가구원 수	+	가구원 수가 많을수록 더 많은 난방에너지가 필요함
만 65세 이상 가구원 비중	+, -	+: 고령층의 경우 추위에 더 민감함 -: 고령층의 경우 에너지 절약 성향이 강함(이윤재 외, 2011)
가구주 성별(여성)	+, -	+: 여성의 환경 문제에 관한 관심도가 더 높음(Seo, 1991) -: 남녀 간의 에너지 절약 차이가 미미함(이윤재 외, 2011)
가구주 교육 수준	-	가구주 교육 수준이 높을수록 절약에 관한 관심이 높을 것으로 예상
1인 가구 여부	+	+: 1인 가구의 경우 타 가구보다 1인당 더 많은 에너지를 소비 -: 1인 가구의 경우 외부 거주 시간이 많으므로 에너지 소비량이 적음
자녀 포함 가구 더미	+	자녀가 포함된 가구에서는 자녀를 위해 난방 소비량이 많음
에어컨 설정 온도	+, -	절약(-) 및 더위 민감도(+)를 나타냄

3. 가구의 에너지원별 난방수요 추정

식 (1)의 종속변수인 난방에너지 지출액은 난방에너지 소비량과 난방에너지 가격의 곱으로 분리하여 볼 수 있다. 에너지표본조사에서는 특정 연료원의 월별 에너지 소비량만을 제공하여 해당 에너지가 냉난방을 위해 이용되었는지, 취사용으로 사용되는지는 구분되지 않는다. 다만 설문조사 항목 중 주난방연료 및 주취사연료원의 종류에 대한 응답이 존재하기에 이를 바탕으로 간접적으로 난방에너

지 소비량을 계산할 수 있다.

다음 <표 3>은 주난방연료원, 주취사연료원 응답에 따른 가구 수를 기록해 놓은 표이다. 주난방연료 측면에서는 도시가스 사용자의 수가 57%로 가장 많았으며, 등유, 열에너지, 프로판 순서로 사용 비중이 감소하였다. 주취사연료 역시 도시가스 사용자의 수가 전체 가구 중 65%로 압도적으로 많았으며, 일부 가구가 프로판 또는 전력을 주취사연료원으로 이용하였다.

<표 3>에서 특징적인 부분은 주난방연료로 프로판을 이용하는 가구는 전부 주취사연료로 프로판을 사용한다고 응답했으며, 주난방연료를 도시가스로 이용하는 가구 역시 도시가스를 취사용으로 이용한다고 응답하였다. 이외의 가구에서는 주난방연료와 주취사연료가 동일하지 않은 모습을 보였다.

<표 3> 주난방연료원 및 주취사연료원 구분에 따른 가구 수

		주취사연료원			계
		프로판	도시가스	전력	
주난방연료	연탄	95	0	3	98
	등유	454	4	11	469
	중질중유	11	8	0	19
	프로판	131	0	0	131
	도시가스	0	1,333	0	1,333
	열에너지	0	176	2	178
	심야전력	84	2	11	97
계		775	1,523	27	2,325

본 연구에서는 분석상 편의를 위해 가구의 에너지 소비량은 난방용 에너지 소비량과 취사용 에너지 소비량의 합이라고 가정하였다. 물론 전기 히터 등과 같은 보조 난방기구를 이용할 수 있으나, 전체 에너지 소비를 기준으로 볼 때, 보조 설비의 비중이 크지 않으므로 본 연구에서는 보조 설비를 제외하였다. 이 경우 주난방연료가 프로판이라고 응답한 131개 가구의 프로판 사용량은 난방에너지와 취사에너지가 더해진 결과이며, 주난방연료를 열에너지로 응답한 178개 가구는 난방용 에너지원과 취사용 에너지원이 서로 다르기에, 열에너지 사용량 전부가 난방에너지 사용량으로 간주할 수 있다. 난방에너지 사용량은 다음의 과정을 통해 산출하였다.

1) 주난방연료와 주취사연료가 다른 가구

해당 가구가 응답한 주난방연료와 주취사연료가 다른 경우, 주난방연료 전부를 난방용 에너지로 간주할 수 있다. 즉, 주난방연료로 연탄, 등유, 중질중유, 열에너지, 심야전력을 사용하는 가구의 경우 동계기간의 해당 에너지 소비량이 곧 난방용 에너지 소비량이다.

2) 주난방연료와 주취사연료가 동일한 경우

주난방연료로 프로판 또는 도시가스를 사용하는 가구의 경우 주취사연료 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

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

② 추정차감방식

해당 연료를 취사용으로만 사용하는 가구 자료를 바탕으로 취사용 에너지 소비량을 추정하고, 해당 연료원의 전체 사용량 중에서 추정한 취사용 에너지 소비량을 차감하여 난방용 에너지 소비량을 계산하였다.

취사용 에너지 소비량을 추정하기 위해 다음 식 (4) 형태의 회귀식을 활용하였다.

$$E_{i,j} = \alpha + \beta_1 R_{i,j} + \beta_2 S_{i,j} + \beta_3 Y_{i,j} + \beta_4 D_{i,j}^a + \beta_5 T_{i,j} + \epsilon_{i,j} \quad (4)$$

여기서, j 는 주취사연료를 나타내며 프로판 혹은 도시가스이다. i 는 주난방연료로 프로판 혹은 도시가스를 사용하지 않는 가구를 의미한다. E 는 프로판(도시

가스) 소비량, R 은 가구원 수, Y 는 가구 소득, D^a 는 보조취사 사용을 나타내는 가변수, T 는 기온을 의미한다. 보조취사 사용 가변수와 기온을 제외한 변수들은 모두 로그값이다.

평균차감방식과 추정차감방식의 경우 접근 방법은 다르나, 두 과정을 통해 추출한 난방에너지 소비량의 크기는 매우 유사했다. <표 4>는 두 방식에 따른 난방에너지 소비량의 기초통계량을 비교한 결과이다. 평균 수준 및 중위값 수준을 비교해 보면, 평균차감방식을 이용하거나, 추정차감방식을 이용하더라도 유사한 결과를 얻었음을 확인할 수 있다.

<표 4> 난방용 프로판·도시가스 소비량 비교

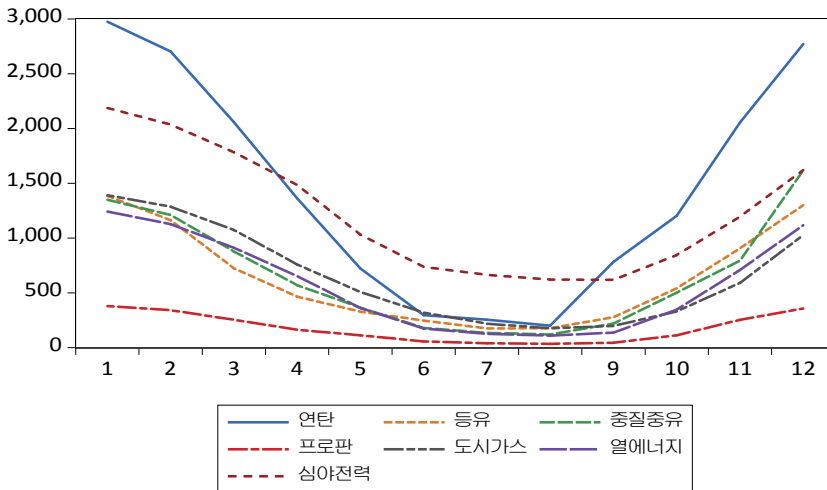
통계량	난방용 프로판 소비량(Mcal)		난방용 도시가스 소비량(Mcal)	
	평균 차감	추정 차감	평균 차감	추정 차감
평균	1,580	1,635	5,366	5,435
중위값	1,367	1,450	5,131	5,193
표준편차	1,214	1,209	2,846	2,852
관측치 수	131	131	1,333	1,333

난방에너지로 활용되는 7가지 연료원의 월별 난방에너지 소비량을 비교해 보면 다음 <그림 1>과 같다. 7가지 연료원 전부에서 여름철에 난방에너지 소비량이 감소하며, 겨울철에 증가하는 모습이 나타난다. 여름철의 난방에너지 소비량이 0이 아닌 이유는, 온수 공급 등을 위해 난방에너지가 활용되기 때문이다.

특징적인 부분은 연탄의 소비량이 다른 에너지원에 비해 월등히 높다는 점이다. 연탄의 경우 세밀한 온도 조절이 어렵고, 연료원 자체의 효율성이 낮다는 점에서 겨울철에 과도하게 사용하는 경향이 나타난다. 이러한 연탄의 특성으로 인해 1, 2월에는 다른 에너지원의 약 2배에 해당하는 소비량을 기록하였다.

반면 프로판의 경우 난방에너지 소비량이 전반적으로 낮았다. 프로판 사용 가구의 경우 보조난방에너지를 사용하는 비중이 82%로 다른 가구들의 평균에 비해 상대적으로 높았다. 이러한 특성으로 인해 프로판의 난방 사용량이 다른 에너지원에 비해 상대적으로 적게 나타난 것으로 보인다. 다만 본 연구에서는 보조난방에너지 사용량은 포착할 수 없었기 때문에 프로판 난방기구의 난방에너지 소비량이 다른 가구들에 비해 적게 드러난다는 한계가 존재한다.

<그림 1> 난방 연료원의 월별 난방에너지 소비량



주: 가로축은 월, 세로축은 열량(Mcal) 기준 에너지 소비량이다.

심야전력의 경우 다른 에너지원에 비해 모든 월에서 소비 수준이 전반적으로 높게 나타났다. 심야전력은 심야전력기기에 대해 부과하는 전력량이며, 추가적인 설비 구비가 필요하므로 일반적인 주택보다는 기숙사, 병원, 중대형 건물 등에서 주로 이용한다. 이러한 특성으로 인하여 다른 연료보다 전반적인 사용량이 많게 나타난 것으로 보인다.

4. 난방용 에너지의 가격

본 연구에서는 난방용 에너지 지출비용을 바탕으로 효율성을 측정하기 때문에, 가구의 지역별 분포를 기준으로 난방용 연료원들의 가격 자료를 확보하였다. 난방에너지의 특성상, 개별 가구는 실제 에너지 소비량보다는 지출액을 기준으로 의사결정을 한다. 많은 사람들이 난방비가 얼마나 나왔는지는 기억하지만, 난방연료를 몇 Mcal 사용하였는지를 모르는 것도 이러한 경향에 기인한다. 따라서 가구는 필요에 따라 난방연료 지출액을 결정하며, 각 가구의 특성에 따라 지출액이 상이할 것이다. 본 연구는 이러한 가구별 지출액 차이를 ‘효율성’으로 측정하였다.

일부 연료원은 가격이 매일 변동하며, 지역별 편차가 존재한다. 본 연구에서는 에너지 표본조사 자료에서 제공하는 가구 거주 지역을 기준으로 지역별 가격의

평균값을 사용하여 지역 간 차이를 반영하였다.

연탄, 중질중유, 심야전력의 경우 지역별 가격 자료를 확보하기 어려워 2015년도의 평균 가격을 활용하였다. 다만 연탄의 경우, 직접 구매하는 경로 이외에도 겨울철 연탄 무상 제공 봉사활동 등이 활발하게 진행되기 때문에 실질적인 부담 가격은 더 낮을 것으로 예상된다. 등유, 프로판 가격의 경우 KESIS에서 제공하는 주유소 및 판매소 판매가격을 활용하여 16개 시도의 평균 가격을 활용하였다.¹⁰⁾

<표 5> 연료원별 가격

에너지원	가격 구조	가격 시점 및 기준	출처	비고
연탄	391원/개	2015년 동일요금	대한석탄협회	단일요금
등유 ¹⁾	원/l	2015년 1분기 실내등유 (주유소 판매가격)	KESIS	
중질중유 ²⁾	613.76원/l (부가세 포함)	2015년 1분기 병커C유 (대리점 판매가격)	KESIS	
프로판 ¹⁾	원/kg	2015년 1분기 일반용 프 로판(판매소 판매가격)	KESIS	
도시가스 ³⁾	기본료+원/MJ (부가세 별도)	2015년 1월 1일 기준 주 택용 주택 난방(개별난방) 요금	한국도시가스협 회	
열에너지 ^{3), 4)}	기본료+원/Mcal (부가세 별도)	2015년 9월 기준	한국지역난방공 사 및 개별 사업 자	
심야전력 ⁵⁾	76.8원/kWh	2013년 11월 21일 이후 고정	한국전력	

주: 1) 지역별 가격 활용.

2) 중질중유 가격은 대리점 가격만 제공되어 지역별 가격 확보 불가능.

3) 한 지역 내에 여러 가격이 존재하는 경우 평균가격을 활용.

4) 세부 사업장 정보는 <부표 1> 참고.

5) 겨울철 및 기타 계절이 구분되며, 본 연구는 겨울철 가격 자료 활용.

10) 본 연구는 2015년 '겨울철'(11, 12월 및 1, 2, 3월)에 한정지어 분석을 수행했기 때문에 가격 변동이 우려되는 등유, 중질중유, 프로판은 '1분기' 가격 자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 이외의 연탄, 도시가스, 열에너지, 심야전력을 사용하는 가구는 전체 2,325가구 중 약 73%에 해당하며, 이들 에너지원은 정책 가격이기 때문에 2015년 한 해 동안 가격 변동이 없었다.

도시가스 및 열에너지의 경우 다른 연료원과 달리 기본료와 사용료의 합계로 총요금이 결정되는 구조로 되어 있다. 특히 열에너지의 경우 기본요금이 주택 면적을 기준으로 부과되기 때문에 분석대상 가구의 주택 면적을 기준으로 기본요금을 산정하였다. 또한 열에너지의 경우 지역난방공사 외에도 개별적인 34개의 발전사업자가 전국적으로 분포되어 있으며, 사업자별로 기본요금 및 사용요금이 다르다. 본 연구에서는 사업장 지역을 기준으로 해당 지역 내에서 열에너지를 공급하는 사업자들의 기본요금의 평균값 및 사용요금의 평균값을 계산하여 분석에 적용하였다.¹¹⁾

5. 기초통계량

이상의 데이터에 대한 기초통계량은 <표 6>과 같다. 가구의 동계 월평균 난방비용은 10만 원 정도로 나타났지만, 최저 1,200원부터 최고 77만 원까지 가구별 차이가 컸다. 주택의 경우 전체 가구 중 46%가 아파트에 거주하고 있으며, 대부분의 주택이 남향을 향하고 있었다. 약 30%의 주택이 2010년 이후 건축되었으며, 평균적인 주택 면적은 25m²으로 나타났다.

평균적인 가구 총소득은 3,700만 원 수준으로 나타났으며, 가구에 따라 최대 1억 원부터 최소 600만 원까지 편차가 컸다. 평균적으로 약 3명의 가구원이 함께 생활했으며, 이중 65세 이상 노인 가구원은 약 21% 수준이었다. 에어컨 설정 온도의 경우 에너지 절약에 대한 대리변수로 사용되었는데, 평균적으로 24도 수준으로 나타났다. 다만 에어컨 보유 가구에 한해 에어컨 설정 온도가 조사되었기 때문에 데이터가 존재하는 가구 수는 전체 가구의 66% 수준이었다.

11) 더 자세한 지역별·사업자별 열요금은 <부표 1>을 참조할 수 있다.

<표 6> 기초통계량

주요 변수		평균	최고값	최저값	표준편차	가구 수	
종속 변수	동계 월평균 난방비 지출비용(원)	106,280	774,666	1,239	60,777		
설명 변수	주택 특성	주택 종류	0.46	1	0	0.50	2,325
		주택 방향	0.60	1	0	0.49	
		건축 연도	0.31	1	0	0.46	
		주택 면적(m ²)	25.57	80	6	8.69	
		이중창 비율(%)	27.47	100	0	26.79	
		주택 소유 형태	0.74	1	0	0.44	
		보조난방 사용 여부	0.74	1	0	0.44	
	가구 특성	가구 총소득(만 원)	3,757	10,200	600	2,097	
		가구원 수(명)	3.05	8	1	1.23	
		만 65세 이상 가구원 비중(%)	20.88	100	0	37.14	
		가구주 성별	0.26	1	0	0.44	
		가구주 교육 수준	0.42	1	0	0.49	
		1인 가구	0.11	1	0	0.31	
		자녀 포함 가구	0.59	1	0	0.49	
	에어컨 설정 온도(℃)	23.81	28	18	2.08	1,544	

IV. 분석 결과

1. 난방용 에너지비용 확률경계모형 추정 결과

본 연구는 Jondrow *et al.*(1982) 연구에 기반하여 식 (1)을 최우추정법으로 추정하였다. 다음의 <표 7>은 추정 결과이다. 식 (3)에서 밝힌 바와 같이 효율성은 half-normal 분포를 따른다고 가정하여 추정을 진행하였다.¹²⁾

12) 다수의 확률경계모형 연구에서 효율성을 half-normal, 절삭된 정규분포(truncated-normal), 지수분포 등으로 모형화한다. 효율성의 분포를 다르게 가정하여 추정한 경우에도, <표 6>의 계수 추정치와 유사한 모습이 나타났으며, 이를 바탕으로 계산한 효율성 역시 유사하였다.

<표 7> 가구의 에너지원별 난방 지출 확률경계모형 추정 결과

설명변수		동계 월평균 난방비 지출액	
		평균차감방식 적용	추정차감방식 적용
주택 특성	주택 종류(아파트=1)	-0.206***	-0.202***
	주택 방향(남향=1)	-0.071***	-0.071***
	건축 연도	0.011	0.012
	주택 면적	0.196***	0.192***
	이중창 비율	4.024	4.057
	주택 소유 형태(자가=1)	0.029	0.027
	보조난방 사용 여부(사용=1)	-0.054**	-0.005**
가구 특성	가구 총소득	0.107***	0.104***
	가구원 수	0.005	0.013
	만 65세 이상 가구원 비중	0.014	0.012
	가구주 성별(여성=1)	-0.026	-0.025
	가구주 교육 수준	-0.008	-0.006
	1인 가구	-0.006	0.004
	자녀 포함 가구	0.018	0.016
	에어컨 설정 온도	0.024**	0.024**
가구 수	2,325	2,325	

주: 1) '***'는 1% 유의수준, '**'는 5% 유의수준을 의미함.
 2) 효율성은 half-normal 분포를 따른다고 가정하며, 오차항과 독립.

추정 결과, 난방용 지출액을 산정하는 방법과 무관하게 변수의 유의성 및 계수값에는 큰 차이가 발견되지 않았다. 두 경우 모두 주택 특성 변수 중 난방비 지출액에 유의미한 영향을 미치는 요인들이 많았다. 주택 종류의 경우 아파트일 때 1의 값을 갖는 가변수로, 아파트의 난방비 지출액이 작게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 안영수 외(2014)의 연구 결과와 일치하는 결과로, 서울시 주택을 대상으로 에너지 소비량의 결정요인을 분석하는 연구에서 아파트의 단위 면적당 도시가스 사용량이 단독 및 다세대 주택에 비해 적었음을 보인 바 있다. 주택 방향은 남향일 때 1의 값을 갖는 가변수로, 일조량 역시 난방비에 주요한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 반면 주택 면적이 커질수록 난방비 지출액 수

준이 증가하였으며, 가구 총소득이 많을수록 지출액 역시 증가하였다. 이는 노승철·이희연(2013)의 결과와 유사하다. 본 연구에서는 가격변수를 설명변수로 활용하지 않았는데, 이는 종속변수 자체가 소비량×가격으로 계산된 지출액 자료이기 때문에, 가격변수를 설명변수로 이용할 경우 다중공선성 문제가 발생할 수 있기 때문이다.¹³⁾

<표 7>의 결과를 바탕으로 Jondrow *et al.*(1982)에 기반을 두어 효율성을 계산하였다.¹⁴⁾ 개별 가구에 대한 효율성을 추출할 수 있기에, 가구별 난방용 에너지 효율성을 비교 분석할 수 있다.

난방 연료원 구분에 따른 효율성 평균값은 다음 <표 8>과 같다. 평균차감방식과 추정차감방식 모두 유사한 효율성 수준을 보여주었으며, 각 연료원별 순위는 두 방식 모두 동일하였다. 프로판 및 연탄의 효율성이 1 이상으로 가장 높게 나타났다.

연탄의 경우 <그림 1>에서 확인하였듯이 소비량 자체는 매우 많지만, 해당 가격이 저렴하여 비용 측면에서 효율성이 높은 것으로 나타났다. 또한 외부에서 무상으로 지원받는 연탄 양이 많아 소비량은 많지만, 실제 지출액은 그보다 적을 수 있기에 다른 에너지원과 비교했을 때, 가장 효율적인 것으로 나타났다.¹⁵⁾

프로판의 경우 절대적인 난방에너지 소비량 자체가 상대적으로 작았기 때문에 효율성 또한 높게 나타났다. 다만 프로판의 경우 보조 난방기기를 사용하는 경향이 더 높았기 때문에 <표 8>처럼 다른 에너지원에 비해 가장 효율적이라고 보기 어렵다. 즉, 연탄과 프로판은 난방용 에너지 소비량 및 에너지 가격을 추출하는 과정에서 발생하는 오차로 인해 효율성이 과대 추정된 것으로 보인다.

효율성이 과대 추정된 연탄과 프로판을 제외하고는 열에너지의 효율성이 가장 높았으며, 중질중유, 도시가스 순서로 효율성이 낮아지는 모습을 발견할 수 있다. 위 에너지들은 평균적인 소비량 또한 유사했기 때문에, 이러한 효율성 차이는 에너지원별 특성에 기인한다고 볼 수 있다. 열에너지의 경우 중앙공급 방식으로 열

13) 난방지출비용 관련 회귀모형에서 사용된 변수는 대부분 외생성을 만족하는 것으로 사전적 또는 사후적으로 확인하여 내생성 문제로 인한 추정의 편익은 없는 것으로 판단하였다. 내생성이 우려되는 이중창 비율에 대해서 더미변수로 전환한 후 강건성 검증을 실시한 결과, 추정 결과가 유사하게 나타나 내생성 우려는 크지 않은 것으로 보인다.

14) 종속변수의 단위가 난방용 연료사용액으로 원이므로 오차항의 단위를 원으로 볼 수 있다. 하지만 확률경계모형의 적합도가 높다면 오차항의 크기가 매우 작으므로 절대적 크기보다 상대적 크기로 비교 해석하는 것이 바람직하다.

15) 2015년 기준 Mcal당 난방용 에너지원의 가격은 연탄 19.3원으로 가장 낮으며, 그 외 프로판 151.6원, 중유 115.5원, 도시가스 92.0원, 열에너지 83.4원이다.

에너지를 공급받아 난방에 활용하기 때문에 개별난방으로 이용되는 도시가스 등에 비해 상대적으로 효율성이 높다고 볼 수 있다. 또한 지속적인 난방열과 온수 공급, 보일러 미설치 및 미사용으로부터의 편익도 열에너지의 높은 경제적 효율의 이유로 볼 수 있다.

<표 8> 난방 연료원에 따른 소비 효율성 비교

연료원	평균차감방식 적용	추정차감방식 적용
연탄	1.346	1.330
등유	0.573	0.563
중질중유	0.874	0.866
프로판	1.612	1.523
도시가스	0.769	0.739
열에너지	0.964	0.955
심야전력	0.631	0.622

주: 1) 효율성은 half-normal 분포를 따른다고 가정.

2) 효율성 수준은 $\hat{E}(\eta_i|\epsilon_i)$ 로 계산.

2. 난방용 에너지 소비효율의 결정요인 분석

앞 절에서 에너지의 종류에 따라 난방용 에너지 소비효율이 다름을 확인하였다. 또한 특정 에너지원의 난방 소비효율은 가구의 인구적·물리적 특징에 따라 달라질 수 있다. 지금부터는 효율성에 영향을 미칠 것이라고 예상되는 여러 요인을 기준으로 가구를 구분하여 난방용 에너지 소비효율이 각 특징에 따라 어떻게 다른지를 비교하고자 한다.

1) 주택 형태

난방에너지 소비량은 외부 기온뿐 아니라, 주택의 특성에 영향을 많이 받기 때문에 어떤 주택 형태인지 역시 효율성 측면에서 매우 중요하다. 대부분 주택 형태에서 다양한 연료원을 사용하고 있으나, 중질중유 및 열에너지의 경우 아파트에만 공급되고 있으며, 심야전력의 경우 아파트를 제외한 단독 및 연립주택에

서 이용되고 있다.

일반적으로 단독주택은 위, 아래 집을 통한 단열효과 없이 단독 난방을 시행해야 하므로 전반적인 난방에너지 소비량이 많으며, 이로 인해 효율성 역시 낮다. 반면 아파트의 경우 단열 처리가 비교적 잘 되어 있기 때문에 효율성이 상대적으로 높다고 알려져 있다. 노승철·이희연(2013) 및 안영수 외(2014)의 연구에서도 아파트의 면적당 에너지 사용량이 타 주택에 비해 작게 나타났다. 하지만 본 분석에서는 아파트가 더 효율성이 높게 나타난 에너지원은 존재하지 않았다. 오히려 등유와 같은 일부 에너지원에서는 아파트의 평균적 효율성이 가장 낮은 등의 모습도 확인할 수 있었다. 즉, 전력, 가스 등 에너지원별 전체 소비효율 측면에서는 아파트 거주 가구의 효율이 높을지 모르나 용도별 소비 중 난방용 에너지 소비효율은 아파트 거주 가구가 높다고 단정할 수 없다.

단, 아파트 거주 가구를 기준으로 비교할 때 열에너지의 효율성이 도시가스 및 중질중유 등과 비교하여 상대적으로 높았다. 이는 앞서 언급하였듯이, 열에너지의 경우에 온수와 난방열의 연속 공급, 보일러 미설치 등의 소비자효용 증가로 인한 효과로 볼 수 있다.

<표 9> 주택 형태에 따른 연료원별 효율성 비교

주택 형태	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
단독	1.340	0.566	-	1.451	0.788	-	0.600
	(86)	(364)		(63)	(278)		(92)
연립/ 다세대	1.272	0.564	-	1.678	0.790	-	1.035
	(11)	(83)		(18)	(258)		(5)
아파트	1.106	0.408	0.866	1.559	0.706	0.955	-
	(1)	(17)	(19)	(50)	(795)	(178)	

- 주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.
 2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.
 3) 상가 내 주택, 오피스텔 등의 주택 형태는 제외함.

2) 건축 연도

주택 건설기준 강화, 단열재 개선 등에 따라 신규 주택일수록 에너지 효율성이 높게 나타나는 경향이 존재한다. 도시가스, 열에너지, 심야전력, 등유, 중질중

유 등 대부분의 연료원에서 2010년 이후 건축된 건물에서 난방에너지 효율성이 높게 나타났다. 이는 안영수 외(2014)의 연구 결과와 일치하는데, 건축 연도가 최근일수록 단열 설비 및 냉난방 효율성이 높으므로 에너지 소비량이 적고 난방에너지의 효율성이 높다.

특징적으로 2010년 이후의 열에너지 사용 가구의 경우 효율성 지수가 1을 넘는 등 효율성이 개선되는 모습이 분명하게 나타났다. 비교적 최근에 건설된 신도시의 경우 구역지정에 따라 지역난방을 선택하는 아파트의 비중이 증가하면서 열에너지의 소비효율이 2010년대 이후 다른 에너지원에 비해 향상되었음을 확인할 수 있다.

<표 10> 주택 건축 연도에 따른 연료원별 효율성 비교

건축 연도	연탄	등유	증질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
1970년대 이전	1.243	0.542	-	1.193	0.523	-	0.690
	(39)	(92)		(18)	(20)		(11)
1970~1980년대	1.422	0.546	0.192	1.620	0.782	0.881	0.572
	(45)	(196)	(1)	(52)	(263)	(7)	(25)
1990~2000년대	1.296	0.582	0.903	1.550	0.728	0.938	0.630
	(13)	(172)	(18)	(57)	(1,001)	(156)	(57)
2010년 이후	1.017	0.777	-	1.383	0.822	1.172	0.635
	(1)	(9)		(4)	(48)	(15)	(4)

주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.

2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.

3) 주택 면적

주택 면적을 비교하면 에너지원 종류와 관계없이 33~99m²인 가구의 난방에너지 효율성이 가장 높았다. 반면 주택 면적이 99m² 이상으로 커질 때 역시 효율성이 감소하는 모습이 나타난다. 이는 Jones and Lomas(2015) 연구 결과와 유사한데, 영국을 대상으로 한 연구에서 주택 면적이 100m² 이상인 가구가 전력 다소비 그룹으로 분류될 확률이 타 그룹보다 2배 이상 높게 나타났다. 즉, 일정 수준까지는 주택 면적이 증가하면 에너지 소비에서 규모의 경제가 나타나지만, 주택 면적이 99m²를 초과하면 효율 개선 효과가 사라진다는 것을 확인할 수 있다.

<표 11> 주택 면적에 따른 연료원별 효율성 비교

주택 면적	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
33m ² 미만	1.130	0.328	-	2.509	0.767	-	0.073
	(6)	(9)		(1)	(10)		(2)
33~66m ²	1.256	0.553	1.077	1.346	0.813	1.145	0.805
	(42)	(132)	(8)	(42)	(240)	(19)	(13)
66~99m ²	1.307	0.551	0.582	1.619	0.764	0.949	0.662
	(31)	(216)	(7)	(65)	(624)	(60)	(41)
99~132m ²	1.633	0.578	0.940	1.593	0.688	0.939	0.552
	(13)	(95)	(4)	(20)	(384)	(77)	(36)
132m ² 이상	1.503	0.828	-	1.146	0.550	0.865	0.546
	(6)	(17)		(3)	(74)	(22)	(5)

주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.
 2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.

4) 주택 소유 형태

에너지원의 종류에 상관없이 일반적으로 월세 거주 가구의 에너지 효율성이 높게 나타났다. 월세 가구의 경우 자가 및 전세 가구보다 불확실성이 높아 에너지를 절약하는 경향이 강하기 때문에 난방에너지 역시 효율적으로 이용하는 것으로 판단된다.

<표 12> 주택 소유 형태에 따른 연료원별 효율성 비교

주택 소유 형태	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
자가	1.311	0.565	0.751	1.460	0.728	0.980	0.591
	(78)	(364)	(13)	(102)	(955)	(121)	(81)
전세	1.338	0.559	1.113	1.836	0.740	0.854	0.815
	(17)	(83)	(6)	(17)	(309)	(50)	(8)
월세	1.791	0.556	-	1.961	0.936	1.178	0.750
	(2)	(16)		(4)	(55)	(5)	(8)

주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.
 2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.

5) 도시 규모 구분

<표 13>에 따르면 도시 규모에 따른 난방에너지 효율성은 열에너지의 경우 서울 및 광역시 등 도시 규모가 커질수록 난방에너지의 효율성이 증가함을 알 수 있다. 이는 대도시일수록 열에너지 공급 사업자가 공급하는 가구의 수가 증가함에 따라 규모의 경제가 작동하여 더 낮은 비용으로 공급할 수 있기 때문이다.

<표 13> 도시 규모에 따른 연료원별 효율성 비교

도시 규모	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
서울	1.233	0.366	-	1.154	0.726	1.088	-
	(27)	(17)		(3)	(277)	(51)	
광역시	1.670	0.553	-	2.498	0.707	0.955	0.864
	(7)	(113)		(4)	(495)	(46)	(12)
기타 시도	1.334	0.576	0.866	1.501	0.774	0.872	0.588
	(64)	(339)	(19)	(124)	(560)	(81)	(85)

주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.
 2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.

이상의 결과는 노승철 · 이희연(2013)에서도 유사하게 나타났는데, 신규 주택 비율이 높거나, 아파트 거주 비율이 높은 대도시의 경우 주택의 에너지 효율성이 높게 나타났다. 반면 도시가스의 경우 열에너지와는 반대로 서울 및 광역시보다 기타 시도의 에너지 효율성이 더 높게 나타났다.

6) 소득 수준

소득 수준이 에너지 효율성에 미치는 영향은 연료원에 따라 상이하게 나타났다. 도시가스의 경우 소득 수준이 높아질수록 효율성이 감소하는 경향이 나타났지만, 열에너지는 오히려 증가하는 모습이 발견되었다. Nair *et al.*(2010)의 연구에서는 일반적으로 소득 증가에 따라 에너지 효율성을 높이기 위한 행동을 취하지만, 행동의 종류가 상이하며 비선형적인 관계를 보인다고 밝히고 있는데 본 연구의 결과에서도 이를 확인할 수 있다. 노정녀(2014) 연구에서도 가구 소득 증가에 따라 가정 전력사용량이 체감적으로 증가함을 밝히고 있다.

<표 14> 소득 수준에 따른 연료원별 효율성 비교

소득 수준	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
저소득	1.213	0.548	0.712	1.440	0.938	0.878	0.652
	(61)	(202)	(10)	(54)	(232)	(13)	(39)
중소득	1.522	0.576	1.036	1.590	0.712	0.872	0.560
	(36)	(255)	(9)	(72)	(879)	(99)	(50)
고소득	1.517	0.548	-	1.469	0.639	1.095	0.867
	(1)	(12)		(5)	(221)	(66)	(8)

- 주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.
 2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.
 3) 소득 구분은 가계동향조사 소득분위 자료를 바탕으로 1~3분위를 저소득층으로, 4~7분위를 중소득층으로, 8~10분위를 고소득층으로 구분함.

7) 가구원 수 및 가구원 구성

가구원 수 및 가구원의 구성에 따라서도 효율성 수준이 상이하게 나타났다. 일반적으로 가구원 수가 증가함에 따라 효율성이 개선되는 모습이 발견되었으나, 4인 및 5인 가구 이상이 되면 효율성이 감소하는 경향이 나타났다.

<표 15> 가구원 구성에 따른 연료원별 효율성 비교

가구원 구성	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
1인 가구	1.225	0.564	0.444	1.531	0.961	0.755	0.766
	(24)	(86)	(3)	(25)	(96)	(6)	(18)
2인 가구 (부부)	1.259	0.520	0.862	1.647	0.832	0.979	0.514
	(33)	(153)	(3)	(35)	(250)	(26)	(42)
부부+자녀 가구	1.483	0.587	0.980	1.475	0.685	0.975	0.710
	(26)	(171)	(7)	(59)	(842)	(131)	(28)
부부+자녀+ 부모 가구	1.577	0.562	0.958	1.405	0.614	0.697	0.302
	(5)	(26)	(3)	(5)	(65)	(9)	(5)

- 주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.
 2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.

특히 자녀가 포함될 경우 에너지 소비의 효율성이 감소하였는데, 이는 Jones and Lomas(2015)의 결과와 유사하다. 영국을 대상으로 전력수요의 결정요인을 분석하는 위 연구에서는 자녀가 포함된 가구의 경우 전력 다소비 그룹으로 분류될 확률이 약 2배 높게 나타났다.

8) 가구주 연령

프로판, 도시가스, 열에너지 등의 에너지원에서 전반적으로 가구주 연령이 증가함에 따라 난방에너지 효율성도 개선되는 모습이 발견되었다. 이러한 경향성은 가구주 연령이 높아질수록 절약에 대한 관심이 높아지며 에너지 효율성도 전반적으로 개선된 것으로 보인다. 노승철 · 이희연(2013) 연구에서도 가구주의 연령이 높아짐에 따라 에너지 소비량이 감소하는 현상이 나타났다. 노정녀(2014)의 연구에서는 5세 미만의 영유아 및 65세 이상의 노인이 포함된 가구에서 전력사용량이 상대적으로 감소함을 보인 바 있다.

<표 16> 가구주 연령에 따른 연료원별 효율성 비교

가구주 연령	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
20대	1.849	0.513	0.845	2.118	0.698	0.387	0.755
	(1)	(6)	(1)	(6)	(22)	(1)	(3)
30대	1.267	0.581	1.243	1.540	0.696	0.777	1.055
	(3)	(45)	(1)	(22)	(200)	(29)	(7)
40대	1.513	0.543	1.059	1.434	0.660	0.872	0.495
	(23)	(120)	(6)	(34)	(455)	(84)	(17)
50대	1.432	0.559	0.984	1.499	0.745	1.184	0.716
	(17)	(109)	(4)	(35)	(414)	(43)	(20)
60대 이상	1.214	0.575	0.581	1.522	0.918	1.091	0.559
	(54)	(189)	(7)	(34)	(241)	(21)	(50)

주: 1) 표의 수치는 해당 가구들의 효율성 평균값을 의미함.

2) 괄호 안의 수치는 관측치 개수를 의미함.

다음 <표 17>은 주요 결정요인과 난방용 에너지원별 소비효율 간 실증 분석 결과를 요약한 것이다. 아파트에 거주하는 가구의 난방 소비효율은 등유와 도시

가스의 경우, 아파트 외 거주 가구보다 낮으나 프로판은 아파트에 거주하는 가구의 난방 소비효율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 건축 연도는 연탄을 제외하고 대부분 에너지원에서 난방 소비효율을 개선하는 효과를 가진다. 주택이 자가 소유인 경우, 등유와 열에너지를 제외하고 에너지 소비효율에 부정적 영향을 준다. 도시 규모가 에너지 소비효율에 미치는 영향은 연탄, 등유, 도시가스는 음의 효과, 프로판, 열에너지는 양의 효과를 주는 것으로 나타났다. 가구원 수는 연탄, 중질중유의 소비효율에 양의 효과, 도시가스의 소비효율에는 음의 효과를 주고 등유, 프로판, 열에너지와 심야전력의 소비효율에는 일정 가구원 수를 기준으로 양의 효과와 음의 효과를 미치는 것을 확인하였다. 마지막으로 가구 연령은 프로판, 도시가스, 열에너지의 소비효율에 양의 효과를 주고 연탄, 등유, 중질중유, 심야전력에는 양의 효과와 음의 효과를 함께 주는 것으로 나타났다.

<표 17> 에너지원별 난방용 소비효율과 결정요인 간 관계 요약

	연탄	등유	중질중유	프로판	도시가스	열에너지	심야전력
주택 종류 (아파트)	N	-	N	+	-	N	N
건축 연도	N	+	+	±	+	+	±
주택 면적	±	±	±	±	±	±	±
주택 소유 (자가)	-	+	-	-	-	±	-
도시 규모	-	-	N	+	-	+	+
가구원 수	+	±	+	±	-	±	±
가구주 연령	±	±	±	+	+	+	±

주: ‘+’는 양의 관계, ‘-’는 음의 관계, ‘±’는 비선형 관계(양 또는 음의 관계 동시 존재), ‘N’은 표본 수의 부족으로 판단이 어려운 경우임.

VI. 요약 및 시사점

본 연구는 국내 주택용 난방 에너지원의 효율성을 비교하기 위해 2016년 ‘가구상설에너지 표본조사’ 자료를 활용하여 2,325개 가구에 대해 난방에너지 소비량

을 도출하고, 확률경계모형을 활용하여 가구별 비효율성 정도를 측정하였다. ‘가구상설에너지 표본조사’ 자료 내에 난방용 에너지 소비량에 대한 정확한 정보가 제공되지 않기 때문에 본 연구에서는 주난방연료 및 주취사연료에 대한 응답을 바탕으로 난방용 에너지 소비량을 도출하였다. 특히, 주난방연료원과 주취사연료원이 동일한 가구에 대해서는 평균차감방식 및 추정차감방식을 적용하여 난방용 에너지 소비량 자료를 생성하였다.

확률경계모형을 활용하여 국내 가구의 난방에너지 소비효율을 분석한 결과, 난방용 에너지의 종류에 따라 효율성 수준이 다르게 나타남을 확인하였다. 정부의 법정 지원금으로 인해 에너지 가격이 낮은 연탄과 보조난방설비 사용 비중이 높아 난방용 에너지 소비량이 과소 추정되는 프로판을 제외하면, 가정용 난방 연료원 중 열에너지의 효율성이 가장 높았으며, 뒤이어 중질중유, 도시가스, 심야전력, 등유 순으로 효율성이 낮아졌다. 이러한 에너지원별 효율성 차이는 에너지원의 종류 외에도 주택 종류, 건축 연도, 주택 면적, 주택 소유 형태, 도시 규모, 소득 수준, 가구원 수 및 가구주 연령 등 다양한 요인에 따라 영향을 받고 있음을 확인하였다.

구체적으로 건축 연도가 2010년대 이후인 가구는 2010년대 이전의 가구보다 난방용 에너지 소비효율이 에너지원과 관계없이 높음을 확인하였다. 반면, 주택을 자가로 소유한 가구는 등유와 열에너지를 제외하고 난방용 에너지 소비효율이 월세 또는 전세에 거주하는 가구에 비해 낮음을 분석 결과에서 확인하였다. 주택 면적, 가구주 연령 및 가구원 수는 일정 수준을 기준으로 난방용 에너지 소비효율에 미치는 효과가 반대로 바뀌는 비선형 관계가 존재할 수 있음도 확인하였다.

이렇듯 가구의 특성 차이로 인해 난방용 에너지 소비의 효율성이 상당한 차이를 보였다. 동일한 에너지원이라도 거주하는 주택의 건축 연도, 주택 면적, 가구 소득 수준 등에 따라 효율성 정도가 달랐다. 다만, 평균적으로는 열에너지, 중질중유 및 도시가스의 에너지효율이 높게 나타났다. 중질중유를 사용하는 가구의 수가 극소수인 점을 고려할 때, 열에너지 및 도시가스를 중심으로 효율적인 난방용 에너지 공급 확대가 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 직접 난방용 에너지 소비량 자료를 산정하여 에너지원별 효율성을 비교 분석하였다는 점에서 의의가 있으나, 분석 자료 특성상 보조 난방 사용을 충분히 반영하지 못하였다는 한계점을 가지고 있다. 특히 프로판을 주난방연료로 사용하는 가구의 경우, 약 82%의 가구가 보조 난방연료를 함께 사용하고 있기 때문에 프로판 사용량만으로 난방에너지 효율성을 분석하는 방식은 한계가 존재

한다.¹⁶⁾ 확률경계모형 외 가구의 난방 소비 행태와 관련 있는 의사결정을 고려하는 방법을 적용하여 효율을 분석하거나 가정 부문 외 산업, 상업 등의 난방 소비 에너지 효율의 결정요인도 실증 분석할 수 있을 것이다.

또한 가격의 변동을 충분히 반영하지 못했다는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 지출액 산출을 위해 겨울철 가격 자료를 활용하였으나, 실제 가격은 매기 변동하기 때문에 지역별 가격 변화를 반영할 필요가 있다. 이러한 점들은 이후 연구에서 반영되기를 기대한다.

16) 다만, 그 이외의 연료원에서는 이러한 문제가 발생하지 않았다는 점에서 본 연구의 효율성 비교 분석 결과는 의의가 있다.

부 록

1. 지역별 열에너지 요금

열에너지의 경우 35개 사업자별로 요금이 다르고, 사업장 위치가 달라서 다음과 같이 지역별로 구분하여 평균 요금을 활용하였다.

<부표 1> 지역별 열에너지 요금(2015년 기준)

지역	사업체명	사업장	기본요금 (m ² 당)	동절기 요금 (원/Mcal)
서울	sh공사	노원, 신정, 목동	45.54	99.25
	한국지역난방공사	송파, 마포, 반포, 상암 등	52.4	85.93
	코원에너지서비스	강일1, 2	52.4	83.5
	위레에너지서비스	송파거여	52.4	83.5
	대성산업	신도림디큐브시티	52.4	85.93
	집코	사당	52.4	91.58
부산	부산정관에너지	부산정관	52.4	91.64
	부산시	해운대	59.8	85.41
대구	한국지역난방공사	대구	52.4	85.93
	대성에너지	대구죽곡1, 2	52.4	85.93
	대구그린파워	대구혁신도시	52.4	85.93
인천	gs파워	부천	52.4	85.93
	인천공항에너지	인천공항신도시	52.4	79.28
	미래엔인천에너지	인천논현2, 서창2	52.4	90.15
	인천종합에너지	송도국제도시	52.4	90.15
	청라에너지	인천청라	52.4	90.15
광주	한국지역난방공사	광주전남	52.4	85.93
	한국CES	광주상무	49.02	76.49
	수완에너지	광주수완	52.4	83.54
대전	lh공사	대전서남부	52.4	85.93
	대전열병합발전	대전산단	52.4	94.94
	충남도시가스	대전학하	52.4	95.02
울산	-	-	-	-

<부표 1> 계 속

지역	사업체명	사업장	기본요금 (m ² 당)	동절기 요금 (원/Mcal)
경기도	한국지역난방공사	고양, 광교, 분당 등	52.4	85.93
	gs파워	안양, 부천	52.4	85.93
	안산도시개발	안산, 화성남양, 송산그린시티	52.4	85.93
	평택에너지서비스	평택소사별	52.4	83.5
	별내에너지	남양주별내	52.4	85.93
	대륜발전	의정부민락2지구, 양주옥정	52.4	85.93
	삼천리	광명역세권	52.4	90.14
	휴세스	화성향남	52.4	90.15
	DS파워	오산	52.4	87.61
	티피피	양주고읍	52.4	93.52
강원도	-	-	-	-
충청북도	한국지역난방공사	청주	52.4	85.93
충청남도	한국지역난방공사	서천	52.4	85.93
	LH공사	아산배방탕정	52.4	85.93
	제일모직	아산탕정	52.4	88.34
	중부도시가스	천안청수	52.4	87.61
	내포그린에너지	충남도청이전신도시	52.4	89.78
	석문에너지	석문국가산단, 배후주거단지	52.4	88.54
전라북도	전북집단에너지	익산산단, 배산, 장신지구	52.4	85.93
전라남도	한국지역난방공사	광주전남	52.4	85.93
경상북도	포스메이트	포항	57.03	42.35
	한남	김해	52.4	85.93
경상남도	무림파워텍	진주혁신도시	52.4	83.5
	제주도	-	-	-

주: 동절기 요금이 별도로 존재하지 않는 사업체의 경우 단일요금을 적용하였는데 일반적으로 단일요금이 동절기 요금에 비해 저렴함.

2. Jondrow *et al.*(1982)에 따른 효율성 추출 방법¹⁷⁾

앞서 식 (3)을 통해 $u_i \sim N(0, \sigma_u^2)$, $\eta_i \sim N^+(0, \sigma_\eta^2)$ 을 가정하였다.

순수한 오차항 u_i 와 효율성지표 η_i 가 독립이라고 가정하면(이후부터는 하첨자 i 는 생략)

$$\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_\eta^2$$

또한 μ_* 와 σ_*^2 를 다음과 같이 정의하면,

$$\mu_* = -\frac{\sigma_u^2 \epsilon}{\sigma^2}, \quad \sigma_*^2 = \frac{\sigma_u^2 \sigma_v^2}{\sigma^2}$$

$f(u|\epsilon)$ 은 0 이하의 값은 절삭되어 있는 $N(\mu_*, \sigma_*^2)$ 를 따른다(세부 증명 과정은 Jondrow *et al.*(1982)를 참고하라).

이 분포의 평균을 구하면 다음과 같다.

$$E(u|\epsilon) = \mu_* + \sigma_* \frac{f(-\mu_*/\sigma_*)}{1 - F(-\mu_*/\sigma_*)}$$

이때 μ_* 과 σ_* 을 알 수 없으므로 MLE를 통해 추정된 $\hat{\mu}_*$ 과 $\hat{\sigma}_*^2$ 로 대체하여 $\hat{E}(u|\epsilon)$ 을 계산한다.

17) Jondrow *et al.*(1982).

참 고 문 헌

- 김지효·남수현, 『가정 부문 전력사용 효율성 실증 연구: 가구에너지 소비 상설 표본조사자료 분석』, 수시연구 보고서 16-12, 2016, 에너지경제연구원.
- 김창훈·이지연, 『건물 에너지효율 시장요소 분석 및 개선방안 연구』, 기본연구 보고서 14-16, 2014, 에너지경제연구원.
- 노승철·이희연, “가구 부문의 주거·교통 에너지 소비구조 분석에 관한 연구,” 『지역연구』 제29권 제2호, 2013, 47~67.
- 노정녀, “가구 구성원 특성과 가전제품 사용에 따른 가정용 전력수요의 예측,” 『한국경제연구』 제32권 제2호, 2014, 177~202.
- 신동현, “국내 도시 가구 전력소비효율의 결정요인 분석,” 『에너지경제연구』 제17권 제2호, 2018, 147~181.
- 신현곤, “세계 철강산업의 경계생산함수 추정과 기술적 효율성, 기술진보 그리고 생산성 변화,” 『산업경제연구』 제20권 제4호, 2007, 1319~1343.
- 안영수·김기중·이승일, “서울시 주택의 규모와 종류, 건축연도별 특성이 에너지 소비량의 차이에 미치는 영향 실증 연구,” 『국토계획』 제49권 제3호, 2014, 175~194.
- 오현영, 『가구당 지역난방열 소비량의 변화요인 분석』, 수시연구 보고서 13-18, 2013, 에너지경제연구원.
- 이성근, 『가정부문 용도별 에너지 소비량 및 소급추정에 관한 연구』, 기본연구 보고서 10-05, 2010, 에너지경제연구원.
- 이성근·이성인, 『국가 에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선방안 연구: 가정·상업 부문의 에너지효율 평가』, 기본연구 보고서 08-10, 2008, 에너지경제연구원.
- 이윤재·이현수·박소윤, “공동주택 거주자의 에너지 사용행태 및 에너지 절약의 식 분석,” 『한국주거학회논문집』 제22권 제6호, 2011, 31~42.
- 임기추, 『에너지절약 정보유형의 가정부문 에너지 소비 영향 분석』, 기본연구 보고서 08-03, 2008, 에너지경제연구원.
- 전웅찬, 『한국 쌀 농가의 기술 효율성 분석: 완전효율을 고려한 확률경계모형을 중심으로』, Doctoral dissertation, 2017, 서울대학교 대학원.
- 최문선, 『가구에너지 상설표본조사』, 2015, 에너지경제연구원.

- 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.
- Davis, L. W., "Evaluating the Slow Adoption of Energy Efficient Investments: Are Renters Less Likely to have Energy Efficient Appliances?" NBER Working Paper 16114, 2010.
- 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.
- Frederiks, E. R., K. Sterner, and E. V. Hobman, "The Socio-demographic and Psychological Predictors of Residential Energy Consumption: A Comprehensive Review," *Energies*, 8, 2015, 573~609.
- Gillingham, K., M. Harding, and D. Rapson, "Split Incentives in Residential Energy Consumption," *Energy Journal*, 33(2), 2012, 37~62.
- 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.
- 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.
- 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.
- Nair, G., L. Gustavsson, and K. Mahapatra, "Factors Influencing Energy Efficiency Investments in Existing Swedish Residential Buildings," *Energy Policy*, 38(6), 2010, 2956~2963.
- Seo, J. H., "A Study on the Ecologically Concerned Consumer Skill and

Related Variables: In Ulsan Area,” *Journal of Korean Home Management Association*, 9(2), 1991, 93~101.

[Abstract]

An Analysis of Energy Efficiency of Household Heating Demand in Korea

Donghyun Shin* · Hyungwoo Lim** · Hahyun Jo***

This study investigates the energy efficiency of heating demand by energy sources based on the “Household Energy Sustainable Sampling Survey” data of 2,325 domestic households in 2015. As an analysis result for efficiency of heating demand using stochastic frontier model, the consumption efficiency of heat energy is the highest when excluding briquette and propane, which had problems in data processing. The efficiency gap of energy consumption for heating demand is affected by various factors such as the type of housing, the year of construction, the size of the house, the size of the city, the income level, the number of households. On average, the heating efficiency of heavy oil, heat energy and urban gas was high, suggesting the need to expand the supply of heat energy and urban gas in the future in terms of improving the supply efficiency of the national energy system and improving the energy consumption efficiency.

Keywords: heating demand, energy consumption efficiency, heat energy, urban gas, stochastic frontier model

JEL Classification: Q40

* First author, Associate Research Fellow, Korea Energy Economics Instituted, Tel: +82-52-714-2094, E-mail: dhshin@keei.re.kr

** Corresponding author, Ph.D. course in Economics, Yonsei University, Tel: +82-2-2123 2484, E-mail: hyungwoo.lim0206@gmail.com

*** Coauthor, Professor, Yonsei University, Tel: +82-2-2123-2484, E-mail: hahyunjo@daum.net

