



가구에너지 상설표본조사 기반 표준가구 EUC 도출과 건축물에너지효율등급 기준 평가

이나현¹ · 김혜진² · 서동현^{3*}

¹충북대학교 건축공학과 석사과정, ²충북대학교 건축공학과 박사과정,

³충북대학교 건축공학과 부교수

Estimation of End-Use Consumption and Building Energy Efficiency Rating Criteria of Prototypical Residential Buildings Based on Household Energy Standing Survey

Lee, Na-Hyeon¹ · Kim, Hye-Jin² · Seo, Dong-Hyun^{3*}

¹M.S. Student, Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

²Ph.D Student, Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

³Associate Professor, Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

*Corresponding author: Seo, Dong-Hyun, Tel: +82-43-261-3438, E-mail: seodh@cbnu.ac.kr

ABSTRACT

Nationwide energy consumption data of building stock is more useful when it is provided with building information, such as vintage, gross area, region, and usage for open-ended users. The combined data could help building designers and policy makers more deeply understand which variables have a heavy impact on the energy use. 36 prototypical residential buildings were defined with HESS micro data. Then, detailed building energy modeling was performed to derive EUR (End-Use Ratio) of the each prototypical residential building. Those results are derived thanks to HESS micro data which provides both building information and monthly energy consumption data from 2,520 household samples. As a demonstration of the EUR data application, the Building Energy Efficiency Rating of the prototypical residential buildings was performed since EUR information is mandatory for the rating system. As a result, all the prototypical residential buildings got rates from 2 to 1++ grade. This can be interpreted that 50% of existing residential buildings could get grade from grade 2 to grade 1++. This means that current rating criteria should be strengthened so that more energy-efficient buildings can receive high ratings.

주요어 : 가구에너지 상설표본조사, 최종 소비처별 에너지소비량 및 비율, 건축물에너지효율등급, 표준가구건물

Keywords: HESS, End-Use Consumption and Ratio (EUC & EUR), Building energy efficiency rate, Prototypical residential building

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2022 February, 16(1): 80-93
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20220008>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: February 3, 2022
Revised: February 19, 2022
Accepted: February 21, 2022

© 2022 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

연구배경 및 목적

어떠한 제도의 시행효과를 객관적으로 확인하고 지속적으로 운영하기 위해서는 측정과 분석을 위한 체계적, 순환적인 피드백 시스템이 필요하다. 건물에너지 분야 제도의 경우 1979년 단열기준(현행, 건축물에너지절약설계기준)이 시행되고, 2001년 건축물에너지효율등급 제도가 시행되었으나, 아직까지 이러한 체계적 피드백 시스템이 제대로 갖추어져 있지 않다.

예를 들어, 정부는 2012년부터 국토교통부 주도로 국가건물에너지종합관리시스템을 구축하고, 한국부동산원에 위탁하여 약 700만동의 건물에너지 데이터 수집과 정리 및 분석을 지속적으로 진행하고 있다. 이러한 과정을 통해 한국부동산원은 2018년 주거에너지 소비데이터에 관하여 ‘주거용 건물에너지 사용량 통계(MOLIT, 2019)’를 제시하였다. 하지만, 이 데이터는 건축물대장 정보와 에너지 공급사가 제공하는 월별 전력, 지역난방, 도시가스 소비량을 결합하여 주거건물의 종류, 준공년도 및 지역 등 대장정보에 기반한 에너지소비정보만을 제공하고 있다. 이 통계는 주거용 건물의 준공년도나 지역에 따른 단위면적당 에너지소비량의 감소나 차이는 설명할 수 있으나, 보다 더 다양한 변수에 따른 주거건물의 에너지소비량 변화나 변수 간 복합적인 영향에 따른 소비특성 변화는 제시할 수 없다. 이는 에너지소비량과 건축/설비/이용특성 정보연계가 불가능한 이 데이터의 근원적 한계이다.

본 연구는 선행연구 Lee et al. (2019) “가구에너지상설표본조사 결과를 활용한 지역, 주거 유형, 전용면적, 준공년도별 주거에너지 소비특성 분석”의 후속 연구이다. 선행연구가 에너지경제연구원의 가구에너지 상설표본조사(HESS: Household Energy Standing Survey) 결과를 분석하여 지역 및 주거유형에 따른 단위면적당 전력과 연료소비량을 월별 및 연간데이터로 제시하였다면, 본 연구는 HESS 마이크로데이터의 다양한 건축 및 설비정보와 이용특성정보에 기반한 표준가구건물 정의, 에너지모델링 및 표준가구 에너지소비량 검증을 통해 최종 소비처별 에너지소비 비율(EUR: End-Use Ratio)을 도출하는 것을 목적으로 한다. 마지막으로, 본 연구에서 제시하는 EUR의 활용예시로, 표준가구 에너지소비량을 건축물에너지효율등급에 적용하여 표준가구건물의 에너지소비 수준을 효율등급 관점에서 평가하고자 한다.

이러한 과정을 통해 표준 단독(Detached House) 및 공동주택(APT: Apartment House)의 EUR을 추정하고, 건축물에너지효율등급 제도의 합리성을 평가하여, 최종적으로 더 합리적인 건축물에너지효율등급제도 운영을 위한 객관적 근거를 제시할 수 있다는 것으로 보여주고자 한다.

연구범위 및 방법

본 연구에서는 표준가구건물 정의를 위한 건축물 일반정보, 설비정보, 건물이용정보, 에너지소비량정보를 획득하는데 2017 HESS 마이크로데이터를 활용하였다. 이 HESS 마이크로데이터는 에너지경제연구원의 국가에너지통계종합정보시스템(KESIS)에 공개된 2016년 수행한 상설표본조사 결과이다. 따라서 에너지소비량은 물론, 건축 및 설비, 기후 등 모든 조건도 2016년도의 상태를 기준으로 표준가구건물을 정의하고 에너지소비량을 추정하였다.

HESS는 단독주택, 공동주택, 연립/다세대, 기타로 구분된 주거유형을 조사대상으로 하나 충분한 샘플수 확보를 위해 단독 및 공동주택만 분석대상으로 하였다.

표준가구건물은 지역 및 주거유형, 전용면적, 준공년도별로 구분하여 단독주택 및 공동주택 각각 18개의 표준가구그룹이 정의되었고, 각 그룹별로 단위면적당 연간 및 월별 에너지소비량을 정리하였다. 표준가구정의와 에너지모델링 결과는 공동저자인 Seo et al. (2019; 2020)의 연구보고서를 참고하였고, 이에 기반하여 36개 표준가구별 EUR을 도출하였다. 마지막으로, 본 연구에서 도출한 EUR을 활용하여 표준가구그룹별 건축물에너지효율등급을 산출하여 효율등급기준의 관점에서 표준가구들의 에너지 소비수준을 평가하였다.

문헌고찰

가구에너지 상설표본조사(HESS)

본 연구에서 사용한 2016년 HESS 마이크로데이터는 전국 가구 중 지역, 주거유형, 난방연료에 따라 2,520가구를 층화추출하여 조사한 결과를 담고 있다. HESS 조사항목은 주택특성, 에너지이용기기 및 에너지소비량, 가전기기보급실태, 자가용차량 보유 및 운행현황, 가구원에 관한 사항 등 6가지 대항목으로 분류되며, 총 149개 세부항목으로 이루어져 있다. 세부항목 사례로, 주택에 관한 사항에서는 행정구역, 주택유형, 층수, 향, 건축년도, 주택면적, 외벽 및 창 의 개수, 가구원 수, 가구원의 구성형태, 가구의 소득 등을 조사하며, 설비에 관한 사항으로는 주 냉난방 방식 및 연료, 보조 냉난방 방식, 취사연료 등을 조사한다. 이외에도 가전기기의 보유현황 및 이용시간 등을 일일 기장조사표로 조사하며, 에너지소비량은 에너지원별로 구분하여 월별 2차에너지 소비량을 조사한다.

이처럼 HESS는 주거건물의 일반, 설비, 및 이용정보와 에너지소비량 데이터를 병행하여 조사한 점, 표본대상이 넓고 추출방법이 통계적으로 체계적인 점, 조사항목의 상세 수준이 높은 점, 개별가구 단위의 조사결과를 마이크로데이터 형태로 제공하는 점에서 건물정보와 에너지 소비량정보를 연계하여 표준가구건물을 정의하고 그 건물의 에너지소비 특성을 규정할 수 있는 국내 유일의 국가공인 통계데이터로 판단하였다.

주거에너지 소비량 관련 연구 고찰

주거에너지 소비량을 조사하거나 추정하는 연구는 최근 10년간 약 15편으로, 많지는 않지만 지속적으로 연구되고 있다. 대부분의 연구가 에너지공급사 및 관리자, 공공기관의 통계 등을 통해 에너지소비량을 수집하였으나, Chung et al. (2010), Park et al. (2014), Eum et al. (2018), Jin et al. (2018; 2019)은 특정 공동주택 단지들을 대상으로 직접 계측한 에너지소비량을 활용하여 냉방, 난방, 급탕 등 최종 소비처별 에너지 소비량(EUC: End-use Consumption)이나 단위면적당 에너지소비량(EUI: Energy Use Intensity)을 제시하고 있다. Jin et al. (2018; 2019)의 연구는 서울시 소재 공동주택 10개 단지의 50세대를 대상으로 냉방, 난방, 급탕, 조명 등 최종 EUC를 도출하기 위한 최신 연구로서 의미가 있으나 각 분야별 소비량과 건축 및 설비특성사

이의 상관성 분석이 부족하다. Chung et al. (2010)의 연구는 준공년도를 기준으로 월별, 연간 에너지원별 EUI를 측정하여 단열기준 강화에 따른 소비량의 차이를 확인하고자 하였다.

Table 1은 이 연구들을 포함하여 가구에너지 소비특성을 분석한 연구들의 주요 차이점을 실측여부(표에서 음영처리), 에너지소비량 측정 및 추정년도, 분석대상 주거유형, 에너지소비량 차이를 유발한 주요 변수, 에너지소비량 결과제시기준(i.e, 용도별, 에너지원별)으로 구분하여 정리하고 있다. 앞서 언급한 연구사례 이외의 상당 수 연구자들은 가구에너지 소비량에 영향을 미치는 변수를 선정하고, 이 변수에 따른 에너지소비의 차이를 확인하고자 하였다. 예를 들어, Kim et al. (2011), Ahn et al. (2014), Kim and Song(2014), Lee et al. (2015a), Lee et al. (2015b)은 전용면적 및 준공년도와 같은 전형적인 에너지소비량 영향인자에 따른 소비량의 차이를 확인하고자 하였고, Lee et al. (2010), Lee et al. (2018)은 각각 발코니 확장여부, 난방기기 종류나 대수 등에 따른 소비량 차이를 분석하였다.

Table 1. The results of related previous study

Authors	Location	Measure -ment Period	Analysis Criteria													Result							
			Net Usable Area	Building Type	Completion Year	Num of Envelope	Orientation	Building Stories	Plan Type	Building Shape	Unit Location	Balcony removal	Energy Efficiency	Type of Heat Source	Heating Fuel	Auxiliary Heating	DHW Devices	Num of Occupants	By End-User	By Energy Source	Monthly Use	Annual Use	EUI
Ahn et al. (2014)	Seoul	2012.01~2012.12	●	●	●														●	●	●	●	
Kim and Song (2014)	Seoul	2012.01~2012.12	●		●		●	●	●	●		●	●						●	●	●	●	
Kim et al. (2011)	Daegu	2007.01~2009.06	●	●									●						●	●	●	●	
Kim and Lee (2014)	Busan	2011.01~2011.12		●															●	●	●	●	
Lee et al. (2018)	Seoul	2016.06~2017.05	●		●					●	●				●	●	●	●	●	●	●	●	
Lee et al. (2015a)	Central/Southern	2014.01~2014.12	●																●	●			
Jin et al. (2018)	Seoul	2016.06~2017.05																				●	
Jin et al. (2019)	Seoul	2017.05~2018.04																●	●	●	●	●	
Lee et al. (2010)	Nation Wide	2008.01~2008.12											●						●	●	●	●	
Eum et al. (2018)	Daegu	2016.01~2016.12																				●	
Park et al. (2014)	Capital Area	2011.01~2011.12																				●	
Kim et al. (2009)	Gyeong-nam	2008.01~2008.12								●	●								●	●	●	●	
Chung et al. (2010)	Gyeong-gi	2007.01~2008.10			●														●	●	●	●	
Lee et al. (2015b)	Capital Area	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●									●	●	●	
Total			6	3	5	1	2	2	1	3	3	1	2	1	1	1	1	1	2	8	8	7	12

지금까지 거론된 연구들을 요약하면, 실제 소비량을 측정된 연구들의 경우 그 결과에 대한 신뢰성은 높으나, 모집단이 폭넓지 않거나 엄격한 통계학적 샘플링 절차를 거치지 않아 대표성을 가지기가 어렵고, 건축적인 특성과 연계한 에너지소비량 분석 결과가 제한적이다. 그 외 대부분의 연구들은 난방방식, 발코니 확장여부, 준공년도 등과 같은 특정 변수에 따른 소비량의 차이를 규명하기 위한 연구로 주거건물의 에너지소비량에 대표성을 부여할 수 있는 연구의 필요성 측면에서는 한계가 있다.

건축물에너지효율등급(BEER: Building Energy Efficiency Rating)인증

건축물에너지효율등급 인증은 2001년 공동주택을 대상으로 최초 도입된 이후 2013년에는 모든 용도의 건축물로 인증대상이 확대되었으며, 2021년 현재 에너지효율등급 의무 인증대상은 3,000 m² 이상 신축 공공기관 및 공동주택이다. 2020년 10월 기준, 전체 본인증 사례 7,125건 중 주거용 건물은 43% (3,073건), 업무시설은 22% (1,585건), 교육연구시설은 18% (1,283건)를 차지하여 주거건물의 효율등급인증이 활발히 진행되고 있다(Korea Energy Agency, 2020).

2018년 기준, 전체 누적 주거용 건물의 본인증 사례 1,515건 중 2등급이 51% (766건)로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 1등급이 44% (665건)를 차지한 것으로 나타나(MOLIT, 2018), 대부분의 주거용 건물(단지단위 공동주택이 대부분임)은 높은 효율등급을 쉽게 받는 것으로 나타난다. 공동주택의 경우, 단위면적당 1차에너지소요량 평가 시 단지 공용부 면적은 제외한다.

표준가구그룹 분류 및 에너지소비량

표준가구그룹의 분류

2,520개 샘플가구를 그룹핑하기 위한 기준을 선정하기 위하여 HESS 조사항목 중 가구에너지 소비에 근본적인 영향을 미치는 변수인 지역(기후), 주거유형, 전용면적, 준공년도를 기준변수로 선정하였다. 이 변수들은 유사한 특성의 가구라 할지라도 가구가 위치한 지역, 외피의 면적비율 정보를 알 수 있는 주거유형, 에너지소비량과 비례하는 전용면적, 외피의 단열성능을 유추할 수 있는 준공년도에 따라 큰 차이를 보이기 때문이다.

Table 2는 이러한 기준변수에 해당하는 HESS 조사항목을 기준변수별로 어떻게 구분하여 샘플링된 가구를 표준가구그룹으로 분류하였는지 보여주고 있다. 제주지역은 표본가구 수가 적어 제외하였으며, 16개 시·도 단위(광역시 포함)로만 구분하여 조사한 지역을 건축물 에너지절약 설계기준의 기후존과 최대한 유사하도록 중부 및 남부 지역으로 분류하였다. 주거유형은 ‘연립/다세대’와 ‘기타’를 제외한 단독주택과 공동주택만으로 구분하였으며, 전용면적은 11평~24평(소형, 36.3~79.2 m²), 25평~38평(중형, 79.2~125.4 m²), 39~50평(대형, 125.4~165.0 m²)인 3가지 범주로 설정하였다. 준공년도는 Figure 1과 같이 가구별 단열기준의 강화 시점에 따른 외피 단열성능 변화를 반영하기 위해 2000년 이전, 2000년대, 2010년 이후인 3가지 범주로 설정하였다.

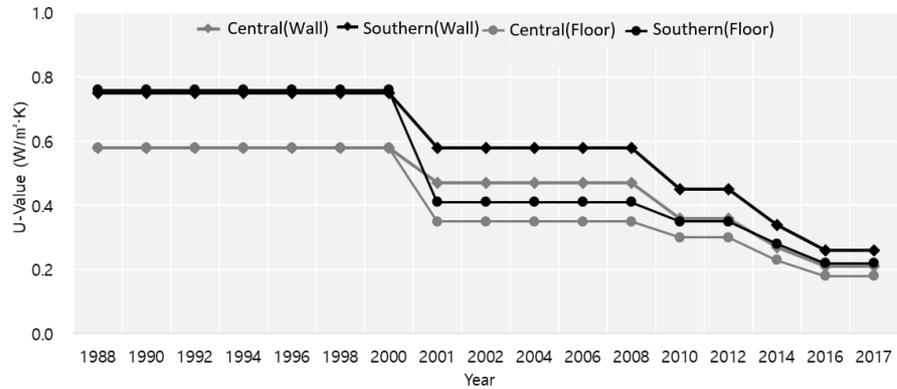


Figure 1. U-value criteria history of exterior wall and floor for both Central and Southern Region

Table 2. Classification criteria comparison of four variables

Variable	Variable Type	HESS Classification			Classification in this study			
Region	Categorical	Seoul,	Incheon,	Daejeon,	Central	Seoul,	Incheon,	Daejeon,
		Gyeonggi,	Kangwon,	Chungbuk,		Gyeonggi,	Kangwon,	Chungbuk,
		Chungnam,	Busan,	Daegu,	Southern	Busan,	Daegu,	Gwangju,
		Gwangju,	Ulsan,	Jeonbuk,		Ulsan,	Jeonbuk,	Jeonnam,
		Jeonnam,	Gyeongbuk,			Gyeongbuk,	Gyeongnam	
		Gyeongnam,	Jeju					
Building Type	Categorical	Detached House,	Row/Multiplex,		Detached House			
		APT,	Etc.		APT			
Net Usable Area (NUA)	Continuous	19.8 to 330 m ²			Small	36.3 to 79.2 m ²		
					Medium	79.3 to 125.4 m ²		
					Large	125.4 to 165.0 m ²		
Vintage	Categorical	Pre 1970,	1970's,	Pre 2000	Pre 1970~1990's			
		1980's,	1990's,		2000's	2000's		
		2000's,	After 2010	After 2010	After 2010			

표준가구그룹별 에너지소비량 계산

HESS 마이크로데이터 중 월별 에너지소비량 조사결과를 이용하여 이상값을 제거하는 여러 단계의 전처리를 진행한 후 표준가구별 월간/연간 EUI를 계산하였다. HESS에서 조사하는 에너지원 중 중질중유와 일반전력을 제외한 7개 에너지원(연탄, 등유, 프로판가스, 도시가스, 지역난방, 심야전력, 임산연료)을 월별로 합산하여 연료로 통칭하여 본 연구에서 사용하였다. 결과적으로 본 연구에서 가구에너지는 난방, 급탕, 취사로 사용되는 연료와 냉방, 가전, 조명부문에 사용되는 전력소비량으로만 구분하였다.

Table 3은 두 가지 정보를 나타내고 있다. 첫 번째는 Table 2의 분류기준에 따라 분류된 중부와 남부 단독주택 및 공동주택 표준가구그룹을 보여주고 있으며, 두 번째는 각 그룹에 해당하는 가구의 월간 소비량을 평균하여 연간 연료 EUI 및 전력 EUI 결과를 보여주고 있다. 중부

단독주택(Detached)의 연간 연료EUI는 준공연도가 동일할 때 전용면적이 소형(S)에서 대형(L)으로 증가할수록 평균 20%~28% 감소하며, 동일한 면적에서 준공연도가 2000년 이전에서 2010년 이후로 올수록 평균 1~4% 감소한다. 감소율에서 일부 차이는 있으나, 전용면적과 준공연도에 따른 연료 및 전력 EUI 차이는 일관되게 나타난다.

Table 3. Fuel and electricity EUI (kWh/m²-yr) of 36 prototypical residential buildings

Region	Classification		Detached		APT	
	NUA	Vintage	Fuel	Electricity	Fuel	Electricity
Central	Small (S)	Pre 2000	146.6	47.9	115.8	37.9
		2000's	147.3	43.2	112.8	36.7
		After 2010	142.0	40.3	110.0	36.8
	Medium (M)	Pre 2000	117.6	33.8	91.9	31.2
		2000's	118.6	30.5	89.7	30.2
		After 2010	113.9	28.5	87.4	30.4
	Large (L)	Pre 2000	113.5	24.5	90.9	26.2
		2000's	114.5	22.1	88.6	25.4
		After 2010	110.0	20.6	86.9	25.5
Southern	Small (S)	Pre 2000	125.5	46.1	120.3	45.8
		2000's	106.8	41.9	121.3	44.0
		After 2010	103.1	41.4	103.6	39.8
	Medium (M)	Pre 2000	93.6	32.9	97.1	32.8
		2000's	79.7	29.9	97.9	31.5
		After 2010	76.9	29.6	83.6	28.5
	Large (L)	Pre 2000	83.7	29.8	57.3	23.7
		2000's	71.9	27.1	57.8	22.8
		After 2010	69.5	26.8	49.4	20.6

표준가구모델 기반 EUC와 EUR 추정

표준가구모델 정의 및 모델링을 통한 EUR 추정방법 및 결과 검증

본 절에서 제시한 표준가구그룹별 최종 EUC와 EUR 계산은 Seo et al. (2019; 2020)에서 표준가구를 정의하고, 이를 이용하여 에너지모델링을 진행한 후 Table 3과 같은 그룹별 전형적 에너지소비량으로 검증한 결과를 기반으로 한다. 단위 건물에서도 EUR을 측정하기 위해서는 상당한 측정장비 설치와 시간이 필요하기 때문에, Table 4와 같은 표준가구모델(중부지역에 위치한 2000년 이전 준공된 소형 단독주택)정의 내용을 건물에너지 상세 모델링에 반영하고 시뮬레이션 결과를 월별 에너지소비량으로 검증하여 전형적인 주거건물의 EUR을 추정하는 법을 사용하였다.

이를 위해 Energy# 프로그램의 냉난방부하 계산 알고리즘(Bae, 2016)을 기본으로 사용하였으나, HESS 마이크로데이터에서 도출한 조명, 가전기기, 취사, 급탕 소비특성 데이터(기

기의 종류와 용량, 사용시간 등)와 소비량계산 방식을 보완하여 월별 EUC를 계산하였다. 지금까지 EUR을 계산하기 위한 상세 설명은 본 논문에서 다루기에 지면의 한계가 있기 때문에 보고서(Seo et al., 2020)를 참고하기 바라며, Figure 2를 이용하여 요약하여 설명한다. HESS 마이크로데이터 전처리와 분석으로 정의한 표준가구를 Energy# 에너지모델링에 적용하였다. 이 과정에서 Energy#에 기본 내장된 각종 설비의 사용시간과 용량을 HESS 분석결과 및 표준가구 정의데이터로 대체하고, 급탕과 가전기기 소비량처럼 HESS에서 구분하지 못하는 소비량은 별도의 DB나 계산방식을 적용하였다. HESS에 기반하더라도 이처럼 EUR 계산을 위한 모든 입력데이터 확보가 가능하지 않기 때문에 표준가구의 EUC를 Energy#으로 계산한 후 월별 연료와 전력소비량 조사결과와 비교 검증 및 모델링 보정을 반복하여 최종적으로 EUR을 확정하였다. 이와 같은 작업은 총 36개 단독 및 공동주택 표준가구그룹별로 진행되었다.

Table 4. Partial example of defined input information of prototypical detached house

Classification		Classification		
Weather Data	2016's Seoul	Infiltration (ACH)		0.5
NUA (m ²)	63.7	Window to Wall Ratio (%)	E, W	20
Floor height (m)	3.0		S	50
Aspect Ratio	1.2		N	10
Orientation	South	Heating	Source	City Gas
Num. of E-Wall	4		Eff.	80%
Occupied Hours	15 hr	Cooling	Source	Elec.
Num. of Occupant	3		COP	3.15
U-value (W/m ² ·K)	Exterior Wall	DHW	Fuel	City Gas
	Window		3.36	Eff.

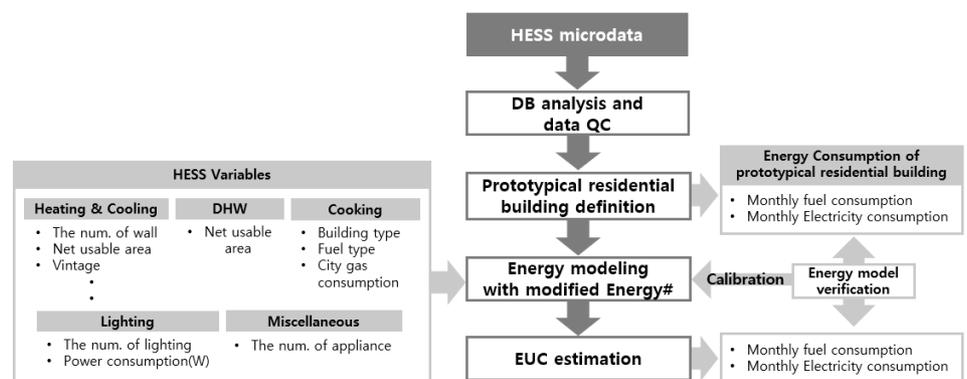


Figure 2. EUC estimation process (Seo et al., 2019)

Table 4의 표준가구 정의결과에 따라 Energy#으로 모델링 후 시뮬레이션 결과를 Table 3의 에너지소비량 결과와 검증한 결과는 Figure 3과 같다. 검증지표는 ASHRAE Guideline 14 (2014)의 MBE (Mean Bias Error)와 Cv (RMSE) (Coefficient of variation of the Root Mean

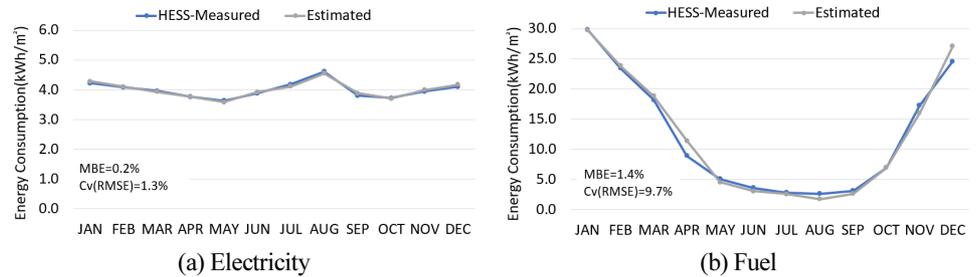


Figure 3. Monthly fuel and electricity consumption calibration result of prototypical detached house model (Central/Pre2000/Small group)

Squared Error)를 활용하였으며, 월별 소비량 기준으로 MBE가 $\pm 5\%$ 이내, Cv (RMSE)가 15% 이하일 때 추정결과의 예측수준이 높다고 판단한다. Figure 3의 중부/단독주택/소형/2000년 이전 표준가구모델의 경우, 연료추정량 검증결과 MBE는 1.4%, Cv (RMSE)는 9.7%로 나타났으며, 전력 검증결과는 MBE 0.2%, Cv (RMSE) 1.3%로 나타났다. 지면의 한계로 모두 수록하지 못하였지만 전체 18개 단독주택 및 공동주택 표준가구모델의 월별 연료 및 전력소비량 추정 MBE 및 Cv (RMSE)는 허용오차를 만족하였다. 상세한 분석과정과 결과는 Seo et al. (2019; 2020)을 참조하기 바란다.

표준가구모델 EUC와 EUR 추정 결과 및 타 연구와 비교

Table 5와 Table 6은 표준가구모델정의 및 건물에너지 모델링 결과 도출된 단독주택과 공동주택의 최종 EUC와 EUR 추정결과를 보여주고 있다. 조명, 가전, 취사 및 급탕소비량 계산은 기본적으로 HESS 조사결과를 기반으로 하였으나, 설문조사가 어려운 취사 및 급탕 부분은 이 부분 실측연구를 진행한 Lee et al. (2018)의 연구결과를 참고하였다. Table 5에서 중부 및 남부 단독주택의 평균 난방소비량 비율은 각각 50%, 41%로 기후에 따른 난방소비량 비율의 차이가 나타나며, 그에 따라 상대적으로 기후의 영향을 덜 받는 급탕소비량의 비율이 남부 지방에서 증가한다. 중부와 남부 단독주택의 평균 난방소비량은 각각 77.9 kWh/m²·yr, 50.2 kWh/m²·yr로, 남부 난방소비량은 중부의 약 64% 수준이다. 중부와 남부의 절대적인 급탕소비량은 중부가 약 12% 크나, 각 지역별 평균 EUR에서는 남부가 중부에 비하여 약 3% 큰 것으로 나타났다. 마찬가지로, 중부와 남부의 절대적인 가전소비량은 큰 차이가 없으나 EUR에서는 남부가 약 4% 높게 나타났다.

중부 및 남부 공동주택의 평균 난방소비량 비율은 각각 44%와 38%이며, 절대량에서는 각각 55.3 kWh/m²·yr, 44.9 kWh/m²·yr로 중부가 남부에 비하여 약 23% 크다. 공동주택의 경우 지역별 난방 소비량 차이가 단독주택에 비해 크지 않아, 지역별 EUR의 차이의 편차도 단독주택에 비해 낮게 나타난다.

Table 5. EUC and EUR estimation result of 18 prototypical detached house groups

Classification			Annual Energy Consumption by End-user (kWh/m ² -yr)						Total	
Region	NUA	Built Year	Heating	DHW	Cooling	Lighting	Cooking	Apps.		
Central	Small	Pre 2000	94.2	42.2	4.1	8.3	12.2	35.6	196.6	
		2000's	94.4	39.4	3.6	7.5	12.2	32.5	189.5	
		After 2010	87.7	36.9	3.5	6.8	11.3	29.7	175.9	
	Medium	Pre 2000	71.5	35.7	3.1	4.6	8.9	25.8	149.7	
		2000's	73.0	33.3	2.1	5.1	8.9	23.3	145.8	
		After 2010	69.8	33.3	1.8	4.6	8.9	21.7	140.1	
	Large	Pre 2000	71.8	30.6	2.6	4.1	7.5	18.2	134.7	
		2000's	72.0	29.9	1.5	3.4	7.5	17.3	131.6	
		After 2010	66.5	29.9	1.8	2.5	8.5	16.3	125.4	
	Avg. of Central (EUR)			77.9 (50%)	34.6 (22%)	2.7 (2%)	5.2 (3%)	9.5 (6%)	24.5 (16%)	154.4 (100%)
	Southern	Small	Pre 2000	75.2	39.3	3.9	10.2	11.2	32.9	172.8
			2000's	60.5	36.5	3.1	9.9	8.2	28.9	147.0
After 2010			59.6	34.4	2.9	6.3	9.2	32.3	144.7	
Medium		Pre 2000	52.9	34.2	2.4	6.2	5.9	24.8	126.4	
		2000's	43.7	26.6	2.1	4.5	6.9	23.3	107.2	
		After 2010	41.5	27.5	1.9	4.9	5.9	23.0	104.8	
Large		Pre 2000	44.8	29.1	3.8	4.8	7.5	21.2	111.3	
		2000's	37.6	26.5	2.8	7.3	4.5	17.1	95.8	
		After 2010	36.2	24.2	2.8	4.8	6.5	19.4	94.0	
Avg. of Southern (EUR)			50.2 (41%)	30.9 (25%)	2.9 (2%)	6.5 (5%)	7.3 (6%)	24.8 (20%)	122.6 (100%)	

Table 6. EUC and EUR estimation result of 18 prototypical APT groups

Classification			Annual Energy Consumption by End-user (kWh/m ² -yr)						Total	
Region	NUA	Built Year	Heating	DHW	Cooling	Lighting	Cooking	Apps.		
Central	Small	Pre 2000	64.0	39.3	3.0	7.3	10.2	27.5	151.3	
		2000's	61.8	36.7	2.2	7.1	10.2	27.0	145.0	
		After 2010	63.3	30.8	4.0	6.7	10.7	26.6	142.2	
	Medium	Pre 2000	48.4	34.2	3.2	5.0	6.9	23.4	121.1	
		2000's	47.3	32.0	2.6	5.3	6.9	22.2	116.3	
		After 2010	46.4	32.0	3.0	5.5	6.9	21.8	115.6	
	Large	Pre 2000	60.6	22.6	2.7	3.2	5.5	20.3	115.0	
		2000's	52.0	28.5	2.3	3.8	5.5	18.8	111.0	
		After 2010	54.3	23.6	2.4	4.5	5.5	18.4	108.7	
	Avg. of Central (EUR)			55.3 (44%)	31.1 (25%)	2.8 (2%)	5.4 (4%)	7.6 (6%)	22.9 (18%)	125.1 (100%)
	Southern	Small	Pre 2000	65.4	39.3	4.0	9.5	12.2	32.4	162.8
			2000's	65.2	39.4	4.5	7.6	11.2	31.9	159.8
After 2010			52.6	36.9	4.6	7.3	10.2	28.3	139.8	
Medium		Pre 2000	52.0	34.2	2.7	5.6	6.9	24.5	125.9	
		2000's	52.5	34.0	2.7	5.6	6.9	23.2	124.9	
		After 2010	42.1	31.2	1.6	5.9	6.9	21.4	109.2	
Large		Pre 2000	25.6	26.3	2.9	3.6	4.5	16.5	79.4	
		2000's	26.2	24.5	3.0	4.5	5.5	14.9	78.6	
		After 2010	22.6	23.0	2.2	4.0	4.5	14.7	71.0	
Avg. of Southern (EUR)			44.9 (38%)	32.1 (27%)	3.1 (3%)	6.0 (5%)	7.6 (7%)	23.1 (20%)	116.8 (100%)	

앞서 설명한 바와 같이 Table 5와 6은 실측이 불가능한 현실적인 한계로 인해 표준가구건물의 EUC와 EUR을 계산한 결과이므로 간접적인 방법이라도 검증이 필요하다고 판단하였다. Figure 4는 국내에서는 사례가 거의 없는 EUC를 실제 계측한 연구(Jin et al., 2018; 2019)와 본 연구의 중부 공동주택 표준가구 평균 소비비율 계산결과를 비교한 결과를 보여주고 있다. 본 연구는 중부 공동주택 9개 그룹의 평균 EUR이며, Jin et al. (2018; 2019)의 경우 다양한 준공년도와 전용면적 규모를 가지는 세대가 포함되어 있기 때문에 동등한 조건의 비교는 아님을 참고해야 한다. 각 연구별 EUR에서 급탕과 가전 소비비율의 차이가 5~10%로 상대적으로 크고, 그 외 다른 부문은 5% 이내로 유사한 것으로 나타났다.

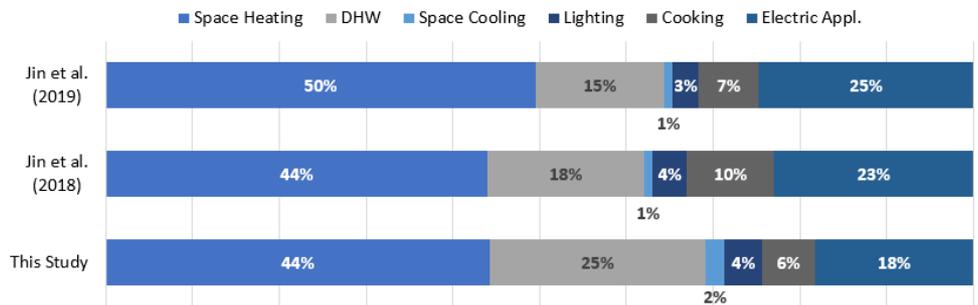


Figure 4. Comparison of End-User Ratio with measured versus estimated case in APT

에너지효율등급기준과 표준가구건물 소비량 비교

표준가구건물의 건축물에너지효율등급 산정

국내 건축물에너지효율등급은 연간 냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기 5종의 소비량을 1차에너지로 환산하여 등급기준값에 따라 결정된다. 실제 건물에너지 소비량에 포함되는 취사와 가전 소비량을 제외하고 등급을 평가함에 따라, 최종소비처별 미터링을 하지 않으면 급탕 및 취사와 가전부문 소비량을 분리하지 못하여 효율등급 평가가 불가능하였다. 그러나 본 연구의 결과를 통해서는 전형적인 가구의 에너지효율등급 평가가 가능해진다. 이를 위해 Table 5와 6에서 취사와 가전기기 소비량을 제외한 후 나머지 4가지(환기소비량은 크지 않아 냉난방에 포함된 것으로 가정함) 요소를 1차에너지 소비량으로 환산한 후 합산하여 단독 및 공동주택 표준가구의 에너지효율등급을 산정하였다.

Table 7은 단독주택과 공동주택 각 18개 표준가구그룹의 건축물에너지효율등급 산정결과를 보여주고 있다. 모든 그룹들이 최고 1++등급에서 최저 2등급 내에 분포하며, 중부지역에서는 단독주택이 1등급에, 공동주택은 1+등급에 가장 많이 분포한다. 남부지역에서는 단독주택, 공동주택 모두 1+등급에 가장 많이 분포하며 대형 공동주택은 1++등급까지 가능한 것을 확인할 수 있다. 또한 두 가구유형 모두 전용면적이 소형에서 대형으로 증가할수록, 미약하긴 하지만, 준공년도가 최근일수록 높은 에너지효율등급으로 평가되는 것을 알 수 있다.

표준가구의 에너지소비량은 평균에 가까운 에너지소비량이라 볼 수 있기 때문에, 이러한 결과는 에너지소비 상위 50%의 주거건물은 이미 효율1등급 이상에 해당하는 소비수준이라는

것을 의미한다. 따라서 보다 더 강화된 단열기준을 적용받는 신축 주거건물은 적극적인 에너지 절약 기법을 적용하지 않아도 손쉽게 효율 1등급 이상을 받을 수 있다는 것을 예상할 수 있으므로 현 건축물에너지효율등급의 등급기준값을 낮출(강화할) 필요성이 있다고 분석할 수 있다.

Table 7. BEER result for 36 prototypical residential buildings (○: Detached, ●: APT)

Region	Classification		Building Energy Efficiency Rating			
	NUA	Built Year	Rate 2	Rate 1	Rate 1+	Rate 1++
Central	Small	Pre 2000	○	●		
		2000's	○	●		
		After 2010	○	●		
	Medium	Pre 2000			○	●
		2000's			○	●
		After 2010			○	●
	Large	Pre 2000			○	●
		2000's			○	●
		After 2010				○/●
	Avg. of Central Region				○	●
Southern	Small	Pre 2000	○/●			
		2000's		○/●		
		After 2010		○/●		
	Medium	Pre 2000				○/●
		2000's				○/●
		After 2010				○/●
	Large	Pre 2000			○	●
		2000's			○	●
		After 2010				○/●
	Avg. of Southern Region					○/●

결론

기존 국내 건물에너지 통계들은 건축정보와 에너지소비량 정보의 연계성이 없거나 있더라도 가구당 소비량, 행정구역별 소비량 등 포괄적 통계가 대부분으로, 건물에너지 효율을 높이기 위한 기술 및 정책의 영향에 따른 에너지 절감량을 예측하기 어려웠다. 그러나 본 연구에서 활용한 HESS 마이크로데이터는 매년 다양한 건축 및 설비정보와 이용특성정보를 에너지소비량과 함께 제공하여 활용성이 높다고 판단하였다. 본 연구는 이를 활용하여 1)표준가구건물을 정의한 후 2)에너지모델에 반영하여 3) 표준가구그룹별 EUC 및 EUR과 같은 보다 정밀한 건물에너지 소비특성 통계를 도출하였다. 이러한 결과물은 구체적인 건축, 설비, 이용특성 정보와 에너지소비량과 동시에 제공할 수 있게 됨에 따라, 건물에너지 소비량에 영향을 미치는 기술, 이용특성, 정책개발에 따른 효과를 객관적인 데이터로 피드백이 가능하게 도울 수 있다.

이에 대한 실질적 사례로, 본 연구에서는 건물에너지 모델링으로 추정된 EUR을 활용하여 표준가구의 에너지소비량과 건축물에너지효율등급 평가기준 비교를 통해 기존 주택과 공동주택의 전형적인 에너지소비 수준이 건축물에너지효율등급을 기준으로 하면 대부분 효율 1

등급이나 1+등급에 해당하는 것으로 나타나 효율등급의 기준을 보다 강화할 필요가 있음을 제시하였다. 또한, 보다 더 장기간의 HESS데이터 분석이 필요하긴 하지만, 현행 기후준 및 전용면적 규모에 따른 분류기준이 없는 효율등급이 중부와 남부사이에, 대형과 소형 전용면적규모의 주거용 건물 사이에 공정한 등급이 아닐 수 있음을 객관적 결과로 제시하였다.

마지막으로, 이 연구의 결과는 2017년 HESS보고서 및 마이크로데이터에 기반하여 제시되었기 때문에 향후 최근 공개된 2018년과 아직 미공개된 2019년 HESS 데이터까지 포함하여 종합적인 분석을 할 수 있다면 보다 신뢰성 있는 결과를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

후기

이 논문은 2020학년도 충북대학교 연구년제 사업 및 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원(과제번호 20AUDP-B151640-02)에 의하여 연구되었습니다.

References

1. An, Y., Kim, K., Lee, S. (2014). An Empirical Research on the Difference of Energy Consumption According to the Housing and Regional Characteristics of Seoul. *Journal of Korea Planning Association*, 49(3), 175-194.
2. Bae, S. (2016). Introduction of ISO 13790 based passive house energy analysis program (Energy#). *SAREK Journal*, 45(9), 56-64.
3. Chung, K., Kim, Y., Sa, K. (2010). A Study on the Effect of Enhancement of Insulation Standard upon Heating Energy Consumption in Apartment Housings. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 26(6), 357-364.
4. Eum, M., Hong, Won., Lee, J. (2018). Deriving Factors Affecting Energy Usage for Improving Apartment Energy Consumption Evaluation. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 34(7), 27-34.
5. Jin, H., Ha, S., Kim, Y., Lee, S., Kim, S., Song, S. (2019). Analysis of Energy Use Intensities (2017 - 2018) by End Use in Sample Apartment Units Based on Measured Data. *Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 13(4), 211-222.
6. Jin, H., Lim, H., Lee, S., Kim, S., Lim, J., Song, S. (2018). Annual Intensities (2016-2017) Analysis of Energy Use and CO₂ Emission by End Use based on Measurements of Sample Apartment Units. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 34(7), 43-52.
7. Kim, J., Chun, J., Lee, B. (2009). Comparative Study on the City Gas Consumption Characteristics of Flat-type Apartment and Tower-type Apartment. *Residential Environment: Journal of the Residential Environment Institute of Korea*, 7(2), 55-65.
8. Kim, Y., Song, S. (2014). Energy Consumption status of Apartment Buildings and Influence of Various Factors on Energy Consumption. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 34(6), 93-102.
9. Kim, S., Lee, J. (2014). A Study on the Energy Consumption Units by Housing Type in Busan Metropolitan City. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute*

- of Korea, 16(4), 209-214.
10. Kim, Y., Yoon, H., Kim, J., Jeon, G., Hong, W. (2011). A Study on the Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission of the Detached Houses in Daegu. *Journal of the Korean Housing Association*, 22(2), 35-42.
 11. Lee, A., Kim, J., Kim, J., Jeong, H., Jang, C., Song, K. (2015a). Comparing the actual heating energy with calculated energy by the amended standard building energy rating system for apartment buildings. *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Journal*, 15(2), 103-107.
 12. Lee, K., Ryu, S., Yang, J. (2010). A Study on the Estimation Model of the Amount of the Energy Consumption and CO₂ Emission according to the Apartment Heating Type. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 26(5), 355-362.
 13. Lee, N., Kim, H., Seo, D. (2019). Analysis of Residential Energy Use Features with Respect to Location, Housing Type, Gross Area and Construction Year from Household Energy Standing Survey. *Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 13(6), 536-549.
 14. Lee, S., Jin, H., Kim, S., Lim, S., Lim, J., Song, S. (2018). A Measurement and an Analysis of Heating and DHW Energy Consumption in Apartment Buildings with individual Heating Systems. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 34(6), 15-22.
 15. Lee, S., Kim, H., Rhee, E., Park, J. (2015b). A Prediction Model for Energy Consumption in Apartment Buildings. *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, 22(3), 442-453.
 16. Park, S., Lee, S., Park, J., Rhee, E., Cho, K. (2014). A Survey on Energy Consumption through Operational Level in Apartment Buildings. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 30(2), 233-240.
 17. ASHRAE Guideline 14. (2014). *Measurement Of Energy, Demand, And Water Savings*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
 18. Seo, D., Kim, H., Lee, N. (2019). A Study on the Method of Estimating End-Use Energy Consumption of Household Energy Standing Survey. Research Report for KEEI, CBNU, Chongju, Korea.
 19. Seo, D., Kim, H., Lee, N. (2020). A Study on the Improvement of End-Use Consumption Estimation Method of Household Energy Panel Survey. Research Report for KEEI, CBNU, Chongju, Korea.
 20. Korea Energy Agency. (2020). "Certification status by residential/non-residential purpose", Building Energy Efficiency Certification (BEEC), accessed Dec 13, 2021, https://beec.energy.or.kr/BC/main_main.do.
 21. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2018). "Certification status of building energy efficiency rating (the second quarter of 2018)", Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), last modified Aug 30, 2018, http://www.molit.go.kr/USR/BORD0201/m_34879/LST.jsp.
 22. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2019). "Energy efficiency was increased by green building policies such as strengthening insulation standards", Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), last modified May 30, 2019, https://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=1&id=95082347.