

국가 건물에너지 통합 DB를 활용한 주거용 건물에너지 소비현황 분석

- 건물용도, 지역, 규모 그리고 준공년도를 중심으로 -

An Analysis of Residential Building Energy Consumption Using Building Energy Integrated Database - Focused on Building Uses, Regions, Scale and the Year of Construction Completion -

최민석* · 오승엽** · 지창윤*** · 이동영****

Choi, Min Seok · Oh, Seung Youb · Ji, Chang Yoon · Lee, Dong Young

■ Abstract ■

This study aims to analyze the current energy consumption situation of residential buildings. Data on the energy consumption (electricity, city gas) and building information (usage, region, scale, year built) of 2,418,736 residential buildings were collected from the "Korea Building Energy Integrated DB." The statistical analysis software, SAS 9.4, was used for this research and the energy use intensity (EUI, $10^{-3}\text{toe}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$) was set as the analysis indicator. The key findings of this study are as follows. 1) The EUI was the lowest in apartment buildings among various residential buildings. 2) The EUI was the highest in the buildings of the central region, followed by the southern region and Jeju Province. The EUI of buildings was higher in cities than provinces. 3) There was no relationship between total floor area and EUI of buildings. However, while EUI of buildings over $3,000\text{m}^2$ was below 15, that of buildings below $3,000\text{m}^2$ was relatively high. 4) As for buildings constructed after 2,000, more recently constructed buildings showed relatively low EUIs. The findings of this study are expected to contribute to the establishment and effective implementation of policies for the reduction of building energy use.

Key Words : Korea Building Energy Integrated Database, Residential building, Energy use intensity, Building information, Statistical analysis

* 한국감정원 녹색건축센터 녹색에너지정보운영부 부연구위원 (주저자, k05395@kab.co.kr)

** 한국감정원 녹색건축센터 녹색에너지정보운영부 차장 (k25854@kab.co.kr)

*** 한국감정원 녹색건축센터 녹색건축연구소 부연구위원 (k05765@kab.co.kr)

**** 한국감정원 녹색건축센터 녹색에너지정보운영부 부장 (교신저자, dylee@kab.co.kr)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 온실가스 상위 다배출 10개 국가에 속하며, 특히 온실가스 배출량의 증가폭은 OECD 국가 가운데 두 번째로 큰 것으로 보고되고 있다. 이에, 정부는 2020년까지 Business As Usual(BAU) 대비 30%의 온실가스 배출량을 감축하겠다는 국가 온실가스 감축 목표를 발표하였으며, 2015년 파리협약에서는 2030년까지 BAU 대비 37%로 상향 조정하여 발표하였다. 건물은 국내 전체 에너지 소비 중 약 20%를 차지(에너지경제연구원, 2017)하는 만큼 국가 온실가스 감축 목표 달성에 중요하기 때문에, 정부는 건물 부문의 감축 목표를 2030년까지 18.1%로 설정하고 이를 위한 다양한 정책을 시행하고 있다(국토교통부 외, 2016).

건물부문에 대한 온실가스 감축 정책은 신축 건물과 기존 건물로 구분하여 추진되고 있다. 신축 건물의 경우, 강화된 단열성능 기준이 반영된 에너지절약계획서의 제출이나 에너지효율등급인증제도와 같은 친환경 건축물 인증제도의 의무 대상을 확대하는 등의 관련 기준을 강화하는 정책을 추진하고 있다. 반면, 전체 건물의 약 98%를 차지하는 기존 건물에 대해서는 그린리모델링 이자지원사업이나 건물 에너지성능 개선 지원사업과 같은 지원사업 중점으로 추진되고 있다. 하지만, 한정된 지원예산과 사업자가 직접 신청해야 한다는 절차상의 한계로 기존 건물 중 일부 건물만이 적용되고 있으며, 이로 인

해 실질적인 에너지 절감 효과를 얻기는 어려운 실정이다(한국에너지공단, 2016).

기존 건물에 대한 실효성 있는 에너지절감 정책을 추진하기 위해서는 각 건물별로 실제적인 에너지 소비 정보가 우선적으로 파악되어야 한다. 즉, 지역·용도·규모와 같은 건축물 특성을 고려하여, 기존 건물의 에너지소비 현황 및 특성을 분석하는 것이 요구된다. 이에, 정부는 지역·용도·규모와 같은 건물 특성에 따른 에너지사용량 통계 부재로 인한 문제를 인식하고 전국 약 700만동 건물에 대한 일반 정보와 에너지사용량 정보를 포괄하는 “국가 건물에너지 통합관리시스템”을 구축하였다. 하지만, 현재 국가 건물에너지 통합관리시스템은 개별 건물에 대한 에너지소비량을 제시할 뿐, 건물 에너지사용량에 영향을 주는 건물 특성을 분석하거나 이러한 특성을 고려한 상세 분석 결과를 제공하지는 못한다.

이에, 본 연구에서는 국가 건물에너지 통합관리시스템 데이터베이스(국가 건물에너지 통합 DB)를 활용하여 지역·용도·규모·준공년도의 건축물 특성에 따른 건물의 에너지 소비현황을 분석하고자 한다. 특히, 건물부문의 전체(가정, 상업, 공공) 에너지소비량 중 가정부문은 약 50%를 차지한다(에너지경제연구원, 2016). 주거용 건물은 상업용 건물에 비해 건물의 형태나 사용 목적이 유사하다. 이에, 본 연구는 주거용 건물을 연구의 대상으로 한정하여, 에너지사용량 현황을 분석하고자 한다. 본 연구의 결과는 궁극적으로 국가건물에너지절약 정책수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 건물에너지 통계 현황 및 통계분석 선행 연구 고찰

1. 국내 건물에너지 통계자료 현황

현재 국가 에너지 및 온실가스 감축 정책의 지원을 목적으로 우리나라의 에너지 및 온실가스 관련 통계정보를 제공하는 시스템을 부처별로 구축하여 운영관리하고 있다. 본 장에서는 각 부처에서 구축한 시스템별 특징에 대해 설명한다.

1) 국가 온실가스 종합관리시스템

환경부는 국가 온실가스 정보관리의 체계적 지원을 위해 '11년부터 환경부 장관 소속의 국가 온실가스종합정보센터를 신설하고, 국가 온실가스 종합관리시스템(National GHGs Management System, NGMS)을 운영하고 있다. 국가 온실가스 인벤토리는 국가 온실가스 배출량 산정기관에서 분야별 온실가스 배출량을 산정하여 관장기관인 산업부, 국토부, 농림부, 환경부에 보고하고 최종적으로 관장기관이 온실가스종합정보센터에 보고하는 체계로 구축·관리된다. 국가 온실가스 종합관리시스템은 건물부문의 용도별 등 세부 정보 제공이 아닌 총량적 관리 차원에서의 온실가스 배출 통계 정보를 제공하고 있다. 보고서로 제공되는 국가 통계의 경우 가정·상업·공공 부문별 온실가스 통계로 건물부문의 용도·지역별 세분화된 통계정보를 제공하지 못한다. 또한 시스템에서 제공하는 온실가스 배출량 통계는 모든 건물이 아닌 주로 온

실가스·에너지 목표관리제의 관리대상으로 선정된 업체(사업장)에 국한되어 있다는 한계를 가진다.

2) 국가 에너지통계 종합정보시스템

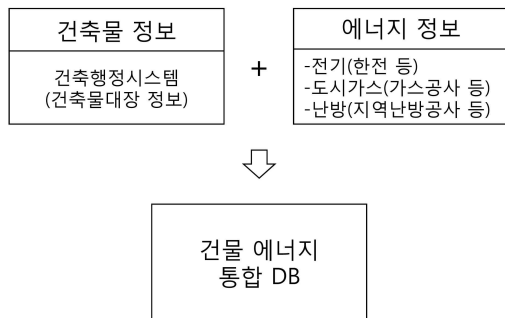
산업통상자원부는 에너지 정책수립을 지원하기 위한 수단으로서 국가 에너지정보 통계를 종합·관리할 수 있는 국가 에너지통계 종합정보시스템(Korea Energy Statistics Information System, KESIS)을 '09년부터 구축·운영하고 있다. 이 시스템은 에너지 수급통계 및 에너지 총 조사에 의해 수집된 정보를 기반으로 에너지 통계를 제공함으로써, 국가단위의 에너지 소비정보를 손쉽게 파악할 수 있도록 지원하는 것을 목적으로 한다. 그러나 본 시스템은 국가단위의 에너지 통계정보를 제공하는 반면, 건물부문에 대한 세분화된 통계정보를 제공하지는 못한다.

3) 공동주택관리정보시스템

국토교통부는 현재까지 「주택법」에 근거하여 공동주택의 관리비 및 에너지소비량에 대한 대국민 정보제공을 위하여, '09년부터 공동주택관리정보시스템(K-apr)을 구축·운영하고 있다. 구체적으로는 급탕·난방·가스·전기·수도 사용량과 이로 인한 관리비, 그리고 이산화탄소 발생량 정보를 시·군·구별로 구분하여 제공한다. 그러나 공동주택만을 대상으로 한정하여 모든 용도의 건물에 대한 에너지사용 정보를 파악하는데 한계가 있다. 또한, 개별 공동주택에 대한 상세정보를 제공할 뿐 분석을 통한 공동주택 에너지사용 특성 및 현황 통계를 제공하지 못한다는 한계를 가진다.

4) 국가 건물에너지 통합관리시스템

국토교통부는 「녹색건축물 조성 지원법」 제 10조에 근거하여 건물에너지 감축 정책의 실현을 목적으로 세계최초로 국가 건물에너지 통합관리시스템을 구축·운영하고 있다. 이 시스템은 전국 700만 동 이상의 모든 건물을 대상으로, 건축물대장으로부터 수집되는 건축정보와 한국 전력 및 11개의 구역전기업체, 33개의 도시가스 업체, 26개의 지역난방업체, 6개의 회계전산업체로부터 제공받은 월별 에너지 사용 정보를 통합하여 구축한 데이터베이스를 기반으로 한다 (<그림 1>).



〈그림 1〉 국가 건물에너지 통합 DB 구성

많은 연구기관들은 에너지사용 및 온실가스 감축과 관련된 다양한 연구를 위하여 본 시스템에 구축된 데이터를 활용하고자 노력하고 있다. 시스템의 운영기관인 한국감정원은 관련 데이터를 많은 연구기관에 제공, 활용되고 있지만, 아직까지 모든 건물을 대상으로 건물의 특성정보를 고려하여 에너지사용 현황을 분석한 사례가 없다.

5) 소결

앞서 언급된 바와 같이, 국가 에너지사용 및 온실가스 배출량 통계의 제공을 위한 다양한 시스템이 구축·운영되고 있지만, 건물부문의 에너지사용에 대한 상세한 통계 정보를 제공하지는 못하고 있다. 본 연구에서는 전국 모든 주거용 건물의 에너지사용 현황을 파악하기 위하여, “국가 건물에너지 통합 DB”를 활용하여 통계분석을 수행하였다.

2. 국내·외 건물에너지사용량 분석 관련 선행 연구

본 장에서는 본 연구의 방법 및 방향을 설정하기 위하여, 건물에너지사용량 분석과 관련된 국내·외 선행연구들을 조사하였으며, 한계점 및 보완사항을 제시한다.

1) 국내

〈표 1〉과 같이, 국내 건물에너지 사용량을 분석하고 특징을 파악하기 위하여 많은 선행연구들이 수행되었다. 이들 선행연구들을 살펴보면, 데이터 수집의 한계로 인하여 특정 지역 또는 특정용도 건물로 분석 대상을 한정하고 적은 수의 표본을 이용하여 분석하였다. 예를 들어, 강동호(2009)는 초고층 주상복합 아파트 11단지, 김유란(2011)은 단독주택 64가구, 이충구(2012)는 에너지다소비건물 446동, 방선규(2015)는 주상복합건물 81동을 대상으로 분석을 시행하였다. 이러한 수집자료의 부족으로, 실질적인 건물에너지사용량 특징을 파악하기에는 한계가 있었다.

〈표 1〉 국내 · 외 건물에너지사용량 분석 관련 선행연구

구분	논문	분석 범위	표본수	분석지표
국내	초고층 주상복합 아파트의 에너지소비특성(강동호, 2009)	분당 주상복합 및 아파트	11단지	단위면적당 에너지 소비량(월별)
	대구광역시 단독주택의 에너지 및 온실가스 배출원단위 작성에 관한 연구(김유란, 2011)	대구 단독주택	64가구	에너지 및 온실가스 원단위(월별, 연간)
	국내 에너지다소비건물의 용도별·지역별 온실가스 배출원단위분석 연구(이충구, 2012)	광역자치 에너지다소비건물	215동	에너지 및 온실가스 원단위(연간)
	건물 용도별 에너지 사용량 특성에 관한 연구(방선규, 2015)	수도권 공동주택 및 주상복합	81동	연간단위면적당 에너지 소비량
	빅데이터 분석 기법을 활용한 기존 건축물 데이터베이스 분석(안기연, 2016)	서울시 업무시설	4,625동	단위면적당 1차에너지사용량
	Development of an evaluation process for green and non-green buildings focused on energy performance of G-SEED and LEED(Jeong et al, 2016)	서울시 공동주택	455단지	단위면적당 1차에너지사용량
국외	Analysis of small and medium-sized public building energy consumption in hot summer and cold winter area (Changquan, 2014)	small and medium-sized public building	29동	building energy consumption
	Energy consumption status and characteristics analysis of university campus buildings(Ma, Lu, Weng, 2015)	universities located in Asia, America, Europe	7	energy consumption & carbon emission per capita
	Factor analysis of residential energy consumption at the provincial level in China(Weibin, Bin, Shichao, Li, 2014)	residential (China Energy Statistical Yearbook 2012)	panel data in 28 provinces	energy consumption per capita
	Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland(Jukka, Seppo, 2014)	urban and rural households	3,984	unit-of-analysis (m2, capita, household)
	Statistical analyses of energy consumption data in urban office buildings of Changsha, China(Wei, Li, Zhang, 2015)	urban office buildings energy consumption	45	building power intensity(BPI) and building energy intensity(BEI)

최근에는 정부가 공개하는 건물 에너지 관련 데이터를 바탕으로 보다 상세한 연구가 수행되고 있다. 안기연(2016)은 건축데이터 민간개발 시스템과 건물에너지정보공개시스템 데이터를 활용하여 업무시설 4,625동을 대상으로 에너지 사용량, 사용승인년, 층수, 승강기수, 연면적 등 건축물특성과 연계하여 통계분석을 수행하였다. Jeong et al.(2016)은 서울시에 위치한 아파트 455개 단지를 대상으로 통계분석을 수행하여,

녹색건축인증 여부에 따른 에너지사용량의 차이를 검토하였다. 이처럼 검토를 위한 표본 수는 증가하고 있으나, 국내 모든 건물을 대상으로 분석을 수행한 사례는 없다.

2) 국외

해외의 연구자들 역시 건물부문의 에너지사용량 특성을 분석하기 위한 많은 연구를 수행하였다. 대표적인 몇몇 연구의 내용은 다음과 같

이 요약될 수 있다. Changquan(2014)는 공공시설 29동을 대상으로 사용년수, 연면적 등의 건축물 특성과 에너지사용량의 상관관계를 분석하였으며, Ma(2015)는 아시아, 미국, 유럽의 7개 대학교를 대상으로 단위면적당 에너지사용량 및 인당 에너지사용량을 비교·분석하였다. Wei(2015)는 45개의 업무시설을 대상으로 면적구간별 업무시설을 6type으로 분류하여 box분석 및 상관관계분석을 수행하였다. 비록, Jukka and Seppo(2014)가 3,984동의 주거용 건물을 대상으로 분석을 시행하였으나, 해외 연구 역시 국내 연구와 마찬가지로 일부 표본 건물만을 대상으로 분석을 수행하였다.

3) 소결

국내·외 건물에너지사용량 분석과 관련한 선행 연구를 조사한 결과, 데이터 수집의 한계로 인하여 일부 지역 또는 적은 표본으로 분석 대상 건물을 한정된 연구가 대부분이었다. 본 연구에서는 국가 건물에너지 통합 DB의 데이터를 활용함으로써, 국내의 모든 주거용 건축물을 분석 대상에 포함하여 용도·지역·준공년도에 따른 건물에너지 현황을 분석한다는 측면에서, 선행연구와 큰 차이점을 가진다고 할 수 있다.

한편, 선행 연구들은 건물에너지사용량의 분석지표로 에너지사용량, 단위면적당 에너지사용량, 인당 에너지사용량을 사용하였으며, 비율, 산점도, 블랙박스, 상관분석 등의 다양한 통계분석을 수행하였다. 본 연구에서도 에너지사용량 및 단위면적당 에너지사용량을 분석지표로 설정하고 통계분석을 수행하였다.

III. 분석방법

본 연구는 다음과 같이 크게 4단계로 수행되었다. 먼저, 분석을 위한 데이터를 수집하고, 건물 특성을 기반으로 분석을 위한 분류체계를 정의하였다. 그리고 기존 연구를 참고하여 비교를 위한 분석지표를 정의한 후, 마지막으로 통계분석 프로그램인 SAS 9.4를 이용하여 분석을 시행하였다. 각 단계에 대한 구체적인 방법은 아래의 설명과 같다.

1. 데이터 셋 구축

1) 대상 설정

국가 건물에너지 통합 DB는 에너지 공급기관으로부터 사용량의 수집 및 처리과정을 필요로 하기 때문에, 실제 수집은 에너지원에 따라 2~3개월 전의 데이터로 구축된다. 데이터 수집 당시 2016년 12개월의 모든 데이터가 구축되지 않은 상태였기 때문에, 2015년 에너지사용량 정보가 가장 최근의 데이터였다. 이에, 본 연구는 2015년 이후 준공된 건물은 제외하고 2015년 이전에 준공된 주거용 건축물을 분석 대상으로 설정하였다.

2) 데이터 추출

국가 건물에너지 통합 DB로부터 모든 주거용 건물에 대하여 건물 정보(세부용도, 지역, 연면적, 준공년도)와 2015년 에너지사용량 정보(전기, 도시가스)를 포함한 데이터를 추출하였다(<표 2>).

〈표 2〉 건축물정보 및 에너지 추출항목

구분	항목
건축물정보	세부용도, 소재지(시도, 시군구), 연면적, 준공년도
에너지 사용량	전기, 도시가스 (‘15년 월별, 연간 사용량)

국가 건물에너지 통합 DB는 건축물대장정보와 에너지사용량을 단지, 동, 층, 세대로 구분하여 매칭한다. 에너지사용량은 에너지 공급기관으로부터 공급받기 때문에, 계약 형태에 따라 집계되는 형태(단지, 동, 층, 세대)가 각각 다르다. 예를 들어, 일부 아파트 단지의 경우 지역난방이나 전력을 단지 단위로 계약하기 때문에, 단지 전체에서 사용하는 에너지사용량 데이터가 확보된다. 본 연구에서는 개별 동에 따른 에너지사용량 현황분석을 목표로 하기 때문에, 단지단위로 에너지사용량이 수집되는 건물과 지역난방은 분석 대상에서 제외하고, 동별 에너지사용량을 수집하였다. 또한, 주거용에서 쓰이는 에너지 원 중 연탄, 등유, LPG 등의 화석연료는 국가 건물에너지 통합 DB 수집대상이 아니기 때문에 본 연구에서는 제외되었다. 이러한 절차를 거쳐, 최종적으로 2,702,793동에 대한 주거용 건물 정보와 에너지사용량(전기 및 도시가스) 정보가 수집되었다.

3) 데이터 필터링

데이터 클리닝 및 데이터 병합 과정을 통해 2015년도 주거용 건축물에 대한 분석용 데이터셋을 구축하였다. 먼저, 주거용 건축물 용도를 기타 등으로 명확하게 입력되지 않은 건축물은

제외 시켰으며, 주거용 건축물의 세부용도별로 분류하여 단위면적당 에너지사용량이 상하위 $\pm 5\%$ 값을 이상치로 간주하고 분석대상에서 제외된 것이다. 이러한 데이터 필터링 과정을 통해, 최종적으로 주거용 건물 2,418,736동에 대한 분석용 데이터 셋을 구축하였다.

2. 분류체계 설정

본 연구의 결과물이 건물에너지 정책의 기초 자료로 활용되고 관련 타 통계와의 연계성을 위해서는, 건축물의 분류 기준은 현재 시행하고 건물에너지 정책의 분류 기준에 준용하여 정의되어야 한다. 본 연구에서는 주거용 건물의 용도 및 지역에 대한 분류체계를 설정하였으며, 분류 결과는 다음과 같다.

1) 용도

「건축법 시행령」 [별표 1]에 따르면, 주거용 건물은 크게 단독주택과 공동주택으로 나뉘고, 세부적으로 단독주택은 단독주택, 다중주택, 다가구주택, 공관으로 나뉘며, 공동주택은 아파트, 다세대주택, 연립주택, 기숙사로 구분된다. 본 연구 역시 건축법에 따라 주거용 건물을 구분하여, 용도에 따른 에너지사용량을 분석하고자 하였다.

2) 지역

「건축물의 에너지절약설계기준」 [별표 1]에서는 기후 조건에 따라 우리나라의 지역을 크게 중부, 남부, 제주도로 구분한다. 본 연구는 기후

에 따른 주거 건물의 에너지사용량 차이를 파악하기 위하여 주거용 건물을 중부, 남부, 제주도로 구분하고, 결과를 비교하고자 하였다. 또한, 「녹색건축물 조성지원법 시행령」 제8조에서는 시·도지사가 관할지역 건물에 대한 에너지 소비 총량을 설정·관리하도록 명시한다. 따라서 본 연구에서는 17개 시·도에 따른 에너지사용량을 비교·분석하였다.

3) 규모, 준공년도

규모와 준공년도는 연속성 데이터이기 때문에, 건물에너지사용량과의 산점도 분석을 통하여 특징을 파악하였다. 특히, 정부는 2000년부터 건물 에너지사용량 감축을 위한 건물에너지 효율향상 정책을 지속적으로 강화하고 있기 때문에, 본 연구에서는 2000년 이후 준공된 주거용 건물만을 대상으로 준공년도에 따른 단위면적당 에너지사용량을 비교·분석하고, 이를 통해 건물에너지 효율향상 정책의 효과를 파악하고자 하였다.

3. 분석 단위 및 지표 설정

국가 건물에너지 통합 DB에서 전기 및 도시가스의 단위는 상이하기 때문에, 총 에너지사용량의 비교를 위해 전기와 도시가스 에너지사용량 단위를 통일하였다. 두 에너지원의 단위는 환산계수를 이용하여 TOE(Ton of Oil Equivalent)로 변환되었다.

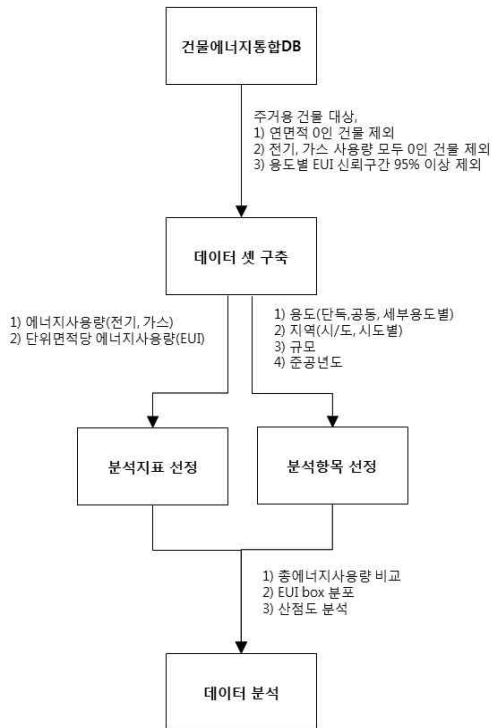
분석지표로는 연간 총에너지(전기, 도시가스) 사용량과 연간 단위면적당 에너지사용량을 사

용하였다. 연간 단위면적당 에너지사용량은 연간 총 에너지사용량을 연면적으로 나눈 값으로, EUI(Energy Use Intensity, $10^{-3}\text{toe}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$)라고 표기한다. 본 연구에서는 동별 단위로 주거용 건물 에너지사용량을 분석하였기 때문에, 동별 연면적을 사용하였다.

한편, 평균값(mean)과 중위값(median) 모두 집단을 대표할 수 있는 통계치이다. 중위값은 관측값을 크기순으로 배열했을 때 전체의 중앙에 위치하는 수치값으로, 극도의 예외값(극소, 극대)이 많은 경우에는 평균보다는 중위값이 표본을 대표하는 결과로서 주로 사용된다. 본 연구에서도 특성별 건물에너지 효율을 비교하기 위하여 중위값을 사용하였다.

4. 통계분석

본 연구에서는 주거용 건물 대상으로 세부용도, 지역(시도, 시군구), 규모(연면적), 준공년도에 따른 에너지사용량 현황(전기, 도시가스)을 파악하기 위하여 통계분석을 수행하였다. 세부용도, 지역, 준공년도에 따른 분석은 box-and-whisker(상자수염) 그래프를 이용하였으며, 중위값을 기준으로 비교·분석하였다. box-and-whisker 그래프는 25%(Q1)~75%(Q3)까지 Box와 중위값, 평균값, 수염(whisker), 이상치(Outlier)를 이용하여 자료의 분포를 확인할 수 있다. 그리고 연면적, 준공년도와 에너지사용량 관계는 scatter matrix(산점도)를 이용하여 분석하였다. 통계분석에는 SAS 9.4 통계프로그램이 사용되었다.



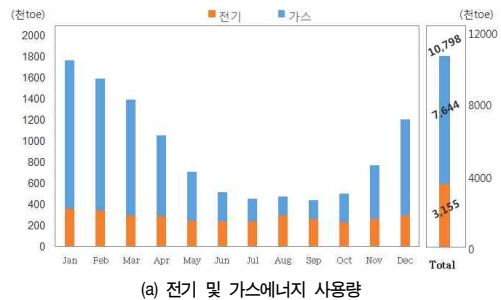
〈그림 2〉 분석 프로세스

V. 분석결과 및 고찰

1. 주거용 건물 에너지사용 총량

〈그림 3〉은 주거용 건물의 2015년 전기 및 도시가스 사용량을 보여준다. 2015년 주거용 건물의 도시가스 사용량은 7,644 천toe로 전기 사용량(3,155 천toe)에 비해 두 배 이상 많은 것으로 집계되었다. 월별 에너지사용량을 살펴보면, 전기 사용량은 월에 따른 차이가 크지 않은 반면, 도시가스의 경우에는 계절에 따라 큰 차이를 보였다. 즉, 〈그림 3〉의 (a)와 같이, 겨울철의 도시가스 사용량은 여름철보다 훨씬 크게 나타났다.

이러한 결과는 도시가스에 의한 난방에너지가 주거용 건물에서 사용되는 에너지에 큰 영향을 미친다는 사실을 보여준다. 한편, 〈그림 3〉의 (b)는 주거용 건물의 2015년 월별 전기에너지 사용량을 보여준다. 일반적으로 전기에너지는 에어컨 사용으로 인해 여름철에 많은 양이 소비되고 겨울철에는 상대적으로 적은 양이 소비되는 것으로 알려져 있다. 하지만, 주거용 건물의 2015년 전기에너지 사용량 분석 결과에 따르면, 오히려 여름철에 비해 겨울철의 전기에너지 사용량이 더 컸다. 이러한 결과는 전기에너지를 열원으로 하는 가정용 난방기기(냉난방 에어컨, 전기난로 등)의 사용량 증가와 겨울철 추운 날씨로 인하여 가정에서 생활하는 시간 증가 등의 영향으로 판단된다. 하지만, 이러한 결과의 원인에 대해 명확하게 규명하기 위해서는 주거용 실태 조사 통계 등과 연계하여 분석되어야 할 것이다.



(a) 전기 및 가스에너지 사용량



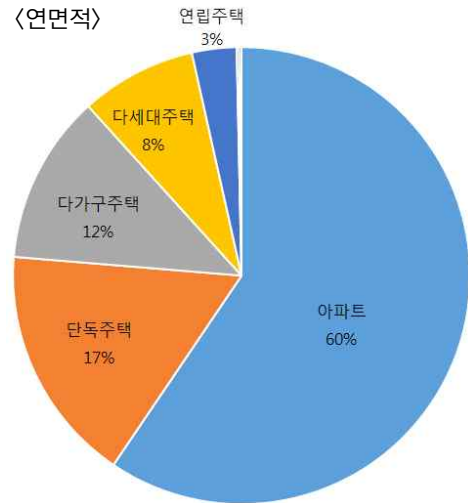
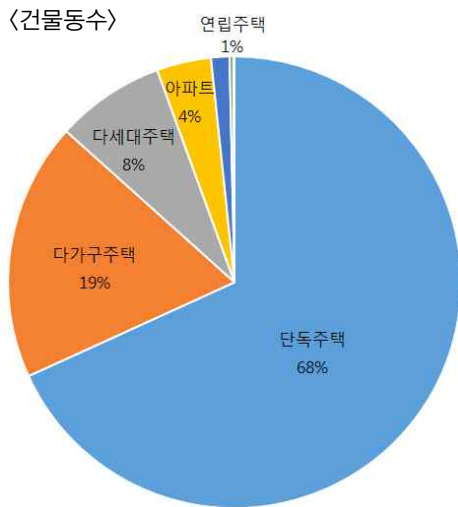
(b) 전기 에너지 사용량

〈그림 3〉 2015년 월별 전기, 가스 에너지사용량

우리나라 정부는 여름철의 블랙아웃 등에 대비하여 전기에너지 소비 절약을 유도하기 위한 다양한 캠페인을 시행하고 있다. 하지만, 본 연구의 결과는 주거용 건물의 경우에 여름철의 전기에너지 소비 절약을 유도하는 정책도 중요하지만, 겨울철의 전기에너지 절약대책 수립이 더 중요하다는 사실을 보여준다.

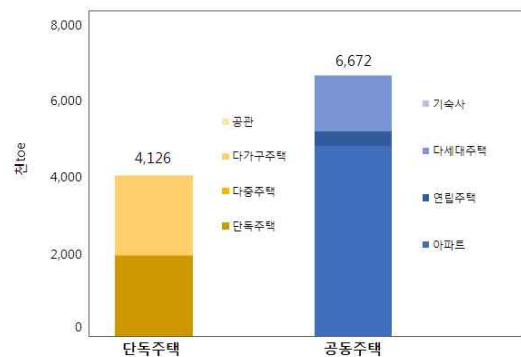
2. 용도별

본 절에서는 주거용 건물의 용도에 따른 에너지사용량 특징을 제시하고자 한다. 주거용 건물은 크게 단독주택과 공동주택으로 구분된다. 〈그림 4〉는 주거용도별 건물동수 및 연면적 현황을 보여주고 있으며, 건물동수는 단독주택(68%)이 가장 많으며, 연면적은 아파트(60%)가 가장 많은 것으로 나타났다.



〈그림 4〉 주거용도별 건물동수 및 연면적 현황

먼저, 단독주택과 공동주택의 총에너지사용량을 비교하면, 공동주택(6,672 천toe)이 단독주택(4,126 천toe)보다 에너지소비량이 많았다(〈그림 5〉). 이러한 결과의 원인은 단독주택에 비해 공동주택의 연면적이 크기 때문이다. 공동주택의 연면적은 825,726,283㎡로, 단독주택의 연면적(337,383,102㎡)에 비해 두 배 이상 크다.

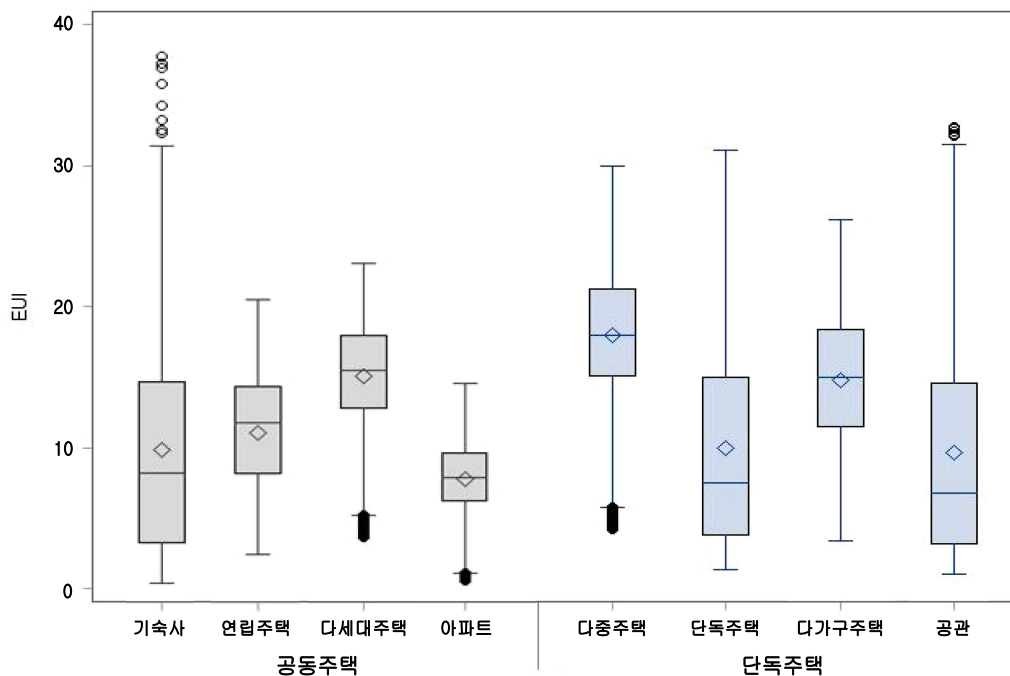


〈그림 5〉 단독 및 공동주택의 총에너지사용량

건물 용도에 따른 에너지효율을 파악하기 위하여, 세부 용도별 단위면적당 에너지사용량을 비교하였다. 그 결과는 <그림 6>과 같다. 공동주택에 포함되는 아파트, 다세대주택, 연립주택, 기숙사의 단위면적당 에너지사용량 중위값은 각각 7.91, 15.53, 11.77, 8.23 EUI로 나타났다. 단독주택에 포함되는 단독주택, 다중주택, 다가구주택, 공관의 단위면적당 에너지사용량 중위값은 각각 7.51, 17.94, 14.95, 6.82 EUI로 나타났다.

<그림 6>과 같이, 모든 주택유형에 비해 아파트의 단위면적당 에너지사용량이 낮고 표준편차는 가장 작은 것으로 나타났다. 단독주택의 경우, 단위면적당 에너지사용량 중위값은 낮지만, 표준편차가 크고 단위면적당 에너지사용량

평균은 크게 나타났다. 반면, 다중주택, 다가구주택, 다세대주택의 단위면적당 에너지사용량은 다른 용도의 주택에 비해 상대적으로 높은 것으로 확인되었다. 비록, 공관과 기숙사, 단독주택의 단위면적당 에너지사용량 중위값은 상대적으로 낮지만, 아파트에 비해 넓은 분포를 보인다. 이는 아파트를 제외한 주거용 건물은 에너지효율 성능 기준의 대상에 포함되지 않기 때문인 것으로 여겨진다. 이러한 결과는 아파트에 한정되어 적용되는 건물 에너지성능 향상 정책이 적절한 효과를 발휘했다는 사실을 보여준다. 따라서 아파트뿐만 아니라 타 세부 용도의 주거용 건물에 대해서도 에너지효율 성능 기준이 마련되어야 할 것이다.



<그림 6> 세부 용도별 단위면적당 에너지사용량 분포

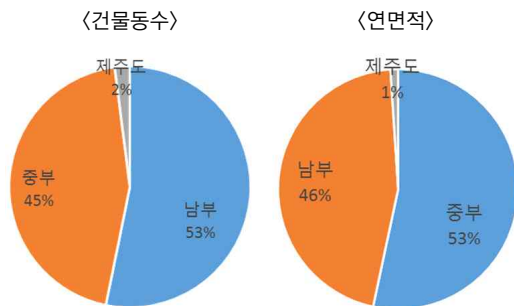
특히, 다가구주택과 다세대주택은 연면적을 기준으로 전체 주거용 건물의 20%를 차지하고, 단독주택은 주거용 건물 에너지사용량의 19%를 차지하는 만큼 비중이 크다. 이에 따라, 주거용 건물의 에너지사용량 및 온실가스 배출량 감축 목표의 달성을 위하여, 이들 세 가지 주거용 건물(다가구주택, 다세대주택, 단독주택)에 대한 에너지효율 성능 기준 및 정책은 더욱 중요하게 검토되어야 할 것이다.

3. 지역별

본 절에서는 지역 구분에 따른 주거용 건물의 에너지사용량 특징을 제시하고자 한다.

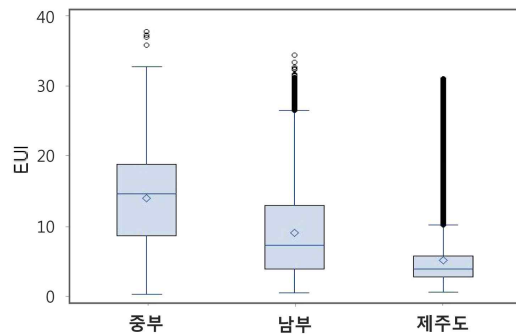
1) 중부, 남부, 제주도

먼저, 「건축물의 에너지절약설계기준」[별표 1]의 구분 기준에 따라 중부, 남부, 제주도로 구분하여, 각 지역의 에너지사용량을 비교하였다. 먼저 건축물 현황을 살펴보면, 주거용 건물동수는 남부(53%), 중부(45%), 제주도(2%)순으로 나타났다지만, 연면적은 중부(53%)가 남부(46%)보다 크게 나타났다(〈그림 7〉).



〈그림 7〉 중부, 남부, 제주 건물동수 및 연면적 현황

연평균 기온과 같은 기후 조건은 건물의 에너지사용량에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 기후 조건의 차이로 인한 주거용 건물의 에너지사용량 차이를 파악하기 위하여, 기후 지역에 따른 단위면적당 에너지사용량을 비교하였다. 그 결과, 중부, 남부, 제주도의 단위면적당 에너지사용량 중위값은 각각 14.82, 7.04, 3.99 EUI로 나타났다. 각 지역의 단위면적당 에너지사용량은 중부, 남부, 제주도 순으로 나타났으며, 〈그림 8〉과 같이 세 지역의 단위면적당 에너지사용량은 비교적 명확하게 구분되었다. 이러한 결과는 주거용 건물의 에너지사용량에 외부환경(기후)이 매우 큰 영향을 미치는 사실을 보여준다.



〈그림 8〉 중부/남부/제주도 단위면적당 에너지사용량 분포

「건축물의 에너지절약설계기준」은 지역에 따른 기후 조건의 차이를 고려하여, 각 지역에 따라 다른 외벽 및 창호의 단열성능을 규정한다. 비록 중부지역의 단열성능이 가장 높게 규정되지만, 본 연구의 결과는 규정된 단열기준이 환경 조건으로 인한 에너지사용량의 차이를 상쇄하

지 못한다는 사실을 보여준다. 따라서 중부지역에 위치한 건물의 에너지사용량을 남부지역의 건물만큼 낮추기 위해서는 중부지역의 단열성능 기준을 보다 강화해야 할 필요가 있다.

2) 시/도

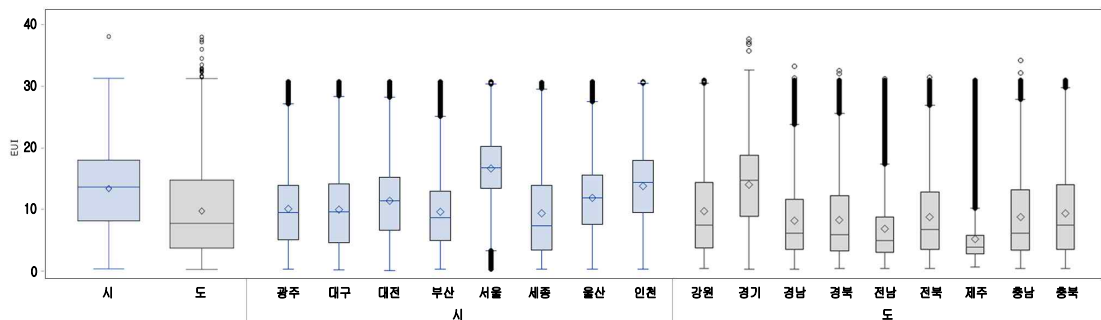
「녹색건축물 조성지원법 시행령」 제8조에서는 시·도지사가 관할지역 건물에 대한 에너지소비 총량을 설정·관리하도록 명시한다. 따라서 17개 시·도에 따른 에너지사용량을 비교하였다.

먼저, 17개 시·도에 따른 단위면적당 에너지사용량을 비교한 결과는 〈그림 9〉와 같다. 8개 시를 모두 고려한 결과와 9개 도를 모두 고려하여 산출된 단위면적당 에너지사용량을 비교하면, 각각 13.59, 7.80 EUI로 나타나 시에 위치한 주거 건물의 에너지사용량이 높은 것으로 나타났다.

이러한 결과로부터 대도시 지역의 주거용 건물이 그 외의 지역에 비해 에너지사용이 많다는 것으로 해석할 수 있다.

세부적으로 살펴보면, 서울(17.07 EUI)과 인천(14.72 EUI)이 높게 나타났으며, 울산(12.17 EUI), 대전(11.73 EUI), 대구(9.97 EUI), 광주(9.86 EUI), 부산(8.97 EUI)의 단위면적당 에너지사용량은 상대적으로 낮게 분포하였다. 이러한 결과는 서울과 인천은 중부지역이고 다른 도시들은 남부지역으로 기후적 영향이 에너지효율에 크게 반영된 것으로 볼 수 있다. 한편, 세종시의 경우 단위면적당 에너지사용량(7.72 EUI)이 가장 낮게 나타났지만 분포가 넓게 나타났다. 이러한 결과는 세종시가 2012년 7월 특별자치시로 출범의 영향으로 2000년 이후 주거용 건축물 31.4%를 차지(시전체의 경우에는 20.2%)하기 때문에 2015년 에너지사용 기준으로 다른 대도시의 에너지사용 특징과 차이가 있는 것으로 판단된다.

도별 단위면적당 에너지사용량을 비교하면 중부지역의 위치한 타 지역에 비해 경기도의 단위면적당 에너지사용량(14.79 EUI)이 크게 높은 것으로 나타났다. 특히, 경기도의 에너지사용량



〈그림 9〉 시 및 도별 단위면적당 건물에너지사용량 분포

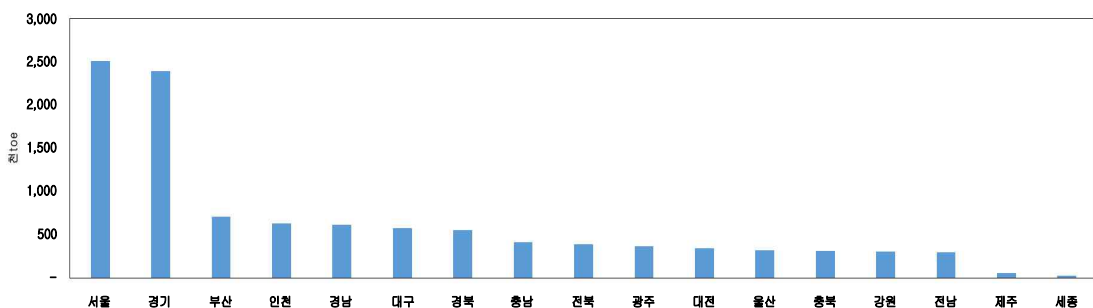
은 같은 중부지역에 속하는 충청북도(7.57 EUI), 강원도(7.53 EUI)에 비해 두 배 가까이 높게 나타났다. 이는 기후적 특징뿐만 아니라 다른 요인이 크게 작용한 것으로 볼 수 있으며, 에너지 사용량이 높은 서울, 인천, 경기도를 포함한 수도권 지역의 특성은 별도로 분석이 필요한 것으로 보인다. 한편, 남부지역인 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도의 단위면적당 에너지사용량은 중부지역보다 상대적으로 낮게 나타났으며, 특히 전라남도(5.03 EUI)가 가장 낮았다.

지역별 주거용 건물의 에너지사용량 분석결과에 따르면, 단위면적당 에너지 사용량이 상대적으로 높은 중부지역이 우선적으로 고려되어야 하며, 대도시 주거용 건물에 대한 에너지 수요관리정책이 효과적일 것으로 기대된다. 특히, 〈그림 10〉에서와 같이, 서울과 경기는 모든 주거용 건물에서 사용되는 에너지사용량의 23.3%와 22.1%를 차지할 만큼 많은 부분을 차지한다. 〈그림 9〉의 결과를 함께 고려하면, 서울시와 경

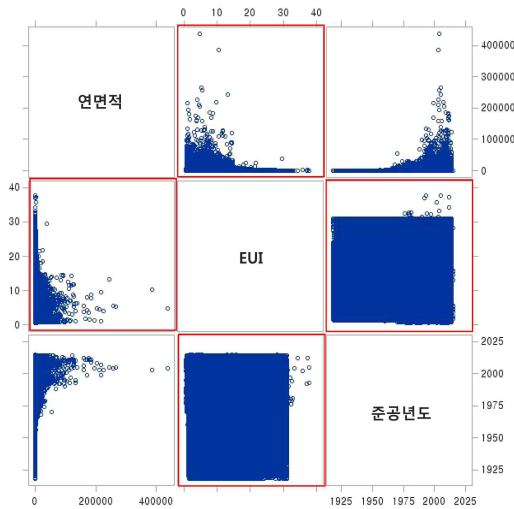
기도의 역할이 중요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 주거용 건물부문의 에너지사용량 감축 목표를 달성하기 위한 정책을 수립할 때, 서울시와 경기도를 우선 검토 지역으로 고려해야 할 것이다.

4. 규모, 준공년도

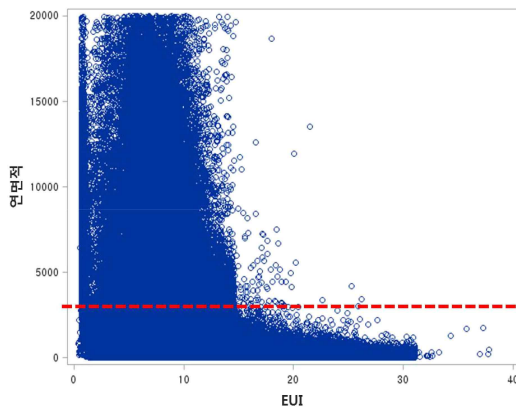
〈그림 11〉은 단위면적당 에너지사용량과 연면적, 준공년도와의 관계를 scatter matrix를 이용하여 산점도로 표현한 것이다. 먼저, 연면적과 단위면적당 에너지사용량의 관계를 보면, 둘 사이의 큰 상관관계 결과는 나타나지 않았다. 다만, 〈그림 12〉를 보면, 약 3,000㎡의 연면적을 기준으로 단위면적당 에너지사용량에 차이가 있음을 알 수 있다. 연면적 약 3,000㎡ 이상인 건물에서는 단위면적당 에너지사용량이 약 15 EUI 이하로 유지되는 반면, 연면적 3,000㎡ 이하의 건물에서는 에너지효율이 상대적으로 낮은 건축물이 분포하는 것이 확인되었다.



〈그림 10〉 시 및 도별 총 건물에너지사용량



〈그림 11〉 연면적, 준공년도, 단위면적당에너지사용량 scatter matrix



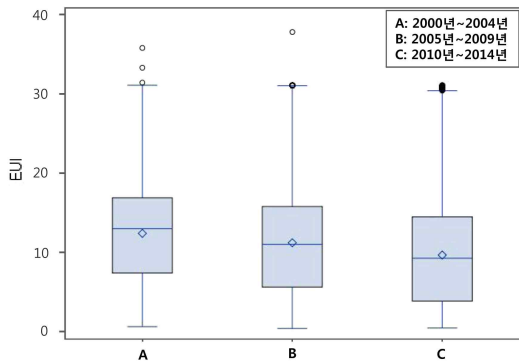
〈그림 12〉 연면적과 단위면적당 에너지사용량 산점도

이러한 결과는 에너지성능 기준이 연면적 3,000㎡ 이상의 대형 건물을 대상으로 시행되기 때문으로 여겨진다. 따라서 앞서 언급한 바와 같이 대형 건물의 에너지효율향상정책과 더불어 소형 주거 건물을 대상으로 하는 에너지성능

향상 정책이 수립되어야 할 것이다.

건물의 설계기준이 지속적으로 강화되고 있기 때문에, 일반적으로 건물의 준공시점에 따라 단위면적당 에너지사용량이 달라지는 것으로 알려져 있다. 하지만, 〈그림 11〉의 단위면적당 에너지사용량과 준공년도에 대한 산점도에서는 둘 사이에 관계를 찾기 어려웠다.

한편, 정부는 2000년부터 건물 에너지사용량 감축을 위한 건물에너지 효율향상 정책을 지속적으로 강화하고 있다. 이에, 본 연구에서는 건물에너지 효율향상 정책의 효과를 파악하기 위하여, 2000년 이후 준공된 주거용 건물만을 대상으로 준공년도에 따른 단위면적당 에너지사용량을 비교하였다. 본 연구에서는 2000년 이후 준공된 주거용 건물을 대상으로 준공년도를 5년 단위(A: 2000년~2004년, B: 2005년~2009년, C: 2010년~2014년)로 분류하여 단위면적당 에너지사용량을 비교하였다. 그 결과, A, B, C 그룹의 단위면적당 에너지사용량은 각각 12.99, 11.01, 9.26 EUI로 나타났다. 〈그림 13〉에 따르면, 최근 준공된 건물일수록 단위면적당 에너지사용량이 낮게 나타났다. 이러한 결과는 정부가 친환경 주택성능, 에너지절약계획서, 에너지효율등급 등의 지속적으로 시행하는 건물에너지 효율향상 정책의 효과가 발휘되고 있음을 의미한다.



〈그림 13〉 준공년도 그룹별 단위면적당 건물에너지사용량 분포

VI. 결론 및 한계점

본 연구는 세계 최초 건축물 정보와 건물에너지사용량 정보를 통합하여 관리하는 “국가 건물 에너지 통합 DB”를 활용하여, 주거용 건물의 세부 특성에 따른 에너지사용 현황을 분석한 것에 의미가 있다. 특히, 2,418,736동의 주거용 건물 데이터를 이용하여 주거용 건물에너지소비량과 건축물특성(용도, 지역, 연면적, 준공년도)과의 관계를 분석한 것이 본 연구의 성과이다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 아파트의 단위 면적당 에너지사용량은 낮고 표준편차도 작은 반면, 다중주택, 다가구주택, 다세대주택의 단위면적당 에너지사용량은 상대적으로 높았다. 이러한 결과는 아파트와 같은 일정 규모 이상의 건물을 대상으로 시행되는 에너지절약계획서, 에너지효율등급 등의 에너지 효율 향상 정책이 적절한 효과를 발휘한다는 사실을 보여준다. 따라서 다가구주택, 다세대주택,

다중주택, 연립주택과 같은 소형 공동주택 또는 단독주택 건물에 대해서도 에너지효율 성능의 향상을 위한 관련 정책이 마련되어야 할 것이다.

둘째, 지역에 따른 주거용 건물의 단위면적당 에너지사용량은 중부·남부·제주도 순으로 나타났다. 시지역이 도지역보다 크게 나타났다. 특히, 서울과 경기지역의 단위면적당 에너지사용량이 높게 나타나, 건물의 에너지효율 성능의 향상이 요구되었다. 서울과 경기도는 전체 주거용 건물 중 약 45% 이상을 포함하는 만큼, 에너지 효율 성능 향상의 시행효과가 크게 발휘될 것이라고 생각한다.

셋째, 단위면적당 에너지사용량과 연면적과의 큰 상관관계 결과는 나타나지 않았다. 다만, 연면적 약 3,000㎡를 기준으로 3,000㎡ 이상인 건물에서는 단위면적당 에너지사용량이 약 15 EUI 이하로 유지되는 반면, 3,000㎡ 이하의 건물에서는 에너지효율이 상대적으로 낮은 건축물이 분포하였다.

넷째, 2000년 이후로는 최근 지어진 주거용 건물일수록 단위면적당 에너지사용량이 낮게 나타나는 사실이 확인되었다. 이러한 결과는 정부가 친환경 주택성능, 에너지절약계획서, 에너지효율등급 등의 건물에너지 효율향상 정책 등의 지속적인 노력이 효과를 얻고 있다는 사실을 보여준다.

하지만, 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가진다. 첫째, 본 연구에서는 건축물 특성과 에너지사용량과의 복합적인 분석이 수행되지 않았다. 용도, 지역, 규모, 준공년도 등의 특성은 건물의 에너지사용량에 복합적인 관계를 가질 수

있기 때문에, 개별적 분석과 더불어 복합적인 분석이 수행될 필요가 있다. 둘째, 본 연구에서는 연면적을 바탕으로 주거용 건물의 단위면적당 에너지사용량을 분석하였지만, 주거용 건물의 경우 전용면적이 더 적합한 기준이 될 수 있다. 셋째, 국가 건물에너지 통합 DB의 한계로 인해 화석연료와 지역난방, 신재생에너지 등을 고려하지 못했다. 이러한 에너지원은 주거용 건물에서 사용하는 에너지원의 상당한 부분(약 20%)을 차지하고 지역에 따라 사용 비율이 달라, 지역별 에너지사용량 현황분석 결과에 차이를 야기할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 모든 에너지원에 대한 사용량 정보를 포함하여, 상세한 현황 분석이 수행되어야 할 것이다. 게다가, 향후 연구에서는 주거용 건물뿐만 아니라 상업용, 공공용, 산업용 건축물을 대상으로 건축물 상세 특성 정보와 연계하여 용도, 지역, 사용기간 등의 특성에 따른 에너지사용량 차이의 원인에 대한 분석이 수행되어야 할 것이다.

현재 국내 건물에너지 관련 통계(에너지총조사, 통계연보)는 건물부문을 가정, 상업, 공공, 산업으로 분류하고 있으나, 건축물의 세부 특성(지역, 세부용도, 규모, 준공년도 등)을 고려한 통계를 작성·제시하지는 않는다. 비록, 본 연구는 주거용 건물로 분석대상을 한정하는 등의 한계를 가지지만, 본 연구에서 제시한 주거용 건물의 세부 특성별 에너지사용량 소비현황 분석 결과는 건물의 에너지사용량 감축을 위한 신규 정책의 수립에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 본 연구에서는 우선적인 관리가 요구되는 건물유형과 지역을 제시함으로써, 효율적

인 정책의 추진을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 강동호, 2009, 「초고층 주상복합 아파트의 에너지 소비특성에 관한 연구」, 아주대학교 대학원 석사 학위 논문.
2. 국토교통부 외, 2016, 「2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵」.
3. 김유란·윤혜경·김주영·전규엽·홍원화, 2011, 「대구광역시 단독주택의 에너지 및 온실가스 배출원단위 작성에 관한 연구」, 『한국주거학회논문집』, 22(2): 35-42.
4. 방선규·박진철·이언구·조균형, 2015, 「건물 용도별 에너지 사용량 특성에 관한 연구」, 『대한건축학회 학술발표대회 논문집』, 35(1): 297-298.
5. 안기연·박철수, 2016, 「빅 데이터 분석 기법을 활용한 기존 건축물 데이터베이스 분석」, 『대한건축학회 추계학술발표대회논문집』, 66(2): 670-671.
6. 에너지경제연구원, 2017, 「에너지통계월보(2016. 12)」.
7. 에너지경제연구원, 2017, 「에너지통계연보(2016)」.
8. 이충국·서승직, 2012, 「국내 에너지다소비건물의 용도별·지역별 온실가스 배출원단위분석 연구」, 『한국태양에너지학회 논문집』, 32(3): 162-169.
9. 정영선, 2015, 「국가 통계에 기초한 주택부문의 에너지효율 지표 산정 연구」, 『대한건축학회 논문집-계획계』, 31(8): 35-42.
10. 한국에너지공단, 2016, 「대한민국 에너지 편람」.
11. Changquan HE, 2014, "Analysis of small and medium-sized public building energy consumption in hot summer and cold winter area", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(4): 498-503.

12. Jeong Jaewook · Hong Taehoon · Ji Changyoon · Kim Jimin · Lee Minhyun · Jeong Kwangbok, 2016, "Development of an evaluation process for green and non-green buildings focused on energy performance of G-SEED and LEED", *Building and Environment*, 105: 172-184.
13. Jukka Heinonen · Seppo Junnila, 2014, "Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland", *Energy and Buildings*, 76: 295-303.
14. Ma Y.T. · Lu M.Y. · Weng J.T., 2015, "Energy Consumption Status and Characteristics Analysis of University Campus Buildings", *5th International Conference on Civil Engineering and Transportation*, 1240-1243.
15. Weibin Lin · Bin Chen · Shichao Luo · Li Liang, 2014, "Factor Analysis of Residential Energy Consumption at the Provincial Level in China", *Sustainability*, 2014(6), 7710-7724.
16. Xiaoqing Wei · Nianping Li · Wenjie Zhang, 2015, "Statistical Analyses of Energy Consumption Data in Urban Office Buildings of Changsha", China, *Procedia Engineering*, 121: 1158-1163.

논문접수일 : 2017년 4월 11일

심사(수정)일 : 1차 2017년 5월 15일

게재확정일 : 2017년 5월 26일

국문초록

본 연구에서는 주거용 건물의 에너지사용량 현황을 분석하고자 하였다. 이를 위하여, 국가 건물에너지 통합 DB를 활용하여 주거용 건물 2,418,736동의 에너지사용량(전기, 도시가스) 데이터 및 건축물정보(용도, 지역, 규모, 준공년도) 데이터를 수집하였다. 통계 프로그램은 SAS 9.4를 이용하였으며, 단위면적당 에너지사용량(EUI, $10^{-3}\text{toe}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$)을 분석지표로 사용하였다. 주요 결과는 다음과 같다. 1) 다양한 용도의 주거용 건축물 중 아파트의 단위면적당 에너지사용량이 가장 낮게 나타났다. 2) 지역에 따른 결과는 중부·남부·제주도 순으로 높게 나타났으며, 시 지역의 단위면적당 에너지사용량이 도 지역보다는 크게 나타나는 경향을 보였다. 3) 연면적과 단위면적당 에너지사용량 사이의 관계는 보이지 않았지만, 연면적 약 $3,000\text{m}^2$ 이상 건물의 단위면적당 에너지사용량은 15 EUI 이하인 반면, $3,000\text{m}^2$ 이하 건물의 단위면적당 에너지사용량은 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 4) 최근 지어진 주거용 건축물일수록 단위면적당 에너지사용량이 낮게 나타났다. 본 연구의 결과는 건물의 에너지사용량 감축을 위한 정책의 수립 및 효율적 시행에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 국가 건물에너지 통합 DB, 주거용 건물, 단위면적당 에너지사용량, 건축물 정보, 통계분석