

제로에너지시티 계획을 위한 건물에너지 수요 예측 방법론 개발 및 자립률 산정에 대한 연구

배은지** · 윤용상*

*건축사사무소티오피, 연구원

A Study on the Methodology of Building Energy Consumption Estimation and Energy Independence Rate for Zero Energy City Planning Phase

Bae Eun-ji** · Yoon Yong Sang*

*Researcher, TOP Architects&Associates

†Corresponding author: effybae@daum.net

Abstract

In response to the rapid climate change, in order to save energy in the field of buildings, the country is planning not only zero energy buildings but also zero energy cities. In the Urban Development Project, the Energy Use Plan Report is prepared and submitted by predicting the amount of energy demand at the planning stage. However, due to the activation of zero-energy buildings and the increase in the supply of new and renewable energy facilities, the energy consumption behavior of buildings in the city is changing from the previous ones. In this study, to estimate urban energy demand of Zero Energy City, building energy demand forecasts based on “Passive plans for use of energy based primary energy consumption”, “Actual building energy usage data from Korea Appraisal Board” and “data from Certification of Building Energy Efficiency Rating” as well as demand forecast according to existing “Consultation about Energy Use Plan Code” were calculated and then applied to Multifunctional Administrative City 5-1 zone to compare urban total energy demand forecasts.

Keywords: 제로에너지시티(Zero Energy City), 건물에너지(Building Energy), 에너지수요예측(Energy Consumption Estimation), 신재생에너지(New Renewable Energy)

1. 서론

1.1 연구의 필요성과 목적

최근 급격한 기후변화에 따라 에너지절약 및 온실가스 배출 감축에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다. 우리나라의 경우 2017년 총 1차 에너지 소비량이 2억9천6백만 TOE로 2016년 2억9천2백만 TOE 대비 1.6%증가하였고, 평균적으로 2006년부터 매년 1차 에너

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.5, pp.29-40, October 2019
<https://doi.org/10.7836/kjes.2019.39.5.029>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 09 August 2019

Revised: 20 October 2019

Accepted: 23 October 2019

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지 소비량이 2.2%가량 증가하고 있다¹⁾. 그 중 건물 및 건설부문의 에너지 소비량은 36%이며 이산화탄소 배출량은 40%를 차지한다²⁾. 에너지절약 및 온실가스 배출 감축에서 건물부문의 역할이 매우 큰 것을 보여주는 지표이다. 그에 따라 건물부문에서 발생하는 에너지수요를 줄이기 위해 전 세계적으로 제로에너지건축물과 제로에너지시티에 대한 관심이 증가하고 있다. 국내에서는 2020년까지 공공건축물의 제로에너지인증을 의무화하고 2025년까지 민간건축물의 인증을 의무화 할 계획에 있다.

국내에서는 일정 규모 이상의 에너지를 사용하는 도시개발 사업을 하는 경우 에너지 수급계획과 온실가스 배출 영향을 분석하고, 에너지의 합리적 사용 계획방안을 제출해야 한다³⁾. 앞서 언급한 것처럼 국가차원에서 건물 부문 에너지사용량을 줄이기 위해 제로에너지건축물을 활성화 하면서 도시 내 건축물들의 에너지 소비행태가 기존과 크게 달라졌다. 그에 따라 최근 제로에너지시티에 걸맞은 새로운 도시에너지 예측을 위한 방안이 필요해지고 있다⁴⁾.

도시계획에서는 기존의 '에너지사용계획 협의 업무 운영규정'에 따른 부하기준에 따라 에너지수요예측과 공급계획을 세우지만, 세종시 제로에너지 스마트시티와 같은 제로에너지시티에서는 개발계획단계에서 도시단위의 자립률을 고려하여 토지이용계획과 지구단위계획을 수립하고 사업의 경제적 타당성을 분석하기 때문에 과거의 데이터 기반의 수요예측이 아닌 실제 건물들의 정확한 에너지 수요예측이 필요해지고 있다.

본 연구에서는 행정중심복합도시 5-1생활권(이하 5-1생활권)을 예시로 하여 에너지 수요예측 방법에 따른 에너지 수요량의 차이와 그에 따른 도시 에너지 자립률의 변화에 대해 연구하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

도시의 건물들이 제로에너지화 되면서 건물에서 사용하는 에너지가 줄어들게 되고 그에 따라 에너지를 제공하던 기존 인프라시설의 수가 줄어들게 된다. 뿐만 아니라 건물 자체 내에서 신재생에너지 설비를 통해 건물이 필요한 에너지를 태양광과 같은 신재생에너지 설비로 직접 생산하게 되며 ESS와 IoT기술을 이용하여 기존 도시 에너지 사용과 다른 양상의 에너지사용패턴이 나타나면서 예전과 다른 도시 공간이 예측된다⁵⁾.

본 연구는 제로에너지시티에서의 도시에너지수요예측을 위해, 기존의 에너지사용계획서 상의 예측방법 이외에 추가로 2가지 방법에 대해 제안하고 각각의 예측 수요에 의한 도시 자립률의 변화와 100% 자립 가능한 제로에너지 시티를 위해 필요한 태양광설비 설치 면적의 변화에 대해 연구하였다. 또한 기존의 면적당 부하 외에도 통계자료를 통해 인구 1인당 사용하는 건물에너지를 산정하여 제안하는 방법의 타당성을 검증하도록 하였다.

연구는 먼저 도시계획분야에서 토지이용계획 수립 시 사용하는 건물의 용도에 따른 토지분류를 분석하고, 그에 따라 도시에서 건물에너지 사용을 어떻게 분류 할 수 있을지 방법을 도출하였다.

두 번째로 건물에너지 예측방법 3가지에 따라 도시 내의 용도별 건물 에너지 소비량을 예측했다. 기존 에너지 사용계획 협의 업무 규정에 따른 건물 용도별, 에너지원별 단위 연면적당 1차 에너지 소요량을 산정하고, 그것

을 기준으로 하여 에너지사용계획서의 패시브화, 한국감정원의 건물에너지 사용량 데이터(2015년과 2017년 평균값), 건축물에너지효율등급 인증자료 총 3가지를 기반으로 건물 용도별 단위 연면적당 1차 에너지 소요량을 산정하였다.

세번째로는 앞서 분석한 기초데이터를 바탕으로 행정중심복합도시 5-1 제로에너지 스마트도시의 에너지 수요량을 예측한다. 또한 매년 발행되는 국가 에너지 통계연보의 가정·상업과 공공·기타의 에너지 소비량에 따라 인구 1인당 에너지 소비량을 예측하여 세종시 5-1생활권 계획 인구수에 적용하여 제시한 방법의 타당성을 확보하는데 사용했다.

마지막으로 각 방법에 따라 예측된 세종시 5-1생활권의 에너지수요와 건축물에 설치 가능한 태양광설비의 전력생산량을 비교하여 에너지자립률을 산정했다.

2. 도시 건물에너지 수요 예측 선행연구

도시 건물에너지 수요 예측을 위해 선행연구들을 분석한 후 기존의 에너지사용계획서의 에너지수요예측 방법을 분석하였고, 각 내용은 다음과 같다.

2.1 에너지 수요예측 선행 연구

먼저 단일 건물에너지 수요예측에 대한 연구는 실측을 통한 부하모델 및 프로그램 개발에 관한 연구. Chung and Park (2009)⁶⁾ 기존 전산 및 모델 단순화를 통한 도시에너지 예측 모델 개발에 대한 연구 Kim (2014)⁷⁾ 등이 있다.

도시계획단계에서 건물에너지수요예측에 관한 연구로는 정밀한 에너지수요예측을 통해 에너지절약형 공급 계획을 세우기 위해 E-GIS DB 구축 데이터를 통한 수요예측 알고리즘 개발에 대한 연구 Yeo and Yoon (2012)⁸⁾, 문헌과 통계자료를 바탕으로 표준모델을 제시하여 광역단지 및 복합단지의 에너지수요 예측 방법론을 제안한 연구 Mun and Huh (2008)⁹⁾, 건물에너지 DB를 인공지능망에 적용하여 도시계획단계에서 시간단위 에너지 수요예측 프로그램을 개발한 연구 Kong et al. (2009)¹⁰⁾ 등이 있다.

도시계획단계에서의 건물에너지수요예측에 관한 연구는 주로 기존의 중앙식 에너지공급도시에 초점이 맞춰져 있어 제로에너지시티의 건물에너지 수요예측에 관한 연구는 국내에서 다소 미미한 실정이다.

2.2 도시 건물에너지 기존 수요예측 틀

녹색건축물 조성 지원법 및 같은 법 시행령에 따르면 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증 대상건축물은 기숙사를 제외하고는 건축법 시행령에 따르며, 주거와 비주거로 구분한다. 국토교통부 (2017)¹¹⁾. 그에 따라 에너지사용량 자료 역시 건축법에 의해 분류되어 작성되고 있다.

하지만 도시계획에서는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률과 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치 기준에 관한 규칙에 따라 용도지역과 지구단위계획을 하므로 건축법에서의 건축물 분류와 도시계획에서의 용지분류가 다소 상이하다.

본 연구에서는 Table 1과 같이 제로에너지시티를 위한 건축물에너지 수요량 예측을 위해 토지이용계획에서 일반적으로 사용하는 토지용도구분을 기준으로 하여 건축물 용도별 에너지 수요예측을 하고 가장 최근에 수립된 행정중심복합도시 6-4생활권의 건폐율과 용적률을 적용하여 도시전체 에너지수요예측을 하였다.

Table 1 Building-to-land ratio and floor area ratio according to land use

Land Use		Building-to-land ratio	Floor area ratio	Land Use	Building-to-land ratio	Floor area ratio	
Independent housing	Detached houses	39%	100%	Parking lots	-	-	
	Low-density	21%	150%	Squares	-	-	
Multi-unit housing	Medium-density	21%	170%	Vacant public land	-	-	
	High-density	17%	250%	Religious facilities	-	-	
Commercial and Business	Commercial and Business	56%	400%	Gas station	-	-	
	Public buildings	48%	200%	Substation	-	-	
Public, cultural and athletic facilities	Schools	48%	200%	Infra-structure	Sewage systems	-	-
	Kindergartens	48%	200%		Waste treatment facilities	-	-
	Cultural facilities	48%	200%		Detention ponds	-	-
	General medical facilities	48%	200%		Distributing reservoir	-	-
	Athletic facilities	48%	200%		Smart Center	48%	200%
	Welfare facilities	48%	200%		Research facilities	48%	200%
	Reserved land	-	-				

2.3 에너지사용계획서상의 에너지 소비량 기준¹²⁾

도시계획 시 에너지수요는 사업지구 토지이용에 따라 열에너지와 전력에너지로 구분하여 예측한다. 토지이용은 에너지사용 특성에 따라 주택용지와 상업 및 업무시설, 공공용지로 구분되고 열에너지는 난방, 급탕, 냉방, 취사 에너지로 구분되며, 전력은 전등/전열과 동력/냉방으로 구분된다.

기존의 행정중심복합도시의 에너지사용계획서에서는 열수요 예측은 시설별로 냉난방 단위열부하의 설정이 가능하고, 시간대별 평형점온도 및 외기온도 데이터를 적용할 수 있도록 표준BIN법을 수정하여 국내실정에 적합하게 발전시킨 수정온도 BIN전산처리법을 적용하여 계산하였다.

전력수요의 경우는 세부적인 설계가 진행되지 않은 관계로 주거용, 상업용 및 공공용 건물 등의 미확정 상태

부하에 대하여 표준부하 산정법에 의하여 부하를 예측하였다. 여기서 표준부하 산정법이란 미확정 부하에 대하여 과거의 통계학적 개념과 부하증가개념을 복합시켜 단위면적당 부하를 이용하여 부하를 산정한 것을 의미하며 세종시의 경우는 '05년 에너지 총 조사 보고서를 참고하여 단위부하를 산정하였다.

각 산정한 단위면적당 에너지는 단독주택의 경우는 난방, 급탕, 취사를 도시가스로, 냉방, 조명, 환기, 콘센트 부하의 경우는 전력으로 산정하여 1차 에너지소요량을 계산하였다. 그 외 건물들은 난방, 급탕을 지역난방, 취사는 도시가스로, 냉방, 조명, 환기, 콘센트 부하는 전력으로 공급한다는 가정으로 1차 에너지소요량을 계산하였고 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Plans for use of energy based primary energy consumption according to land use

Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)				Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)			
		Feul	Electri-city	District heating	Total			Feul	Electri-city	District heating	Total
Independent housing	Detached houses	243.6	44.7	-	288.3	Public, cultural and athletic facilities	Kindergartens	13.6	338.6	22.9	375.1
	Low-density	17.6	174.5	133.2	325.4		Cultural facilities	3.6	567.7	36.5	607.8
Multi-unit housing	Medium-density	17.6	174.5	1332	325.4	Athletic facilities	General medical facilities	25.0	743.1	295.4	1063.6
	High-density	17.6	174.5	133.2	325.4		Welfare facilities	3.6	567.6	36.9	608.2
Commercial and Business	Commercial and Business	13.1	857.2	54.9	922.2	Infra-structure	Smart Center	13.1	854.2	54.9	922.2
Public, cultural and athletic facilities	Public buildings	5.3	455.1	35.8	496.2		Research facilities	3.6	1053.8	43.8	1101.2
	Schools	13.6	338.6	22.9	375.1						

3. 제로에너지시티의 건물에너지 수요예측 방법론

기존의 에너지사용계획서의 에너지수요예측이 아닌 제로에너지시티에 적합한 두 가지 에너지수요예측방안을 연구하였고, 각 내용은 다음과 같다.

3.1 에너지사용계획서 패시브화¹³⁾

독일 패시브하우스 기준¹⁴⁾에서는 단위면적당 냉방 및 난방에너지 요구량이 15 kWh/m² 이하로 총 1차 에너지 소요량(난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기, 콘센트) 120 kWh/m² 이하로 정의하고 있다. 독일은 이 기준을 용도와

지역에 상관없이 모두 적용하고 있다. 국내 제로에너지건축물 인증을 받으려면 에너지효율등급 1++이상을 취득해야 하고 에너지효율등급의 5대 에너지(난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기)의 1차 에너지소요량 기준은 주거가 90 kWh/m², 140 kWh/m²이다.

패시브하우스의 난방과 냉방에너지 소요량을 연면적 기준 20 kWh/m²로 가정, 급탕은 에너지사용계획서상의 수치를 그대로 적용, 조명과 환기는 에너지사용계획서상의 계산방법을 최신 설비를 적용하여 계산하였다.

에너지원은 난방, 냉방, 급탕은 지역난방으로 조명, 환기, 콘센트는 전기로 취사는 도시가스로 가정하여 1차 에너지를 계산하였다. 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 Passive plans for use of energy based primary energy consumption according to land use

Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)				Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)			
		Feul	Electri-city	District heating	Total			Feul	Electri-city	District heating	Total
Independent housing	Detached houses	77.8	52.2	-	130.0	Kindergartens	13.6	217.0	19.1	249.7	
	Low-density	17.6	85.5	45.5	148.7		Public, cultural and athletic facilities	Cultural facilities	3.6	224.1	17.0
Multi-unit housing	Medium-density	17.6	85.5	45.5	148.7	General medical facilities		25.0	250.4	82.2	357.6
	High-density	17.6	85.5	45.5	148.7	Athletic facilities		3.5	2167.4	22.9	2193.9
Commercial and Business	Commercial and Business	13.1	183.3	22.5	218.9	Welfare facilities	3.6	224.1	22.9	250.6	
	Public, cultural and athletic facilities	Public buildings	5.3	204.0	21.9		231.3	Infra-structure	Smart Center	3.6	411.7
Schools		13.6	217.0	19.1	249.7	Research facilities	3.6		411.7	22.9	438.2

3.2 한국감정원 건물에너지사용량 데이터

한국감정원에서는 국내 건축물의 에너지사용량 데이터를 수집하여 보유하고 있다. 자료의 정확성을 위하여 2015년 및 2017년 지역별, 용도별(건축법) 건축물의 에너지사용량 두 가지의 평균값을 기준 사용량으로 정하였다. 기준 사용량을 1차 에너지소비량으로 환산하고 건축물 전체 연면적으로 나누어 연면적당 연간 에너지 소비량을 계산하여 기준으로 설정하였다. 결과는 Table 4와 같다.

Table 4 Korea Appraisal Board data based primary energy consumption according to land use

Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)				Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)			
		Feul	Electri-city	District heating	Total			Feul	Electri-city	District heating	Total
Independent housing	Detached houses	80.1	226.3	0.1	306.5	Public, cultural and athletic facilities	Kindergartens	58.0	281.2	3.6	342.7
	Low-density	65.9	138.9	14.4	219.2		Cultural facilities	42.2	246.5	4.3	293.0
Multi-unit housing	Medium-density	65.9	138.9	14.4	219.2	Public, cultural and athletic facilities	General medical facilities	158.5	502.2	5.0	655.7
	High-density	65.9	138.9	14.4	219.2		Athletic facilities	54.5	285.0	4.7	344.2
Commercial and Business	Commercial and Business	90.9	659.4	13.1	763.5	Public, cultural and athletic facilities	Welfare facilities	58.0	281.2	3.6	342.7
	Public, cultural and athletic facilities	90.9	659.4	13.1	763.5		Smart Center	42.7	205.2	1.9	249.8
	Schools	42.7	205.2	1.9	249.8	Infra-structure	Research facilities	90.9	659.4	13.1	763.5

3.3 건축물에너지효율등급 인증 데이터

건축물에너지효율등급 인증을 받기 위해서는 ISO13790에 기반 한 국내 건축물 에너지효율등급 평가 프로그램인 ECO2의 에너지 시뮬레이션을 통해 각각 건축물의 5대 에너지(난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기)의 시뮬레이션 값을 제출해야 한다¹⁵⁾. 본 연구에서는 실제 2016년 이후 에너지효율등급 1+ 등급과 1++등급을 받은 건축물들의 인증데이터(공동주택 48개소, 교육연구시설 40개소, 노유자 시설 6개소, 업무시설 13개소, 운동시설 2개소)를 기반으로 각 용도별 에너지사용량 평균값을 도출하였고 데이터가 없는 시설의 경우 비슷한 에너지사용패턴을 보이는 용도의 데이터를 대체하여 적용하였다.

다만 이 값은 각 에너지원별 요구면적에 따른 값이므로 임의로 연면적의 80%가 냉난방면적으로 적용된 값이라 가정하고 다시 전체 연면적당 사용에너지로 환산하였다. 또한 취사와 콘센트 부하는 기존 에너지사용계획의 방법으로 계산하였다. 그 결과는 Table 5이다.

Table 5 Certification of Building Energy Efficiency Rating based primary energy consumption according to Land Use

Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)				Land Use		Primary energy consumption (kWh/m ² ·a)			
		Feul	Electri-city	District heating	Total			Feul	Electri-city	District heating	Total
Independent housing	Detached houses	16.0	60.0	64.0	140.0	Public, cultural and athletic facilities	Kindergartens	12.4	75.2	74.0	161.6
	Low-density	16.0	60.0	64.0	140.0		Cultural facilities	3.3	124.4	85.3	213.0
Multi-unit housing	Medium-density	16.0	60.0	64.0	140.0		General medical facilities	25.0	743.1	295.4	1063.6
	High-density	16.0	60.0	64.0	140.0		Athletic facilities	3.2	114.7	87.3	205.2
Commercial and Business	Commercial and Business	11.9	194.3	66.5	272.7		Welfare facilities	3.3	124.4	85.3	213.0
	Public, cultural and athletic facilities	11.9	194.3	66.5	272.7		Infra-structure	Smart Center	11.9	194.3	66.5
	Schools	12.4	75.2	74.0	161.6			Research facilities	12.4	75.2	74.0

3.4 국가에너지통계연보¹⁶⁾

지역에너지통계연보는 에너지법 제7조에 명시된 광역자치단체의 지역적 특성을 고려한 지역에너지계획수립 등에 필요한 17개 시도별 기초 에너지 통계를 제공하고, 지역에너지통계연보를 활용하여 광역자치단체의 에너지 수급 전망, 에너지 안정적 공급 대책, 친환경 에너지 사용계획 수립 등에 필요한 기초 통계 자료 제공을 목적으로 작성된다.

지역에너지통계연보는 정부 및 에너지 관련 주요 기관에서 작성한 통계를 수집하여 종합 편집하는 자료로 1차 에너지와 최종에너지를 지역별 에너지원별로 다루고, 에너지원은 석탄, 석유제품, 천연 및 도시가스, 전력, 열에너지, 신재생에너지로 구분한다.

본 연구에서는 지역에너지통계연보의 가정·상업과 공공·기타 부문을 건물에서 사용되는 에너지로 보고 지역별 1인당 건물부하로 정리하였다. 세종시의 경우는 현재 도시가 완성되지 않았으므로 전국평균값을 적용하고 이를 통해 앞서 제안한 건물에너지사용량데이터와 건축물에너지효율등급 인증 데이터를 이용한 방법의 타당성을 검증하였다.

4. 건물에너지 수요와 도시 자립률

앞서 연구한 각각의 도시 건물에너지 수요량에 따른 각 건물의 자립률과 도시 전체의 자립률은 다음과 같다.

4.1 방법론에 따른 도시에너지 수요량 비교

앞서 산정한 단위연면적당 1차 에너지소요량을 기반으로 행정중심복합도시 5-1생활권의 전체 건물이 쓰는 에너지를 산정해보면 Table 6과 같다.

에너지사용계획서에 따르면 행정중심복합도시 5-1생활권은 1,076.4 GWh/yr의 1차 에너지를 사용할 것으로 예측되고, 한국감정원의 건물에너지사용량 데이터에 의하면 758.8 GWh/yr, 건축물 에너지효율등급 인증 데이터에 의하면 422.7 GWh/yr의 에너지를 사용할 것으로 예측된다.

Table 6 Primary energy requirements comparison according to land use

Land Use		Primary energy consumption (GWh/a)				Land Use		Primary energy consumption (GWh/a)			
		Plans for use of energy	Passive	Korea Appraisal Board data	Certification of BEER			Plans for use of energy	Passive	Korea Appraisal Board data	Certification of BEER
Independent housing	Detached houses	138.3	62.4	147.0	67.1	Public, cultural and athletic facilities	Cultural facilities	10.7	4.3	5.2	3.8
	Low-density	102.7	46.9	69.2	44.2		General medical facilities	87.9	29.6	55.0	17.0
Multi-unit housing	Medium-density	87.7	40.1	59.1	37.7	Welfare facilities	Athletic facilities	8.3	50.4	7.9	4.7
	High-density	36.3	16.6	24.5	15.6		Smart Center	176.7	84.0	47.9	52.3
Commercial and Business	Commercial and Business	256.6	60.9	212.5	75.9	Infra-structure	Research facilities	63.0	25.1	43.7	9.3
Public, cultural and athletic facilities	Public buildings	19.9	9.3	30.6	10.9		City building Total	1076.4	479.3	758.8	422.7
	Schools	48.3	32.2	32.2	20.8	National Energy Statistics Yearbook	Based on 29,293 population			515.1	
	Kindergartens	4.7	3.1	4.3	2.0						

또한 연면적당 에너지사용량이 아닌 인구 1인당 건물에너지 사용량을 계산해보면, 에너지통계연보에서 추출한 1인당 사용 건물에너지에 행정중심복합도시 5-1생활권의 계획 인구수를 곱하여 연간 총 515.1 GWh/yr의 에너지를 사용하는 것으로 결과를 도출할 수 있다. 이는 현재 존재하는 건축물을 기준으로 한 것으로 에너지효율등급 1+이상의 건축물만을 가정하면 더 적게 나올 것으로 예측된다. 그러므로 한국감정원 건물에너지사용량 데이터기반과 건축물에너지효율등급 데이터기반의 계산 값이 타당한 것을 알 수 있다.

4.2 에너지수요량에 따른 자립률 비교

제로에너지시티 계획단계에서 건물의 정확한 에너지수요예측이 중요한 이유는 에너지공급시설계획이 수요 예측에 따라 이루어지기 때문이다. Table 7은 각 용도별 건축물 지붕의 80% 면적에 효율 15%의 태양광패널을 수평 설치하였을 경우 연간 생산 가능한 전력량을 1차 에너지로 환산한 값이다.

Table 7 Sejong zone 5-1's yearly solar production

Land Use		Installable capacity (MW)	Annual power output (GWh/a)	Land Use		Installable capacity (MW)	Annual power output (GWh/a)
Independent housing	Detached houses	15.0	55.9	Public, cultural and athletic facilities	Kindergartens	0.2	0.9
	Low-density	3.5	13.2		Cultural facilities	0.3	1.3
Multi-unit housing	Medium-density	2.7	9.9	Public, cultural and athletic facilities	General medical facilities	1.1	5.9
	High-density	0.6	2.3		Athletic facilities	1.6	1.6
Commercial and Business	Commercial and Business	3.1	11.6	Public, cultural and athletic facilities	Welfare facilities	0.4	4.1
	Public buildings	0.8	2.9		Infra-structure	Smart Center	3.7
Public, cultural and athletic facilities	Schools	2.5	9.2	Research facilities		1.1	4.1
	Zone 5-1 City-wide						36.6

각 에너지수요량에 따라 도시 전체의 에너지 자립률은 Table 8과 같으며, 12.7%에서 32.4%까지 차이 나는 것을 알 수 있다. 도시계획단계에서 건물의 에너지수요예측을 통해 미리 건물자체의 에너지 자립률을 계산한다면 추가적으로 필요한 에너지공급시설의 규모를 좀 더 정확하게 예측 할 수 있다. 뿐만 아니라 자립률의 목표에 따른 신재생에너지 설비의 설치도 미리 고려하여 건물디자인에 반영 할 수 있다.

에너지효율등급 데이터 기반 계산상 5-1생활권의 단독주택의 경우 자립률이 83.3%이다. 이 경우 난방, 냉방, 급탕 열원으로 히트펌프를 이용하면 100% 이상의 자립률도 가능하여 남은 에너지를 판매하는 프로슈머까지 가능하다. 건축물의 용도별 자립률 계산을 통해 미리 경제성 분석을 하여 신재생에너지 설치를 한다면, 태양광 패널의 제약 조건인 경제성과 미관의 제약 없이 신재생에너지로 자립가능한 도시를 계획 할 수 있다.

Table 8 Changes in energy independence rate according to energy consumption estimation

Land Use		Primary energy consumption (GWh/a)				Land Use		Primary energy consumption (GWh/a)			
		Plans for use of energy	Passive	Korea Appraisal Board data	Certification of BEER			Plans for use of energy	Passive	Korea Appraisal Board data	Certification of BEER
Independent housing	Detached houses	40.4%	89.6%	38.0%	83.3%	Kindergartens	19.1%	28.7%	20.9%	44.4%	
	Low-density	12.9%	28.1%	19.1%	29.9%		Cultural facilities	11.8%	29.3%	24.5%	33.7%
Multi-unit housing	Medium-density	11.3%	24.8%	16.8%	26.4%	Public, cultural and athletic facilities	General medical facilities	6.7%	20.0%	10.8%	34.9%
	High-density	6.2%	13.7%	9.3%	14.5%		Athletic facilities	19.8%	3.3%	20.8%	34.9%
Commercial and Business	Commercial and Business	4.5%	19.1%	5.5%	15.3%	Welfare facilities	11.8%	28.6%	20.9%	6.7%	
	Public, cultural and athletic facilities	14.4%	31.0%	9.4%	26.3%		Infra-structure	Smart Center	7.8%	16.4%	28.7%
	Schools	19.1%	28.7%	28.7%	44.4%	Research facilities		6.5%	16.4%	9.4%	44.4%
Zone 5-1 City-wide energy independence							12.7%	28.5%	18.0%	32.4%	

5. 결론

본 연구에서는 제로에너지시티 계획단계에서 건축물에너지수요예측 방법에 따라 수요량이 어떻게 달라지는지 계산하고 수요량 예측을 통한 도시의 자립률 변화에 대해 연구하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 기존 에너지사용계획서 기반의 세종시 5-1생활권 총 건물에너지 예측 수요값(1076.4 GWh/yr)은 05년도 에너지통계를 기반으로 계산한 값으로 패시브화 에너지사용계획서 기반 수요예측 값(479.3 GWh/yr)보다 약 125%, 한국감정원 건물에너지사용 데이터 기반 수요예측값(758.8 GWh/yr)보다 41.9%, 건축물 에너지효율등급 인증데이터(1+등급 이상) 기반 수요예측 값(422.7 GWh/yr)보다 약155% 과하게 예측된다.
- (2) 가장 적은 예측값인 건축물 에너지효율등급 인증 데이터(1+등급 이상)기반의 수요예측(422.7 GWh/yr)은 에너지통계연보 기반 수요예측(515.1 GWh/yr)의 약 82.1%로 에너지통계연보가 기존 건축물 대상인 것을 감안하면 신뢰할 수 있는 결과값이다.
- (3) 각 수요예측 방법에 따라 도시의 태양광설비에 의한 자립률은 에너지사용계획서의 경우 12.7%, 패시브화 에너지사용계획서의 경우 28.5%, 한국감정원 데이터의 경우 18.0%, 에너지효율등급 데이터의 경우 32.4%로 변화가 생긴다.

향후, 건축물에너지효율등급 인증을 받은 건축물의 데이터를 용도별로 더 축적하면 용도별로 더 세분화된 데이터를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 월별·시간별 에너지사용량 데이터를 확보하여 시간대별 자립률의 변화도 예측 가능 할 것이다.

또 도시전체가 제로에너지화 된다면 제로에너지건축물의 BEMS 데이터를 바탕으로 실제 사용량데이터구축도 가능해 지면서 도시계획단계에서 좀 더 정확한 에너지수요량 예측이 가능해 질 것이다.

후기

이 논문은 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었음(No.KETEP 20162010104270).

REFERENCES

1. BP, Statistical Review of World Energy, London: BP p.l.c, Vol. 67, 2018.
2. IEA, World Energy Outlook 2018, 2018, Retrieved from <https://www.iea.org/weo2018/>
3. Retrieved from <https://zeb.energy.or.kr/introduceZero/introduce.aspx>
4. Ministry of Trade and Industry, ENERGY USE RATIONALIZATION ACT Article10, 2018.
5. Almeida, F. M., Simoes, S. G., Dias, L. P., Duic, N., Seixá, J., and Bermann, C., The Dawn of Urban Energy Planning Synergies Between Energy and Urban Planning for Sao Paulo, Journal of Cleaner Production, Vol. 215, pp. 458-479, 2019.
6. Amado, M., Poggi, F., Amado, A. R., and Breu, S., E-City Web Platform A Tool for Energy Efficiency at Urban Level, Energies, Vol. 11, No. 7, pp. 1-14, 2018.
7. Chung, M. and Park, H. C., Development of a Energy Demand Estimator for Community Energy Systems, Journal of the Korean solar energy society, Vol. 29, No. 3, pp. 37-44, 2009.
8. Kim, E. J. Development of Simplified Building Models for the Bottom-up Approach to a City-scale Energy Demand Prediction, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, Vol. 30, No. 4, pp. 207-214, 2014.
9. Yeo, I. A. and Yoon, S. H., A Study on Urban Consumption Estimation based on E-GIS DB, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, Vol. 28, No. 7, pp. 207-214, 2012.
10. Mun, S. H. and Huh, J. H., A Study on the Process of Energy Demand Prediction of Multi-Family Housing Complex in the Urban Planning Stage, Journal of the Korean solar energy society, pp. 304-310, 2008.
11. Kong, D. S., Lee, S. M., Lee, B. J., and Huh, J. H., Development of the DB-Based Energy Demand Prediction System Urban Community Energy Planning, Journal of The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 940-945, 2009.
12. Ministry of Land, Infrastructure and Transport , ENFORCEMENT DECREE OF THE BUILDING ACT, 2017.
13. Korea Land Corporation, Sejong Administrative City Construction Energy Usage Plan, 2007.
14. Passive House Institute, <https://passivehouse.com/>
15. Korea Energy Agency, Operation Regulation of Certification of Building Energy Efficiency Rating
16. Korea Energy Economics institute, 2017 Regional Energy Statistics, 2018.