KIEAE Journal, Vol. 18, No. 3, Jun. 2018, pp.41-46.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

91

100% 에너지자립 제로에너지주택을 위한 비용효과적 신재생 설비시스템 최적구성에 관한 연구

Cost-Effective Optimal Configuration of Renewable Energy Equipment System for 100% Self Sufficient Zero Energy House

최민주* · 백영민** · 윤종호***

Choi, Min-Joo* · Beak, Yeong-Min** · Yoon, Jong-Ho***

* Main author, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., Daejeon, Korea(mickey5992@naver.com)

** Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., Daejeon, Korea (mins4096@naver.com)

*** Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., Daejeon, Korea (jhyoon@hanbat.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: The domestic thermal insulation standard value has significantly increased to realize the Zero Energy House and many passive houses or zero energy houses are being built recently. Passive technology, which is represented by high thermal insulation and high density, shows relatively stable implementation by development of building materials and accumulated construction experience. On the other hand, there are not matured technologies for heating and cooling, hot water supply and ventilation including new and renewable energy. This study investigated the possibility of constructing optimal renewable energy and facilities system in terms of cost and effectiveness for zero energy houses that can achieve 100% of energy independence rate at current level. **Method:** The target building is a single story house with a floor area of 100 ㎡ located in Gyeonggi-do. Outer wall and roof floor are composed of 200mm SIP (Structural Insulation Panel) structure and window is vacuum window with U = 0.5 w/㎡℃. As a building equipment, this study considered following systems: ground source heat pump (GSHP), air source heat pump (ASHP), electric heating boiler (EHB), electric cable heating (ECH), electric air conditioner (EAC), solar domestic hot water system (DHWS), and solar PV. Finally, this study selected four combinations of systems (GSHP, ASHP+EAC, EHB+EAC, ECH+EAC) for the investigation. **Result:** This study assumed that all the loads in the building are covered by electric energy, and the calculation of the annual energy cost was based on the current electric charge system. Therefore, all loads are supplied by domestic electricity except GSHP. In addition, this study assumed that all renewable energy facilities for 100% energy self-reliance are supplied by solar power and then calculated the capacity to cover all household electricity with PV to derive the range of required PV capacity. Finally, this study calculated the initial investment cost range for each system configuration and the investment payback period, and determined the cost effective system configuration.

ⓒ 2018 KIEAE Journal

KEYWORD

100% 자립 제로에너지 주택
태양광발전
지열히트펌프
공기식히트펌프
전기난방
경제성평가

100% Self-sufficient
Photovoltaic
Ground source HP
Air source HP
Electrical Heating
Economic analysis

ACCEPTANCE INFO

Received Dec 28, 2017
Final revision received May 18, 2018
Accepted May 23, 2018

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

18세기 산업혁명을 계기로 인간은 화석연료를 본격적으로 사용하게 되었고, 현대 사회는 화석연료 사용의 급증으로 인해 자원의 고갈이 가속화 되고 있으며, 이에 따른 이산화탄소 발생량 역시 급격하게 증가하면서 지구온난화현상도 가속화 되고 있다. 지구의 온도는 지난 50년간 급격히 상승하였으며 1900년대부터 빠른 속도로 상승하였다. 특히 2010년과 2013년은 0.2℃ , 2014년은 0.27℃, 2015년은 0.42℃의 온도가 상승하여 지속적으로 지구의 온도가 상승되고 있음을 확인할 수 있다 [1].

이후 환경적 문제를 해결하기 위해 1992년 브라질 리우에서의 UN기후변화협약을 시작으로 1997년 교토의정서합의, 2015년 파리 신기후변화협약 등의 기후변화협약을 통해 지구 온난화 물질 규제를 위한 여러 국제 환경협약이 체결되면서 세계경제의 패러다임을 성장위주의 정책에서 탈피하여 경제성장과 환경보전의 선순환체제인 지속가능발전으로 전화하고 있는 추세이다. 우리나라도 유엔기후변화협약 사무국에 2030년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축을 목표로 하는 INDC를 제출하였다. 또한 2008년에는 '저탄소 녹색성장'을 국가기본계획 으로 발표하고 산업혁명 이후 200년간 사용된 석유·석탄 중심의 화석에너지를 무한 청정 저비용 재생에너지로 완전히 대체하여, 산업의 체계를 근본적으로 변화시킨다는 구상을 발표한 바 있다. 이러한 관점에서 신·재생에너지(New & Renewable Energy)의 중요성이 부각되었다 [2].

국외의 대부분 선진국과 유사하게 국내에서도 2025년 제로에너지 주택의 의무화를 앞두고 최근 국내 단열 기준 값이 대폭 강화 되었으며, 실제로 저층 단독 주택을 중심으로 많은 수의 패시브하우스 또는 제로에너지 하우스가 활발히 건립되고 있다. 일반적으로 제로 에너지주택의 구현을 위해서는 고단열·고기밀이

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2018.18.3.041

요구되며, 연간 총에너지 소비량의 성분별 부하구성비도 기존 주택과 많은 차이를 보인다. 공동 주택과 달리 저층 주거 건물의 경우 각 세대를 위한 충분한 신재생에너지 설치 면적을 확보할 수 있으며, 특히 최근 가격이 급락한 태양광 시스템 등으로 인해 다양한 형태의 제로 에너지주택이 시도되고 있다. 고단열·고기밀로 대표되는 패시브(Passive) 기술은 다양한 구법 및 건축 재료 등의 개발과 축적된 시공 경험 등을 통해 비교적 안정된 기술 구현을 보이는 반면, 신재생 에너지를 포함한 냉난방, 급탕 및 환기 등의 설비 시스템 구성 방법에 대해서는 아직 많은 연구와 경험이 축적되지 못하고 있는 실정이다 [3].

이러한 배경 하에 본 연구에서는 현 수준에서 100% 에너지 자립율을 구현할 수 있는 제로에너지 단독 주택을 대상으로, 비용효과적 측면에서 최적의 신재생 에너지 및 설비시스템을 구성할 수 있는 방안에 대하여 고찰하였다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 100% 에너지자립율을 구현할 수 있는 제로에너지 단독주택을 대상으로 비용 효과적 측면에서 최적의 신재생에너지 설비시스템 구성을 도출해 내기위해 건물에너지 성능평가 및 PV예상 발전량 검토, 경제성 분석을 실행하였다. 적용주택의 에너지 성능을 분석하기 위해, 적용주택의 연간 에너지 요구량과 4가지 유형으로 조합 구성한 설비시스템 즉, ① water/water 지열히트펌프(GSHP), ② air/water 공기식히트펌프(ASHP), ③전기온수보일러(EHB), ④전기케이블난방(ECH), ⑤ 전기에어컨냉방(EAC)의 냉·난방설비를 기준으로 한 총 4가지 (①GSHP, ②ASHP+EAC ③EHB+EAC ④ECH+EAC) 유형의 시스템의 연간에너지 소요량(난방, 급탕, 취사, 냉방, 조명, 환기, 플러그)을 비교 분석하였다. 더불어 각 시스템 조건의 냉방부하, 난방부하 중심으로 건물에너지성능을 비교하여 각 시스템 구성별 소요량 차이를 세밀하게 평가하였다. 에너지 성능평가를 위한 연간에너지 요구량과 연간에너지 소요량은 미국 LBNL의 동적 건물에너지 해석도구인 Energy Plus를 사용 하여 시뮬레이션을 진행하였다.

모든 부하(난방, 급탕, 취사, 냉방, 조명, 환기, 플러그)는 전기에너지로 충당하는 것으로 가정하였으며, 각 구성 조합에 따른 연간 에너지 비용의 산출은 현행의 국내 한전 전기요금 체계를 기준하였다. 따라서 일반전기를 사용해야 하는 지열 히트펌프(GSHP)를 제외하고는 모든 부하는 가정용 전기에 의해 공급되는 것으로 가정하였다. 한편 100% 에너지 자립을 위한 신재생에너지 설비는 모두 태양광에 의해 공급되는 것으로 가정하고, 앞서 가정용 전기를 모두 PV로 충당할 수 있는 용량을 역으로 산출하여 100% 자립을 위한 시스템 구성별 필요 용량의 범위를 도출하였다. 끝으로 각 시스템 구성별 현시점의 초기 투자비 범위를 산정하고, 이에 따른 단순 투자 회수 기간의 산출을 통해 비용효과적인 현 단계의 효율적 시스템 구성 방안에 대한 결과를 제시하였다. 시스템 조합에 따른 적정 PV용량 산출을 위한 발전량 분석은 Laplace Systems사의 SolarPro [4]를 활용하였다.

2. 분석대상 제로에너지주택의 핵심기술 및 개요

대상주택은 경기도 광주시 퇴촌면 소재의 바닥면적 98.9㎡의 1층 단독주택인 퇴촌 제로에너지하우스(TC ZEH : Toi-Chon Zero Energy House, 이후 본 논문에서는 TC ZEH로 표기함)로 2017년 1월 건립되었다. Fig 4.은 이 주택 전경을 나타내며, 1차 에너지 원단위 소비 0 kWh/㎡·yr 의 100% 에너지 자립 제로에너지주택을 목표로 한다.

Fig 1. View of TC(Toi-Chon) ZEH(Zero Energy House)

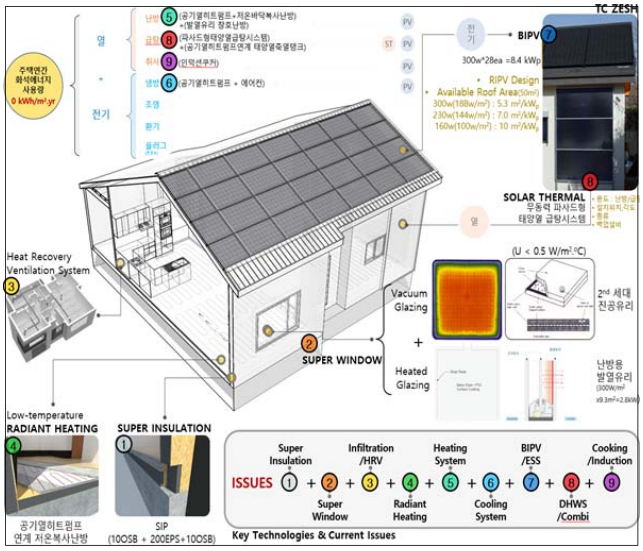

Fig 2. Key technologies of TC ZEH

Fig 2.는 이 주택에 적용된 핵심기술을 도식한 것이다. 외벽 및 지붕 바닥은 220㎜ SIP(Structural Insulation Panel)구조의 고단열 외벽으로 구성되었다. 모든 창호는 열관류율(U) 0.5 w/㎡℃의 2세대 진공창이 적용되었다. 기밀상태는 블로어도어 측정결과에 따라 환기회수(ACH) 0.3이며, 배열회수시스템(Heat Recovery System)이 적용되었다. 적용된 신재생에너지시스템은 자연대류형 벽면일체 태양열온수급탕시스템이 남측벽면에 설치되었으며, 고효율 태양광발전시스템이 지붕에 적용 되었다. 태양열 급탕시스템은 실제건물에는 적용되었지만, 본 연구에서는 급탕부하 처리를 위한 시스템 변수조합구성은 고려하지 않았

으며, 한 가지 시스템으로 고정하여 전기로 급탕이 공급되는 것으로 가정하였다.

에너지해석을 위한 설정 조건으로 난방기간은 11월~3월, 냉방기간은 6월~9월이며, 난방설정온도 22℃, 냉방설정온도는 26℃이다. 4인 가족이 거주하며 실내 조명밀도 및 기기발열 밀도는 6.0 w/㎡, 5.0 w/㎡로 설정하였으며 침기회수는 0.3회/hr이다. 이 주택의 에너지 요구량을 대응하기 위해 고려한 설비시스템은 총 4가지 (①GSHP, ②ASHP+EAC ③EHB+EAC ④ECH+EAC) 유형의 시스템 조합을 구성하였다.

3. 설비구성에 따른 에너지성능평가

3.1. 자립율 산출을 위한 기준주택 연간에너지소비량

평가대상 제로에너지주택의 자립율을 평가하기 위해서는 기준이 되는 기존주택의 연간에너지소비량 값이 우선 설정되어야 할 것이다. Table 1.은 대전지역 공동주택 단지를 대상으로 연간 총에너지소비량 실측분석 결과를 기준으로 작성한 기존 공동주택의 성분별 연간 2차에너지소비량 및 단위면적(적용면적)당 원단위 값이다 [5]. 에너지소비량 조사는 대전지역 소재의 총 31개 단지 23,791세대를 대상으로 2010년 1월 ~ 2012년 12월까지 총 3년간의 열 및 전기에너지 소비량 실측데이터를 대상으로 통계 분석한 결과이다. 대전지역에 위치한 기존주택의 연간 총에너지소비량은 15,789 kWh/세대·년 이다. 이때 난방, 급탕 및 취사의 열에너지 소비량이 11,143 kWh/세대·년 이며 냉방, 조명 및 플러그 등의 전기에너지소비량이 4,646 kWh/세대·년으로 약 7 : 3의 열전 구성비를 나타내고 있다. 본 연구에서는 이 값을 기존 기준주택의 연간에너지소비량 원단위로 설정하였으며, 이를 기준으로 해석대상 주택의 에너지자립율 산출 근거로 활용했다.

Table 1. Annual energy consumption analysis results of multi-unit dwelling in Daejeon area

Ingredient	Annual energy consumption (kWh/house·year)	Energy Consumption Unit (kWh/㎡·year)	%
Heating	6,850	71.1	43%
Hot-water supply	3,297	34.1	21%
Cooking	996	10.4	6%
Cooling	393	4.1	3%
Plug	3,500	36.4	22%
Lighting	753	7.8	5%
total	15,789	163.9	100%

3.2. TC ZEH의 에너지요구량 평가결과

Table 2.는 경기도 광주시 소재의 완전자립형 제로에너지 주택 TC ZEH를 대상으로, EnergyPlus 평가프로그램을 통해 연간 총에너지 요구량을 평가한 결과를 나타낸다. 아직 설비시스템의 구성이 적용되지 않은 상태의 결과로 순수히 패시브적 적용기술을 대상으로한 성분별 연간에너지요구량의 평가결과이다. TC ZEH의 연간 에너지 요구량은 10,531 kWh로 단위면적당 106.5 kWh/㎡.yr이다.

Table 2. Annual energy requirement analysis results of the TC ZEH

Ingredient	Annual energy requirement (kWh/house·year)	Energy Consumption Unit (kWh/㎡·year)	%
Heating	1,409	14.2	13%
Hot water supply	3,007	30.4	29%
Cooking	913	9.2	9%
Cooling	2,159	21.8	21%
Plug	2,357	23.8	22%
Lighting	685	6.9	6%
total	10,531	106.5	100%

3.3. 설비시스템구성에 따른 에너지소요량 평가결과

Fig 3.은 4가지의 적용 설비시스템에 따른 연간 에너지소요량의 시뮬레이션 평가결과를 나타낸다. 사용자 입장의 에너지 소요량을 기준으로 평가했기 때문에 2차에너지를 기준한 결과값이다. 4가지 냉난방 설비시스템 구성의 연간 총에너지 소요량을 기준하였을 경우 가장 적은 에너지가 소요된 시스템구성은 7,776 kWh의 에너지가 소요되는 지열히트펌프 냉난방급탕 시스템(GSHP), 8,085 kWh의 에너지가 소요되는 공기식히트펌프 난방시스템(ASHP) + EAC 냉방시스템, 9,044 kWh의 에너지가 소요되는 전기케이블매립난방 시스템(ECH) + EAC 냉방시스템, 9,700 kWh의 에너지가 소요되는 전기온수보일러난방 시스템(EHB) + EAC 냉방시스템 순이다.

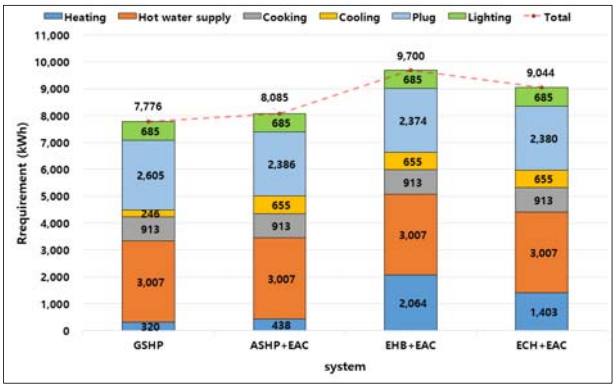

Fig 3. Annual energy requirement by application system

Fig 4.는 TC ZEH의 월별 냉난방 에너지 요구량과 그에 적용한 설비시스템에 따른 월별 냉난방 에너지 소요량을 비교한 것이다. 6, 7, 8, 9 월은 냉방기간으로 4가지 냉난방 설비시스템 구성의 냉방시스템은 모두 히트펌프 형식의 설비시스템이 적용되므로 TC ZEH의 에너지 요구량에 비해 현저히 낮은 에너지 소요량을 갖는 것을 알 수 있다. 그에 반해, 11, 12, 1, 2, 3 월은 난방기간으로 지열히트펌프 냉난방급탕 시스템(GSHP)과 공기식히트펌프 난방시스템(ASHP)은 히트펌프 형식의 난방시스템으로 TC ZEH의 에너지 요구량에 비해 현저히 낮은 난방에너지 소요량을 갖는 반면, 전기케이블매립난방 시스템(ECH)은 TC ZEH의 에너지 요구량과 비슷한 난방에너지 소요량을 보이며, 전기온수보일러 난방시스템(EHB)은 TC ZEH의 에너지 요구량보다 높은 난방에너지 소요량을 보인다.

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

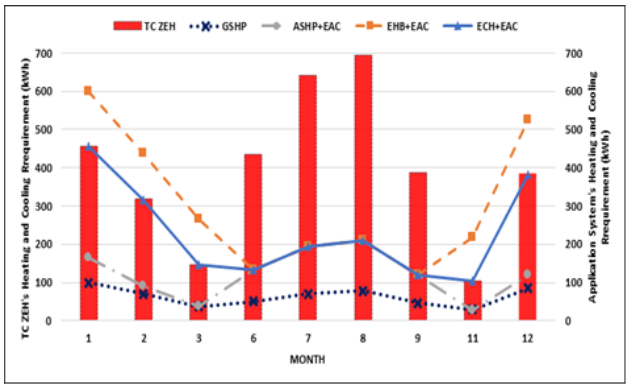

Fig 4. Monthly heating and cooling energy requirement results of the TC ZEH and application system

3.4. 설비시스템 구성에 따른 에너지비용 산출결과

TC ZEH에 적용된 각 설비시스템 구성조합에 따른 연간 에너지비용의 산출은 모든 부하가 전기에너지로 충당가능하다는 전제 하에, 현행의 전기요금체계를 기준으로 하였다. 현행 한국전력공사 전기요금을 기준으로 4개 냉난방 설비시스템의 소요량에 따른 에너지 비용을 월별로 산출하여 TC ZEH의 에너지 요구량에 따른 에너지 비용 대비 각 설비시스템의 소요량에 따른 에너지 비용을 월별, 연간으로 비교하였다. 지열히트펌프 냉난방 급탕시스템(GSHP)의 경우 일반전기를 기타 3개 시스템의 경우 누진제에 기준한 가정용전기를 사용하는 것으로 가정하였으며, 기본요금 및 사용요금이 모두 고려되었다.

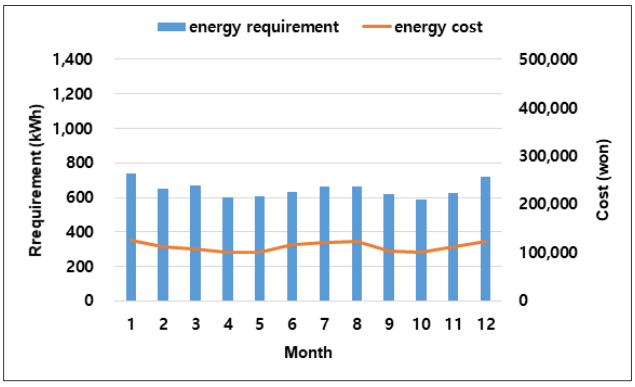

Fig 5. Energy consumption and energy costs of GSHP

Fig 5.부터 Fig 8.까지는 TC ZEH을 기준으로 조합한 4가지의 설비시스템 ①GSHP, ②ASHP+EAC ③EHB+EAC ④ECH+EAC의 월별 에너지 소요량 결과를 기준으로 에너지 비용을 산출한 결과이다. 4가지 시스템의 연간 에너지 비용은 그림 순서대로 1,344,330원, 1,914,550원, 2,606,180원, 2,256,260원이다. 이는 누진제가 적용되는 가정용 전기로 환산한 값이다. GSHP시스템의 경우 가정용 전기요금 661,280원과 일반전기요금 683,050원을 합산한 금액이다.

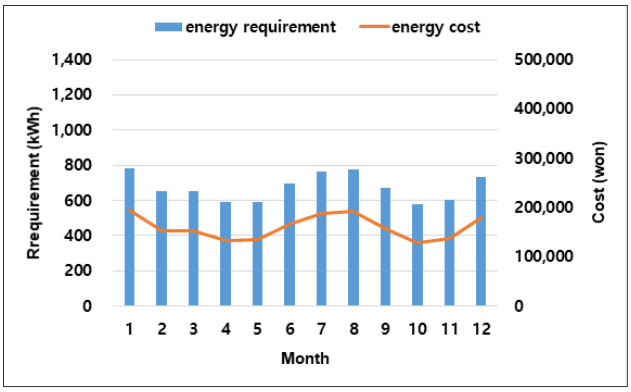

Fig 6. Energy consumption and energy costs of ASHP+EAC

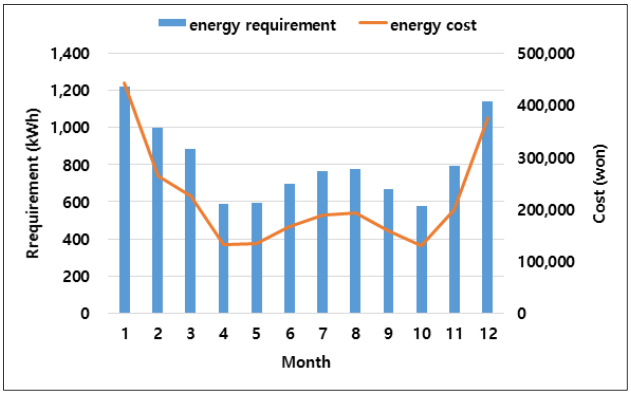

Fig 7. Energy consumption and energy costs of EHB+EAC

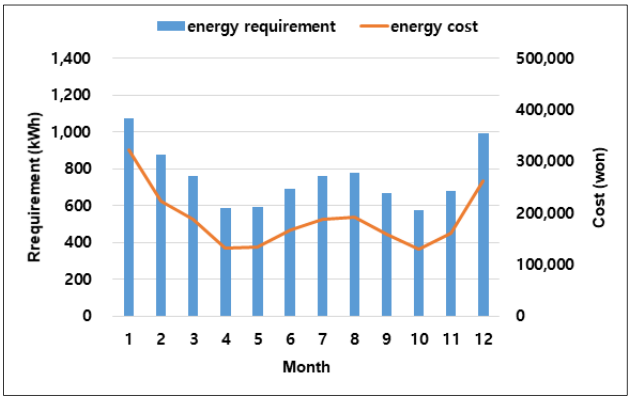

Fig 8. Energy consumption and energy costs of EHB+EAC

3.5. 100% 에너지자립을 위한 적정 PV 용량의 산출

TC ZEH의 100% 에너지 자립을 위한 적정 PV용량은 신재생에너지 냉난방 설비시스템의 소요량은 모두 태양광에 의해 공급되는 것으로 가정하고, 앞서 가정용전기를 모두 PV로 충당할 수 있는 용량을 역으로 산출하여 100% 자립을 위한 시스템 구성별 필요용량의 범위를 도출하였다.

TC ZEH에 설치 되어있는 PV모듈의 정보를 바탕으로 PV용량 1.0 kWp 일 때의 발전량을 산출한 결과, 평균 연간 AC 발전량은 1107.1 kWh/kWp 으로 도출되었다.

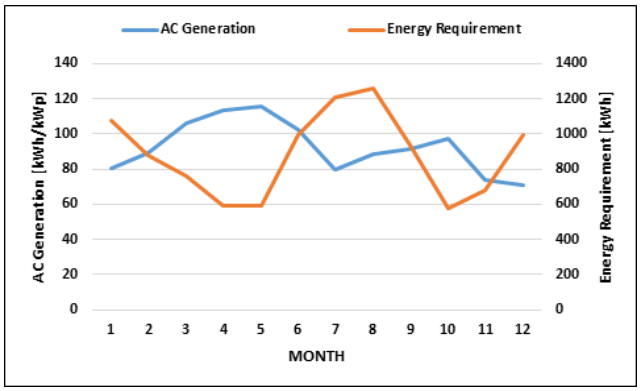

Fig 9. AC power generation and Energy requirement of TC ZEH

Fig 9.는 TC ZEH의 월별에너지 요구량과 PV용량 1.0 kWp 일 때의 평균 월별 AC발전량을 나타낸 것이다. 하절기(6~8월)의 경우 냉방에너지 요구량이 증가하며 전체적인 건물의 총에너지 요구량이 상승함에 비해 AC 발전량은 우기로 인한 일사량 저하로 인해 감소하게 된다. 이로 인해 하절기에는 자가소비가 불가하지만 본 연구에서는 연간 에너지 소요량을 기준으로 하여 연구를 진행하였으며, Table 3.은 각 시스템 구성별 연간 총에너지 소요량에 따라 적정 PV용량을 역 산출한 결과이다.

Table 3. Appropriate capacity of each system

System	requirement	Appropriate PV capacity
GSHP 1	4,203 kWh	3.79 kWp
GSHP 2	7,776 kWh	7.02 kWp
ASHP+EAC	8,085 kWh	7.30 kWp
EHB+EAC	9,700 kWh	8.76 kWp
ECH+EAC	9,044 kWh	8.17 kWp

GSHP 1의 결과는 연간 총에너지 소요량에서 태양광에서 발전되는 전기로 계상되지 않는 일반전기의 연간 에너지 소요량을 뺀 가정용전기의 연간 에너지 소요량만으로 적정 PV용량을 계산한 값이며, GSHP 2의 결과는 일반전기의 연간 에너지 소요량을 포함한 연간 총에너지 소요량이 모두 PV시스템으로 계상 가능하다는 전제하에 적정 PV 용량을 계산한 값이다.

TC ZEH의 적용설비시스템에 따른 적정 PV용량은 GSHP 1 시스템은 3.79 kWp, GSHP 2시스템은 7.02 kWp, ASHP+EAC 시스템은 7.3 kWp, EHB+EAC 시스템은 8.76 kWp, ECH+EAC 시스템은 8.17 kWp 로 도출되었다.

4. TC ZEH 설비시스템구성에 따른 경제성 분석

경제성 분석은 TC ZEH의 적용 시스템 구성별 초기투자비용과 기존주택 대비 절약되는 총 에너지 비용을 비교하여 단순투자회수기간을 산출하는 것으로 진행하였다.

Table 7. 는 각각의 시스템에 따른 초기투자비용의 최대·최소 비용을 나타낸 것이다. 초기투자비용은 앞서 도출한 PV 용량에 따른 PV 신재생 시스템의 비용과 각기 다른 구성의 냉난방 설비 시스템의 비용 그리고, 패시브 기술로 인한 추가비용을 모두 포함한 값으로 현재시점을 기준으로 시장에 형성되어있는 가격을 기준으로 산출하였다.

Table 4. Initial investment cost range of each system (One thousand won)

System	Cost (min)	Cost (max)
GSHP 1 + PV 3.79 kWp	49,633	58,633
GSHP 2 + PV 7.02 kWp	54,380	63,380
ASHP+EAC + PV 7.30 kWp	42,760	51,760
EHB+EAC + PV 8.76 kWp	37,308	46,308
ECH+EAC + PV 8.17 kWp	34,774	43,774

본 연구에서 TC ZEH에 적용된 신재생 냉난방 설비 시스템은 100% 에너지자립율을 구현하기 위한 것으로 각 시스템구성에 따른 적정용량의 PV시스템을 설치하였으므로, 소요되는 모든 에너지가 PV시스템에서 생산된 전력으로 공급된다는 가정 하에 소요되는 에너지비용이 0원이다. 즉, 기존주택에서 소비되는 연간 에너지 비용은 TC ZEH의 에너지 절약비용이 된다. 본 논문에서는 현행의 한전요금제에서 계통에 공급된 PV발전량과 수전량 사이에 부과되는 세금은 고려하지 않는 것으로 하였다.

Table 5.는 대전지역 공동주택을 3년 동안 실측하여 얻어낸 열 및 전기 소비량 데이터를 기준으로 기존주택의 에너지최저요금과 최고요금을 산출하여 범위를 도출한 결과이다.

Table 5. Annual energy costs of multi-unit dwelling in Daejeon area (One thousand won)

Annual energy cost	1,500	2,000	2,500	3,000
Electric cost (Cooling, Plug, Lighting)	600	800	1,000	1,200
Gas cost (Heating, Hot water supply, Cooking)	900	1,200	1,500	1,800

Table 6. Simple payback period (One thousand won)

System	Initial investment cost range	Simple payback period (year)			
		1,500	2,000	2,500	3,000
GSHP 1 +3.79 kWp	49,633~58,633	61~72	38~45	27~32	21~25
GSHP 2 +7.02 kWp	54,380~63,380	36~42	27~32	22~25	18~21
ASHP+EAC +7.30 kWp	42,760~51,760	29~35	21~26	17~21	14~17
EHB+EAC +8.76 kWp	37,308~46,308	25~31	19~23	15~19	12~15
ECH+EAC +8.17 kWp	34,774~43,774	23~29	17~22	14~18	12~15

Table 6.은 각 시스템구성 별 총 초기투자비용 대비 에너지 절약비용으로 단순투자회수기간을 산출한 결과이다.

단순투자회수기간을 기준하였을 경우 가장 짧은 투자회수기간을 나타내는 시스템 구성은 ECH+EAC+8.17kWp시스템, EHB+EAC+8.76kWp시스템, ASHP+EAC+7.30kWp시스템, GSHP2+7.02kWp시스템, GSHP1+3.79kWp시스템 순으로 나타났다.

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

5. 결론

본 논문에서는 100% 에너지자립율을 구현할 수 있는 제로에너지 단독주택을 대상으로 비용 효과적 측면에서 최적의 신재생에너지 및 설비시스템을 구성을 도출해 내기위해 건물에너지 성능변화 및 PV예상 발전량 검토, 경제성 분석을 실행하였다. 적용주택의 에너지 성능을 분석하기 위해, 적용주택의 연간 에너지 요구량과 4가지 유형으로 조합된 시스템의 연간에너지 소요량(난방, 급탕, 취사, 냉방, 조명, 환기, 플러그)을 비교 분석하였다. 도출된 주요결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 설비시스템 구성에 따른 연간에너지소요량 평가결과, 히트펌프의 성능계수로 인해 난방에너지소요량은 GSHP 및 ASHP가 320 kWh/yr 및 438 kWh/yr로 전기온수보일러의 2,064 kWh/yr에 비해 월등히 우수한 것으로 나타났다. 바닥에 전기케이블을 직접 시공하는 전기케이블식 바닥난방의 경우 히트펌프에 비해서는 많은 에너지를 소비하지만 전기온수보일러보다는 32%정도 에너지가 절감되는 것으로 평가되었다. 냉방의 경우 일반 전기에어컨을 사용하는 것에 비해 지열히트펌프에 의한 냉수순환 시스템의 경우가 38%의 에너지만 사용하는 것으로 평가되어 가장 에너지절약적인 설비시스템으로 평가되었다.

(2) TC ZEH에 적용된 각 설비시스템 구성조합에 따른 연간 에너지비용의 산출은 모든 부하가 전기에너지로 충당가능하다는 전제 하에 현행의 전기요금체계를 기준으로 산출 하였다. 태양광시스템의 도입을 고려하지 않고 주택의 에너지요구량을 충족시키기 위한 에너지비용의 산출결과 지열연계히트펌프(GSHP) 설비시스템 구성조합의 경우가 연간 약 134만원(일반전기 68만원+가정용전기 66만원)으로 가장 에너지비용이 적게 요구되는 것으로 나타났으며, 공기식히트펌프(ASHP) 조합의 경우 약 42%, 전기케이블(ECH) 조합의 경우 약 68%, 전기온수보일러(EHB) 조합의 경우 약 94%의 비용이 더 요구되는 것으로 평가되었다.

(3) TC ZEH의 설비시스템 조합에 따라 요구되는 에너지를 태양광시스템을 통해 100% 공급한다는 전제하에 현시점의 초기투자비를 기준하여 경제성평가를 수행하였다. 이때 태양광에 대한 정부 보조금은 모두 없는 것으로 가정하였다. 기존주택의 연간 에너지 총비용을 250만원으로 가정할 경우, 고려한 설비시스템 구성조합 중 투자회수기간이 가장 짧은 것은 전기케이블(ECH) 구성조합으로 약 14~18년으로 평가되었으며, 전기온수보일러(EHB)의 경우도 1년 정도의 편차로 거의 비슷한 수준으로 나타났다. 공기식히트펌프(ASH)) 조합의 경우는 ECH대비 4년정도 더 길게 평가되어 17~20년 정도가 되어야 초기투자비가 회수되는 것으로 나타났다. 한편 연간 에너지비용측면에서 가장 유리한 것으로 평가되었던 GSHP조합의 경우 초기투자비가 상대적으로 매우 높으며, 또한 PV시스템을 통해 생산된 전기를 히트펌프에 연계해 사용할 수 없는 현행의 전기요금체계로 인해 ECH대비 거의 2배 수준인 27~32년의 투자회수기간이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 평가시점인 현재 수준에서 고려 가능한 설비시스템을 대상으로, 현행의 전기요금체계와 초기투자비 수준에서 단순투자회수기간에 근거하여 경제성평가를 수행하였다. 따라서 본 연구에서 도출된 결과는 평가 대상주택인 퇴촌 제로에너지 하우스(TC ZEH)의 물리적, 지리적 조건과 현 평가시점의 각종 시장 기준 및 본 연구의 가정조건 하에서 산출된 결과이며, 이를 모든 제로에너지주택에 최적설비로 확대 적용하는 데는 한계가 있을 수 있다. 하지만 향후 실제 건립된 퇴촌 제로에너지 하우스(TC ZEH)로 부터의 에너지소비량 모니터링 결과에 근거하여 본 연구의 에너지성능예측 평가 결과를 검증하고, 신재생에너지 정부 보조금과 같은 일부 비용과 가격변동 요소들이 추가적으로 고려될 경우, 본 연구의 방법 및 결과는 향후 제로에너지주택의 신재생에너지 및 설비시스템을 설치함에 있어 효과적 지표로 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgements

This paper was performed by being supported Korea Energy Technology Evaluation and planning (20173010140800, Development of modular-type system and operation technology of solar photovoltaic thermal hybrid conversion system with 0.8kW/㎡capacity for enabling net zero-energy buildings) and funded by government(Ministry of Trade, Industry and Energy) in 2017.

This research was supported by the Technology Development Program to Solve Climate Changes of the National Research Foundation (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (No. NRF -2016M1A2A2936758).

Reference

[1] 이주형, **패시브하우스의 열성능평가에 관한 연구**, 울산대학교 산업대학원 석사학위논문, 2016 // Ju-Hyung Lee, A Study on Thermal Performance of Passive House, Ulsan University Master Thesis , 2016

[2] 이효문, **BIPV 시스템의 주변 환경 조건에 따른 발전 성능 손실 요소 평가 연구**, 한밭대학교 일반대학원 석사학위논문, 2015 // Hyo-Mun Lee, Evaluation of Power Performance Loss Elements depending on ambient Condition of BIPV System, Hanbat National University Master Thesis, 2015

[3] 윤종호, **제로에너지 건물 구현을 위한 기술현안 및 신재생에너지의 역할**, 대한건축학회 학술저널, 2014 // Jong-Ho Yoon, Technical Approach Method for Zero Energy Building and the Integration of RE Systems, Journal of The Architectural Institute of Korea, Vol.58, No. 3, 2014, pp32~37

[4] "Solar Pro" www.lapsys.co.jp

[5] 윤종호, **대전 죽동 6가구 제로에너지주택 단지 실측사례로 본 ZEB 기술 현황 및 시사점**, 한국그린빌딩협의회지, 2015 // Jong-Ho Yoon, ZEB Technology Status and Implications through Metering Case of 6 Zero Energy Houses in Jukdong, Daejeon ,Journal of The Korea Green Building Council, Vol.16, No. 4, 2014, pp38~52