

주택용 지열히트펌프 시스템의 용량 변화에 대한 경제성 비교 분석

이충국, 서승직*, 김진상**†

한국기후변화대응연구센터, *인하대학교 건축공학과, **지열인력양성센터

Economic Analysis of Various Residential Geothermal Heat Pump System Capacities

Chung-Kook Lee, Seung-Jik Suh*, Jinsang Kim**†

Climate Change Research Institute of Korea, Chuncheon, 200-041, Korea

*Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

**Geothermal Energy Education Center, Asan, 336-795, Korea

Abstract

Geothermal heat pumps are known as the most efficient and environment-friendly heating and cooling system, and are also gaining acceptance in buildings. Building energy simulation program, EnergyPlus is used to calculate the energy consumption of residential buildings. This simulated energy consumption is essential for accurate economic analysis. Residential buildings with geothermal heat pumps have complex energy price structure. Electricity rates for residential buildings increase rapidly as the monthly use increases. This complex energy price structure makes the economic analysis complicated. The purpose of this study is to conduct economic comparison of residential geothermal heat pumps and provide a feasible approach in finding their economically feasible capacity.

Key words : Geothermal heat pump(지열히트펌프), Economic Analysis(경제성 분석), Residential Buildings(주거용 건물)

기 호 설 명

ANCF : 연간 순현금유입 [원/년]
N : 지열히트펌프 유닛 수량 [개]
TDI : 총 투자비용 [원]
W : 지열히트펌프 냉난방 능력 [kW]

τ : 투자회수기간 [년]
 $\Delta\tau$: 투자회수기간 증가분 [년]

1. 서 론

건물 부분에서 온실가스 배출 감축 잠재량은 다른 산업 부분에 비하여 가장 높은 것으로 평가되고 있다. 저탄소 및 저에너지 건물에 대한 관심이 크게 증가하면서 건물에서 신재생에너지 적용이 전 세계적으로 크게 증가하고 있다. 냉난방 에너지의 사용량이 많은 부분을 차지하는 건물에서

† Corresponding author

Tel.: +82-41-540-5588, Fax: +82-41-540-5582

E-mail: kim6755@nate.com

접수일 : 2011년 4월 29일

심사일 : 1차: 2011년 5월 12일, 2차: 2011년 6월 30일

채택일 : 2011년 6월 30일

지열히트펌프는 가장 적합한 신재생에너지원으로 인식되어 널리 채택되고 있다.

주택 부분도 온실가스 배출절감을 위하여 신재생에너지의 적용이 활발하다. 중전에는 주택용 지열히트펌프에 누진이 적용되는 주택용 전력요금 이 적용됨으로 인하여 보급되지 못하여 왔으나, 주택용 지열히트펌프에는 일반용 전력이 공급되면서 보급이 가능해졌다. 그린홈 100만호 보급 확대에 따라서 주택에서도 활발한 보급이 예상되고 있다. 주택에서는 다른 건물 유형에 비하여 냉방, 난방 및 급탕 등과 같이 지열히트펌프가 담당할 수 있는 비중이 더욱 크다.

1.1 주택용 지열시스템의 특징

설치된 지열히트펌프는 설치 용량에 따라서 가동율이 달라지게 된다. 설계 용량과 비교하여 적은 용량의 지열히트펌프 시스템을 설치하여 기저 부하를 담당하도록 운전하는 경우에는 가동율이 상대적으로 높는데 비하여, 큰 용량의 지열히트펌프를 설치하거나 기저부하를 담당하지 않는 경우에는 가동율이 낮아지게 된다. 단독 주택에서는 지열히트펌프 시스템의 조정하여 적은 히트펌프 유닛을 설치하고 나머지 부하를 보일러나 냉방기가 담당하도록 설치하는 것은 실용적이 못하다. 지열히트펌프 유닛은 조합이 가능한 다양한 용량에 걸쳐서 많은 모델이 출시되지 않고, 상업적으로 충분한 시장규모를 갖는 대표적인 용량(예를 들면, 17.5kW)에 해당하는 몇 가지 모델에 국한되어 출시되고 있다. 그리고, 단독 주택에서 이중 및 다중 열원을 포함하는 복잡한 하이브리드 시스템을 구축하는 것이 현실적으로 어렵다. 이에 비하여, 공동 주택이나 그린 빌리지 등에 대하여 중앙 공급 방식으로 지열히트펌프 시스템을 설치하는 경우에는 각 세대에 냉난방 에너지를 가장 경제적으로 공급하는 최적화된 하이브리드 시스템을 구축하는 데에 어려움이 적으며, 이러한 시스템의 필요성은 명백하다.

1.2 건물 에너지 계산

에너지 시뮬레이션을 통하여 해당 건물의 에너지

요구량을 제대로 평가하지 않으면, 경제성 분석에서 필요한 정확도를 확보하기 어렵다. 지열시스템의 에너지 절감량과 에너지 비용 절감량을 산정하는 데에도 정확한 에너지 사용량의 계산이 필수적이다. 에너지 시뮬레이션을 수행하지 않고 경험을 토대로 에너지 사용량을 추정하는 것은 추정값의 정확도와 근거를 확보하기 어렵다. 건물 외피가 매우 다양하고, 건물의 전체 또는 각 부분은 다양한 용도로 사용되고 있으며, 그 운전 방식 또한 건물마다 다르다. 이로 인하여, 통계적인 경향이나 통계 데이터를 특정 건물에 적용하는 것은 현실적으로 어렵다.

지중열교환기 설계과정에서 계산된 길이는 지중에 저장되고 이용되는 월별 에너지와 최대 부하에 의하여 큰 영향을 받는다. 지중에 저장되고 지중으로부터 이용하는 에너지와 부하는 건물의 에너지와 부하를 근거로 히트펌프 유닛의 성능과 순환 펌프의 성능을 반영하여 계산하며, 이 과정은 지중열교환기 설계 프로그램 내에서 수행된다.

에너지 시뮬레이션을 통하여 적용 대상 건물의 에너지 사용량을 체계적으로 계산하는 것은 적절한 지중열교환기의 설계에도 필수적인 동시에, 건물에 소요되는 에너지와 지열히트펌프 시스템으로 인한 에너지 절감량을 계산하는 데에도 필수적이다.

1.3 주택용 지열시스템의 경제성 분석

주택에 적용되는 지열히트펌프 시스템의 경제성 분석은 다른 에너지 절약 시스템이나 신재생에너지 시스템에 비하여 더욱 더 복잡하다. 지열히트펌프의 비교대상인 냉방기에는 주택용 전력이 공급되는 반면에, 지열히트펌프 유닛에는 일반용 전력이 공급된다.(Table 1과 2) 주택에 공급되는 주택용 전력은 월간 사용량에 따라서 전력단가(kWh당 전력요금)가 크게 변하며, 그 최대 차이는 1kWh에 600원에 달하며, 비율로 11.7배에 달한다.

적용 대상 주택의 연면적이 증가할수록 월간 전력소비량이 증가하며, 이로 인하여 평균적인 전력 단가가 증가하며, 고가의 전력을 더욱 많이 사용한다. 이에 비하여 연면적이 작은 평균 전력단

가가 낮으며, 고가의 전력을 적게 사용한다. 고가의 전력 사용량이 많은 경우에는 신재생에너지를 적용하여 전력소비량을 절감하게 되며, 전력 요금의 절감효과가 크게 향상된다.

Table 1. Electricity Rates for Households

Monthly Energy Use(kWh/월)	Electricity Rate(원/kWh)
0~100	56.21
100~200	116.1
200~300	171.6
300~400	253.6
400~500	373.7
500~	656.2

Table 2. Electricity Rates for Commercial Buildings

Monthly Energy Use(kWh/월)	Electricity Rate(원/kWh)
여름	56.21
겨울	373.7
봄, 가을	656.2

주택용 지열히트펌프 시스템은 설치용량과 더불어 적용 주택의 규모가 경제성에 큰 영향을 끼친다.

본 연구는 주택에서 지열에너지 시스템의 경제성을 분석하고, 이를 바탕으로 지열히트펌프 유니트의 경제성적인 용량을 산정에 활용한다. 더 나아가서 다른 신재생에너지원과 경제성을 비교할 수 있도록 하며, 이를 통하여 가장 경제적인 신재생에너지의 조합을 구하는데 사용할 수 있도록 한다.

2. 경제성 분석

신재생에너지를 비롯하여 신규 투자에 대한 경제성 평가에서 다양한 방법이 적용되고 있다.^[1] 그 중에서 투자회수기간법은 쉽게 이해할 수 있고 계산이 단순하다. 그러나 재화의 시간가치를 포함하지 않으며 기회비용 등을 반영하기 어렵다. 또한, 투자회수기간 이후의 자금 유동을 제대로

반영하지 못하며, 수명주기가 다른 시스템에 대한 비교에도 제약이 많다. 이러한 단점에도 불구하고 단순하고 이해하기 편리함으로 인하여 아직도 널리 사용하고 있다.^[2]

근래 에너지 절약기술과 더불어 신재생에너지 설비에 대한 경제성 분석에 대하여 높은 신뢰도가 요구되고 있다. 고유가로 인하여 에너지 절약 기술에 의한 경제적인 효과는 다른 일반적인 투자나 기업 활동에 비하여 동등하거나 그 보다 높은 수준의 수익률을 보이는 경우가 많아지고 있으므로 인하여, 신재생에너지의 투자 결정을 위하여 통상적인 투자에 대한 수준의 경제성 검토가 요구되고 있다.

신재생에너지의 경제성을 분석하기 위하여 신뢰도가 높은 분석 방법의 적용이 필요하나, 주택에서 에너지 가격 구조의 복잡성으로 인하여, 본 연구에서는 이해하기 편리한 투자회수기간법을 사용하여 경제성분석을 수행한다.

2.1 투자회수기간법

투자회수기간법은 투자 지출을 회복하는 데에 걸리는 시간을 추산함으로써 사업의 수익가치를 측정한다. 투자회수기간은 특정 사업에 대한 투자가 사업의 수명주기 내에서 회수될 것인가에 대한 대략적인 분석을 하게 해준다. 그러나 투자회수기간은 사업의 전체 수명에 대한 면밀한 검토가 부족하고 연간 운영수익이 지속적일 것이라고 가정한다는 점과 원금회수 이후의 수익에 대해서는 고려할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 투자회수기간은 다음과 같이 표시할 수 있다.^[3]

$$\tau = \frac{TDI}{ANCF} \tag{1}$$

여기서 τ 는 투자회수기간을, TDI 는 초기투자비용을, 그리고 $ANCF$ 는 연간 순자금유입을 가리킨다.

2.2 지열시스템의 투자회수기간 분석

지열히트펌프 시스템은 소규모 유니트 여러 개

가 직렬로 연결되어 큰 시스템을 구성하는 것으로 가정하자. 실제로 냉난방 설비는 부하 변동에 효율적으로 대응하기 위하여 여러 개로 구성된 용량 유니트의 조합인 경우가 많다. N 개의 소규모 유니트로 구성된 지열히트펌프 시스템의 냉난방 용량을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (2)$$

여기서 W 는 지열히트펌프 시스템의 용량이며, 이는 소규모 유니트 N 개로 구성되어 있다. 여기서 W_i 는 i 번째 소규모 유니트의 용량을 가리킨다. 예를 들면, 가정용 지열히트펌프 시스템 17.5kW는 3.5kW 용량의 동일한 크기의 소규모 유니트 5개로 구성된다고 가정하면, $W = 17.5kW$ 이고, $W_i = 3.5kW$ 이며, $N = 5$ 이다.

지열시스템의 투자회수기간 분석에서 초기투자비용과 연간 순자금유입을 지열히트펌프 시스템을 구성하는 N 개의 소규모 유니트에 대한 값의 합으로 다음 식 같이 정의할 수 있다.

$$TDI = \sum_{i=1}^N TDI_i \quad (3)$$

$$ANCF = \sum_{i=1}^N ANCF_i \quad (4)$$

지열히트펌프 시스템을 구성하는 i 번째 소규모 유니트의 투자회수기간은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta\tau_i = \frac{TDI_i}{ANCF_i} \quad (5)$$

지열히트펌프 시스템을 구성하는 N 개의 소규모 유니트의 작동은 첫 번째 소규모 유니트부터 시작하여 순서대로 작동을 시작하도록 가정한다. 첫 번째 소규모 유니트가 기저 부하를 담당하고, 두 번째 소규모 유니트가 그 다음 기저 부하를 담당하고 다음 유니트도 같은 방법으로 작동 순서를 정한다. 이로 인하여 첫 번째 소규모 유니트의

작동시간이 가장 많으며, 그 다음 순서로 내려 갈수록, 작동시간이 감소한다. 다음 그림(Fig 1)은 어떤 주택에서 24시간 동안의 난방부하의 변화를 표시하고 있는데, 부하가 낮은 시간에는 유니트1이 가동하고, 부하가 증가하는 경우에 유니트2와 3이 가동한다.

지열히트펌프 시스템의 냉난방 시설용량은 주택에서 발생할 수 있는 설계 부하를 기준으로 선정되며, 일상적으로 건물의 냉난방 부하는 설계 부하에 비하여 훨씬 낮다. 일반적으로 최대 발생 부하에 안전율을 반영하므로 장비 용량은 실제 건물의 냉난방 부하에 비하여 훨씬 큰 경우가 대부분이다. Fig. 1에서 제시된 건물의 난방 또는 난방 유니트를 1일 동안 살펴보면, 4개 이상의 소규모 유니트로 구성되어 있으며, 그 날에는 4번째 유니트는 가동하지 않으며, 2번째와 3번째 유니트의 가동시간도 1번째에 비하여 훨씬 짧다.

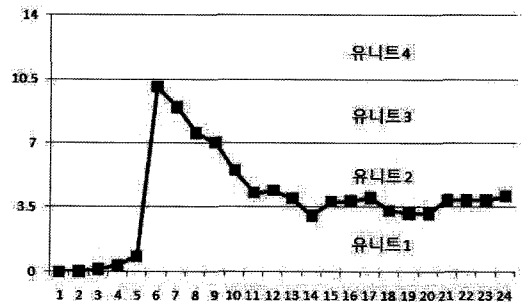


Fig. 1 Daily Heating Load of a House.

3. 적용 사례

주택에 적용된 지열히트펌프 시스템의 경제성을 분석하기 위하여 지열히트펌프 시스템을 적용한 주택과 냉방기와 보일러를 적용한 주택 간의 경제성을 비교한다. 지열시스템은 냉방과 난방을 모두 수행하는 데 비하여 냉방기/보일러 시스템은 냉방과 난방을 냉방기와 보일러가 별도로 수행하며 이때 에너지의 흐름은 Fig 2와 같다.

3.1 건물 에너지 시뮬레이션

건물의 에너지 소비량을 분석하기 위하여 여러

가지 방법이 사용되어 왔다. 가장 단순한 방법으로 도입법이 있고, 소형 건물에서 적용되는 Bin법이 있다. 위의 두 가지 방법은 건축 구조물의 축열 효과 등을 무시하는 등 단순화한 모델로, 외기 온도에 따라서 건물의 부하와 에너지 사용량이 비례한다고 가정하고 있다.

상업용 건물의 상세한 수준의 에너지사용량 분석을 위하여 기상데이터를 사용하여 시간별 에너지분석을 컴퓨터에서 수행하는 것이 일반화 되어 있으며, 이러한 방법을 시간별 에너지해석(Hour by Hour)법이라는 이름으로 부르기도 하였다. 현재에는 해석 시간 단위가 수 분 단위로 수행하는 것 일반화 되었으며, 동적 시뮬레이션(Dynamic Simulation)이라고 부른다.

본 연구에서는 연간 8760시간의 기상데이터를 바탕으로 건물의 에너지소비량을 계산하는 Whole Building 시뮬레이션이 사용되고 있으며, 대상 주택의 에너지 사용량을 분석하기 위하여 여러 가지 동적 시뮬레이션 프로그램 중에서 EnergyPlus라는 프로그램을 채택하였다. EnergyPlus는 미국 에너지성의 지원으로 개발되었으며, 종전에 개발된 Blast나 DOE2 프로그램의 장점만을 채택한 프로그램으로서, 그 신뢰도가 널리 인정되고 있다. 종전까지 널리 사용되는 전달함수법 대신에 수치해석을 적용한 열균형법이 적용되고 있어서 기존의 문제점을 크게 해결한 차세대 건물 에너지 모델링 도구로 인정받고 있다.^[4]

3.2 지열히트펌프 시스템

지열히트펌프 시스템의 모델링은 수직밀폐형 지중열교환기와 물-물 히트펌프 유니트와 순환펌프 등으로 구성된다. 노드와 브랜치 방식을 채택한 EnergyPlus의 냉방 및 난방 설비 모델링은 복잡한 시스템을 자유롭게 모델링 할 수 있는 장점이 있다. 1개의 지중열교환기를 적용한 단순한 지열히트펌프 시스템을 EnergyPlus 냉방운전 플랜트 모델링의 노드와 브랜치의 다이어그램은 Fig. 3과 같다. 이 그림에서 팬코일 유니트와 같은 냉수 수요측은 제외하였다.

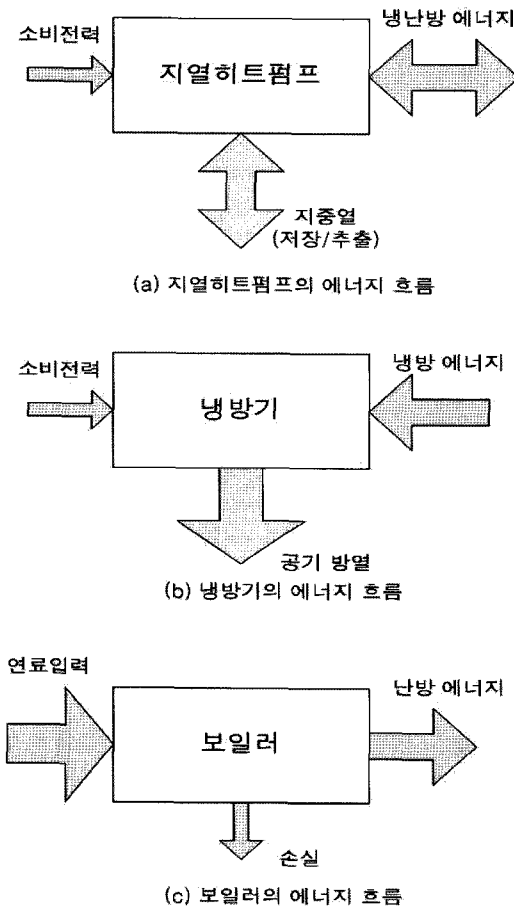


Fig. 2 Energy Flow Diagram for Geothermal Heat Pumps, Air Conditioners, and Boilers for Houses.

3.3 적용 조건

서울에 위치한 주택을 대상으로 에너지사용량을 분석하기 위하여 서울의 기상데이터를 사용하였다. 주택의 에너지 사용량에 대한 유형을 파악하고, 주택의 크기에 대하여 경제성의 변화를 분석하기 위하여 농어촌공사가 발표한 주택 표준설계안 중에서 25평, 35평, 45평의 세가지 크기의 주택을 선정하였다. 각 주택에 창호는 LoE 이중창을 적용하고, 주택의 외피 구성 요소의 단열조건은 Table 3과 같다.

해상 건물의 난방 및 냉방 운전시 실내의 설정온도는 20/26℃로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 운전 프로파일은 일반적인 주택의 프로파일을 따랐으며, 거주자는 직장이나 학교에 출

근하여 주 5일 동안 근무하고, 6시에 퇴근하여 주택이 냉방과 난방을 가동되도록 설정하였고, 토요일과 일요일에는 집에 거주하는 프로파일을 채택하였다.

적용 용량마다 시공비용이 달라진다. 그러나 본 연구에서는 단순화하기 위하여 지열히트펌프의 초기투자비용은 히트펌프 용량에 비례하는 것으로 가정하였다.

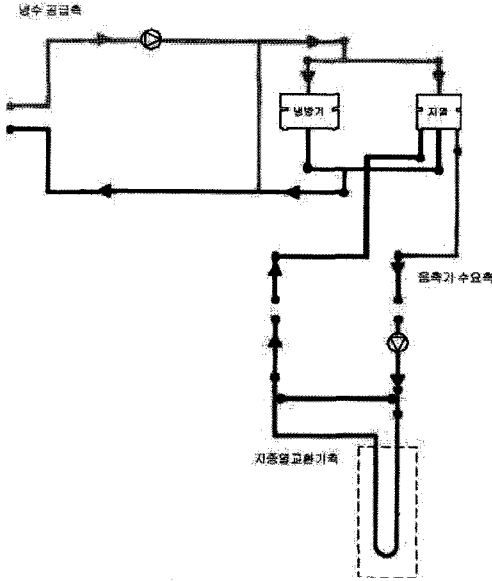


Fig. 3 Node Branch Diagram for Geothermal Heat Pumps in EnergyPlus.

Table 3. Building Envelope Properties

항목	특성값
외벽	$U=0.45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
지붕	$U=0.29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
바닥	$U=0.35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
창호	$U=1.798 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ SHGC=0.595 Light Transmittance=0.769

EnergyPlus는 천연가스를 연료로 사용하는 온수보일러가 채택되었으며, 전기를 사용하는 냉동기가 적용되었으며, 이때 성능과 COP는 일정한 것으로 가정되었다. 물-물 지열히트펌프 모델을 적용하였다.

지열히트펌프 시스템의 시공 단가는 kW당 1,870천원으로 설정하고, 그린홈 100만호 사업의 대상으로 선정되어 50%의 지원을 받는 것으로 가정하여, 자부담이 kW당 935천원으로 가정하였다. 지열시스템의 설계는 에너지량에 따라 달라지므로

4. 결과 분석

4.1 해석 결과

세 가지 규모의 주택에 대하여 앞에서 언급한 외피 단열조건과 프로파일을 적용하여 에너지 해석을 수행하였다. EnergyPlus에서 주택이 소비하는 최종에너지를 다섯 가지 주요 항목(냉방, 난방, 급탕, 환기, 조명)과 더불어 주택에 설치된 가전 제품 등이 소비하는 기타 에너지의 여섯 가지 항목으로 정리하였다. 세가지 규모의 주택에 대한 최종에너지 사용량을 정리하면 Table 4와 같다.

Table 4. Energy Consumption of Three Houses in Seoul (kWh)

	25평	35평	45평
조명	1,109.29	1,573.79	2,213.19
환기	649.70	919.08	1,227.23
난방	1,390.02	2,357.20	3,120.34
냉방	477.25	745.39	1,072.34
급탕	2,110.47	3,057.27	3,771.75
기타	1,519.26	2,132.96	3,341.43

냉난방 부하는 실내에 설치된 열교환기(코일)에 작용하는 열 부하를 가리킨다. 이는 지열히트펌프 유닛이 냉방과 난방시에 공급하는 에너지량과는 다를 수 있다. 지열히트펌프 유닛은 지중열교환기에 저장되거나 추출되는 양에 전력소비량을 더하거나 뺀 만큼의 열량이 실내로 공급되어서 냉방과 난방을 수행한다. 냉방을 수행하는 경우에는 건물 실내 코일에너지와 히트펌프 유닛의 소비전력이 합쳐져서 지중열교환기에 보내지며, 난방을 수행하는 경우에는 지중열교환기에서 추출된 열량은 히트펌프 유닛의 소비전력과 합쳐져서 건물 내부의 코일로 전달된다. 이러한 코일부하의 연간합계인 코일에너지를 건물 크기 별로 비교하면 Fig. 4와 같다.

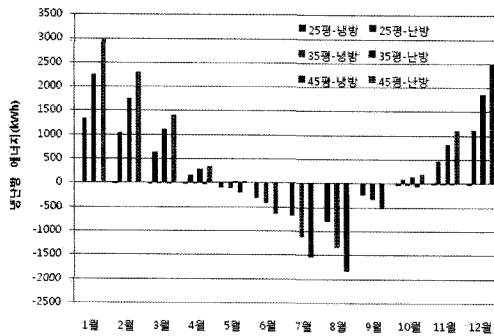


Fig. 4. Monthly Heating and Cooling Coil Energy Consumptions of Three Houses.

지열히트펌프는 일반적으로 냉동톤(RT) 단위로 제품 규격이 정해져 생산되고 있다. 지열히트펌프의 경제성분석을 위하여 3.5kW용량 단위로 구성된 시스템으로 가정하여 경제성 분석하였다. 회수 금액은 증가 용량에 대한 냉방기과 도시가스 보일러의 냉난방비용과 지열히트펌프의 냉난방비용의 차이로 계산하였다. 적용된 도시가스 요금은 745.2원/Nm³이며, 지열히트펌프는 일반용 전력을 사용하고, 냉방기는 주택용 전력을 사용하는 것으로 설정하였다.

지열히트펌프의 용량을 3.5kW씩 증가시키면서 지열히트펌프 시스템이 냉방기와 보일러에 대비하여 절감되는 에너지비용을 계산한 후에 이를 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5. Energy Cost Reduction of Geothermal Heat Pump System

평형	용량(kW)	절감액(원/년)	절감액 증가
25	3.5	301,227	301,227
	7.0	313,707	12,480
	10.5	313,750	43
	14.1	313,750	0
	35	587,418	587,418
35	7.0	704,496	117,078
	10.5	709,763	5,267
	14.1	709,796	33
	45	780,857	780,857
45	7.0	1,052,972	272,115
	10.5	1,109,884	56,912
	14.1	1,114,360	4,477

4.2 투자회수 기간

위에 제시된 Table 5에는 세 가지 면적의 주택에 대하여 지열히트펌프 시스템의 용량을 1RT (3.5kW)씩 증가시키면서 에너지비용 절감액의 변화를 정리하였다. 적은 평형의 주택에서는 절감액이 증가하지 않음을 볼 수 있으며, 더 큰 평형의 주택에서도 가장 작은 시스템일 때 절감액이 가장 크고 시스템의 용량이 증가하면서 절감액이 크게 증가하지 않음을 볼 수 있다. 월간 소비량이 많은 주택에서는 단가가 높은 전력을 많이 사용하므로, 지열히트펌프 시스템을 적용하여 주택용 전력 소비량을 절감하면서, 전력비용으로 인한 에너지 비용절감액이 큰 것을 알 수 있다. 이에 비하여 월간 전력소비량이 작은 소형 주택에서는 지열히트펌프 시스템이 절감하는 주택용 전력 소비량의 단가 대형 주택에 비하여 상대적으로 낮아서, 절감액이 작음을 알 수 있다.

Table 6에 제시된 것과 같이 전체 시스템의 투자회수기간이 10년 이내를 목표로 한다면 25평에는 3.5kW 이내의 지열히트펌프 시스템을 적용하여야 목표를 달성할 수 있다. 35평과 45평에서는 각각 7.0kW와 10.5kW 용량까지 목표를 달성할 수 있다.

Table 6. Payback Period of Residential Geothermal Heat Pump Systems in Seoul

Area (평)	Capacity (kW)	Payback Period (Year)	Unit Payback Period (Year)
25	3.5	10.86	10.86
	7.0	20.86	262.23
	10.5	31.29	76,017
	14.1	42.02	-
35	3.5	5.57	5.57
	7.0	9.29	27.95
	10.5	13.83	621.34
	14.1	18.57	99,163
45	3.5	4.19	4.19
	7.0	6.22	12.03
	10.5	8.85	57.50
	14.1	11.83	730.97

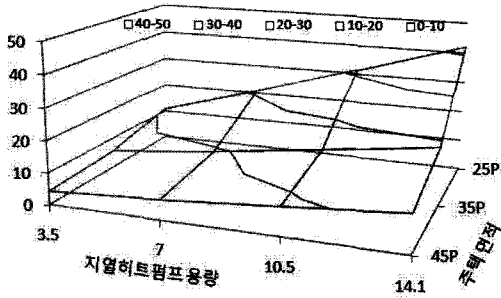


Fig. 5 Payback Period Diagram of Geothermal Heat Pump Systems with respect to Capacities and House Sizes(unit: year).

Fig. 5의 그림에서 가로 축은 지열히트펌프 용량으로 높이 방향은 시스템의 전체 투자회수기간으로, 그리고 깊이 방향은 주택 면적으로 설정하였다. Fig. 4에서 왼쪽 하단으로 갈수록 투자회수기간이 감소하고, 오른쪽 상단으로 갈수록 투자회수기간이 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 앞에서 추정된 바와 일치한다.

지열 시스템을 여러 개의 소규모 유니트로 구분하여 각각의 소규모 유니트가 추가될 때의 투자회수기간을 검토하는 것도 투자 규모 또는 경제적인 시스템 사이즈를 결정할 때 유용한 것으로 판단된다. 지열 히트펌프 시스템과 다른 신재생에너지원과 경제성을 비교 검토를 수행하는 경우에 적합한 것으로 판단된다.

Table 7. Unit Payback Period Comparison with respect to Geothermal Heat Pump Capacities and House Sizes (unit: year)

		House floor areas(평)		
		25	35	45
heat pump capacities (kW)	3.5	10.86	5.57	4.19
	7.0	262	27.95	12.03
	10.5	76,017	621	57.50
	14.1	-	99,163	730

소규모 유니트의 투자회수기간을 검토하는 경우에 제품의 수명기간에 회수할 수 있는 범위를 선택하는 것도 효과적이다. 지열히트펌프 시스템의 경우에는 지중열교환기의 수명은 50년이상 반

영구적이므로 건물의 수명과 같이 볼 수 있을 것이다. Table 7에서 30년 이내의 투자회수기간으로 검토하는 경우에는 25평은 3.5kW, 35평과 45평은 7.0kW가 경제적인 것으로 볼 수 있다. 위의 도표에서도 오른쪽 상단으로 갈수록 투자회수기간이 짧아져서 경제적으로 유리한 것을 알 수 있다.

5. 결론

지열히트펌프 시스템을 주택에 적용하는 경우에 면적이 큰 주택에서 경제성이 유리하는 것을 알 수 있다. 소규모 주택에서는 적은 용량의 지열히트펌프 시스템이 현실적인 투자회수를 가능하게 한다. 이러한 용량별 경제성분석은 지열히트펌프 시스템과 다른 신재생에너지를 혼합 또는 연계하여 검토하는 경우에 유용하게 사용할 수 있게 한다.

주택에 적용되는 복잡한 에너지 가격구조로 인하여 단순한 경제성 분석 방법인 투자회수기간법을 적용하였다. 본 연구의 가정은 집단 주택 또는 주택 단지에 지열히트펌프를 이용하여 난방 에너지를 중앙 공급에 적용하는 것이다. 단독 주택에서는 소용량의 지열시스템을 시공하는 것이 비용이 용량에 따라 달라지며, 다른 열원과 하이브리드 시스템을 구축하는 것도 시스템이 규모에 비하여 복잡해져서 타당성이 낮아진다.

본 연구에서는 도시가스를 적용하는 주택과 경제성 비교를 수행하였으며, 지열히트펌프 시스템의 시공비용이 단독주택의 시공비용과 비슷한 수준임을 가정하였다. 도시가스가 공급되지 않는 지역이나, 대규모로 조성하여 초기 투자비용을 낮출 수 있는 경우에는 지열히트펌프의 경제성이 크게 향상되므로, 정확한 데이터를 적용한 자세한 검토가 필요하므로 다음을 고려한다.

- (1) 대규모로 조성되는 주택단지나 공동주택에서는 지열히트펌프 시스템의 초기공사비가 앞에서 인용한 값보다 훨씬 낮아질 수 있다. 이 경우에는 투자회수기간이 초기공사비에 비례하여 낮아진다.
- (2) 도시가스는 주택에 공급되는 가장 저렴한 난방에너지 중의 하나이다. 도시가스가 공급되지 않는 지역의 주택에서는 난방에서

훨씬 많은 에너지비용 절감액을 얻을 수 있다.

에너지 비용, 시공 비용, 적용 대상 주택의 면적이나 단열 조건 등이 달라지므로 정확한 경제성을 분석하기 위해서는 해당 건물의 에너지 해석을 수행하고, 이를 근거로 경제성 분석을 수행하는 것이 필수적이다. 또한 지중열교환기를 포함한 지열시스템의 설계를 근거로 초기투자 비용을 정확하게 계산하는 것도 필요하다.

지열히트펌프 시스템에 투자 결정을 돕기 위해서는 신뢰도가 더 높은 경제성 분석 방법을 적용하는 것이 절실하며, 이에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Park, C. S., 2007, Contemporary Engineering Economics, 4th Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey
2. 지열인력양성센터 편저, 지열설계사, 2011, 도서출판 건기원
3. Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, G, 1996, Thermal Design & Optimization, John Wiley & Sons
4. EnergyPlus Engineering Reference, 2010