

연구논문

## 집단거주지에 사용된 지열냉난방시스템의 신재생에너지 산출량 연구

조성한<sup>1\*</sup> · 김현제<sup>2</sup>

<sup>1</sup>동국대학교 회계학과 교수, <sup>2</sup>에너지경제연구원 부원장실 선임연구위원

### Study on the New Renewable Energy Output of Geothermal Cooling and Heating System for Collective Residential Facilities

Sunghan Jo<sup>1\*</sup> and Hyun Jae Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Accounting, Dongguk University

<sup>2</sup>Senior Research Fellow, Korea Energy Economics Institute

Received 11 November 2020 Final version Received 4 December 2020 Accepted 22 December 2020

**Abstract :** Korea is promoting the development, utilization and dissemination of new and renewable energy to cope with climate change. Efforts are being made to reduce energy use through the introduction of a geothermal heating and cooling system for the supply of renewable energy to collective residential facilities. The production of renewable energy was calculated by the operational principle of the heat pump used in geothermal heating and cooling systems. Based on the energy data surveyed for a newly built apartment complex in Busan, the renewable energy output of the geothermal cooling and heating system was calculated to be 785,618 kWh for electricity produced with thermal power generation, and 971,968 kWh for power used as nuclear or renewable energy. Introducing geothermal cooling and heating systems in collective residential facilities demonstrates that renewable energy can produce more than three times the energy supplied and can save as much energy as the production of renewable energy.

**Key words :** Geothermal heating and cooling system, Energy analysis, Heat pump, Coefficient of performance, Renewable energy production

**요 약 :** 우리나라는 기후변화에 대응하기 위해 신에너지와 재생에너지의 개발, 이용 및 보급을 촉진하고 있다. 집단주거시설에 신재생에너지 보급을 위해 수주지열정 지열냉난방시스템의 도입을 통하여 에너지 사용량을 줄이려는 노력을 하고 있다. 지열냉난방시스템에 사용되는 히트펌프의 작동원리에 의해 신재생에너지의 생산량을 산출하였다. 부산에서 새로 신축한 감정동아파트를 대상으로 실측한 에너지 자료를 근거로 지열냉난방시스템의 신재생에너지 생산량은 화력발전과 같이 생산한 전력을 사용한 경우 785,618 kWh 이며, 원자력 또는 신재생에너지로 사용한 전력을 사용한 경우는 971,968 kWh로 산출하였다. 집단주거시설에 지열냉난방시스템을 도입할 경우 공급되는 에너지 대비 신재생에너지가 3배 이상 생산될 수 있음을 보여 주는 것이며, 신재생에너지 산출량만큼 에너지를 절약할 수 있다.

**주요어 :** 지열냉난방시스템, 에너지 분석, 히트펌프, 성능계수, 신재생에너지

## 서 론

기후변화의 영향이 전 세계적으로 심각성을 더해가고 있다. 이제 기후위기는 사회와 경제 전반에 근본적인 위협으로 받아들여지고 있으며, 국제적으로 강도 높은 대응 노력을 요구하고 있다. 우리나라도 2019년 10월에 “제2차 기후변화대응 기본계획”을 마련하였다. 이 계획에서는 지속가능한 저탄소 녹색사회 구현을 목표로 파리협정 이행을 위한 역량 강화를 추진하고 있다. 저탄소 사회로의 전환을 위

해 건물부문은 녹색건축물 전환을 의무화하고 신규건물은 에너지소비량을 최소화하는 제로에너지 건축물 인증 의무화 대상을 확대하고 있다.

기후변화에 대응하기 위해 대체에너지개발법을 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(약칭: 신재생에너지법)으로 전환하여 신에너지와 재생에너지의 개발, 이용 및 보급을 촉진하고 있다. 이 신재생에너지법에서 재생에너지에 지열에너지를 활용하는 것이 포함되어 있다. 건물과 집단주거시설에 지열에너지를 적용하는 방법은 지열

\*Corresponding Author, Sunghan Jo, [shjokorea@dongguk.edu](mailto:shjokorea@dongguk.edu), Dept. of Accounting, Dongguk University, Seoul, Korea

냉난방시스템을 도입하는 것이다.

서울시 고시(2018-1476호)에 따라 도심의 집단주거시설에 신재생에너지 보급이 의무화되었다. 집단주거시설에 수주지열정(SCW: Standing Column Well)을 활용한 대용량의 지열냉난방시스템의 보급이 요구되고 있다.<sup>1)</sup> 새로운 수주지열정 지열냉난방시스템은 대형화되었으며 부지문제로 설치가 불가능했던 문제를 해결하였다. 집단주거시설의 열공급시스템 표준화와 냉난방시스템 최적 운영기술 등의 개발이 이루어졌다. 그리고 이 수주지열정 지열냉난방시스템은 경제성이 있는 것으로 분석되었다.<sup>2)</sup> 따라서 집단주거시설에 지열냉난방시스템의 도입은 도시에서 이산화탄소를 저감할 수 있는 적합한 시스템으로 부각되고 있다.

수주지열정 지열냉난방시스템은 히트펌프를 작동하여 지열에너지로부터 에너지를 생산하고 있다. 새로 개발된 히트펌프는 60°C 이상의 고온수를 생산할 수 있으며 고효율성능의 인증도 취득하였다. 히트펌프를 작동하기 위해서는 전력을 사용해야하며 히트펌프의 성능에 따라 신재생에너지의 생산량은 달라질 수 있다. 또한 사용된 전력이 어떤 에너지원으로부터 생산된 것인지에 따라 히트펌프의 신재생에너지 생산량의 차이가 생긴다.

이에 본 연구에서는 집단주거시설에 설치한 지열냉난방시스템의 에너지 소비와 생산을 실측하고 분석하여 신재생에너지의 생산량을 산출하였다. 이를 위해 새로 신축한 집단주거시설에 설치된 지열냉난방시스템에서 실측한 에너지자료로 분석하였다. 서론에 이어서 지열냉난방시스템의 에너지 분석에 대한 선행연구를 검토한다. 그리고 지열냉난방시스템의 작동원리와 히트펌프의 역할과 성능에 대해 설명한다. 실측된 지열냉난방시스템의 에너지자료를 근거로 신재생에너지의 생산량을 산출한다. 마지막장에서는 연구의 요약과 에너지 분석의 시사점을 기술한다.

## 지열냉난방시스템에 대한 선행연구

지열을 이용하는 것은 신재생에너지로 분류되어 있다. 이는 지열을 사용하여 냉난방을 실행함에 있어 온실가스의 배출량을 줄임과 동시에 에너지를 생산할 수 있음을 의미한다. 그러나 지열냉난방시스템을 운용 할 때 히트펌프를 사용해야 하고 히트펌프를 작동할 때는 에너지가 소요된

다. 따라서 온실가스 저감 효과를 평가하기 위해서는 에너지 생산 및 소비에 관련된 분석이 필요하다.

히트펌프시스템의 난방 성능을 분석한 Kang and Lim (2016)은 시설하우스의 난방비를 절감하기 위한 물 대 물 히트펌프 시스템을 개발하고 난방에너지 비용 절감 효과를 도출하였다. 시스템 가동기간동안 제주지역의 지하공기 온도가 15°C로 유지되어 히트펌프시스템의 열원으로 적당한 것으로 분석되었다. 이때 히트펌프가 발생한 난방열량은 34.9~44.2 kw/h 수준으로 나타났다.

Na *et al.*(2014)은 지열히트펌프시스템의 에너지 절감효과를 분석하였다. 지열히트펌프의 도입으로 기존의 시스템인 보일러와 에어컨과 비교하여 39.48%의 에너지가 절감되는 것으로 분석되었다. 기존시스템과의 비교를 통한 경제성 평가를 진행하였으나 지열히트펌프시스템의 에너지생산량에 대한 분석은 보여주지 못하고 있다.

Kang *et al.*(2017)은 대상 건물의 냉난방시스템을 분석하여 운전 시 문제점을 확인하고 개선된 지열히트펌프시스템과 열원시스템의 복합설계를 제시하였다. 경제성 평가에서 에너지비용의 절감을 위해 기존의 냉난방시스템을 최소한으로 가동하는 계통통합시스템을 제안하여 24%의 에너지절감을 확인하였다.

시설원에 온실에 적용된 수주지열정의 지열냉난방시스템의 경제성 분석을 진행한 Kim *et al.*(2015)은 경유보일러, 도시가스보일러와 수직밀폐형 지열냉난방시스템과의 비교를 통해 경제성 분석을 하고 있다. 경제성분석에 들어간 에너지비용의 산출을 위해 4가지 방식에 의해 사용된 에너지 소비량만을 제시하고 있다. 단위면적(2,050 m<sup>2</sup>) 당 SCW형은 60,683 kWh의 전기를 소비하는 것으로 나타났다. 이 분석에서 지열냉난방시스템의 에너지생산량은 보여주지 못하고 있다.

Choi(2012)는 공공도서관에 적용한 지열냉난방시스템의 경제성을 분석하는데 운전비로 히트펌프의 에너지소비량을 활용하고 있다. 50RT 용량의 지열히트펌프는 난방 시간당 45.6 kw와 냉방 시 시간당 36 kw를 소비하는 것으로 나타났다. 그러나 히트펌프시스템의 에너지생산량은 보여주지 않고 있다.

Park(2006)은 지열시스템의 SCW방식에 의한 사회복지원의 냉난방 운전예 히트펌프를 사용하는 사례를 분석하고 있다. 경제성 분석을 위해 에너지비용만을 활용하고 있다. 지열히트펌프시스템의 경제성은 있는 것으로 분석하고 있으나 에너지의 사용량과 생산량에 대한 정보가 없다.

기존의 연구는 지열냉난방시스템이나 히트펌프시스템에 대한 경제성분석을 수행하면서 비용 측면에서 자료를 활용하고 있어 히트펌프시스템의 에너지생산과 소비에 대한 분석이 이루어지지 못한 한계를 보인다. 따라서 이 연구

1) 수주지열정은 지하수 사용 히트펌프 시스템에 사용되는 단일 수직 심정으로 지하수를 히트펌프에 통과시켜 열을 추출 또는 배출한 다음 다시 심정에 재주입하는 것이다.

2) Jo and Kim(2019)에서 지열냉난방시스템이 대안시스템과 비교하여 총비용이 30년 동안 11억원 적게 지출되어 경제성이 있는 것으로 나타났다. 또한 초기투자비용은 11년이 되면 회수되는 결과가 나왔다.

에서는 히트펌프에서 사용하는 에너지량과 지열냉난방시스템의 생산량을 조사하고 신재생에너지의 생산량과 히트펌프의 성능을 분석하였다.

### 지열냉난방시스템에 대한 신재생에너지 산출분석의 전제 조건

#### 신재생에너지 산출분석의 대상

본 연구에서는 지열냉난방시스템의 신재생에너지 산출 분석을 위하여 지열냉난방시스템으로 냉난방을 설치한 집단거주지시설로 부산에 신축된 감정동에서두레마을아파트(약칭: 감정동아파트)를 대상으로 하고 있다. 감정동아파트는 총 266세대로 구성되어 있다. 감정동아파트의 규모는 Table 1과 같다.

#### 신재생에너지 산출분석 대상 히트펌프의 기술과 성능

2015년 3월에 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법의 개정에 의해 수열에너지가 신규로 포함되었다. 히트펌프를 활용하여 표층의 열을 변환하여 생산된 에너지를 신재생에너지로 인정하였다.

지열냉난방시스템에 사용되는 히트펌프의 원리를 이해하는 것이 중요하다. 히트펌프는 압축기, 응축기, 팽창밸브와 증발기로 구성되어 있다. 증발기에서 열을 흡수하고 응축기에서 열을 방출하게 된다. 따라서 열을 방출하는 응축기를 통해 난방을 하고 열을 흡수하는 증발기를 이용하여 냉방기로 활용할 수 있다.

압축기는 증발기로부터 저압과 저온의 냉매증기를 받아 압축하여 고압과 고온의 냉매증기로 전환한다. 응축기는 응축을 통하여 고압과 고온의 냉매증기를 냉각시켜 열을 방출하고 냉매를 고압과 고온의 액체로 전환한다. 팽창밸브는 응축기에서 온 냉매액체를 팽창시켜 저압과 저온의 기체와 액체의 혼합된 냉매로 전환시킨다. 증발기는 흡수한 열을 활용하여 저압 및 저온의 냉매를 저압과 저온의 냉매기체로 만든다.

이러한 과정을 수행하기 위해서는 냉매를 시스템 안에서 돌게 하는 것이 필요하다. 냉매를 시스템 안에서 돌게 하는

압축기를 작동하는 데는 에너지가 필요하다. 전기와 엔진으로 에너지를 전달할 수 있다. 지열냉난방시스템은 전기를 활용하여 압축기를 작동한다. 지열냉난방시스템의 히트펌프의 작동원리를 Fig. 1에 정리하였다.

지열냉난방시스템의 히트펌프는 에너지보존법칙이 적용되어 압축기에 공급된 에너지( $P$ )와 증발기에서 흡수한 에너지( $H_L$ )를 합해서 응축기에서 에너지( $H_H$ )를 방출한다.

$$P + H_L = H_H \tag{1}$$

히트펌프의 성능은 성능계수로 표현한다. 히트펌프의 성능계수와 냉방기의 성능계수는 다음과 같이 표현된다.

$$COP_{HP} = \frac{H_H}{P} \tag{2}$$

$$COP_C = \frac{H_L}{P} \tag{3}$$

$COP_{HP}$ : 히트펌프의 성능계수,  $H_H$ : 히트펌프의 생산에너지,  $P$ : 압축기의 소비에너지,  $COP_C$ : 냉방기의 성능계수,  $H_L$ : 증발기의 흡수에너지

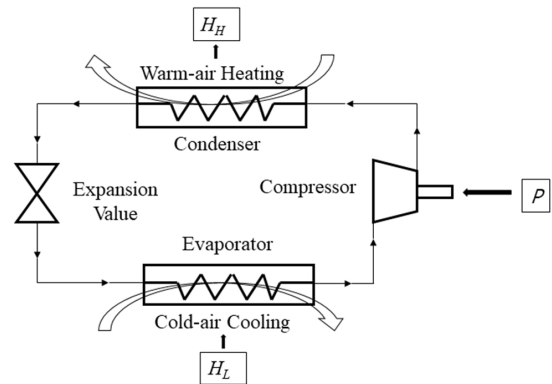


Fig. 1. Schematic Diagram of Heat Pump.

Table 1. Status of Gamjungdong Yeseo Dureraum in Busan

Classification		Number of Households	Exclusive Area per Households (m <sup>2</sup> )	Total Area (m <sup>2</sup> )
Apartment	Type A	114	48.40	5,517.60
	Type B	76	45.34	3,445.84
Studio	Type Ga	76	58.95	44,80.20
Total		266		13,443.64

두 히트펌프의 성능계수와 냉방기의 성능계수는 식 (2)에 식 (1)을 대입하여 정리하면, 다음과 같은 관계가 있다.

$$COP_{HP} = \frac{P + H_L}{P} = 1 + \frac{H_L}{P} = 1 + COP_C \quad (4)$$

성능계수는 공급된 에너지 대비 획득한 난방에너지와 냉방에너지의 비율을 나타내는 지표이다.  $COP_{HP} = 5$ 인 경우  $COP_C = 4$ 가 되며, 이는 압축기에 1kW의 전기에너지를 공급하면 증발기에서 4kW의 에너지를 흡수하여 응축기에서 5kW의 에너지가 방출된다.  $H_H$ 의 에너지가 방출될 때는 난방을 하고,  $H_L$ 의 에너지를 흡수할 때는 냉방을 할 수 있다.

## 지열냉난방시스템의 신재생에너지 산출 분석

### 신재생에너지 산출 분석의 방법

지열냉난방시스템의 히트펌프에 있는 압축기는 전력의 사용으로 작동된다. 전력을 생산하기 위해서는 원자력, 석탄, 가스, 수력, 및 재생에너지의 1차에너지를 사용하게 된다. 1차에너지( $E_1$ )에서 전력( $P$ )으로 전환될 때의 비율이 발전효율( $\epsilon$ )로 표시된다.

$$P = \epsilon \times E_1 \quad (E_1 = \frac{P}{\epsilon}) \quad (5)$$

전력( $P$ )을 생산하기 위해서는 1차에너지( $E_1$ )가 필요하며 석탄과 가스와 같은 화석연료가 사용되어 온실가스인 이산화탄소가 발생한다. 신재생에너지의 생산량을 산출할 경우 전력을 생산할 때 화석연료와 신재생에너지의 비중을 고려해야 한다. 1차에너지 사용량 중 석탄환산 화석연료발전의 비중( $\theta$ )을 고려하여 신재생에너지 생산량( $RE$ )을 구하면 다음과 같다.<sup>3)</sup>

$$RE = H_H - \alpha P, \quad \alpha = 1 + (\frac{1}{\epsilon} - 1) \theta \quad (6)$$

석탄환산 화석연료발전의 비중( $\theta$ )을 구하기 위하여 에너지원별 발전 시 이산화탄소 배출량은 다르기 때문에 석탄발전으로 환산하여 적용하였다. 원자력, 수력과 신재생에너지에 의한 전력생산의 이산화탄소배출량은 0이며, 석탄발전, 석유발전과 LNG발전은 각각 823, 702, 362 gCO<sub>2</sub>/kWh을 배출하는 것으로 가정하였다.<sup>4)</sup> 따라서 석유발전은 석탄발

전에 비해 85.3%이며 LNG발전은 석탄발전의 44.0% 수준이다.

2019년 에너지원별 발전비중은 석탄, 석유, LNG, 원자력, 수력, 신재생에너지 순으로 42.5%, 0.6%, 21.3%, 28.3%, 1.2%, 6.1%이다.<sup>5)</sup> 이를 적용하여 석탄환산 화석연료발전의 비중( $\theta$ )이  $\theta = 52.3\%$ 로 산출되었다. 이산화탄소 배출이 없는 발전 비중( $1 - \theta$ )은 47.7%이다.

식 (5)에서 신재생에너지 산출량을 구하기 위해서 2019년 화력발전의 효율( $\epsilon$ )을 적용하였다.  $\epsilon = 40.7$ 과  $\theta = 52.3$ 를 적용하면  $\alpha = 1.76$ 을 구할 수 있다. 식 (5)에 적용하면 신재생에너지 생산량( $RE$ )은  $RE = H_H - 1.76P$ 으로 구할 수 있다.<sup>6)</sup> 전력을 원자력, 수력, 재생에너지 등의 이산화탄소 배출이 없는 에너지로만 생산되면,  $\alpha = 1$ 을 적용할 경우 신재생에너지 생산량( $RE$ )은  $RE = H_H - P$ 로 구할 수 있다.

총에너지생산량 중 신재생에너지가 차지하는 비중( $r_{RE}$ )을 구하면 다음과 같다.

$$r_{RE} = \frac{RE}{H_H} = 1 - \frac{\alpha}{COP_{HP}} \quad (7)$$

$\alpha = 1.76$ 이고  $COP_{HP} = 5$ 일 경우, 신재생에너지가 차지하는 비중( $r_{RE}$ )은 64.8%이다. 그리고  $\alpha = 1$ 과  $COP_{HP} = 5$ 인 경우는 80%가 된다.

### 실측 자료에 의한 신재생에너지 생산량

지열냉난방시스템을 설치한 감정동아파트의 월별 실측 에너지량을 조사하였다. 2019년 3월부터 2020년 2월까지 히트펌프에 의한 에너지생산량( $H_H$ )과 히트펌프를 작동할 때 소비한 에너지량( $P$ )을 집계하였다.

감정동아파트는 1월부터 4월까지와 10월부터 12월까지의 난방을 필요로 하며, 5월부터 9월까지는 냉방을 요구한다. 본격적인 난방은 1월 2월, 12월에 필요하며 냉방은 7월과 8월에 본격적으로 필요하다. 나머지 기간인 간절기는 난방과 냉방을 준비하는 기간이다. 4월과 5월 사이에는 난방에서 냉방으로 전환할 준비를 하고 9월과 10월에는 냉방에서 난방으로 시스템을 바꾼다. 감정동아파트에서 실측한 월별 히트펌프 에너지 소비량, 히트펌프의 에너지 생산량과 히트펌프의 성능지수가 Fig. 2와 Table 2에 정리되어 있다.

2019년 3월부터 2020년 2월까지 생산된 총에너지량은

5) Hong et al.(2017)에서 2016년 자료를 통해서 산출한 것과 비교를 위해 같은 방식을 적용하였다. 따라서 집단에너지 부분을 제외하고 산출하였다.

6) Hong et al.(2017)에 따르면, 2016년 자료로 발전효율( $\epsilon$ )은 39.81%이며, 석탄환산 화석연료발전 비중( $\theta$ )은 51.2%로 적용하였다.

3) Hong et al.(2017)에 식(5)의 도출과정을 보여주고 있다.

4) Hong et al.(2017)에서 사용한 자료를 활용하였다.

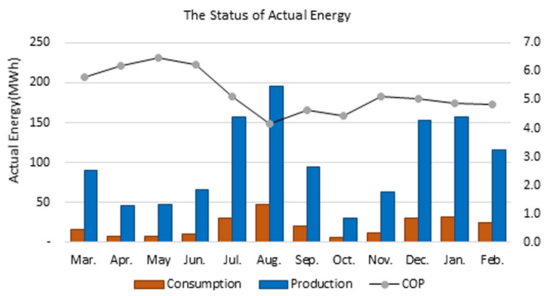


Fig. 2. Status of Actual Energy at Gamjeong-dong Apt.

1,217,165 kWh이며, 히트펌프가 소비한 총에너지량은 245,197 kWh으로 측정되었다. 연간 히트펌프의 성능계수는 4.96으로 나타났다. 냉방에너지의 생산량은 8월에 195,362 kWh으로 가장 높게 측정되었으며, 난방에너지는 1월에 156,700 kWh으로 가장 많이 생산되었다. 히트펌프의 효율인 성능계수는 간절기인 5월에 6.49로 최고로 높은 것으로 나타났다. 냉방의 성능계수는 8월에 4.14로 가장 낮은 효율을 나타내고 있다.

식 (6)을 활용하여 계산된 매월 신재생에너지 생산량은 Table 2에 정리되어 있다. 전력이 화력발전과 신재생에너지의 혼합으로 생산되어 공급될 경우, 즉  $\alpha = 1.76$ 과 신재생에너지로 공급된 경우, 즉  $\alpha = 1$ 로 구분하여 정리하였다.

$\alpha = 1.76$ 인 경우 연간 신재생에너지 총생산량은 785,618 kWh이며,  $\alpha = 1$ 인 경우 연간 신재생에너지 총생산량은

971,968 kWh로 산출되었다. 이는 신재생에너지 생산량이 총생산량에 차지하는 비중이 각각의 경우 64.5%와 79.9%로 나타났다. 히트펌프에서 소비하는 전력 대비 신재생에너지 생산 성능계수를 구하면  $\alpha = 1.76$ 인 경우 3.20이며,  $\alpha = 1$ 인 경우 3.96으로 산출되었다. 이는 공급되는 에너지 대비 신재생에너지가 3배 이상 생산될 수 있음을 보여주는 것이다. 따라서 지열냉난방시스템을 도입할 경우 냉방과 난방을 위한 전력 또는 도시가스 사용이 신재생에너지 생산량만큼 줄일 수 있으며 그로 인해 이산화탄소 배출을 저감할 수 있다. 아파트가 밀집되어 있는 도시에 적용할 경우 온실가스를 줄이는 효과가 있다는 결론에 도달한다.

### 결론 및 시사점

기후변화에 대응하는 국제적 노력에 동참하기 위하여 우리나라도 2050년 탄소중립을 선언하였다(대통령 국회 시정연설, 2020년 10월 28일). 이제 온실가스 배출을 감축하기 위해서 에너지시스템의 혁신적인 변화가 필요하게 된 것이다. 특히 신에너지 및 재생에너지의 개발, 이용 및 보급이 더욱 중요하게 되었다.

신재생에너지를 활용하여 냉난방을 하게 되면 온실가스 배출의 감축에 기여할 수 있을 것이다. 서울시 고시(2018-1476호)에 따라 도시의 집단주거시설에 수주지열정 지열냉난방시스템을 도입하여 신재생에너지를 이용하는 것도 좋은 방안이다. 수주지열정 지열냉난방시스템은 히트펌프

Table 2. Status of Actual and Renewable Energy

(단위: kWh)

Month	Consumption Energy for Compressor ( $P$ )	Heat Pump Production Energy ( $H_H$ )	COP of Heat Pump ( $COP_{HP}$ )	Renewable Energy	
				$\alpha = 1.76$	$\alpha = 1$
March	15,562	90,148	5.79	62,759	74,586
April	7,410	45,990	6.21	32,948	38,580
May	7,378	47,864	6.49	34,879	40,486
June	10,590	66,093	6.24	47,455	55,503
July	30,690	156,798	5.11	102,784	126,108
August	47,151	195,362	4.14	112,376	148,211
September	20,550	95,010	4.62	58,842	74,460
October	6,855	30,307	4.42	18,242	23,452
November	12,418	63,421	5.11	41,565	51,003
December	30,437	152,997	5.03	99,428	122,560
January	32,039	156,700	4.89	100,311	124,661
February	24,117	116,475	4.83	74,029	92,358
Total	245,197	1,217,165	4.96	785,618	971,968

를 작동하여 신재생에너지를 생산하는 것이다.

기존의 선행연구는 지열냉난방시스템이나 히트펌프시스템에 대한 경제성분석을 수행하면서 비용 측면에서 에너지 자료를 활용하고 있어 히트펌프시스템의 에너지 소비와 생산에 대한 분석이 부족한 것으로 보인다. 기존 연구들을 통해 지열냉난방시스템이 경제성이 있는 것으로 평가되고는 있으나 실제 신재생에너지가 얼마만큼 생산되는지가 불투명하다.

새로 신축한 집단주거시설에 설치된 지열냉난방시스템에서 실측한 에너지자료를 근거로 신재생에너지의 생산량을 산출하였다. 지열냉난방시스템의 신재생에너지 산출분석은 부산에서 새로 신축한 감정동아파트를 대상으로 하고 있다.

히트펌프의 작동원리로부터 신재생에너지의 생산량의 산출식을 도출하였다. 신재생에너지의 생산량은 히트펌프에서 생산된 에너지량에서 히트펌프를 작동하는데 사용된 에너지량을 차감하면 된다. 그런데 차감할 때 소비한 전력이 어떠한 방식으로 생산되는지에 따라 차감량이 달라진다. 전력을 생산할 때 화석연료를 함께 쓴 경우와 원자력 혹은 신재생에너지로만 생산한 경우로 구별하였다.

조사된 지열냉난방시스템을 설치한 감정동아파트의 월별 실측 에너지량을 근거로 신재생에너지 생산량을 산출하였다. 2019년 3월부터 2020년 2월까지 생산된 총에너지량은 1,217,165 kWh이며, 히트펌프가 소비한 총에너지량은 245,197 kWh로 측정되었으며, 연간 히트펌프의 성능계수는 4.96으로 조사되었다. 이를 근거로 신재생에너지의 생산량을 구하면, 공급된 전력의 생산이 화력발전과 신재생에너지 혼합으로 생산된 경우, 연간 신재생에너지 총생산량은 785,618 kWh이며 히트펌프에서 소비하는 전력 대비 신재생에너지 생산 성능계수는 3.20이다. 공급된 전력의 생산이 원자력 또는 신재생에너지로만 생산된 경우 연간 신재생에너지 총생산량은 971,968 kWh이며, 히트펌프에서 소비하는 전력 대비 신재생에너지 생산 성능계수는 3.96이다.

히트펌프를 사용한 지열냉난방시스템을 공급되는 에너지 대비 신재생에너지가 3배 이상 생산될 수 있음을 보여주는 것이며, 집단주거시설에 지열냉난방시스템을 도입할 경우, 신재생에너지 생산량만큼 에너지의 사용을 감축할 수 있다. 이는 전력을 사용하여 냉난방을 할 경우와 비교하여 지열냉난방시스템이 연간 339 tonCO<sub>2</sub> ~ 419 tonCO<sub>2</sub>의 이산화탄소의 발생을 줄일 수 있는 결론에 도달하게 된다.<sup>7)</sup> 도시에서 아파트와 같은 집단주거지를 건설할 때 수주지열정을 활용한 지열냉난방시스템을 도입할 경우 경제적 이익뿐 아니라 이산화탄소의 배출을 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

이 논문은 2014년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌다.

## References

- Choi, C.H., 2012. A study on the economic analysis of cooling-heating system using ground source heat in a public library. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 32, p.56-66.
- Hong, H., Choi, J., and Im, S.Y., 2017. Renewable energy production by heat pump as renewable energy equipment. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 29(10), p.551-557.
- Jo, S. and Kim, H.J., 2019. An economic analysis on geothermal heating and cooling system for residential cluster homes. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(3), p.251-259.
- Kang, K.W., Shin, J.H., Kim, S.H., and Cho, Y.H., 2017. A study on design improvement method of geothermal heat pump system for energy efficiency. *Journal of the Korean society of Living Environmental system*, 24(2), p.238-244.
- Kang, Y.K. and Lim, T.S., 2016. The analysis of heating performance of heat pump system for agricultural facility using underground air in Jeju area -Focused on the Jeju Area-. *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Journal*, 16(6), p.109-114.
- KEPCO. *KEPCO statistics 2019*, Naju-si, Korea, 89, p.26-27.
- KEPCO. *KEPCO statistics 2019*, Naju-si, Korea, 89, p.58-59.
- Kim, J.S., Song, S.H., Jeong, G.C., and Cha, J.H., 2015. Analysis of economic feasibility and reductions of carbon dioxide emission of geothermal heating and cooling system using groundwater. *The Journal of Engineering Geology*, 25(4), p.599-612.
- Na, S.I., Kang, E.C., and Lee, E.J., 2014. International harmonized economic assessment study of a ground source heat pump system. *Korea Society of Geothermal Energy Engineers Journal*, 10(1), p.7-13.
- Park, S.R., 2006. Analysis on the installation of geothermal system, facility/air conditioning cooling hygiene. *Korea Association of Facility Technology*, March, 2006, p.89-97

7) 2019년 발전비용에 의한 kWh당 이산화탄소의 발생량은 431.1 gCO<sub>2</sub>이다.

---

**조 성 한**

현재 동국대학교 회계학과 교수  
(本學會誌 第56券 第3号 參照)

---

---

**김 현 제**

현재 에너지경제연구원 부원장실 선임연구위원  
(本學會誌 第56券 第1号 參照)

---