동적 에너지 시뮬레이션을 이용한 수열원, 지열원 및 공기열원 히트펌프 시스템의 성능 비교분석

권영식¹ · 배상무² · 남유진^{3*} · 윤린⁴ · 박창용⁵ · 이호성⁶

¹부산대학교 건축공학과, 석사과정

²부산대학교 건축공학과, 박사과정

³부산대학교 건축공학과, 교수

⁴한밭대학교 기계공학과, 교수

⁵서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, 교수

⁶고려대학교 기계공학부, 부교수

Comparative Analysis of System Performance for Water, Ground and Air Source Heat Pump System Using the Dynamic Energy Simulation

Kwon Youngsik¹ · Bae Sangmu² · Nam Yujin^{3*} · Yun Rin⁴ · Park Chang Yong⁵ · Lee Hoseong⁶

¹MS Course, Department of Architecture Engineering, Pusan National University

²Ph.D. Candidate, Department of Architecture Engineering, Pusan National University

³Professor, Department of Architecture Engineering, Pusan National University

⁴Professor, Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University

⁵Professor, Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology

⁶Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Korea University

*Corresponding author: namyujin@pusan.ac.kr

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.41, No.4, pp.1-12, August 2021
<https://doi.org/10.7836/kjes.2021.41.4.001>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 12 April 2021

Revised: 7 May 2021

Accepted: 2 June 2021

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.

Abstract

As the boundary of water source energy has recently expanded to the use of river, lake, and pond waters, the water source heat pump (WSHP) system is becoming a major issue. However, to apply the WSHP system to a real building, a comparison and analysis with a ground source heat pump (GSHP) and an air source heat pump system (ASHP) are required. Moreover, it is necessary to accurately analyze the performance of a WSHP based on the building load condition. Therefore, this study aims to analyze the performance of WSHP, GSHP, and ASHP systems for large office buildings using a dynamic energy simulation. The seasonal performance factor (SPF) of the system was calculated as 3.8 and 2.5 for a WSHP system, 3.8 and 2.6 for a GSHP system, and 2.9 and 1.7 for an ASHP system during the cooling and heating periods, respectively. The performance of the WSHP system was similar to that of the GSHP system and was 23% and 32% higher than that of the ASHP system, respectively.

Keywords: 동적 에너지 시뮬레이션(Dynamic energy simulation), 수열원 히트펌프 시스템(Water source heat pump system), 지열원 히트펌프 시스템(Ground source heat pump system), 공기열원 히트펌프 시스템(Air source heat pump system)

기호설명

COP (Coefficient Of Performance) : 히트펌프 성능계수

SPF(Seasonal Performance Factor) : 에너지 소비 효율

Q : 생산열량[kJ/h]

P : 소비전력[kJ/h]

하첨자

hp (heat pump) : 히트펌프

sys (system) : 시스템

Heating : 난방기간

Cooling : 냉방기간

1. 서론

2020년 12월 정부는 ‘경제구조의 저탄소화’, ‘신유망 저탄소 산업 생태계 조성’, ‘탄소중립 사회로의 공정전환’ 등 3대 정책 방향에 대한 방안으로 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 발표하였다. 이는 2016년 발효된 파리협정 이후 개인, 회사, 단체 등에서 배출한 이산화탄소 등 온실가스의 배출량을 ‘0’으로 만들겠다는 것이다¹⁾.

이와 더불어 최근 수열에너지의 인정 범위가 하천수, 호소수, 원수이용 등으로 확대됨에 따라 수열원 히트펌프 시스템이 주목을 받고 있다. 2019년 10월에는 신재생에너지법 시행령의 일부 개정이 시행되면서, 수열에너지가 신재생에너지 사업으로 인정이 되게 되어 국내에 수열에너지에 대한 관심이 늘어나고 있는 추세이다. 더욱이 대규모 시설을 중심으로 광역상수도 원수를 활용하여 냉난방설비의 일부를 수열에너지 설비로 적용하거나 적용 계획 중인 건물들이 늘어나고 있다²⁾.

하지만 수열에너지 시스템 적용을 위해서는 사전에 수열에너지 시스템의 성능을 정확히 파악하고, 적용 시 경제성을 면밀히 분석할 필요가 있다. 현재 국외에서의 수열에너지에 대한 연구는 캐나다, 일본 등을 중심으로 활발히 이루어지고 있으며 최근에 국내에서도 연구가 활발히 이루어지고 있다.

수열원 히트펌프 시스템은 water source heat pump (WSHP) system이라 불리며, 타 열원에 비해 풍부한 열원을 보유하여 성능이 뛰어나며, 원수, 지하수, 호소수 등 여러 가지 열원을 이용할 수 있는 특징이 있다. 지열원 히트펌프 시스템은 ground source heat pump (GSHP) system이라 불리며, 지중 항온층의 온도를 이용하여 냉난방을 실시하는 기술로 성능은 뛰어나나 초기투자비용이 크다는 특징이 있다. 공기열원 히트펌프 시스템은 air source heat pump (ASHP) system이라 불리며, 다른 신재생에너지 시스템에 비해 초기투자비용이 저렴하나 외기를 이용하므로 타 시스템에 비해 성능이 낮다는 특징을 가지고 있다.

Jung et al.³⁾은 하천수를 활용하는 수열원 히트펌프 시스템의 에너지 및 환경 성능 평가를 실시하였다. 수열원 히트펌프는 외기에 비해 비교적 일정한 수온을 사용하기 때문에 효율이 높고, 냉난방 에너지량을 줄일 수 있으며, 이를 확인하기 위해 에너지 성능 평가 및 환경 성능 평가를 실시하였다. 평가를 실시한 결과 수열원 히트펌프는 에너지 소비량을 11.1%, CO₂배출량을 11.5% 줄일 수 있으며, 이는 수열원 히트펌프 시스템이 가능성이 있는 시스템이라는 것을 확인하였다.

Zhaohui Liu et al.⁴⁾은 건축물 에너지 관리 시스템(BEEMS, Building energy management system)을 이용하여 상하이지역의 에너지 센터에 설치된 하천수열 히트펌프 시스템(RWSHP, river water source heat pump system)의 냉난방 성능에 대해 분석을 실시하였다. 또한 하천수 온도와 외기온도간의 상관관계를 분석하여 연중 하천수의 온도를 예측하였다. 그리고 히트펌프의 소비전력과 각종 펌프의 소비전력, 에너지 소비량을 분석하였다. 이를 통해 난방기간의 기존 히트펌프 시스템과 RWSHP 시스템의 평균 coefficient of performance (COP)가 각각 약 7.4와 5.2임을 확인하였으며, 냉방기간의 기존 히트펌프 시스템과 RWSHP 시스템의 평균 COP는 각각 약 6.5와 2.6임을 확인하였다.

Oh et al.⁵⁾은 정수처리시설에 활용되는 원수열원 및 공기열원 히트펌프의 성능을 TRNSYS 프로그램을 이용하여 검토하였다. 원수열원 히트펌프는 경기도 시흥시의 정수처리시설에서 나온 데이터로 검증을 실시하였고, 원수열원 히트펌프의 평균 COP는 공기열원 히트펌프보다 냉난방 기간 각각 19%, 18% 높았다. 냉난방용 히트펌프의 소비전력은 원수열원 히트펌프보다 각각 28%, 26% 더 높은 것을 확인하였다.

이와 같이 현재 국내외에서 수열원 히트펌프에 대한 환경성능평가 및 에너지 성능 평가에 대한 연구가 꾸준히 수행되고 있다. 수열에너지 시스템을 대상으로 한 시범사업, 실증 등에 관한 연구는 있으나, 동일 지역에서 타 열원 시스템과의 비교분석 연구는 드물다. 또한 수열원 히트펌프 시스템에 대한 정량적 근거자료가 부족하며 특히 시스템 성능이나 도입 타당성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동적 에너지 시뮬레이션을 이용하여 대형 오피스 건물에 적용된 수열, 지열, 공기열을 각각 열원으로 사용하는 히트펌프 시스템의 성능 분석을 실시하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 동적 에너지 시뮬레이션 TRNSYS 18을 이용하여 수치해석을 실시하였다. TRNSYS는 University of Wisconsin에서 개발한 상용 소프트웨어 패키지로서, 본래 태양열 시스템의 동적인 성능 분석을 위해 만들어졌으며, 현재는 신재생에너지를 기반으로 한 시스템의 성능분석에 이용되는 프로그램이다.

본 연구에서는 TRNSYS 프로그램을 이용하여 부산 지역의 대형 오피스 건물을 대상으로 하는 수열원, 지열원 및 공기열원 히트펌프 시스템의 연간 성능을 비교, 분석하였다. 성능 분석의 요소는 각 시스템의 히트펌프 열원 측 입수온도, 히트펌프와 시스템 COP 그리고 seasonal performance factor (SPF) 등이 있다. 이를 통해 대형 오피스에 적용된 수열원, 지열원 및 공기열원 히트펌프 시스템의 각각의 성능 및 효율성에 대해 분석한다.

2.1 건물 부하 모델

국내에는 오피스 건물에 대한 표준 건물 모델이 없다. 따라서 본 연구에서는 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)에서 제공하는 Large office 모델을 기준으로 부하모델을 작성하였다⁶⁾. 또한 가장 냉난방 부하가 큰 1층에 대한 건물의 부하와 각각 시스템의 성능을 분석하였다. 형상 및 크기와 냉난방부하는 Fig. 1 과 같다.

Fig. 1 Simulation model and monthly load

Table 1 Specifications simulation model

Location	Busan, South Korea
Building model	Large office
Set temperature (°C)	Heating season : 21°C Cooling season : 24°C
Floor area (m ²)	3,577
Ventilation (1/h)	0.30
Operation period	Heating : Jan. ~ Apr. & Oct. ~ Dec. Cooling : May. ~ Sep.
Internal heat gain	Person : 130 W/person Light : 11.84 W/m ² Equipment : 8.07 W/m ²
U—Value (W/m ² ·K)	Ground floor : 0.250 External wall : 0.32 Roof : 0.18 Internal roof : 0.35 Window : 1.8

Table 1은 해당 부하모델의 입력조건을 나타낸다. 지역은 부산으로 가정하여 기상데이터를 입력하였다. 실 내온도 설정은 냉방 24°C, 난방 21°C로 설정하였으며, 벽체 및 바닥, 지붕, 창문의 열관류율은 부산이 포함된 남

부지역을 기준으로 국토교통부에서 제공하는 ‘건축물의 에너지설계기준’을 참고하여 설정하였다⁷⁾. 실내 환기 횡수는 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 62.1 Office space의 환기횡수를 참고하여 0.65 cfm/m²를 환산하여 0.30/h 로 설정하였다⁸⁾.

부산지역의 기상을 고려하여 난방기간은 1월 ~ 4월, 10월 ~ 12월로 총 7개월로 설정하였으며, 냉방기간은 5월~9월로 총 5개월로 설정하였다. 또한 조명기기 일정, 기기발열 일정, 재실자 일정에 대한 것은 주중일정과 토요일, 일요일으로 나누어 설정하였으며, 상세한 일정은 아래 Fig. 2 에 나타내었다.

내부발열량은 국내 공기조화부하계산 설계기준과, ASHRAE 90.1-2004를 기준으로 하여 산정을 실시하였다^{9,10)}. 재실인원은 18.5 m²당 1명으로 산정하여 총 재실인원은 약 200명으로 가정하여 산정하였다. 인체발열량은 가벼운 타이핑 작업 중인 재실자의 인체발열량을 기준으로 산정하였다. 조명에 의한 발열량은 11.84 W/m²으로 설정하였으며, 기기에 의한 발열량은 8.07 W/m²으로 설정하였다.

Fig. 2 Internal schedule

2.2 시뮬레이션 내 열원 이용 방법

Fig. 3 Temperature of heat source

본 연구에서는 수열, 지열, 공기열원을 이용하는 히트펌프 시스템의 성능 비교, 분석을 실시하기 위해 각각 열원의 온도를 이용하며, 열원의 온도는 Fig. 3 과 같다.

수온데이터는 공공데이터 포털에서 제공하는 부산의 삼락지역 수온데이터를 활용하여 시뮬레이션을 진행하였다¹¹⁾. 수온데이터에는 유량과 수온이 나타나있지만 시뮬레이션 내에서는 일정한 유량으로 설정하였으므로 수온은 열교환기를 통해 열 교환을 실시한 후 히트펌프로 입수되며, 유량은 열교환기에서 일정한 유량으로 히트펌프로 입수되도록 하였다. 지중온도의 경우에는 지중 150 m지점의 온도로서 항온층에 해당하므로, 16°C로 설정하여 지중열교환기를 통해 열 교환을 실시하도록 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 외기온도는 기상청에서 제공하는 부산지역의 외기온도 데이터를 활용하여 공기열원 히트펌프에서 열 교환을 실시하도록 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다¹²⁾.

2.3 동적 에너지 시뮬레이션 모델

Fig. 4는 각각 수열원, 지열원 및 공기열원 히트펌프 시스템의 개요도를 나타낸다. 개요도를 바탕으로 시스템을 구성하였다.

Fig. 4 Simulation schematic diagram

Table 2는 TRNSYS 시뮬레이션 내에 입력된 컴포넌트의 설정 값에 대해 나타내고 있다. 지중열교환기는 길이 150 m, 내경 및 외경은 선행연구를 참고하여 작성하였다¹³⁾. 또한 지중열교환기 1공당 3 RT의 용량에 대응할 수 있다고 가정하고, 8공을 설치하였다. 히트펌프는 비교를 위해 C사의 water loop heat pump와 air source heat pump의 COP값을 히트펌프 용량에 맞게 설정하였다¹⁴⁾. 축열조의 용량은 100 m³로 산정하였고, 설정 온도는 50°C로 설정하였다. FCU (Fan Coil Unit)의 공기유량은 C사의 80 kW 급 FCU를 기준으로 산정하였고¹⁵⁾, 유량은 ASHRAE 90.1-2004에서 제시하는 값을 사용하여 설정하였으며, 시뮬레이션 내의 모든 컴포넌트의 유량을 통일 시켜 시뮬레이션을 진행하였다.

Table 2 Condition of component

Component	Name	Value
Heat pump (WSHP system) (Type 927)	Type	Water to water heat pump
	Heating capacity	80 kW
	Heating power	18.2 kW
	Cooling capacity	70 kW
	Cooling power	17.5 kW
Heat exchanger (WSHP system) (Type 5b)	Source/load specific heat	4.19 kJ/kg·K
	Flowrate	13800 kg/hr
Heat pump (GSHP system) (Type 927)	Type	Water to water heat pump
	Heating capacity	80 kW
	Heating power	18.2 kW
	Cooling capacity	70 kW
	Cooling power	17.5 kW
Ground heat exchanger (GSHP system) (Type 557a)	Borehole depth	150 m
	Number of borehole	8 EA
	Thermal conductivity	2.5 W/m·K
	Heat capacity	2520 kJ/m ³ /K
	Initial temperature	16°C
Heat pump (ASHP system) (Type 927)	Type	Air to water heat pump
	Heating capacity	80 kW
	Heating power	32.8 kW
	Cooling capacity	70 kW
	Cooling power	28.6 kW
Heat storage tank (Type 4c)	Tank volume	100 m ³
	Fluid specific heat	4.2 kJ/kg·K
	Set point temperature	50°C
	Deadband	5°C
Fan coil unit (Type 987)	Volumetric air flow rate	2.2 m ³ /s
	Power consumption	3.7 kW
Pump (Type 3b)	Maximum flow rate	13800 kg/hr
	Maximum power	1.6 kW

난방기간 중 시스템의 제어방식은 축열조 온도가 48°C 이하가 되면 히트펌프가 작동을 시작하고, 52°C 이상이 되면 히트펌프가 작동을 중지하도록 설정하였다. FCU는 실내 온도가 19°C 이하가 되면 작동을 시작하고, 23°C 이상이 되면 작동을 중지하도록 설정되었으며, 축열조의 온도를 이용하여 난방을 실시한다. 냉방기간 중 시스템의 제어방식은 난방기간의 제어방식과 달리 축열조를 사용하지 않으며, 히트펌프는 FCU 작동 시 작동하도록 설정하였으며, FCU는 실내온도가 26°C 이상이 되면 작동을 시작하고, 22°C 이하가 되면 작동을 중지하도록 설정하였다.

3. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 동적에너지 시뮬레이션을 이용하여 수열원, 지열원 및 공기열원 히트펌프 시스템을 구성하고, 이를 통한 각 시스템의 성능 분석을 실시하였다. 각 시스템에 대해 비교를 실시할 열원 측 입수온도는 시뮬레이션 내에서 산출이 가능하며, 히트펌프 또는 시스템 COP는 각각 산출할 수 있다. 이는 생산열량과 소비전력의 비로 나타내며, 아래 식(1), (2)의 산출방법을 통해 산출된다. SPF는 냉난방기간 중 히트펌프의 생산열량과 시스템에서 발생하는 소비전력의 합의 비로 나타내며, 식(3), (4)의 산출방법을 통해 산출된다.

$$COP_{hp} = \frac{Q_{hp}}{P_{hp}} \quad (1)$$

$$COP_{sys} = \frac{Q_{sys}}{P_{sys}} \quad (2)$$

$$SPF_{Heating} = \frac{\sum Q_{Heating}}{\sum P_{Heating}} \quad (3)$$

$$SPF_{Cooling} = \frac{\sum Q_{Cooling}}{\sum P_{Cooling}} \quad (4)$$

Fig. 5 는 히트펌프의 열원 측 입수온도, 히트펌프, 시스템 COP 및 냉난방 SPF의 변화를 나타낸다.

히트펌프 열원 측 평균 입수온도의 결과 분석결과 난방 시에는 수열원 8.6℃, 지열원 15.2℃, 공기열원 7.2℃로 나타났으며, 냉방 시에는 수열원 32.2℃, 지열원 28.5℃, 공기열원 21.8℃로 나타났다. 지열원 히트펌프 시스템이 수열원 히트펌프 시스템 보다 안정적인 연중온도를 나타냈으나 성능에서는 비슷한 양상을 보인다. 이것은 지열원 히트펌프 시스템은 순환수를 사용하여 히트펌프 열원 측 출수온도가 지중온도에 영향을 지속적으로 미치는 간접 열교환방식이다. 하지만 수열원 히트펌프의 경우에는 원수를 이용한 직접 열교환방식으로 열원 측 출수온도에 영향을 받지 않기 때문에 이러한 결과가 도출되었다. 공기열원 히트펌프 시스템은 열교환된 순환수가 아닌 열원 자체의 온도를 이용하여 시스템을 가동하므로 타 열원의 히트펌프 열원 측 입수온도에 비해 낮게 나타났다.

히트펌프 COP는 수열원에서 평균 4.8, 지열원에서 4.7로 나타났으며, 공기열원에서는 3.1로 수열원, 지열원 히트펌프에 비해 약 27% 정도 낮게 나타났다. 이것은 열원수 온도 변화의 영향으로 판단되며, 수온이나 지중온도에 비해 공기온도가 계절적 변화가 큰 것에 기인한다. 또한 수열원 히트펌프 시스템 COP는 냉난방기간 각각 2.5와 3.8로 나타났으며, 지열원, 공기열원 히트펌프 시스템에서는 각각 2.6, 3.8과 1.7, 2.9로 나타났다. 히트펌

Fig. 5 Simulation result

프 COP를 비교하면 수열원 히트펌프 시스템이 지열원 히트펌프 시스템에 비해 우위에 있다. 하지만 시스템 COP는 반대되는 경향을 보인다. 이것은 순환펌프, 열교환기 등 시스템 구성요소의 차이로 인해 지열원 히트펌프 시스템 COP가 더 높은 것으로 나타났다.

SPF의 경우, 수열원 히트펌프는 냉방기간 3.8, 난방기간 2.5로 나타났다. 반면, 지열원 히트펌프 시스템은 냉방기간 3.8, 난방기간 2.6으로 나타났으며, 공기열원 히트펌프 시스템은 냉방기간 2.9, 난방기간 1.7로 나타났다. 전체 케이스에서 난방기간 중 히트펌프는 축열조의 설정온도를 맞추기 위해 작동을 실시하므로 비교적 안

정적인 성능을 나타내지만, 냉방기간 중 히트펌프는 직접 FCU에 순환수를 전달하여 실내온도를 유지하므로 난방기간에 비해 불안정한 성능을 나타냈다.

4. 결론

본 연구에서는 동적 에너지 시뮬레이션을 이용하여 부산지역의 대형오피스 건물을 대상으로 한 수열원, 지열원 및 공기열원 히트펌프의 열원 측 입수온도, 히트펌프와 시스템의 COP 그리고 SPF를 이용하여 각각 시스템의 성능을 비교, 분석을 실시하였다. 결론은 아래와 같다.

- (1) 열원 측 입수온도 분석 결과, 수열원에 비해 비교적 안정적인 열원온도를 이용하는 지열원 히트펌프 시스템이 난방기간 중 가장 높고, 냉방기간 중에는 공기열원 히트펌프 시스템이 가장 낮은 것으로 나타났다. 하지만 공기열원 히트펌프 시스템은 열원 측 입수온도라는 개념이 존재하지 않으므로, 열원 온도 자체를 그래프에 나타내었기 때문에 이러한 결과가 도출되었다.
- (2) COP 분석 결과, 수열원 히트펌프 시스템은 원수를 이용하는 직접 열교환 시스템이지만, 지열원 히트펌프 시스템은 순환수를 이용하는 간접 열교환 시스템이다. 따라서 수열원 히트펌프 COP에 비해 연속운전에 서 지열원 히트펌프 COP는 점차 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 공기열원 히트펌프 시스템은 수온이나 지중온도에 비해 난방기간 중 낮고, 냉방기간 중 높은 온도의 열원을 사용하므로, 타 열원을 이용하는 시스템에 비해 COP 및 SPF가 낮은 것을 확인할 수 있다.
- (3) 시스템의 종합성능 비교분석 결과, 수열원 히트펌프 시스템은 열원이 타 열원에 비해 풍부하고 순환수를 사용하지 않는 직접 열교환 방식을 통해 타 열원에 비해 안정적인 히트펌프 COP 및 시스템 COP를 나타낸다. 지열원 히트펌프 시스템은 열원의 온도가 타 열원에 비해 뛰어나 성능이 뛰어나지만 순환수를 이용하여 간접 열교환을 실시하기 때문에 지중온도의 변화를 야기하여 연속적인 운전에 따른 성능저하가 나타난다. 공기열원 히트펌프 시스템은 외기온도를 사용하여 비교적 안정적인 타열원에 비해 성능이 낮은 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 수열원, 지열원 및 공기열원 히트펌프 시스템은 열원의 이용방법, 열원의 종류, 히트펌프 운전 상황 그리고 시스템의 구성요소 등으로 인해 시스템의 성능이 크게 달라질 수 있음을 확인하였다. 그러나 실제 건물에 시스템을 적용하기 위해서는 시스템의 성능 분석뿐만 아니라 시스템의 경제성 분석이나 다양한 건물을 대상으로 한 연구 또는 장기적인 관점에서 효율의 저하 측면에 대한 연구가 필요하다. 따라서 추후 연구에서는 다양한 건축물의 규모와 용량에 대한 분석, 경제성을 위한 life cycle cost (LCC) 분석 및 장기운전에 대한 효율 저하에 대한 연구를 실시할 예정이다.

후기

이 논문은 2018년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2018R1D1A3A03001306). 또한 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수열 활용확대 기술 및 환경적합성 기술 개발 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RE202007044).

REFERENCES

1. Ministry of Economy And Finance, Press Release for 2050 Carbon Neutralization Strategy for the Transition to a Carbon Neutral Society, 2020.
2. Ministry of Environment, Press Release The future of Climate Response Green Industry is hydrothermal energy Building, 2020.
3. Jung, Y. J. and Lee, H. S., Energy and Environmental Investigation of River Source Heat Pump Systems, Conference Journal of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers, pp. 1-4, 2019.
4. Liu, Z., Tan, H., and Li, Z., Heating and Cooling Performances of River-Water Source Heat Pump System for Energy Station in Shanghai, 10th International Symposium on Heating, pp. 19-22, 2017.
5. Oh, S. H., Yun, R., and Cho, Y., Cooling and Heating Operation Characteristics of Raw_water Source Heat Pump and Air Source Heat Pump in Water Treatment Facility, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 386-291, 2013.
6. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Available online: <http://www.energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>
7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Conservation Design Criteria for Building, Asterisk 1, Heat Transmission Rate Table of Building By Region, 2017.
8. Hedrick, R. L. et al., Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2010.
9. Korea Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Design Criteria for Building Mechanical Equipment, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010.
10. White, J. W. et al., Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2004.
11. Korean Statistical Information Service. Available online: <http://kosis.kr>
12. Korean Meteorological Data Open Portal. Available online: <http://data.kma.go.kr>
13. Nam, Y. J. and Oh, J. H., Study on the Characteristic of Heat Exchange for Vertical Geothermal System using the Numerical Simulation, Journal of the Korean Solar Energy Society, Korea, Vol. 34, No. 2, pp. 66-72, 2014.
14. Climate Master. Available online: <https://www.climatemaster.com/>
15. Carrier. Available online: <http://www.carrier.co.kr/index.asp>