

# 운전조건에 따른 인증 지열 히트펌프 유닛 성능 수준 분석에 관한 연구

## Study on Performance Level Analysis of Certified Geothermal Heat Pump Units According to Operating Conditions

양찬우(Chang Woo Yang), 최종민(Jong Min Choi)\*<sup>†</sup>

국립한밭대학교 대학원 기계공학과 박사과정, \*국립한밭대학교 기계공학과 교수

*Ph.D. Candidate, Graduate School of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea*

*\*\*Professor, Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea*

### Abstract

This study analyzed in detail the performance of geothermal heat pump units certified by the Korea Energy Agency. A total of 108 geothermal heat pump units were certified. The average COPs at the ground loop condition in the cooling and heating modes represented higher value by 19.2% and 5.7% than the certified criteria in each mode, respectively. Under the ground water loop condition, the average COP for cooling and heating mode was 30.1% and 11.4% higher than the certification standard, respectively. Although research on heat pump cycle technology and performance improvement is continuously being conducted, the COP performance of certified heat pump products did not show a trend of improvement. Therefore, it is recommended to improved certification criteria in the cooling mode to develop and expand the distribution of more efficient heat pump unit products. All heat pump units with the highest ranking in the heating mode showed a greater decrease in the performance rankin in the cooling mode. In particular, the decrease in the performance ranking was greater in the ground water loop conditions than in the ground loop conditions. In order for geothermal heat pump unit to be operated in the excellent performance through the year, performance according to the change in ground temperature must be secured. It is urgent to improve the performance evaluation standards for geothermal heat pump units by developing and applying an annual performance index that consider the tempeature change and operation mode throughout the year.

**Key words:** Geothermal heat pump(지열 히트펌프), Performance rank(성능 순위), COP(성적계수), Certification(인증), Test standard(시험규격)

<sup>†</sup>Corresponding author

E-mail: [jmchoi@hanbat.ac.kr](mailto:jmchoi@hanbat.ac.kr)

접수일: 2024년 11월 10일; 심사일: 1차:2024년 11월 13일, 채택일: 2024년 11월 15일

## 1. 서 론

전 세계적으로 온실가스 감축을 통한 탄소중립 목표 달성을 위한 노력이 지속적으로 진행되고 있다. 탄소중립 추진을 위한 법제화를 마친 나라는 유럽연합(EU), 캐나다, 영국, 일본 및 우리나라 등을 포함하여 14개 국가이다. 유엔기후변화협약에서 주요국가들이 ‘탄소중립’목표를 위해 노력하고 있다. 2020년 12월에 우리나라는 탄소중립목표를 선언하였으며 파리협정에 따라 “2030 국가온실가스감축목표”와 “2050 장기저탄소발전전략”을 2020년 12월 30일 유엔기후협약사무국에 제출하였다. 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상을 동시에 달성하는 것을 목표로 설정하였다[1, 2]. 탄소 중립 목표 달성을 위해 세계적으로 재생에너지

설비에 대한 투자는 지속적으로 증가하고 있으며, 2020년에는 그 규모가 3,590억 달러에 달했다. 이는 전년 대비 6.9% 증가한 것이며 전력 부문 전체 투자에서 재생에너지가 차지하는 비중이 46.1%에 이르렀다. 또한, 건물 에너지 효율 향상을 위한 투자도 꾸준히 증가하고 있으며, 2019년 1,600억 달러에서 2020년 1,800억 달러로 11% 증가하였다. 특히, 2020년에는 건물 에너지 부문의 히트펌프 사용량 증가에 대응하여 약 200억 달러 규모의 투자가 이루어졌다[3].

건물부문에서 온실가스 배출량의 많은 부분을 담당함에 따라 건물부문에서의 온실가스 저감을 위한 노력이 경주되고 있으며, 건물 부문의 에너지 효율화 정책의 중요성이 증대하고 있다. 2020년 기준 건축물의 에너지 소비량은 33,187,000 TOE이며, 국가 이산화탄소 배출량의 약 7%(간접배출 포함 24%)를 담당하고 있다. 에너지원별 건축물 에너지 사용 비중은 난방온수는 31.2%, 냉방 23.1%, 동력 5.4%, 조명 11.5%, 기타 28.8%로 냉방 및 난방을 위한 에너지 사용 비중이 매우 높게 나타났다. 국내에서는 건물 부문에서의 온실가스 배출량이 지속적으로 증가함에 따라 공공기관 신재생에너지 의무공급 비율 상향 조정 등 다양한 정책을 시행하고 있다. 특히, 지열 히트펌프 시스템은 건축물의 에너지효율 향상, 고효율 기기 보급과 연계되어 있으며, 현존하는 최고 효율의 에너지 시스템으로 탄소중립에 기여할 수 있는 매우 유용한 재생에너지원으로 알려져있다. 국내에서는 국가에너지 절약 및 탄소중립 목표 달성을 위하여 정부주도 하에 건물지원 사업 등의 정부 보조금 지원을 받아 지열 히트펌프 시스템이 설계 및 시공되었다[4-6]. 또한, 건물부문의 온실가스 감축을 위해 제로에너지빌딩(ZEB: Zero Energy Building)의 의무화 범위가 확대되고 있으며, 신·재생에너지 분야의 보급 확대가 가능한 지열 및 수열에너지 설비의 보급 확대 정책이 진행되고 있다.

특히, 국내에 가장 많이 보급되어온 대표적인 재생에너지인 지열 히트펌프 시스템은 성능이 우수한 제품 공급을 위해 KS B 8292-8294에 따른 최소 성능을 만족하는 인증받은 히트펌프 유닛을 설치하도록 규정하고 있다. 현재 국내 지열 히트펌프 유닛은 지중열교환기 형식과 운전 모드에 따른 정격 조건에서의 최소 성능계수(Coefficient of Performance: COP) 이상의 제품을 보급하도록 하고 있다[6-11]. 하지만, 인증 받은 지열 히트펌프 유닛의 운전 조건 변화에 따른 성능 수준에 대한 분석 성과는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 2015년부터 2023년까지 한국에너지공단에 등록된 인증받은 지열 히트펌프 유닛의 인증 현황과 운전 조건 변화에 따른 성능 수준 등을 상세히 분석하고, 이에 대한 적절성과 관련 규격에 대한 분석을 진행하고자 한다. 이를 통해 지열 히트펌프 유닛 선정 방안과 성능 평가 규격의 개선 방향에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 지열 히트펌프 유닛의 인증 현황

국내 정부 주도하에 2011년부터 시행된 ‘공공기관 신재생에너지 설치의무화제도’에 따라 공공건축물에는 신재생에너지를 일정비율 의무적으로 보급 및 설치가 진행되었다. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」과 관련하여 지열에너지 설비는 지열 히트펌프 시스템이 보급되고 있으며, 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침」에 따라 설계 및 시공되고 있다. 지열 히트펌프 시스템의 핵심 기기인 지열 히트펌프 유닛은 KS B 8292-8294 규격에 따라 성능 인증 제도가 시행되고 있다. 해당 규격과 지침에 따라 최소성능기준을 만족한 히트펌프 유닛만이 신·재생에너지 설비로 인증되고 있다[7-11].

본 연구에서는 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침」에 따라 2015년부터 2023년까지 한국에너지공단에 등록된 지열 히트펌프 유닛 인증 제품에 대한 현황을 분석하였다.

Fig. 1은 2015년부터 2023년까지 KS규격 조건에 따라 인증받은 지열 히트펌프 유닛의 연도별 인증 제품수 현황을 나타낸다. 지열 히트펌프 유닛은 물대물, 물대공기, 물대공기 멀티 유닛이 있으나, 해당 기간에 인증받은 열펌프 유닛은 모두 물대물 히트펌프 유닛이다. 총 108개의 지열 히트펌프 유닛이 인증 받았으며, 관련 KS 규격은 KS B 8292 규격[9]이다. 2015년에 가장 많은 25개의 히트펌프가 인증을 받았으며, 신규 인증 제품 개수가 연도별로 감소하는 추세를 나타냈다. 2015년 이전에는 일부 물대공기와 물대공기 멀티 히트펌프

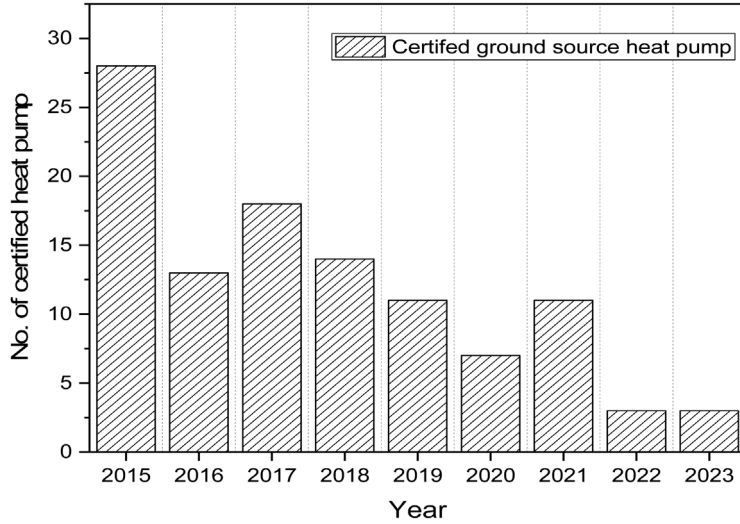


Fig. 1. The number of the certified heat pump units with the variation of year.

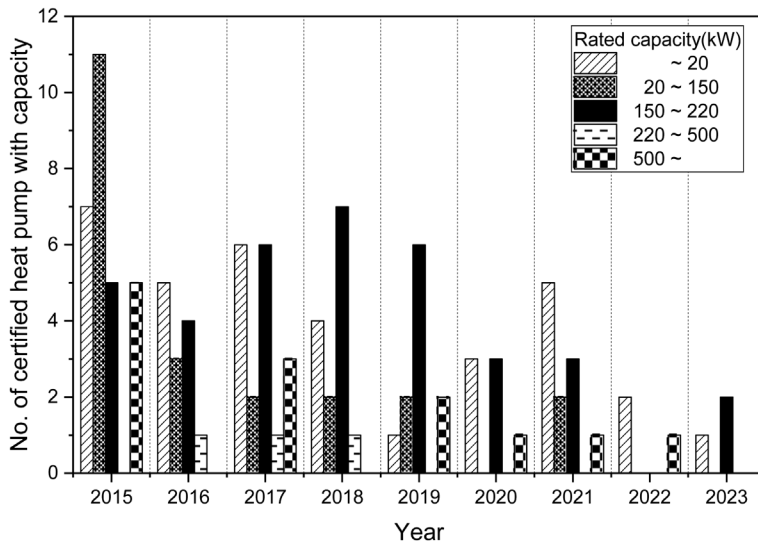


Fig. 2. The number of the certified heat pump units for rated capacity with the variation of year.

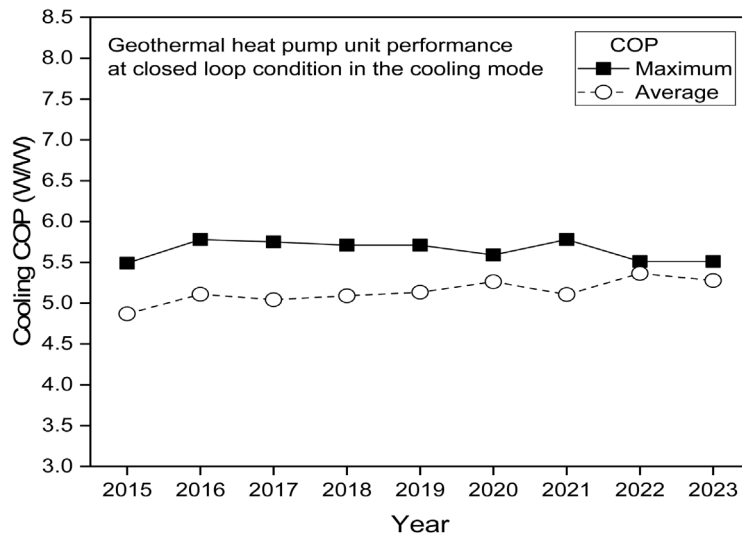
유닛이 인증을 받았으나[12] 2015년 이후에는 물대물 히트펌프만이 인증을 받은 것은 지열시스템의 대용량화 등에 따른 물대공기 시스템의 용량 제한 때문인 것으로 분석된다. Fig. 2는 연도에 따른 지열 히트펌프 유닛의 용량별 인증제품수 현황을 나타낸다. 20 kW 이하 용량의 히트펌프가 가장 많은 인증을 받았다. 20 kW 이하 용량의 제품은 주택용 보급을 위한 소용량 시스템으로 정부의 주택보급지원사업에 의한 별도 예산 지원 사업으로 보급이 급속히 확대되면서 많은 기업이 해당 용량의 히트펌프 제품에 대한 인증을 받은 것으로 분석된다. 다음으로 150 kW에서 220 kW의 용량대 히트펌프 제품이 36대로 가장 많은 인증을 받았으며, 연도별로 특별한 경향성을 나타내지는 않았다.

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 냉방모드에서 지중루프와 지하수루프 시험 조건에서의 연도별 인증받은 히트펌프 유닛의 냉방 COP 변화를 나타낸다. Table 1은 지중루프(밀폐형) 및 지하수루프(개방형) 시스템에 대한 냉난방 모드에서의 물대물 및 물대공기 지열 열펌프 유닛의 운전조건과 COP 인증 기준을 나타낸다. 물대물 지열 히트펌프 유닛의 냉방 성능 시험 조건은 부하측 입수온도(EWT, Entering water temperature) 12°C, 지중루프 시스템과 지하수루프 시스템의 지중 열원측 입수온도는 각각 25°C와 15°C이다. 난방 성능 시험 조건은 부하측 입수온도(EWT, Entering water temperature) 40°C, 지중루프 시스템과 지하수루프 시스템의 지중 열원측 입수온도는 각각 5°C와 10°C이다.

냉방모드 지중루프 조건에서의 인증 받은 모든 지열 히트펌프 유닛 제품의 평균 냉방 COP는 5.14, 연도별 최고 COP 제품의 평균 COP 값은 5.65를 나타내어 해당 조건의 인증 COP 기준보다 각각 19.2%와 31.0% 높은 값을 나타냈다. 냉방모드 지중루프 조건에서의 연도별 인증 제품의 최소 COP는 4.41~5.23을 나타냈으며, 최소 성능을 나타낸 제품의 COP는 4.41로 인증기준대비 2.3% 높은 값을 나타냈다. 연도별로 제품의 COP 값은 특별한 경향성을 나타내지는 않았다. 냉방모드 지하수루프 조건에서의 인증받은 지열 히트펌프 유닛 모든 제품의 평균 냉방 COP와 연도별 최고 성능을 나타낸 제품의 COP 평균값은 각각 6.56과 7.52로 지중루프 시스템의 냉방 COP 값보다 모두 높게 나타났다. 이는 냉방모드에서 히트펌프 유닛의 열원온도가 25°C에서 15°C로 감소함에 따라 동일 히트펌프 유닛에 대해 응축기와 지중열원 유입 온도와의 온도 차이

**Table 1.** Test condition and certification criteria(KS B 8292)

| Ground loop | Operating mode | Test condition (°C) |           |            | Minimum required COP for certification |
|-------------|----------------|---------------------|-----------|------------|--|
|             |                | Heat source side    | Load side |            |  |
|             |                |                     | Water     | Air(DB/WB) |  |
| Closed loop | Cooling mode   | 25                  | 12        | 27/19      | 4.31                                   |
|             | Heating mode   | 5                   | 40        | 20/15      | 3.62                                   |
| Open loop   | Cooling mode   | 15                  | 12        | 27/19      | 5.04                                   |
|             | Heating mode   | 10                  | 40        | 20/15      | 3.78                                   |



**Fig. 3.** Cooling COP at the closed loop conditions with the variation of year.

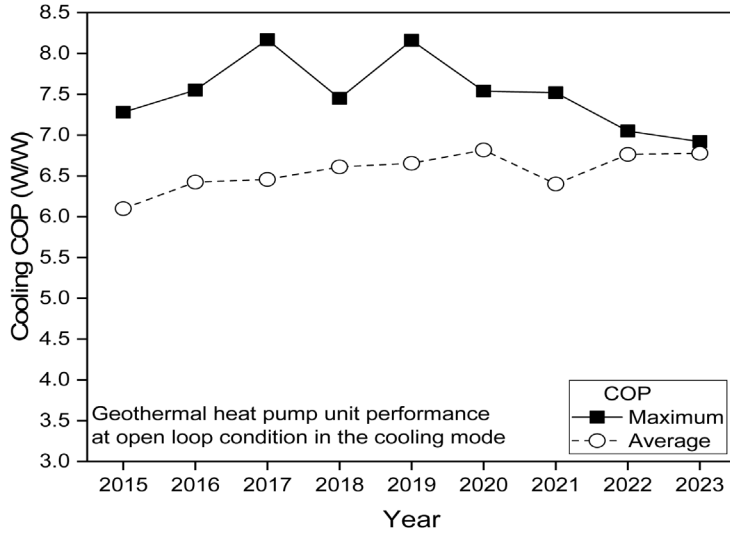


Fig. 4. Cooling COP at the open loop conditions with the variation of year.

증가로 응축압력 감소에 의한 소비전력 저감과 냉매와 열원수와의 열전달량 증가에 의한 것으로 분석된다. 제품의 평균 COP는 인증기준대비 30.1% 높은 값을 나타냈다. 지하수루프 조건에서 인증받은 히트펌프 유닛 제품의 최소 COP는 5.26으로 인증기준 대비 4.37% 높은 값을 나타내어 지중루프 시스템보다 상대적으로 인증기준대비 높은 COP 값을 나타냈다. 냉방모드에서 지중루프 조건과 지하수루프 각각의 조건에서 최대 성능과 최소 성능의 제품간의 COP 차이는 각각 1.37과 2.91로 지중루프 조건에서 차이가 크게 나타났다.

Fig. 5와 Fig. 6은 난방모드에서 지중루프와 지하수루프 성능 시험 조건에서의 연도별 난방 COP 변화를 나타낸다. 난방모드에서 지중루프 시스템의 연도별 최고 COP 제품의 평균값은 4.07로 인증기준 대비 12.5% 높은 값을 나타냈으며, 모든 제품의 평균 COP는 3.83으로 인증기준대비 5.7% 높은 값을 나타냈다. 최소 성능

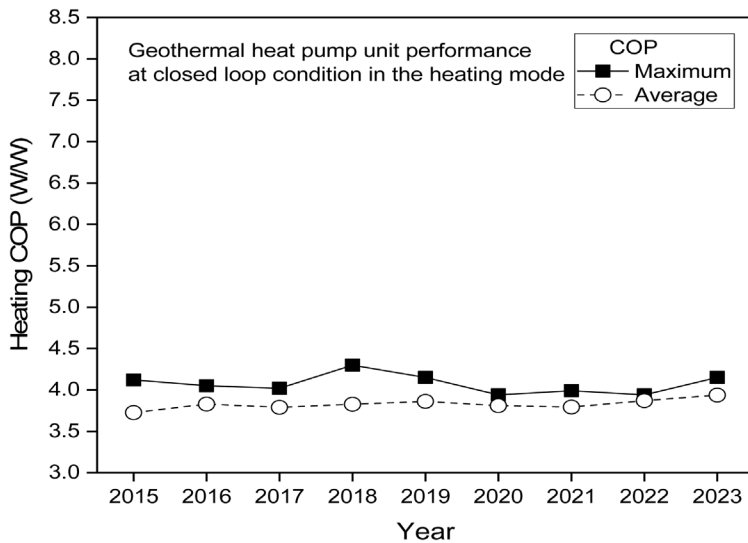


Fig. 5. Heating COP at the closed loop conditions with the variation of year.

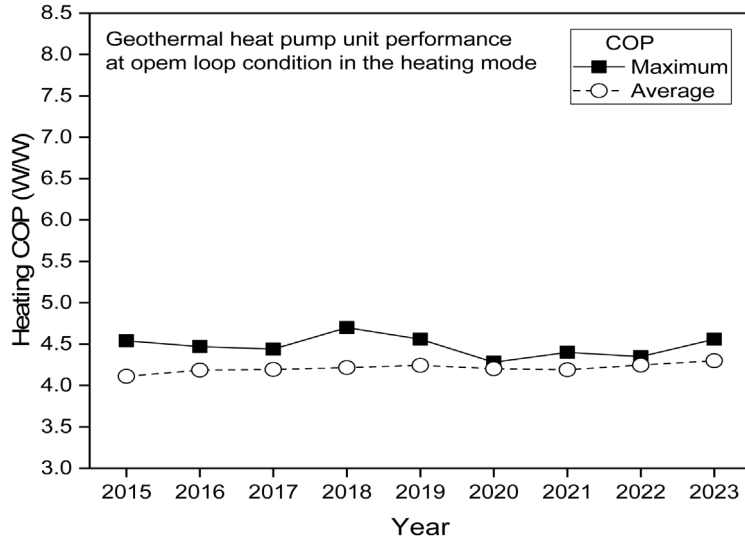


Fig. 6. Heating COP at the open loop conditions with the variation of year.

제품의 COP는 3.63으로 인증기준대비 0.3% 높은 값을 나타냈다. 난방모드 지하수루프 조건에서 연도별 최고 성능 제품의 평균 COP는 4.48을 나타내어 난방모드 지중루프 시스템보다 9.9% 높은 값을 나타냈으며, 모든 제품의 평균 COP는 4.21로 지중루프 COP보다 10.0% 보다 높은 값을 나타내었다. 지하수루프조건에서의 히트펌프 유닛이 지중루프조건에서보다 높은 COP를 나타낸 것은 부하측 히트펌프 유입온도는 40°C로 동일하지만 열원측 수온이 5°C에서 10°C로 증가하였기 때문이다. 난방모드에서 열원측 수온이 증가함에 따라 히트펌프 증발기에서 열원인 지중순환수와 냉매와의 온도차이 증가로 증발압력 및 응축압력이 상승하고 증발압력의 상승폭이 응축압력 상승폭보다 증가한다. 이로 인해 부하측 열교환기(응축기)에서의 냉매와 순환수와 온도차이 증가로 인한 열전달량이 증가하고, 압축비가 감소하기 때문에 COP가 증가한 것으로

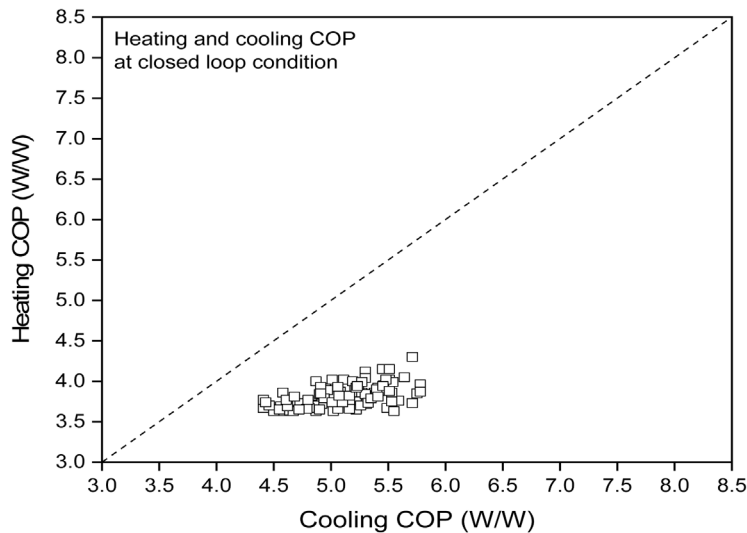


Fig. 7. Cooling COP and heating COP of closed loop systems.

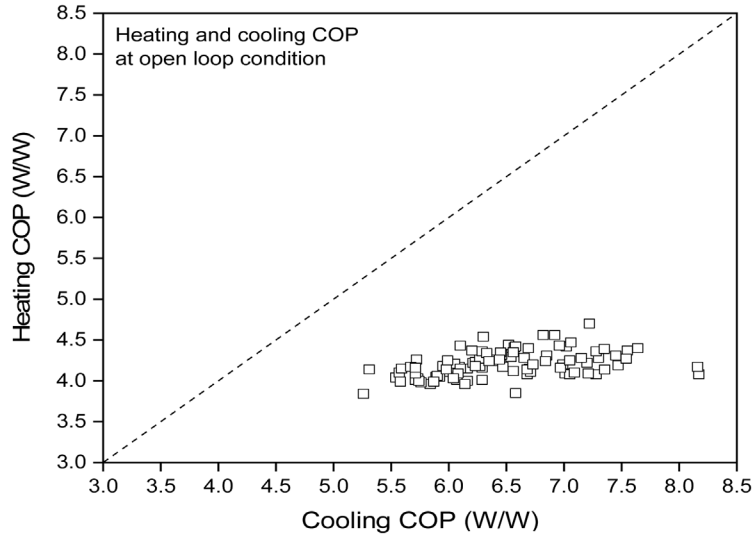


Fig. 8. Cooling COP and heating COP of open loop systems.

분석된다.

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 지중루프 조건과 지하수루프 조건에서 동일 제품에 대한 난방 COP와 냉방 COP 성능 현황을 나타낸다. 모든 지중루프 조건에 대해 냉방 COP가 난방 COP 보다 높은 값을 나타냈다. 이는 난방모드에서 열원과 부하측 입구 수온의 차이가 커서 히트펌프 유닛의 압축비가 증가하고, 열교환기에서의 비가역성이 증가하였기 때문인 것으로 분석된다. 지중루프 조건에서 인증 제품의 냉방 및 난방 평균 COP는 각각 인증기준대비 19.2%와 5.7% 높은 값을 나타냈으며, 지하수루프 조건에서 인증제품의 냉방 및 난방 평균 COP는 각각 인증기준대비 30.1%와 11.4% 높은 값을 나타냈다. 각 운전모드 및 조건에서 최소 COP를 나타낸 제품의 COP도 인증기준대비 냉방모드에서의 COP 값이 난방모드에서의 COP 값보다 크게 나타났다. 하지만, 연차별로 새로운 히트펌프 사이클 기술과 성능 향상되고 있으나, 히트펌프 COP의 상승 경향성은 나타나지 않았다. 따라서, 보다 효율이 높은 히트펌프 유닛 제품 개발 및 보급 확대를 위해 냉방모드에서의 인증기준을 상대적으로 상향하는 것이 필요하다고 분석된다.

### 3. 지열 히트펌프 유닛의 온도 조건별 성능 현황

국내 지열 히트펌프 유닛은 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침」 [8]에서 규정한 KS 규격에서 제시된 인증 기준 이상을 만족한 제품을 설치하도록 하고 있다[8-11]. 지열 히트펌프 시스템의 핵심기기인 히트펌프 유닛의 COP가 증가할 경우 지열 히트펌프 시스템의 성능 향상과 지중열교환기 설치 용량 감소로 시공비 저감 및 운전비용 감소와 에너지 소모량 저감을 이룰 수 있다[13].

Fig. 9는 냉방모드 및 지중루프 조건인 열원온도 25°C, 부하측 입구 수온 12°C 조건에서 가장 높은 COP를 나타낸 상위 3개 지열 히트펌프 유닛에 대한 냉방모드 지하수 루프 조건과 난방 모드에서의 인증받은 히트펌프 유닛에 대한 COP 순위를 나타낸다. 동일한 냉방모드에서 지중열원온도가 25°C(지중루프)에서 15°C(지하수루프)로 변경된 경우 1, 2, 3순위 제품의 COP 순위는 8위, 107위, 17위로 성능 순위가 낮게 나타났다. 지중루프 냉방조건에서 2015년부터 2023년까지 인증받은 지열 히트펌프 유닛의 평균 COP는 5.14이며, 1순위 제품의 COP는 5.78로 평균 COP 대비 12.5% 높은 COP 값을 나타냈다. 하지만, 냉방모드

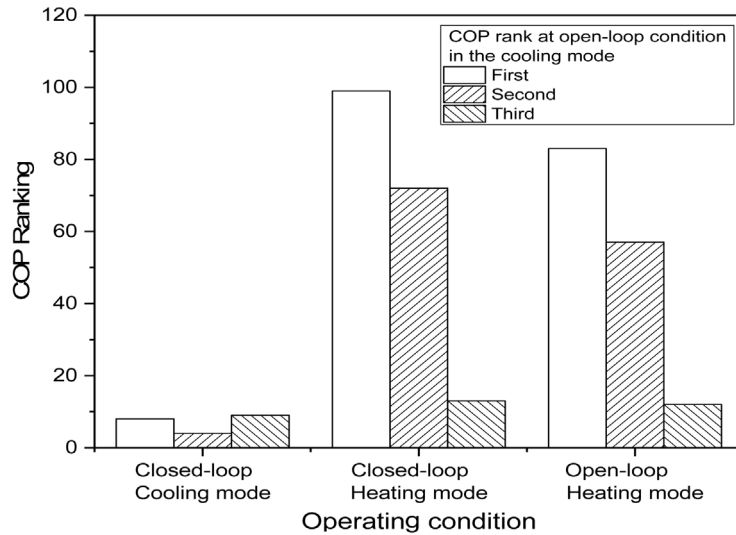


Fig. 9. Change in COP ranking according to operating condition of higher COP products at closed loop condition in the cooling mode.

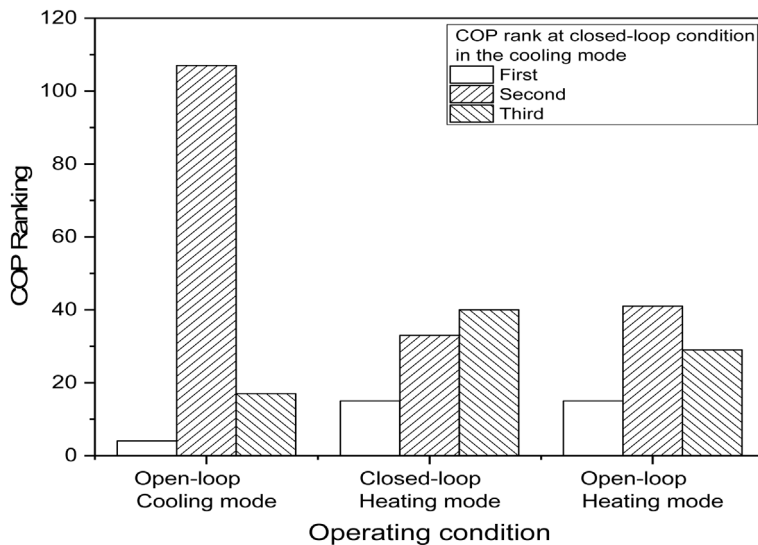


Fig. 10. Change in COP ranking according to operating condition of higher COP products at open loop condition in the cooling mode.

지하수루프 조건에서 열원 온도가 하강한 경우에 COP는 7.55로 상승하였으나, 해당 조건에서 최대 COP를 나타낸 제품의 COP 8.17보다는 7.6% 낮은 값을 나타냈다. 냉방모드 지중루프 조건에서 3위의 높은 COP를 나타낸 제품은 냉방모드 지하수 루프 조건에서 17위의 COP 수준을 나타냈다. 냉방 지중루프조건에서 2순위를 나타낸 제품은 냉방 지하수루프 조건에서의 COP는 7.15로 평균 냉방 COP인 6.56보다도 낮은 4.89를 나타내어 107위의 COP 순위를 나타냈다. 냉방 지중루프 조건에서 1순위와 2순위의 높은 냉방 COP를



**Table 2.** COP rank of certified heat pump unit according to operating condition

| Operating mode | Ground loop type | Highest rank of the product (COP) | COP reduction rate(%) compared to the highest COP |                           |                            |                           |
|----------------|------------------|-----------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                |                  |                                   | Closed loop in cooling mode                       | Open loop in cooling mode | Close loop in heating mode | Open loop in heating mode |
| Cooling        | Closed           | 1 (5.78)                          | -   | 7.6                       | 7.9                        | 7.0                       |
|                |                  | 2 (5.77)                          | -   | 40.1                      | 10.0                       | 10.1                      |
|                |                  | 3 (5.75)                          | -   | 12.5                      | 10.5                       | 9.0                       |
|                | Open             | 1 (8.17)                          | 4.0   | -                         | 15.6                       | 13.2                      |
|                |                  | 2 (8.16)                          | 1.2   | -                         | 13.3                       | 11.3                      |
|                |                  | 3 (7.64)                          | 4.2   | -                         | 7.2                        | 6.4                       |
| Heating        | Closed           | 1 (4.3)                           | 1.2   | 11.6                      | -                          | 0                         |
|                |                  | 2 (4.15)                          | 4.7   | 15.3                      | -                          | 3.0                       |
|                |                  | 3 (4.12)                          | 5.7   | 16.5                      | -                          | 3.0                       |
|                | Open             | 1 (4.70)                          | 1.2   | 11.6                      | 0                          | -                         |
|                |                  | 2 (4.56)                          | 4.7   | 15.3                      | 3.5                        | -                         |
|                |                  | 3 (4.55)                          | 5.7   | 16.5                      | 4.2                        | -                         |

나타낸 제품은 난방 지중루프 조건에서의 성능 순위는 모두 15순위와 33순위를 나타냈고, 난방 지하수루프 조건에서의 성능 순위는 각각 15순위와 41순위를 나타냈다. 냉방 지중루프 조건에서 1~3순위의 우수한 성능을 나타낸 제품의 성능은 난방 운전모드로 바뀐 경우 난방 운전모드에서의 최대 COP 대비 7.0~10.5% 성능이 저하되었다(Table 2).

Fig. 10은 냉방모드 지하수 루프 조건에서 COP 8.17, 8.16, 7.64를 나타낸 상위 1, 2, 3위의 COP 제품의 냉방모드 지중루프와 난방모드에서의 성능 순위를 나타낸다. 냉방모드 지하수루프 조건에서 1, 2, 3 순위 제품은 냉방 모드 지중루프 조건에서는 각각 8위, 4위, 9위의 성능 수준을 나타냈다. 냉방모드 지하수루프 조건에서 1순위 COP를 나타낸 제품은 난방 지중루프와 지하수루프 조건에서는 각각 99위와 83위로 COP 수준이 크게 저하되었다. 해당 조건에서 모든 제품의 평균 COP인 3.83과 4.21보다 낮은 3.63과 4.08의 값을 나타냈다. 냉방모드 지하수루프 조건에서 3순위의 COP 성능을 가진 제품은 난방 지중루프와 지하수 루프 조건에서 각각 13위와 12위로 비교적 상위 COP 수준을 나타냈으며, 각 조건에서의 COP는 3.99와 4.40으로 해당 조건에서의 평균 COP 값보다 높게 나타났다. 냉방 조건에서 최대 COP를 나타낸 제품이 난방모드로의 운전모드 변화시의 성능 저하가 크게 나타난 것으로 분석되었으며, 난방모드에서 최대 COP를 나타낸 제품대비 6.4~15.6% 낮은 COP 성능을 나타냈다.

Fig. 11은 난방모드 지중루프 조건에서의 상위 1, 2, 3 순위 COP를 나타낸 제품의 냉방모드와 난방모드 지하수 루프 조건에서의 COP 순위를 나타낸다. 난방모드 지중루프 조건에서 상위 1, 2, 3 순위의 COP를 나타낸 제품은 난방모드 지하수 루프 조건에서도 1, 2, 3 위 of COP를 나타내며 동일하게 우수한 성능을 나타냈다. 해당 1, 2, 3 순위 제품은 난방모드 지중루프와 지하수 루프에서의 모든 제품의 평균 COP 3.83과 4.21 대비 9.0~13.2%의 높은 COP값을 나타냈으며, 각각의 조건에서의 인증기준 3.62, 3.78 대비 14.6~24.3% 높은 COP 값을 나타냈다. 난방모드에서 1, 2, 3 순위의 제품은 냉방모드에서는 4~31위의 순위를 나타내어 냉방모드에서의 성능 저하가 크게 나타났으며, 냉방모드에서 최대 COP를 나타낸 제품의 COP 대비 1.2~16.5% COP 값이 낮은 값을 나타냈다. Fig. 12는 난방모드 지하수루프 조건에서의 상위 1, 2, 3 순위 COP를 갖는 제품의 냉방모드와 지중루프 조건에서의 COP 순위를 나타낸다. 난방모드 지중루프 조건에서의 우수

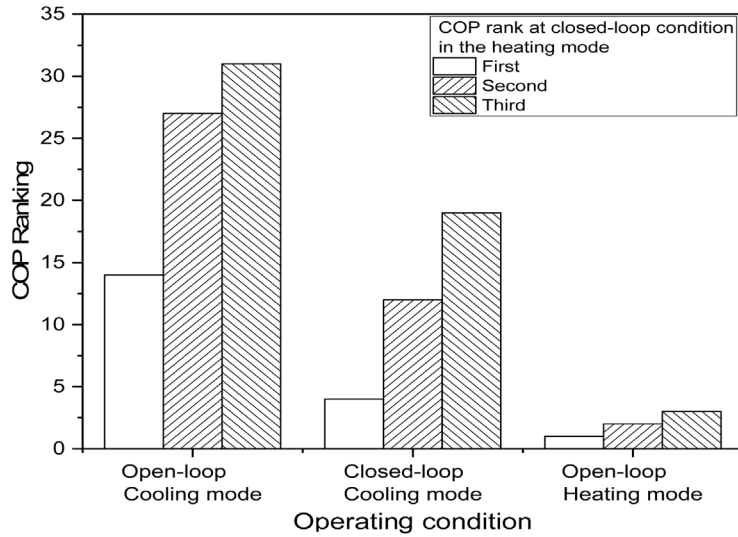


Fig. 11. Change in COP ranking according to operating condition of higher COP products at closed loop condition in the heating mode.

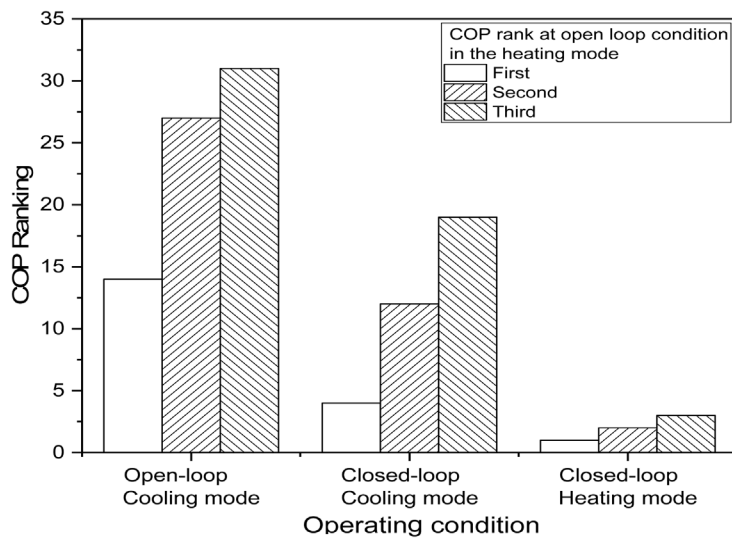


Fig. 12. Change in COP ranking according to operating condition of higher COP products at open loop condition in the heating mode.

성능을 나타낸 동일 제품으로 냉방모드에서의 COP 순위 저하가 크게 나타났다. 특히, 냉방모드 지중루프 시스템보다는 냉방모드 지하수루프에서의 성능 순위 저하가 크게 나타났다. 난방모드 지하수루프 조건에서 1, 2, 3 순위의 높은 COP를 나타낸 히트펌프 제품은 냉방모드 지중루프와 지하수루프 조건에서 최대 COP를 나타낸 제품의 COP 대비 각각 1.2~5.7%와 11.6%~16.5%의 COP 성능저하가 발생하였다.

냉방모드에서 상위 순위의 COP를 나타낸 제품은 냉방모드에서의 지중루프 또는 지하수루프 조건으로의

변환시 성능 순위 저하보다 난방 모드에서의 성능 순위 저하 및 최대 COP 제품의 COP 대비 COP 저하가 크게 나타났다. 난방모드에서 상위순위 제품은 모두 냉방모드에서의 순위 저하가 크게 나타났으며, 특히 지중루프 조건보다는 지하수루프 조건에서 순위 저하가 크게 나타났다.

지열 히트펌프 시스템은 일반적으로 하절기에 지중으로 열을 지속적으로 방출함에 따라 지중온도가 상승하여 지중열교환기를 통해 히트펌프 유닛으로 유입되는 지중순환수의 온도가 상승한다. 동절기에는 지중으로부터 지속적으로 열을 흡수함에 따라 히트펌프 유닛으로 유입되는 지중순환수의 온도가 하강한다[13-16]. 따라서, 지열 히트펌프 시스템은 연중 냉난방 운전 중에 지중온도의 변화로 인하여 히트펌프로 유입되는 지중열원인 지중순환수의 온도가 지속적으로 상승 또는 하강한다. 따라서, 지열 히트펌프 유닛이 연중 우수한 성능을 나타내기 위해서는 지중온도 변화에 따른 성능이 확보되어야 한다. 히트펌프 유닛에 대한 에너지 소비효율을 나타내는 변수로 지금까지는 EER(Energy Efficiency Ratio), COP(Coefficient of performance)를 사용하여 정격 또는 최대, 최소 부하에 대한 에너지 효율 지표로 사용되어 왔다. 하지만, 최근 고효율의 히트펌프 유닛 개발과 함께 지역별 연중 부하 및 열원 조건의 변화에 따른 히트펌프 유닛 제품의 연간 성능을 평가하여 연중 히트펌프 유닛의 성능을 확보하기 위한 노력이 진행되어 왔다. 대표적으로 APF(Annual Performance Factor), SPF(Seasonal Performance Factor), SEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio), HSPF(Heating Seasonal Performance Factor), IPLV(Integrated Part Load Value) 등은 연간 또는 계절별 효율을 나타내는 지표이다[17]. 국내에서는 지열 히트펌프 유닛과 관련해서 현재의 KS B 8292-8294에서 지중열교환기의 형태와 운전모드에 대해 정격 조건에서의 COP에 대한 최소 인증 COP규격을 제시하여 지열 히트펌프 유닛의 성능을 확보하고 있다. 하지만, 개별 지중열교환기 형태와 운전모드에 따라 최고 성능을 나타낸 히트펌프 유닛은 지중열교환기 형태와 운전모드가 변화됨에 따라 성능 수준이 변화되었다. 특히, 냉방 및 난방 운전모드에 따른 지열 히트펌프 유닛의 성능 수준은 크게 변화되었다. 지열 히트펌프 시스템은 연간 운전 시에 동일 냉방 또는 난방 운전모드에서도 열원의 온도가 변화되며, 운전모드가 변화됨에 따라 지중온도는 지속적으로 상승 또는 하강한다. 현재 탄소 중립 목표 달성은 중요한 국가 현안이며, 간접배출 포함 국가 탄소 배출량의 24%를 차지하고 있는 건물부문에서의 에너지 절감은 필수적으로 달성하여야 한다. 이를 위해 2030년 건물부문에서 가정 및 상업용 건축물에 대해서는 32.7%, 공공 및 기타 부분에서는 25.2%의 온실가스 감축 목표를 설정하고 있다[18]. 이를 위해서 제로에너지 빌딩 등에서는 지열 히트펌프 시스템과 수열에너지 히트펌프 시스템을 필수 설비로 보급하고자 하고 있다. 수열에너지 히트펌프 시스템도 인증 받은 지열 히트펌프 유닛을 보급하도록 의무화하고 있다. 신·재생에너지로서 수열에너지 히트펌프 시스템에 적용되기 위한 해수 및 하천수는 하절기에는 19°C~28°C, 동절기에는 3°C~12°C의 운전범위를 갖는 것으로 보고되고 있으며[19], 이는 현재 지열 히트펌프 유닛의 열원 온도 조건보다 넓은 폭을 가지고 있다. 따라서, 지열 히트펌프 시스템과 수열에너지 히트펌프 시스템에 적용되고 있는 KS B 8292~8294 규격은 연중 온도 변화와 운전모드를 고려한 연간 성능 지표 개발 및 적용이 시급히 요구되고 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 2015년부터 2023년까지 한국에너지공단에 등록된 지열 히트펌프 유닛의 연도별 인증 현황과 운전 조건 변화에 따른 성능 수준 등을 상세히 분석하였다. 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침」에 따라 인증받은 지열 히트펌프 유닛은 총 108대이며, 모두 물대물 히트펌프 유닛이다.

지중루프 조건에서 인증 제품의 냉방 및 난방 평균 COP는 각각 인증기준대비 19.2%와 5.7% 높은 값을 나타냈으며, 지하수루프 조건에서 인증제품의 냉방 및 난방 평균 COP는 각각 인증기준대비 30.1%와 11.4% 높은 값을 나타냈다. 상대적으로 인증기준대비 냉방모드에서의 성능이 난방모드에서의 성능보다 우수하게 나타났다. 하지만, 지속적으로 히트펌프 사이클 기술과 성능 향상에 관한 연구가 진행되고 있지만, 연차별로

인증받은 히트펌프 제품의 COP 성능이 향상되는 경향을 나타내지는 않았다. 따라서, 보다 효율이 높은 히트펌프 유닛 제품 개발 및 보급 확대를 위해 냉방모드에서의 인증기준을 상대적으로 상향하는 것이 필요하다고 분석된다.

냉방모드에서 상위 순위의 COP를 나타낸 제품의 냉방모드에서의 지중루프 또는 지하수루프 조건으로의 변화시 성능 순위 저하보다 난방 모드에서의 성능 순위 저하가 크게 나타났다. 난방모드에서 상위순위 제품은 모두 냉방모드에서의 순위 저하가 크게 나타났으며, 특히 지중루프 조건보다는 지하수루프 조건에서 순위 저하가 크게 나타났다.

지열 히트펌프 시스템은 연중 냉난방 운전 중에 지중열경화로 인해 히트펌프 유닛으로 유입되는 지중열원인 지중순환수의 온도가 지속적으로 상승 또는 하강한다. 따라서, 지열 히트펌프 유닛이 연중 우수한 성능을 나타내기 위해서는 지중온도 변화에 따른 성능이 확보되어야한다. 국내에서는 지열 히트펌프 유닛과 관련해서 현재의 KS B 8292-8294에서 지중열교환기의 형태와 운전모드에 대해 정격 조건에서의 COP에 대한 최소 인증 COP 기준을 제시하여 지열 히트펌프 유닛의 성능을 확보하고 있다. 하지만, 개별 지중열교환기 형태와 운전모드에 따라 최고 성능을 나타낸 히트펌프 유닛은 지중열교환기 형태와 운전모드가 변화됨에 따라 성능 수준이 변화되었다. 특히, 냉방 및 난방 운전모드의 변화에 따라 지열 히트펌프 유닛의 성능 수준은 크게 변화되었다. 따라서, 지열 히트펌프 유닛에 대한 성능 평가 규격은 연중 온도 변화와 운전모드를 고려한 연간 성능 지표를 개발 및 적용하여 개선하는 것이 시급히 요구되고 있다.

## 후 기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2022R1A2C2006469).

## References

1. Korea Government, 2022, National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea 2022, National Report, Korea.
2. 2050 Presidential commission on Carbon Neutral and Green Growth, 2030 Nationally Determined Contribution (NDC), <https://www.2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=59&menuLevel=2&menuNo=109>, Ministry of Environment, Accessed on November 8, 2024.
3. IEA, World Energy Investment 2021, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, IEA, 2021.
4. Jo, I. H., and Park, J. S., 2022, A Study on Barrier Analysis and Policy Design for Renewable Heat Deployment, Korea Energy Economics Institute.
5. KOSIS National Statistical Portal, Energy usage statistics table, <https://kosis.kr/search/search.do?query=%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%C2%A0%EC%82%AC%EC%9A%A9%EB%9F%89>, KOSIS National Statistical Portal, Accessed on November 8, 2024.
6. MOTIE, 2018, Standards of support, installation, and management for new and renewable energy system, Report of Korea Ministry of Trade, Industry and Energy Announcement, 2018-1, Korea.
7. Ministry of Government Legislation, 2021, Act on promotion of development, use and distribution of new and renewable energy, Law No. 18095, Korea Ministry of Government Legislation.
8. KEA, 2022, Guidelines for support and etc. of new and renewable energy facilities, Announcement No. 2022-9, Korea Energy Agency, New & Renewable Energy Center.
9. KATS, 2015, Water-to-water ground source heat pump unit; KS B 8292, Korea Agency for Technology and Standards(KATS), Chungcheongbuk-do, Korea.
10. KATS, 2016, Water-to-air ground source heat pump unit; KS B 8293, Korea Agency for Technology and Standards(KATS), Chungcheongbuk-do, Korea.
11. KATS, 2016, Water-to-air ground source multi-heat pump unit; KS B 8294, Korea Agency for Technology and

Standards(KATS), Chungcheongbuk-do, Korea.

12. Aikins, K. A., and Choi, J. M., 2012, Current status of the performance of GSHP(Ground source heat pump) units in the Republic of Korea, *Energy*, Vol. 47, pp. 77-82.
13. Mensah, K., Jang, Y., and Choi, J. M., 2017, Assessment of design strategies in a ground source heat pump system, *Energy and Buildings*, Vol. 138, pp. 301-308.
14. Choi, J. M., Park, Y., and Kang, S., 2013, Heating performance verification of a ground source heat pump system with U-tube and double tube type GLHEs, *Renewable Energy*, Vol. 54, pp. 32-39.
15. Bae, S. M., Nam, Y., Choi, J. M., Lee, K. H., and Choi, J. S., 2019, Analysis on thermal performance of ground heat exchanger according to design type based on thermal response test, *Energies*, Vol. 12, doi:10.3390/en12040651.
16. Kim, C., Kim, B., Lee, P., Lim, H., Kang, S., and Choi, J. M., 2010, Verification experiment of a water-to-air ground source multi-heat pump system, *Journal of the Korean Society Geothermal and Hydrothermal Energy*, Vol. 6, No. 1, pp. 9-16.
17. Kang, S., and Choi, J. M., 2017, Analysis on the performance evaluation trends of heat pumps and the stest standards of a geothermal heat pump in Korea, *Journal of the Korean Society Geothermal and Hydrothermal Energy*, Vol. 13, No. 4, pp. 31-38.
18. Ministry of Environment, 2022, Research on the activation of the hydrothermal energy, Final Report, Republic of Korea, Sejong City.
19. Cho, Y., and Choi, J. M., 2021, A study on the improvement of the water source energy distribution regulation for high efficient data center cooling system in Korea, *Journal of the Korean Society Geothermal and Hydrothermal Energy*, Vol. 17, No. 3, pp. 21-29.