



국내 지열원 히트펌프 유닛의 인증제도 분석을 통한 신뢰성 향상 방안 연구

양찬우¹⁾ · 강희정²⁾ · 오세왕³⁾ · 도우빈³⁾ · 이광호⁴⁾ · 최종웅⁵⁾ · 조용⁵⁾ · 최종민⁶⁾*

A Study on Reliability Improvement of Domestic Ground Source Heat Pump Units by Analyzing the Certification System

Chan Woo Yang¹⁾ · Hee Jeong Kang²⁾ · Sewang Oh³⁾ · Ubin Do³⁾ · Kwang Ho Lee⁴⁾ ·
Jong Woong Choi⁵⁾ · Yong Cho⁵⁾ · Jong Min Choi⁶⁾*

Received 20 August 2023 Revised 11 October 2023 Accepted 11 November 2023 Published online 8 December 2023

ABSTRACT Only ground source heat pump units certified according to the regulations in Korea can be adopted in ground source heat pump systems. In this study, domestic and international standards and regulations for ground source heat pump units were investigated. Unlike ISO 13256-1~2, which is the international standard, KS B 8292~8294 for ground source heat pump unit only included rated test conditions. Therefore, it is necessary to supplement various test conditions to the KS B series, because its performance data, which is required to calculate the system's design capacity, is dependent on the change in entering water temperature. The difference between the coefficient of performance of the certified ground source heat pump units and the certified criteria changed significantly according to the operating mode, heat source, and load type, because the criteria increased by about 5% for all. Thus, it is highly suggested that the certification standards be revised while considering the product performance level and various conditions.

Key words Ground source heat pump(지열원 히트펌프), COP(성능계수), Test standars(시험규격), Certification(인증)

- 1) Ph.D. Candidate, Graduate School of Mechanical Engineering, Hanbat National University
- 2) Chief Researcher, Research and Test Team, Korea Refrigeration & Air-conditioning Assessment Center
- 3) M.S. Student, Graduate School of Mechanical Engineering, Hanbat National University
- 4) Professor, Department of Architecture, Korea University
- 5) Chief Researcher, Research Institute, K-Water
- 6) Professor, Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University

*Corresponding author: jmchoi@hanbat.ac.kr

Tel: +82-42-821-1731

Fax: +82-42-821-1462

Nomenclature

- COP : coefficient
EAT : entering air temperature, °C
EWT : entering water temperature, °C
GLHX : ground loop heat exchanger
GSHP : ground source heat pump
ID : indoor or load
OD : outdoor or heat source

1. 서론

지구 온난화에 의한 이상 기후현상으로 전세계적으로 홍수, 가뭄 등의 자연재해가 증가하고 있다. 국제사회는 기후변화 대응을 위해 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)을 채택하여 ‘2050년 탄소중립’을 주요 현안으로 다루고 있으며, 지구온난화와 같은 환경 문제를 해결하기 위한 대응책으로 주목받고 있다. 또한, 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)를 결성하여 “지구온난화 1.5°C 특별보고서”를 발표하고, 세계 기후 온도 상승 억제 목표를 1.5°C로 권고하는 등 탄소중립 목표를 달성하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.^[1,2]

세계적으로 탄소중립 목표 달성을 위해 재생에너지 설비에 대한 투자가 확대되고 있으며, 지속적으로 에너지 소비 및 온실가스 배출량이 증가하고 있는 건물 부문에서의 투자비용이 꾸준히 증가하고 있다.^[3]

우리나라는 ‘2050 탄소중립 전략’을 수립하고, ‘2030 국가온실가스감축목표(Nationally Determined Contributions, NDC)의 상향안’을 발표하였다.^[4] 특히 2021년 건물에너지 사용량은 약 3,400만TOE로 전년 대비 3.5% 증가하였으며, 건물 부문에서 온실가스 배출량이 지속적으로 증가함에 따라 2030년 이후 500 m²이상의 모든 건축물 대상으로 제로 에너지 건축물 인증을 의무화하였다.^[5]

제로에너지빌딩(ZEB: Zero Energy Building)은 건축물의 에너지 효율을 향상시키고 신·재생 에너지 공급 확대 및 고효율 제품을 사용하여 에너지 소비를 최소화한 건축물로 건물 부문의 탄소 중립 목표 달성을 위한 필수 건축물이다.^[6] 특히, 건물 에너지 소비의 54% 이상을 차지하고 있는 냉난방 시스템의 에너지 절감 및 탄소배출량 저감은 제로에너지빌딩 건축을 위한 필수적인 요소이다. 지열원 히트펌프 시스템은 현존하는 최고 효율의 냉난방 및 급탕 시스템으로 국가 탄소 중립 목표 달성을 위한 건물 부문에서의 냉난방 시스템으로 보급 확대 및 기술 향상이 꾸준히 진행되고 있다.^[7]

지열원 히트펌프 시스템은 지중열교환기와 히트펌프 유닛으로 구성되며, 연간 건물 부하 산정을 통한 히트펌프 유

닛과 지중열교환기 최적 설계 및 운전을 통해 에너지 절감 효과를 극대화할 수 있다. 지열원 히트펌프 시스템의 성능 향상을 위해 지중열교환기의 구조 개선과 성능 향상에 관한 다양한 연구가 진행되었다.^[8~12] Javadi *et al.*(2019)^[8]은 지중열교환기의 배관 재질과 설치 깊이 등에 따른 열성능에 대한 연구를 수행하였다. Zhang *et al.*(2018)^[9]은 부하변화에 따라 다수개의 보어홀에 설치된 지중열교환기의 열간섭에 대한 수치해석적 연구를 수행하였다. Stylianou *et al.*(2019)^[10]은 지중온도 구배와 지하수 유동에 따른 수직밀폐형 지중열교환기의 열응답 특성에 대한 수치적 실험적 연구를 수행하였다. 히트펌프 유닛에 대해서는 건축물의 다양화에 따른 복합 기능과 성능향상에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.^[13~17] Jiang *et al.*(2011)^[16]은 다기능 히트펌프의 신뢰성과 효율 향상을 위한 전자팽창밸브를 적용한 냉매 유량 제어 모델 개발에 관한 연구를 수행하였다. Sun *et al.*(2013)^[17]은 다기능 히트펌프의 5개 운전모드에 대한 엑서지와 에너지 분석에 관한 연구를 수행하였다.

국내에서는 건물부문의 탄소중립 목표 달성의 일환으로 신·재생에너지 보급 확대 정책 및 제도를 시행하고 있으며, 지열원 히트펌프 시스템의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 지열원 히트펌프 유닛에 대해 인증 제도를 규정화하였다. 현재까지 인증 제도에 기반한 국내 지열원 히트펌프 유닛의 인증 수준 등의 적절성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 특히, 지하수루프(개방형) 지열원 히트펌프 유닛의 성능 및 인증 수준 분석에 대한 연구 성과는 전무하다. 본 연구에서는 지하수루프 지열원 히트펌프 유닛의 인증 제품 성능 수준을 분석하고, 지중루프(밀폐형) 지열원 히트펌프 유닛의 성능 및 인증기준과의 비교 분석을 수행하였다. 본 연구결과를 통해 지열원 히트펌프 유닛의 성능과 신뢰성 향상 및 기술개발을 위한 기초자료 제공을 위한 시험규격 및 인증 기준에 대한 개선 방향을 제시하고자 한다.

2. 지열원 히트펌프 유닛 관련 제도

국내에서 지열원 히트펌프 시스템은 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조에 따른 신·재생에너지로서 관련 법령 및 제도가 적용되고 있다.^[18] 해당 법령은

신에너지 및 재생에너지의 기술개발 및 이용·보급 촉진과 산업 활성화를 통하여 에너지원을 다양화하고, 안정적인 에너지 공급을 보장하는 것을 목적으로 한다. 또한, 환경친화적인 에너지 구조로의 전환과 온실 가스 배출 감소를 추진하여 환경보호와 국가 경제의 건전하고 지속적인 발전과 국민 복지 향상을 위해 제정된 법이다. 동법 제13조에 따라 신·재생에너지 설비의 보급촉진을 위해 일정기준 이상의 신·재생에너지 설비에 대하여 인증 제도를 시행하고 있다. 인증 제도는 신·재생에너지 설비의 품질을 보증하고 소비자의 신뢰성 제고를 통해 신·재생에너지 설비 보급 확대 및 신·재생에너지 산업 성장을 목적으로 하고 있다. 동 법에 따라 지열원 히트펌프 시스템의 설계, 시공, 설치확인 및 인증에 대한 구체적인 내용은 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」에 규정되어 있다.^[19] 동 지침에서는 부하측 형식 및 지중열교환기 형식별로 KS 규격에 따라 인증 받은 지열원 히트펌프 유닛 제품을 우선적으로 설치하도록 규정하고 있다.

「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」에 지열원 히트펌프 시스템 설계시에 열원 및 부하측 입구온도가 히트펌프 인증서 또는 시험성적서와 일치하지 않은 경우에는 성능표를 추가로 제출하여야 하는 것으로 규정되어 있다. 또한, 동 지침에는 지열원 히트펌프 시스템 설계 자료에 사업용량과 설치용량 및 설계용량을 기입하도록 되어 있으며, 사업용량과 설치용량은 정격조건에서의 히트펌프 유닛의 정격 용량을 기준으로 산정한다. 하지만, 설계용량은 설계시의 열원측과 부하측의 EWT와 EAT에 해당하는 성능표를 기준으로 산정된 정미능력으로부터 산출하도록 되어 있다.

3. 지열원 히트펌프 유닛 인증 규격

지열원 히트펌프 유닛의 인증은 시험 조건 및 절차와 방법에 대해 표준화된 시험규격을 기준으로 선정된다.

국외의 대표적인 지열원 히트펌프 유닛 시험 규격으로 ISO 13256-1^[20]과 ISO 13256-2^[21]가 사용되고 있다. ISO 13256-1은 물(브라인)대공기 수열원 히트펌프에 관한 시험 규격이며, ISO 13256-2는 물(브라인)대물 수열원 히트펌프

에 관한 시험규격으로 부하측 2차유체가 각각 공기와 물이라는 차이점이 있다. ISO 13256-1과 ISO 13256-2에는 히트펌프 유닛의 성능 평가의 적용 범위, 시험조건, 시험절차 및 방법 등에 대해 정의하고 있다. 열원에 따라 수열, 지하수(개방형), 지중루프(밀폐형) 지열원 히트펌프 유닛으로 구분하여 시험조건을 제시하고 있다. Table 1과 Table 2는 ISO 13256-1과 ISO 13256-2에 대한 정격 시험조건을 나타낸다. 부하측 2차유체가 공기 또는 물에 따라 입구 공기 온도(Engering air temperature, 이하 EAT)와 입구 물 온도(Entering water temperature, 이하 EWT)가 상이하고, 열원측에 대해서는 동일 열원과 운전모드에 대해서는 두 시험 규격 모두 동일한 운전조건의 EWT를 갖는다. ISO 13256-1과 ISO 13256-2 모두 정격 시험 조건 외에 최대 및 최소 시험조건을 별도로 제시하고 있다.

AHRI 320^[22], ARHI 325^[23], AHRI 330^[24], ARHI 870^[25]은 미국 공기조화냉동협회에서 제정한 히트펌프 유닛 관련

Table 1. Rated test condition of ISO 13256-1^[15]

Mode and test parameter		Test condition (°C)		
		Water loop	Ground water-loop	Ground closed-loop
Cooling mode	EAT to indoor side (DB/WB)	27/19	27/19	27/19
	EWT to heat source	30	15	25
Heating mode	EAT to indoor side (DB/WB)	20/15	20/15	20/15
	EWT to heat source	20	10	0

Table 2. Rated test conditions of ISO 13256-2^[16]

Mode and test parameter		Test condition (°C)		
		Water loop	Ground water-loop	Ground closed-loop
Cooling mode	EWT to indoor side	12	12	12
	EWT to heat source	30	15	25
Heating mode	EWT to indoor side	40	40	40
	EWT to heat source	20	10	0

시험규격이다. AHRI 320은 수열원 히트펌프 유닛 시험규격이며, AHRI 330, 325, 870은 각각 지중루프 지열원 히트펌프 유닛, 지하수 지열원 히트펌프 유닛, 지중 직접열교환 히트펌프 유닛의 성능 시험 조건을 제시하고 있다. AHRI 870의 지중 직접열교환 히트펌프 유닛은 히트펌프 유닛의 냉매배관이 지중에 직접매설되어 지중과 열교환하는 방식으로, 타 시험규격과 달리 난방 및 냉방 운전모드에 대해 히트펌프 열원측 열교환기의 증발온도와 응축온도를 시험규격으로 제시하고 있다. 다른 규격은 ISO 13256-1과 ISO 13256-2와 동일하게 지중열원 및 부하측 유입온도 조건에 따른 시험조건이다.

국내에서는 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」에서 성능이 우수한 지열원 히트펌프 유닛의 개발과 보급을 위해 지열원 히트펌프유닛에 관한 시험 규격을 지정하고 있다. 한국에너지공단에서 NR GT 101^[26], NR GT 102^[27]를 2006년도에 제정하였으며, 각각은 물대물 지열원 히트펌프 유닛과 물대공기 지열원 히트펌프 유닛에 대한 시험규격이다. NR GT 103^[28]은 2009년도에 제정된 물대공기 지열원 멀티형 히트펌프 유닛에 대한 시험규격이다. 물대공기 지열원 멀티형 히트펌프 유닛은 물대공기 지열원 히트펌프 유닛과 달리 부하측 공기와 열교환하는 실내기(실내열교환기)가 다수인 지열원 히트펌프 유닛으로 국내에서만 제정된 규격이다.

신·재생에너지 설비의 성능 및 신뢰성 향상을 위해 시험규격을 한국산업규격으로 전환이추진되었다. 이에 따라 NR GT 101과 NR GT 102는 각각 KS B 8292^[29]와 KS B 8293^[30]으로 2015년 규격이 변경되었으며, NR GT 103은 KS B 8294^[31]로 2016년 대체되었다. 국외의 시험 규격과 달리 국내 지열원 히트펌프 유닛에 대한 NR GT 시험규격과 KS B 8292~8294 시험 규격에는 정격시험 조건, 시험방법 및 절차 등과 함께 히트펌프의 인증을 위한 성능지표인 성능계수(Coefficient of performance, 이하 COP)의 최소 성능 수준을 제시하고 지열원 히트펌프 유닛에 대한 인증 기준을 규정하고 있다. 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」에서는 KS B 8292~8294에서 제시된 정격 시험조건에서의 최소 COP 이상의 지열원 히트펌프 유닛만을 보급할 수 있도록 규정하고 있다. KS B 8293과 8294는 실내기 댓수 차이 외에 시험 조건은 동일하다. Table 3과

Table 4는 각각 KS B 8292, KS B 8293과 8294에 대한 정격 시험조건을 나타내며, ISO 규격 등과 달리 정격 시험 조건만을 규정하고 있다.

Table 5는 KS B 8292~8294의 국내 규격과 ISO 13256-

Table 3. Rated test condition of KS B 8292^[23]

Mode and test parameter		Test condition (°C)	
		Ground water-loop	Ground closed-loop
Cooling mode	EWT to indoor side	12	12
	EWT to heat source	15	25
Heating mode	EWT to indoor side	40	40
	EWT to heat source	10	5

Table 4. Rated test condition of KS B 8293,8294^[24,25]

Mode and test parameter		Test condition (°C)	
		Ground water-loop	Ground closed-loop
Cooling mode	EAT to indoor side (DB/WB)	27/19	27/19
	EWT to heat source	15	25
Heating mode	EAT to indoor side (DB/WB)	20/15	20/15
	EWT to heat source	10	5

Table 5. Comparison of KS B 8292~8294 and ISO 13256 series

Item	Test standard	
	ISO 13256-1 ~ 2	KS B 8292 ~ 8294
Test conditions	Rated and other test conditions	Rated test condition only
Criteria for the certified GSHP	Not specified	Specified
Flow rate	Specified by the manufacturer	Specified by the manufacturer and less than 0.19(L/s)/3.5(kW)+5%
EWT in the heating mode for ground-close loop	0°C	5°C

1~2 규격의 차이점을 나타낸다.

KS B 규격은 히트펌프 유닛의 정격 시험 조건만이 제시되어 있으나, ISO 규격은 정격 시험 조건과 함께 열원 및 부하측 운전 조건 변화에 따른 시험조건을 추가로 제시하고 있다.

지열원 히트펌프 시스템은 동절기와 하절기 지중으로부터의 열흡수와 방출에 대한 연간 열균형을 통해 지중열교환기의 최적설계가 이루어진다. Fig. 1은 상용지중열교환기 프로그램인 GLD^[32]를 이용하여 기준문헌^[33]의 데이터를 이용한 히트펌프 유닛 EWT 변화에 따른 지중루프 시스템의 단위열량당 지중열교환기 길이를 나타낸다. 연간 난방부하량은 유사한 조건이지만, 히트펌프 유닛의 냉난방 정격 지중순환수 EWT조건에서 단위열량당 난방시와 냉방시 지중열교환기 길이는 각각 20.5 m/kW, 65.0 m/kW로 지중열교환기 설치용량 차이가 크게 나타났다. 지중열교환기의 장기 열안정성 확보를 위해서는 냉방시를 기준으로 크게 설치하여야한다. GLD 시뮬레이션 결과로부터 난방시 EWT 설정온도 증가 또는 냉방시 EWT 설정온도 감소를 통해 지중열교환기 설치 용량 감소를 통한 시공비 저감이 가능하다. 그러므로, 지열원 히트펌프 유닛에 대해 정격 조건에서의 성능뿐만 아니라 다양한 운전 조건에서의 히트펌프 성능 시험 데이터가 제공되어야한다. 현재 국내 KS B 규격에서는 히트 펌프 유닛에 대한 정격 시험조건만이 제시되어 있으나, 지열원 히트펌프 시스템의 최적 설계를 위한 기초 자료

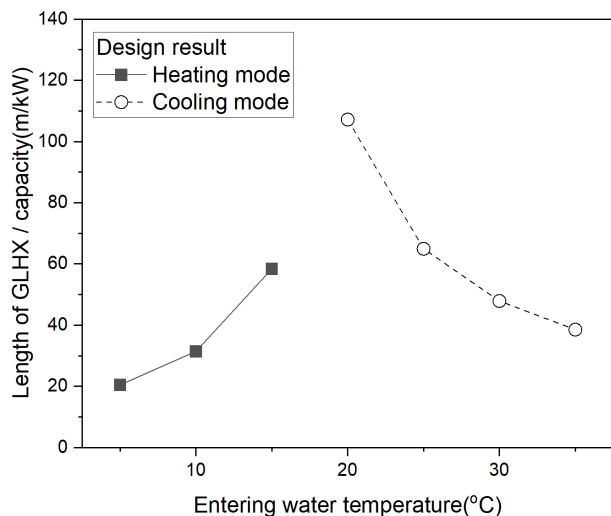


Fig. 1. The number of certified heat pump unit according to cooling COP

제공을 위해 다양한 조건에서의 히트펌프 유닛 성능 데이터가 요구된다. 따라서, 현 KS B 규격에 정격 시험 조건외에 다양한 EWT 범위 등에 대한 시험 조건을 추가 보완하여 지열원 히트펌프 시스템의 설계 기초자료를 제공하는 것이 필요하다고 분석된다.

KS B 규격은 지열원 히트펌프 유닛의 인증을 위한 COP 기준을 규정하고 있으나, ISO 규격에는 시험 조건만이 제시되고 히트펌프 유닛 인증을 위한 기준 내용은 포함되어 있지 않다. ISO 규격에서는 지열원 히트펌프 유닛의 열원과 부하측 열교환기를 통과하는 순환수 유량을 제조사 제시 유량으로 시험하도록 하고 있으나, KS B 규격에서는 정격 시험조건에서 3.5 kW당 0.19 L/s 대비 5% 이상의 유량보다 작은 범위에서 제조사가 제시한 유량으로 제한하고 있다. 즉 ISO 규격에 따르면 동일한 히트펌프 용량과 COP의 지열원 히트펌프 유닛에 대해서 제품별로 지중순환수 유량 차이가 클 수 있으나, KS B에 의한 제품의 최대 유량은 제한을 받는다. Chung and Choi(2012)^[34]의 연구결과에 따르면, 히트펌프의 열원측 지중순환수 유량이 증가할수록 지중열교환기 길이가 증가하므로 지중열교환기 시공비용이 증가한다. 따라서, KS B의 유량 제한에 대한 시험 규격은 ISO의 시험 규격대비 지중열교환기의 시공부지 및 설치비용 저감에 적합하다고 분석된다. AHRI 규격 중에 AHRI 320은 냉방모드에서 히트펌프 유닛 입출구 온도에 대한 제한으로 유량을 규정하고, 해당 유량을 난방모드 시험시에도 적용하도록 규정하고 있다. ISO 규격은 난방모드에서 지중루프 지열원 히트펌프 유닛의 열원 측 입구온도는 0°C로 설정하였고, KS B 규격은 5°C로 설정하고 있다. 난방모드에서는 히트펌프 유닛의 열원측 열교환기는 증발기로 작동되어 지중으로부터 열을 흡수한다. 이로인해 일반적으로 난방모드에서 열원측 입구온도가 증가함에 따라 난방용량 및 COP가 증가하므로 난방모드에서 지중루프시스템의 히트펌프 유닛에 대해서 KS 규격에서의 성능이 ISO 규격에서의 성능보다 높은 값을 갖는다.

고효율 제품을 보급하기 위한 미국의 에너지 효율에 대한 프로그램으로 에너지스타(Energy Star)가 있다. 미국의 에너지국(Department of Energy, DOE)과 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)의 공동프로그램이다. 에너지스타는 에너지효율 가이드라인을 만족

하는 우수 효율의 전기·전자 제품에 대해 에너지스타 마크를 부착하도록 한 제도로서 자율인증제도로 강제성은 없다. 에너지스타 제품에 대해서는 22%부터 30%까지 세금공제 혜택을 주고 있으며, 유럽, 캐나다, 호주, 일본, 뉴질랜드 등에서도 적용되고 있는 제도이다.^[35] 에너지스타에는 물대물, 물대공기, 지중직접열교환방식 지열원 히트펌프 유닛에 대한 인증기준을 제시하고 있다. 열원형태에 따라 운전모드와 지중열교환기 형식별로 차별화된 인증 기준을 수립하였다. Table 6은 에너지스타의 지열원 히트펌프 유닛 형식별 COP 인증 기준을 나타낸다. 인증기준은 ISO 13256-1과 ISO 13256-2의 정격 시험조건에서의 COP 최소값을 규정하고 있다. 에너지스타에서 2019년 이후의 현재 냉방 COP 인증 기준은 형식 및 운전모드에 따라 2019년 이전 대비 5.4%에서 31.9% 증가하였으며, 난방 COP 기준은 2.9%에서 13.9% 상향 조정되었다.

물대공기 지열원 히트펌프 유닛에서의 COP 기준 상승폭이 물대물 지열원 히트펌프 유닛에서의 COP 기준 상승폭보다 대부분 2배 이상 크게 상향되었다. 또한, 에너지스타에서는 밀폐형과 개방형 등의 지중열교환방식에 따라 COP

상승폭이 다르게 개정되었다. 지중열교환 방식에 따라 시험 기준이 다르므로 지열원 히트펌프 유닛의 정격 시험 조건이 다르기 때문에 히트펌프 유닛의 용량 및 COP 성능이 다르게 나타나므로 제품별 수준을 반영하여 COP 기준을 재수립한 것으로 분석된다.

국내에서는 성능 및 신뢰성이 높은 지열원 히트펌프 유닛을 보급하기 위해 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」에 KS B 8292~8294에 제시된 인증기준에 따라 인증 받은 지열원 히트펌프 유닛 제품을 보급하도록 규정하고 있다.

전술한 바와 같이 KS B 8292~KS B 8294에는 정격 성능 시험 조건과 함께 지열원 히트펌프 유닛의 COP 인증 기준을 제시하고 있다. Table 7은 KS 규격에 제시된 지열원 히트펌프 유닛의 인증을 위한 최소 COP 기준을 나타낸다. 2015년 이전에 적용된 지열원 히트펌프 유닛 인증 기준은 최초에 NR GT 규격 시리즈에 제시되었으며, NR GT 규격이 KS B 8292~8294 규격으로 변경되면서 COP 인증 기준이 지중열교환 형식과 운전모드와 무관하게 약 5%정도 일괄 상향하였다. KS B 규격에 따른 COP 인증기준은 에너지스타와 달리 물대물, 물대공기 히트펌프 형식에 따라 구분되지 않고 동일한 기준을 적용하고 있다.

Table 8은 에너지스타의 지열원 히트펌프 유닛의 고효율마크 획득을 위한 최소 COP값과 국내 인증 기준의 최소 COP 값의 차이를 나타낸다. 국내 KS 또는 NRGT 인증 기준 중에 난방모드에서 지중루프 시스템의 열원측 시험조건이 에너지스타와 상이하여 분석대상에서 제외하였다.

물대공기 지열원 히트펌프 유닛에 대한 현재의 KS COP

Table 6. Certification criteria for ground source heat pump unit in Energy Star program

Type			COP criteria		Change rate [%]
			Before 2019	After 2019	
Water to Air	Cooling	Ground water-loop	4.7	6.2	31.9
		Ground closed-loop	4.1	5.0	22.0
	Heating	Ground water-loop	3.6	4.1	13.9
		Ground closed-loop	3.3	3.6	9.1
Water to Water	Cooling	Ground water-loop	5.6	5.9	5.4
		Ground closed-loop	4.4	4.7	6.8
	Heating	Ground water-loop	3.4	3.5	2.9
		Ground closed-loop	3.0	3.1	3.3
Direct expansion	Cooling	4.4	4.7	6.8	
	Heating	3.5	3.6	2.9	

Table 7. Certification criteria for ground source heat pump unit in Korea

Type		Certified COP		Change rate [%]
		NR GT	KS	
Cooling	Ground water-loop	4.80	5.04	5.0
	Ground closed-loop	4.10	4.31	5.1
Heating	Ground water-loop	3.60	3.78	5.0
	Ground closed-loop	3.45	3.62	4.9

Table 8. Certification criteria difference between Energy Star and Korea standard for ground source heat pump unit

Type		COP Difference (%) [*]		
		Past ^{**}	Present ^{***}	
Water to Air	Cooling	Open loop system	2.08	-23.02
		Closed loop system	0.00	-16.01
	Heating	Open loop system	0.00	-8.47
		Closed loop system	4.35	0.55
Water to Water	Cooling	Open loop system	-16.67	-17.06
		Closed loop system	-7.32	-9.05
	Heating	Open loop system	5.56	7.41
		Closed loop system	13.04	14.36

* (NRGT or KS - Energy Star)/(NRGT or KS)*100

** Difference between Energy COP before 2019 and NRGT

*** Difference between Energy COP after 2019 and KS

인증 기준은 모두 에너지스타의 인증기준보다 낮은 값으로 규정되어 있다. 물대공기 지열원 히트펌프 유닛의 현재 국내 COP 기준은 에너지스타 기준 대비 -8.47%에서 -23.02%의 범위이다. 특히, 냉방 COP 인증 기준이 난방 COP 인증 기준보다 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 하지만, 2019년 이전의 에너지스타 기준대비 국내 과거 NRGT 규격의 인증 기준은 동등 이상의 COP 인증 기준을 나타냈다.

물대물 지열원 히트펌프 유닛에 대해서 현재 KS 인증 기준은 현재 에너지스타와 비교하여 운전모드와 지중열교환기 형식에 따라 -17.06%에서 7.41%의 차이를 나타냈다. 냉방 모드에서는 국내 COP 인증 기준은 에너지스타 기준보다 낮게 나타났으며, 난방모드에서의 인증 기준은 높게 나타났다. 2019년 이전의 에너지스타 기준 대비 국내 과거 NRGT 규격의 기준과의 차이에 비해 냉방모드에서의 국내 현재 인증기준이 더 큰 폭으로 낮은 값을 나타냈으며, 난방 모드에서는 더 큰 폭으로 높은 값을 나타냈다. 물대물 지열원 히트펌프 유닛의 국내 인증 기준과 달리 물대공기 지열원 히트펌프 유닛의 국내 인증 COP 기준은 에너지스타 기

준과 비교하여 모두 낮게 나타났으며, COP 기준 차이도 크게 나타났다. 에너지스타에서는 지열원 히트펌프의 열원 형식에 따라 제품별 성능을 고려하여 기준 COP값을 설정 하였으나, 국내 인증 기준은 물대공기와 물대물 지열원 히트펌프 유닛 모두 동일한 COP 기준을 채용하였기 때문이다. 특히, 물대공기 지열원 히트펌프 유닛의 부하측 공기온도는 냉방모드에서는 물대물 시스템보다 높고, 난방모드에서는 낮다. 일반적으로 냉방모드에서는 부하측 2차유체 온도가 증가함에 따라 히트펌프 유닛의 압축기 입출구 압력 차이가 감소하고, 증발기(부하측열교환기)에서의 냉매와 2차 유체 온도 차이가 증가하여 냉방용량이 증가하고, 소비 전력이 감소하여 COP가 증가한다. 난방모드에서는 부하측 2차유체 온도가 감소함에 따라 히트펌프 유닛의 고저압 압력차이가 감소하고, 응축기(부하측열교환기)에서의 열전달량이 증가한다. 이로 인해 난방용량과 COP가 증가한다. 그러므로, 현재 물대공기 지열원 히트펌프 유닛의 인증 COP 기준의상향이 타당하다고 분석된다.

4. 지열원 히트펌프 유닛 성능 분석

「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」에 따라 인증 받아 국내에 보급되고 있는 지열원 히트펌프 유닛의 성능을 분석하였다. 2015년부터 2020년의 기간에 인증받은 국내 지열원 히트펌프 유닛 제품은 총 88개였으며, 모두 물대물 지열원 히트펌프 유닛이었다.

Fig. 2와 Fig. 3은 지중루프 히트펌프 유닛의 표준 정격 성능 시험 조건에서 인증받은 히트펌프 유닛의 냉방 COP 및 난방 COP에 따른 인증 히트펌프 유닛의 개수를 나타낸다. 지중루프 지열원 히트펌프 유닛 제품의 최소 냉방 COP는 4.41로 KS 인증 기준 COP보다 2.3% 높은 값을 나타냈다. 인증 제품의 평균 냉방 COP는 5.05로 KS 인증 COP보다 17.2% 큰 값을 나타냈다. 전체 제품에서 냉방 COP의 KS 최소 성능인증 기준 대비 15% 이상의 냉방 COP를 갖는 제품은 전체 인증 제품의 59.1%를 차지하였다. 인증받은 지중루프 지열원 히트펌프 유닛 제품의 최소 및 평균 난방 COP는 각각 3.63와 3.81를 나타냈다. 최소 COP는 KS 인증 기준 COP보다 0.3% 높은 값을 나타냈으며, 평균 COP

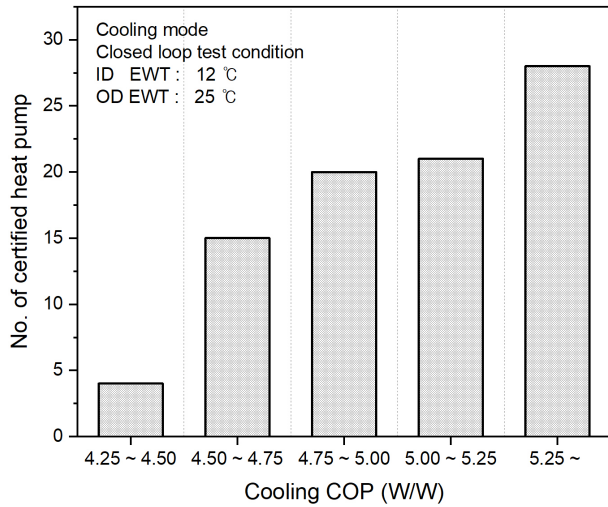


Fig. 2. The number of certified heat pump unit according to cooling COP for closed loop system

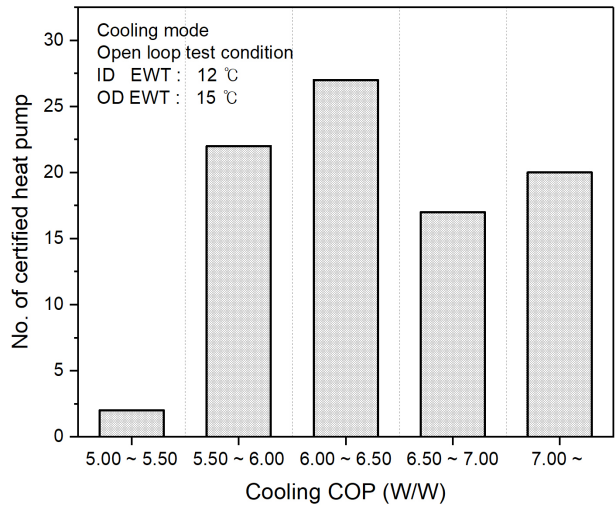


Fig. 4. The number of certified heat pump unit according to cooling COP for open loop system

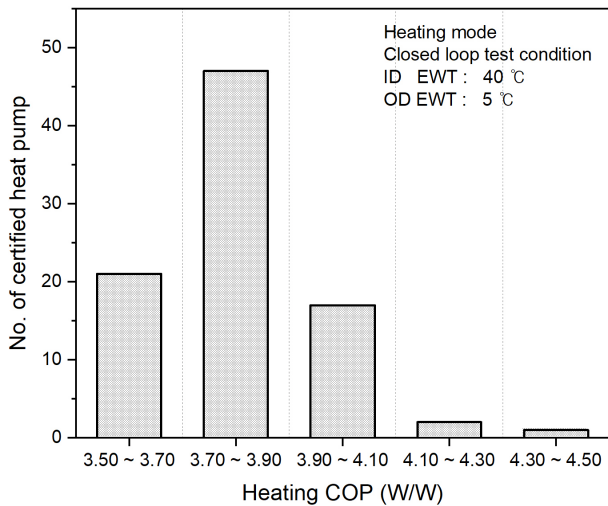


Fig. 3. The number of certified heat pump unit according to heating COP for closed loop system

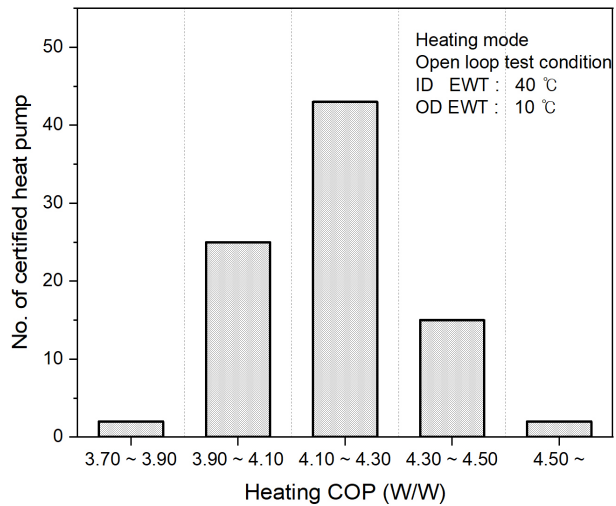


Fig. 5. The number of certified heat pump unit according to heating COP for open loop system

는 5.1% 높은 값을 나타냈다. 전체 제품 88개 중에 KS 인증 기준 대비 지중루프 정격조건에서의 난방 COP보다 15% 높은 난방 COP를 나타낸 제품의 수는 전체 제품의 2.3% 이하였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 지하수 히트펌프 유닛의 표준 정격 성능 시험 조건에서 인증받은 히트펌프 유닛의 냉방 COP 및 난방 COP에 따른 인증 히트펌프 유닛의 개수를 나타낸다. 지하수 루프 지열원 히트펌프 유닛 제품의 평균 냉방 COP는 6.45로 지중루프 히트펌프 유닛의 평균 COP보다 27.7% 높은 값을 나타냈다. 지하수 루프 정격 냉방조건에

서 지열원 히트펌프 유닛 제품의 최소 냉방 COP는 지중루프 조건에서의 최소 냉방 COP보다 19.3% 높은 COP 값을 나타냈다. 지하수루프 시스템은 상대적으로 지중열경화도가 지중루프 시스템보다 작아서 하절기 운전시 응축기 기능을 하는 지중순환수 유입온도가 15°C로 지중루프 시스템의 25°C보다 낮으므로 응축열량 증가로 인해 COP가 높은 값을 나타냈다. 지하수 히트펌프 유닛에 대한 KS B 정격 시험 조건에서의 성능 인증 기준은 지중루프 시스템보다 16.9% 높게 설정되어 있다. 인증받은 지하수 루프 지열원 히트펌프 유닛의 평균 난방 COP는 지중 루프 시스템의 평

균 난방 COP보다 9.7% 높은 값을 나타냈다. 지하수 루프 히트펌프의 KS 인증 기준은 지중 루프 히트펌프의 인증기준보다 4.4% 높게 설정되어 상대적으로 높게 설정되어 있다. 이는 지하수 루프 히트펌프 유닛의 지중 열원수 유입온도가 10°C로 지중 루프 시스템의 열원수 유입온도 5°C 보다 높기 때문이며, 제품의 평균COP는 인증 기준 상승률보다 높은 값을 나타냈다.

Fig. 6은 인증받은 지열원 히트펌프 유닛의 운전모드 및 지중열원 형식별에 따른 KS B 인증 기준대비 인증 받은 제품의 COP 수준별 비율을 나타낸다. 냉방모드와 난방모드

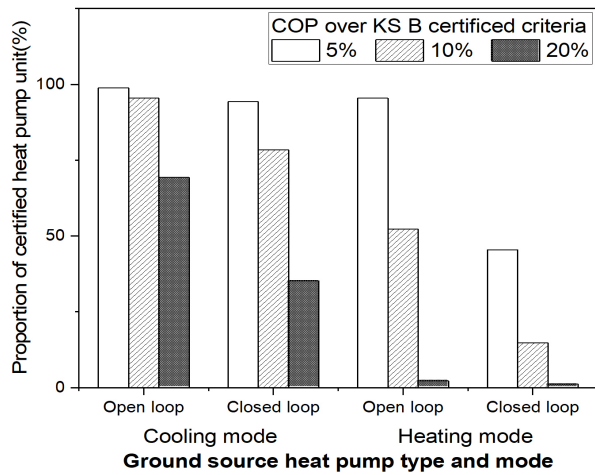


Fig. 6. Proportion of the certified heat pump units over criteria at KS B standard

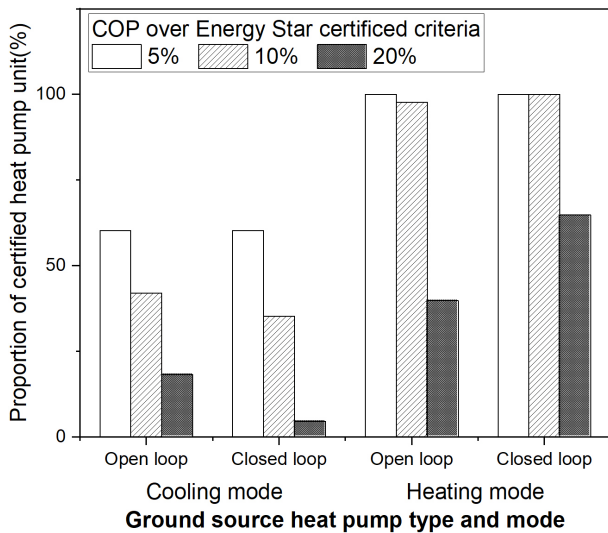


Fig. 7. Proportion of the certified heat pump units over criteria at Energy Star

모두 인증 받은 제품의 성능 수준이 인증 기준 대비 지하수 루프 시스템에서 높게 나타났다. 또한, 냉방 모드에서 인증 기준 대비 COP가 높은 제품의 수가 난방 모드에서의 인증 기준 대비 COP가 높은 제품의 수가 지중루프 및 지하수 루프 모든 경우에 크게 나타났다. 냉방모드에서 지하수 루프 히트펌프의 유닛의 COP가 인증기준대비 10%와 20% 이상 높은 제품은 각각 95.5%와 69.3%였으며, 지중 루프 히트펌프 유닛 제품은 78.4%와 35.2%였다. 난방모드에서 KS 인증 기준 대비 20% 이상의 COP를 나타낸 제품은 지하수 루프 시스템은 2.3%, 지중루프 시스템은 1.1%에 불과하였다. 난방모드에서 인증기준대비 7.5% 이상의 COP를 나타낸 인증 제품은 지하수 루프 시스템은 78.4%, 지중 루프 시스템은 23.9%를 나타냈다.

Fig. 7은 인증받은 지열원 히트펌프 유닛의 운전모드 및 지중열원 형식별에 따른 에너지스타 인증 기준대비 국내 인증 받은 88개 제품의 COP 수준별 비율을 나타낸다. 국내 KS B 기준과 달리 냉방모드보다 난방모드에서 인증 받은 제품의 성능 수준이 에너지 스타 기준보다 큰 제품의 비중이 높게 나타났다. 이는 에너지스타의 냉방 인증기준이 국내 KS 기준보다 높고, 에너지스타의 난방 인증기준이 국내 KS B 난방 인증 인증기준보다 낮기 때문이다. 또한, 높은 COP 성능 수준을 나타낸 인증 제품의 지중루프 시스템과 지하수 루프 시스템의 비율이 KS 인증기준과의 비율보다 차이가 작게 나타났다. 냉방모드에서 지하수루프 시스템과 지중루프 시스템의 에너지스타 인증 기준대비 10% 이상 높은 COP를 나타낸 국내 인증 제품의 비율은 각각 42.9%와 35.2%였으며, 제품 비율 차이는 7.7%였으나, 국내 제품 비율 차이는 17.1%였다. 난방모드에서 에너지스타의 지하수루프 시스템과 지중루프 시스템의 인증 COP 기준대비 10% 이상의 성능을 나타낸 국내 인증 제품은 각각 97.7%와 100%로 국내 인증 제품은 난방 성능은 매우 우수한 것으로 분석된다.

에너지스타의 경우에는 제품의 운전모드와 지중열원 형태 등에 따라 미국내 제품의 실제 성능 수준 등을 기반으로 COP 인증 기준을 개별 상향조정하였으나, 국내 인증 기준은 2015년에 일괄적으로 약 5%를 상향조정하여 냉난방 운전모드와 지중열교환기 형식별로 제품의 성능 수준과 인증 기준과의 차이가 상이하게 나타났다.

지열원 히트펌프 유닛은 지열원 히트펌프 시스템의 고효율 운전을 위한 핵심기이다. 본 연구의 분석 결과 현재의 물대물 지열원 히트펌프 유닛의 인증 기준에 대하여 냉방 모드와 지하수 루프 시스템에 대하여 상향 조정을 통해 국내 지열원 히트펌프 유닛의 기술 수준 향상과 함께 고효율 지열원 히트펌프 보급 및 신뢰성 확보를 이루고, 건물 부문의 탄소 중립 목표의 조기 달성에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

최근에는 지열원 히트펌프 유닛 중에 물대물 형식의 제품만이 인증 받아 보급되어 본 연구에서는 물대물 지열원 히트펌프 유닛 제품에 대해서만 인증기준과 비교 분석하였다. 더불어 현재 국내 KS 규격에서는 물대물과 물대공기 제품에 대해 동일한 인증 기준을 채용하고 있으나, 에너지스타에서는 물대물, 물대공기 지열원 히트펌프 유닛에 대해 상이한 인증기준을 적용하고 있다. 따라서, 향후 물대공기 지열원 히트펌프 유닛의 인증 기준에 대한 적절성에 대한 추가 연구가 필요하다고 분석된다.

5. 결론

지열원 히트펌프 유닛 인증 관련 국내외 제도 및 규격과 국내 제품 수준을 분석하였으며 다음의 결론을 얻었다.

국내 지열원 히트펌프 유닛 성능 시험규격인 KS B 8292~8294는 ISO 13256-1~2의 국외 규격과 달리 정격 시험 조건만을 제시하고 있다. 지열원 히트펌프 시스템의 냉난방 부하에 따른 지중열교환기 최적 설계를 위해서는 EWT 변화에 따른 히트펌프 유닛의 성능 데이터가 필수적으로 요구되므로, 다양한 시험 조건에 대한 규격 보완이 필요하다.

국내 인증 받은 88개 물대물 지열원 히트펌프 유닛 제품 중에 냉방 COP 인증 기준 대비 10%와 20% 이상 높은 제품은 지하수루프 히트펌프 유닛은 각각 95.5%와 69.3%로 지중루프 히트펌프 유닛 제품 비중 대비 17.1%와 34.6% 높게 나타났다. 난방모드에서 KS 인증 기준 대비 7.5% 이상의 COP를 나타낸 제품은 지하수루프 히트펌프 유닛은 78.4%, 지중루프 시스템은 23.9%로 인증기준 대비 지하수 루프 히트펌프 유닛 제품의 COP 성능 우수성이 지중루프 히트펌프 유닛보다 매우 크게 나타났다. 또한, 물대물 히트펌프에

대한 냉방모드에서의 지하수루프 히트펌프의 성능 인증 기준은 에너지스타 대비 17.06%의 매우 낮은 값을 나타냈다.

현재의 물대물 지열원 히트펌프 유닛의 인증 기준에 대하여 냉방 모드에 대한 인증 기준 향상, 특히 지하수루프 히트펌프에 대하여 COP 인증 기준 향상이 필요하다.

제품 COP 수준과 지중열교환기 최적 설계관련 시험 규격과 인증 기준 분석을 통해 인증 기준 및 시험 규격에 대한 개선안을 제시하였으며, 이를 통해 지열원 히트펌프 시스템의 신뢰성과 성능 향상으로 국가 탄소중립 목표 달성에 기여할 수 있기를 기대해본다.

근래에 물대물 지열원 히트펌프 유닛에 대한 제품 인증만이 진행되어 물대공기 지열원 히트펌프 유닛의 인증기준에 대한 검토를 진행할 수 없었으며, 향후 이에 대한 추가 연구가 필요하다고 분석된다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2022R1A2C2006469). 본 연구는 환경부의 폐자원에너지화 특성화대학원 사업에서 지원받았습니다.

References

- [1] UNEP(UN Environment Programme), 2021, “2021 Global status report for building construction”, https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf.
- [2] Korea Government, 2020, “Strategy on net carbon zero for Korea 2050”, National Report, <https://www.me.go.kr/home/file/readDownloadFile.do?fileId=208572&fileSeq=1>.
- [3] IEA(International Energy Agency), “World energy investment 2021”, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5e6b3821-bb8f-4df4-a88b-e891cd8251e3/WorldEnergyInvestment2021.pdf>.
- [4] Korea Government, 2020, “2030 Nationally determined contribution(NDC)”, National Report, file:///C:/Users/

- KSNRE/Downloads/(%EC%B5%9C%EC%A2%85)%EA%B5%AD%EA%B0%80%EC%98%A8%EC%8B%A4%EA%B0%80%EC%8A%A4_%EA%B0%90%EC%B6%95%EB%AA%A9%ED%91%9C_NDC_201215.pdf.
- [5] GreenTogether, 2023, “Building energy consumption in 2021”, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, <https://www.greentogether.go.kr/sta/stat-data.do>.
- [6] Kim, S., Kim, Y., Park S., An, J., and Lee, S., 2023, “Preliminary feasibility study on wind and solar hybrid power systems based on venturi effects for buildings”, *New. Renew. Energy*, **19**(1), 22-30.
- [7] MOTIE(Ministry of Trade, Industry & Energy) and KEA(Korea Energy Agency), 2020, “New & renewable energy white paper”, MOTIE and KEA, Korea.
- [8] Javadi, H., Ajaroustaghi, S.S.M., Rosen, M.A., and Pourfallah, M., 2019, “Performance of ground heat exchangers: A comprehensive review of recent advances”, *Energy*, **178**, 207-233.
- [9] Zhang, C., Wang, Y., Liu, Y., Kong, X., and Wang, Q., 2018, “Computational methods for ground thermal response of multiple borehole heat exchangers: A review”, *Renewable Energy*, **127**, 461-473.
- [10] Stylianou, I.I., Tassou, S., Christodoulides, P., Aresti, L., and Florides, G., 2019, “Modeling of vertical ground heat exchangers in the presence of ground water flow and underground temperature gradient”, *Energy Build*, **192**, 15-30.
- [11] Kupiec, K., Larwa, B., and Gwadera, M., 2015, “Heat transfer in horizontal ground heat exchangers”, *Appl. Therm. Eng.*, **75**, 270-276.
- [12] Lee, S., Park, S., Kang, M., Oh, K., and Choi, H., 2022, “Effect of tube-in-tube configuration on thermal performance of coaxial-type ground heat exchanger”, *Renewable Energy*, **197**, 518-527.
- [13] Zhang, X.W., Rhee, K.N., and Jung, G.J., 2019, “Performance development of ground source heat pump system using condensation heat”, *Proc. SAREK ‘19 Summer Annual Conference*, 8-11.
- [14] Shin, J.S. and Kim, S.H., 2017, “An economic analysis of a secondary waste heat recovery geothermal heating system”, *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, **29**(5), 249-258.
- [15] Hwang, Y.J., Kang, Y.K., Cho, H.J., Jo, S.Y., and Jeong, J.W., 2020, “Energy performance of heat pump for cooling, heating and hot water supply in an apartment building”, *Proc. SAREK ‘20 Summer Annual Conference*, 44-47.
- [16] Jiang, M.L., Wu, J.Y., and Wang, R.Z., 2011, “Research on refrigerant flow characteristics and performance of a multi-functional heat pump system”, *Energy Convers. Manag.*, **52**(6), 2323-2328.
- [17] Sun, X., Wu, J., and Wang, R., 2013, “Exergy analysis and comparison of multi-functional heat pump and conventional heat pump system”, *Energy Convers. Manag.*, **73**, 51-56.
- [18] Ministry of Government Legislation, 2021, “Act on promotion of development, use and distribution of new and renewable energy”, Law No. 18095.
- [19] Korea Energy Agency, New & Renewable Energy Center, 2023, “Guidelines for support and etc. of new and renewable energy facilities”, Announcement No. 2023-16, <https://www.knrec.or.kr/biz/pds/decree/list.do>.
- [20] ISO, 2021, “Water-source heat pumps — Testing and rating for performance — Part 1: Water-to-air and brine-to-air heat pumps”, ISO/TC 86/SC 6, ISO 13256-1.
- [21] ISO, 2021, “Water-source heat pumps — Testing and rating for performance — Part 2: Water-to-water and brine-to-water heat pumps”, ISO/TC 86/SC 6, ISO 13256-2.
- [22] AHRI, 1998, “Water-Source heat pumps”, AHRI Standard 320.
- [23] AHRI, 1998, “Ground water source heat pumps”, AHRI Standard 325.
- [24] AHRI, 1998, “Ground source closedloop heat pumps”, AHRI Standard 330.
- [25] AHRI, 2016, “Performance rating of direct geexchange heat pumps”, AHRI Standard 870.
- [26] NR GT, 2011, “Water to water ground source heat pump units”, Korea Energy Agency, NR GT 101.
- [27] NR GT, 2011, “Water to air ground source heat pump units”, Korea Energy Agency, NR GT 102.
- [28] NR GT, 2011, “Water to air multi ground source heat pump units”, Korea Energy Agency, NR GT 103.
- [29] KS, 2020, “Water to air ground source heat pump units”,

- Korean Agency for Technology and Standards, KS B 8292.
- [30] KS, 2021, “Water to air ground source heat pump units”, Korean Agency for Technology and Standards, KS B 8293.
- [31] KS, 2021, “Water to air multi ground source heat pump units”, Korean Agency for Technology and Standards, KS B 8294.
- [32] Gaia Geothermal, 2006, “The ground loop design premier financial 2009”, Gaia Geothermal LLC, U.S.A.
- [33] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2020, “Empirical study on the geothermal heat exchanger of vertical closed loop and ground source heat pump system for performance enhancement”.
- [34] Chung, J.T., and Choi, J.M., 2012, “Design and performance study of the ground-coupled heat pump system with an operating parameter”, *Renewable Energy*, 42, 118-124.
- [35] ENERGY STAR, 2023, “Renewable energy tax credits - Geothermal heat pumps”, EPA and DOE.