

ISO 성능데이터를 이용한 지열히트펌프 시스템의 성능 확인 커미셔닝 기술

고건혁, 김지영*, 강은철*, 장기창*, 이의준*[†]
제주대학교 기계공학과 대학원, *한국에너지기술연구원(KIER)

ISO performance data based commissioning technique for GSHP system

Gun-Hyuk Ko, Ji-Young Kim*, Eun-Chul Kang*, Ki-Chang Chang*, Euy-Joon Lee*[†]

Department of Mechanical Engineering, Cheju University, Jeju, 690-756, Korea
* Geothermal Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research(KIER),
P.O Box 103 YusongGu, Daejeon 305-600, Korea

Abstract

GSHP(Ground Source Heat Pump) has been extensively disseminated due to the recent increasing demand over new and renewable energy. However, the system reliability has been key issues and barriers to insure a better system performance as designed originally in ISO (international standard organization) standard. This paper introduces a systematic method to verify its intended design target so called as ISO performance data based commissioning technology for a water to air GSHP system. The commissioning technology starts from are to the international standard ISO performance data of a GSHP model and to compare its installed operation data and to calibrate and tune to the target optimum operation parameters. Results indicated that cooling capacity could be raised up to 76.6% from 46.6% from this proposed commissioning technology.

Key words : Commissioning(커미셔닝), Water to air GSHP(물 대 공기 지열히트펌프), ISO 13256-1, Cooling capacity(냉방용량), COPc(냉방 성적계수)

기 호 설 명

EWT : 열펌프로 들어오는 액체 온도 [°C]
EA : 실내기 입구 공기 온도 [°C]
TC : 냉방능력
KW : 소비전력
HR : 응축용량
HC : 난방능력
HE : 증발용량
LLT : 부하측으로 나가는 액체 온도 [°C]
COP : 성적계수

하 침 자

c : 냉방
h : 난방

1. 서 론

오늘날 세계는 화석연료의 사용으로 인한 지구 온난화문제를 해결하기 위해 에너지 개발이 시급한 과제로 대두되고 있다. 우리나라에서도 정책적으로 이행계획을 수립하여 다각적인 방안을 마련하고 있으며 대표적으로 태양열, 태양광, 풍력, 지

[†] Corresponding author
Tel: +82-42-860-3514; fax: +82-42-860-3739
E-mail : ejlee@kier.re.kr

열 등 각종 신재생에너지의 개발에 많은 투자가 이루어지고 있다. 그 중에서도 지열 에너지는 지열히트펌프의 열원으로 사용하여 건물의 냉·난방에너지원으로 효과적으로 활용 될 수 있으며 기존의 냉난방 시스템보다 에너지소비량이 적고 안정적인 지열을 열원으로 사용하기에 다른 열원을 사용하는 열펌프 시스템에 비하여 효율이 높은 시스템이다. 그러나 지열히트펌프는 설치 환경에 의해 운전 성능에 많은 영향을 받는 시스템으로서 설계, 설치 운전상태 등이 매우 중요한 성능 결정 요소이다.

국내에서도 2000년도부터 보급이 시작되어 해마다 그 수가 높게 증가하고 있으나 높은 증가 추세에 비해 지열히트펌프의 성능 우수성 및 신뢰성 보장을 위한 구체적인 규격이나 제도적인 장치는 미흡한 실정이다. 본 연구에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 지열히트펌프 시스템에 커미셔닝 기법을 적용했다.

커미셔닝이란 설계의 요구에 부합되도록 프로젝트의 모든 시스템의 설계, 설치, 성능 시험, 운전 유지성 등을 확인, 검증하여 문서화하고 보증하는 과정으로 정의되어 진다. 이러한 커미셔닝을 통해 지열히트펌프의 제 성능을 발휘 및 유지 할 수 있고 이러한 기술을 통해 신재생에너지 이용 기술인 지열히트펌프의 성능을 극대화 할 수 있다.

본 연구는 기존에 단순 유니트에 의한 성능인증이 아닌 시스템의 설치 후 운전 성능을 확인 및 확인 과정이 간편하고 접근이 용이한 커미셔닝 기술 개발을 을 목적으로 한다. 또한 KIER에 설치되어진 공기열원 및 지열원을 동시에 사용하는 하이브리드 지열히트펌프시스템을 통해 커미셔닝 기법 적용 및 실제 적용성에 대한 결과를 제시해 본다.

2. 지열히트펌프 성능 확인 방법

2.1 기존 지열히트펌프 유니트 성능인증 방법

현재 지열히트펌프에 성능 인증 방법은 국제 규격인 ISO 13256-1에 의해 특정 조건에서의 유니트에 인증만을 실행되어지고 있으며 ISO 13256-1은 물-공기와 브라인-공기의 열펌프, 물-루프 열

펌프, 지표수-루프 열펌프, 지중-루프 열펌프 등과 같은 물 대 공기 열펌프 시스템의 성능 평가를 위한 국제 표준 규격이다. ISO 13256-1에서 제시하는 표준 평가 및 부분 부하 냉·난방 평가를 위한 시험 조건은 Table 1에 명시되어있다. 이는 시험 조건에 따른 실내 측으로 들어가는 공기의 건구·습도온도, 주위공기 건구온도, 열교환기로 들어가는 액체 온도(EWT), 주파수 및 전압에 대해 명시되어 있다. 시험을 위하여 평행 상태에 도달할 때까지 장비는 연속적으로 운전되어야 하며, 용량 시험데이터가 기록되기 전 최소한 1시간 동안은 운전해야한다. 데이터는 용량시험 동안에 측정값의 최대 허용 가능 오차는 실내 공기 입구 온도에서 건구 온도 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$, 습구온도 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이며 EWT는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이며 명시된 허용 오차 안으로 일곱 개의 연속된 세트가 얻어 질 때까지 5분 간격으로 최소한 30분 동안 기록되어야 한다. 이 자료의 평균은 시험 결과의 계산을 위해 사용 된다. 지열히트펌프 제조업자는 사용자에게 위와 같은 ISO 규격에 따라 시스템 성능 측정을 하고 그 시스템의 성능차트를 제품과 함께 제시한다. Table 2는 국외 W사에 물대 공기 방식의 지열히트펌프 성능차트 예시를 나타낸 것이다. 본 성능차트의

Table 1. ISO 1325-1 Test conditions of ground source heat pump

	Heating	Cooling
Air entering indoor side dry bulb, web bulb	20°C, 15°C	27°C, 19°C
Air surrounding unit, dry bulb	20°C	27°C
Standard rating test Liquid entering heat exchanger	0°C	25°C
Part-load rating test Liquid entering heat exchanger	5°C	20°C
Frequency ^a	Rated	Rated
Voltage ^b	Rated	Rated

^aEquipment with dual-rated frequencies shall be tested at each frequency

^bEquipment with dual-rated voltages shall be performed at both voltages or at the lower of the two voltages if only a single rating is published

Table 2. ISO 13256-1 based heat pump performance chart

EWT [°C]	GPM	Cooling					Heating				
		EA [°C]	TC	KW	HR	COPc	EA [°C]	HC	KW	HE	COPh
25	10.0	24/17	23.70	6.60	28.51	3.3	24	24.52	10.93	15.72	2.2
		27/19	23.58	6.79	28.57	3.2	27	24.27	11.27	15.13	2.2
		29/21	23.45	6.98	28.62	3.0	29	24.07	11.49	14.71	2.1
	16.0	24/17	23.19	6.87	31.11	3.8	24	27.31	10.57	18.88	2.6
		27/19	26.03	7.11	31.16	3.7	27	27.04	10.92	18.24	2.5
		29/21	25.87	7.31	31.20	3.5	29	26.83	11.16	17.8	2.4
	22.0	24/17	27.38	6.77	32.17	4.0	24	28.87	10.25	20.74	2.8
		27/19	27.20	6.99	32.21	3.9	27	28.57	10.63	20.28	2.7
		29/21	27.03	7.20	32.25	3.7	29	28.31	10.88	19.62	2.6

TC, HR, HC, HE, KW=[Kilowatts]

세부 내용을 살펴보면 EA는 건구 · 습도 온도를 나타내고 TC 냉방능력, KW 소비전력, HR 응축 용량, HC 난방능력, HE 증발용량, COPc, COPh는 냉난방 성적계수를 나타낸다.

2.2 ISO 성능데이터를 활용한 커미셔닝 기법

이미 앞에서 설명 되어진 유니트의 성능인증의 가장 큰 단점은 오직 제조사에서 출시될 시점의 유니트의 성능에만 관심이 있으며 설치되어진 후

에 시스템 성능에는 아무런 관심을 두지 않는 것이다. 현장에 설치되어질 지열히트펌프는 주위 운전조건 및 환경이 시스템의 성능에 많은 영향을 줄 수 있으며 이러한 영향에 의한 성능 저해 요소를 해결위해 여러 가지 진단방법의 제시되어지고 있으며 이러한 방법 중 가장 명확한 방법중에 하나는 커미셔닝이다. 본 연구에서는 이러한 관점에서 ISO 규격에 의한 성능데이터를 활용한 커미셔닝 기법을 제시한다. ISO 성능데이터를 활용한

EWT [°C]	GPM	Cooling					Heating				
		EA [°C]	TC	KW	HR	COPc	EA [°C]	HC	KW	HE	COPh
25	10.0	24/17	23.70	6.60	28.51	3.3	24	24.52	10.93	15.72	2.2
		27/19	23.58	6.79	28.57	3.2	27	24.27	11.27	15.13	2.2
		29/21	23.45	6.98	28.62	3.0	29	24.07	11.49	14.71	2.1
	16.0	24/17	23.19	6.87	31.11	3.8	24	27.31	10.57	18.88	2.6
		27/19	26.03	7.11	31.16	3.7	27	27.04	10.92	18.24	2.5
		29/21	25.87	7.31	31.20	3.5	29	26.83	11.16	17.8	2.4
	22.0	24/17	27.38	6.77	32.17	4.0	24	28.87	10.25	20.74	2.8
		27/19	27.20	6.99	32.21	3.9	27	28.57	10.63	20.28	2.7
		29/21	27.03	7.20	32.25	3.7	29	28.31	10.88	19.62	2.6

TC, HR, HC, HE, KW=[Kilowatts]

Time	Indoor inlet air temp. (°C)	Indoor outlet air temp. (°C)	Outdoor inlet air temp. (°C)	Unit inlet temp. (°C)	Unit outlet temp. (°C)	Power (kW)
11:36	26.402	13.405	26.54	27.61	66.67	6.54
11:37	26.126	13.506	27.75	27.69	66.52	6.50
11:38	26.254	13.425	27.29	27.75	66.16	6.30
11:39	26.192	13.22	27.66	27.84	65.79	6.47
11:40	26.024	13.285	27.85	27.90	65.42	6.50
11:41	26.27	13.314	26.96	27.95	65.06	6.45
11:42	27.045	13.642	26.81	28.04	64.71	6.55
11:43	26.455	13.576	27.97	28.12	64.62	6.51
11:44	26.772	13.722	26.31	28.23	64.12	6.55
11:45	26.275	13.559	27.72	28.31	63.52	6.50
11:46	26.093	13.595	29.29	28.39	63.50	6.53
11:47	26.685	13.744	29.30	28.50	63.21	6.58
11:48	26.435	13.52	27.27	28.61	62.93	6.47
11:49	26.185	13.37	27.57	28.71	62.67	6.45
11:50	26.835	13.836	27.81	28.82	62.40	6.49

Performance data curve

- Cooling capacity: f(DB, EWT)
- Heating capacity: f(DB, EWT)
- COP: f(DB, EWT)
- etc

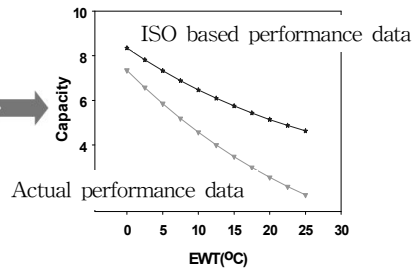


Fig. 1 Comparison of ISO based and actual performance data

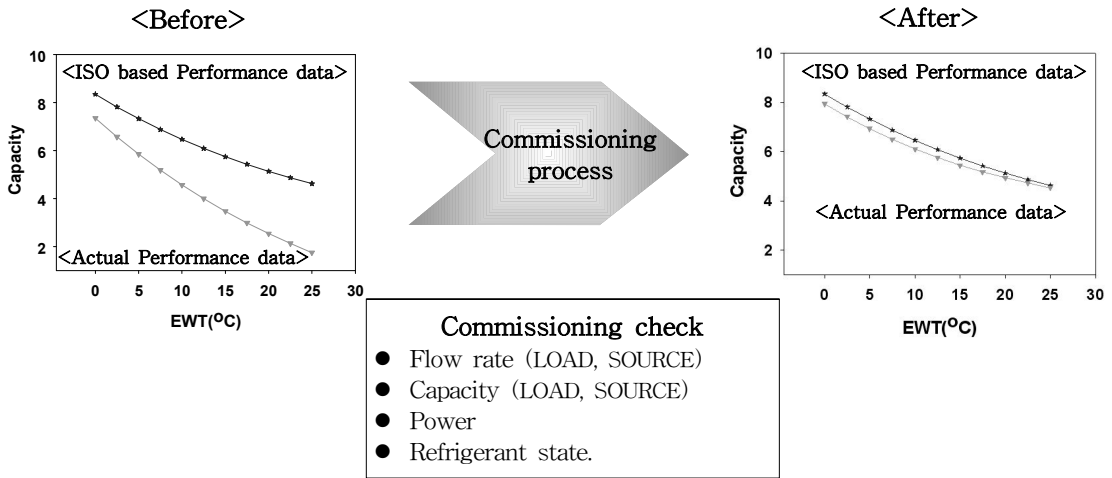


Fig. 2 Commissioning process

커미셔닝 기법은 ISO 규격에 근거 하에 제작되고 제공되는 성능데이터와 현장에서 실제 측정된 운전 데이터의 성능 곡선을 비교 분석 후 나타난 성능 오차를 계속적으로 오차를 줄여나가는 방법이다. 이에 따른 과정을 보면 Fig. 1과 같이 ISO 성능데이터와 실제 측정된 운전 데이터를 EWT에 따른 함수 관계로 나타내어 비교 할 수 있으며 이외에도 실제 측정 데이터를 변수로 사용하여 EA, COP, 냉난방 능력 등과의 함수 관계로 나타낼 수 있다. 여기서 ISO 성능데이터는 각종 운전 조건에 따른 시스템의 최적의 성능이라 볼 수 있으며 실제 시스템 설치시 같은 운전조건에서의 성능이라 볼 수 있다. 따라서 두 성능 데이터를 비교 후 오차에 대한 분석 수행하며 그에 따른 수정 과정을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 나타난 커미셔닝 과정은 앞서 ISO 성능데이터와 실제 측정된 데이터의 성능 곡선을 비교 분석 후 나타난 성능 오차를 계속적으로 오차를 줄여나가는 과정을 보여준다. 이때 커미셔닝 수행 과정은 히트펌프의 이상 작동을 확인 할 수 있는 압축기 압력, 순환펌프 및 지중열교환기 내부 유량, 시스템 운반이나 설치 시 발생될 수 있는 냉매 손실을 충전, 히트펌프 및 순환펌프의 안정적인 정상운전을 위한 전기 공급 상태 등 시스템의 성능에 영향을 줄 수 있는 기기의 설계치 혹은 정상 상태를 유지하고 있는지를 확인 체크한다. Fig. 3은 이러한

ISO 성능데이터를 활용한 커미셔닝 수행과정의 한 예를 보여주는 것으로 시스템 냉방 용량과 열원측 지중열교환기 유량에 대한 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 실제 설치 된 히트펌프의 지중열교환기 측 설계유량이 30LPM이었으나 현장에 시스템 설치 후 배관 관경 선정 및 펌프 선정이 잘못되어 설계유량에 비해 실제 유량이 못 미치는 상황에 대한 결과를 나타내고 있다. 지중열교환기 측 유량이 20LPM 인 경우 ISO 성능데이터와 비교 시 현저히 낮은 성능을 나타내는 것을 알 수 있으며 펌프 교체 및 배관 수정을 통해 유량을 설계치에 근접시킨 결과 시스템 성능이 단계적으로 높아짐을 알 수 있었다. 실제 이러한 상황은 스트

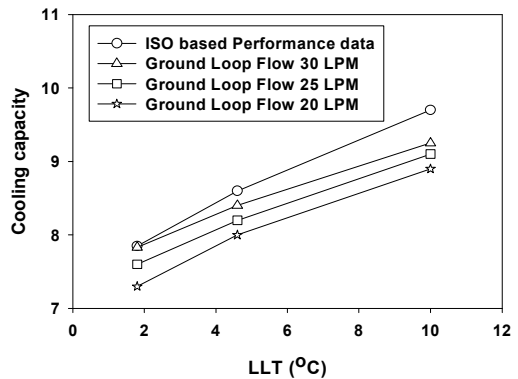


Fig. 3 Cooling capacity with respect to LLT

레이너에 막힘, 펌프 및 배관에 관한 문제 등 실제 운전시 발생 할 수 있으며 이와 같이 ISO 성능 데이터와 비교 분석 후 시스템의 운전 상황을 체크하여 시스템 성능의 최적의 상태를 유지 할 수 있도록 확인 시켜준다.

현재 지열히트펌프 커미셔닝의 방법은 다양하게 제시되어 질수 있으나 가장 근본적인 목적은 지열히트펌프의 성능이 제성능이 발휘 할 수 있도록 하는 것이며 본 연구에서는 ISO 규격 성능 곡선과 실제 성능 곡선을 통한 분석을 통해 간편하고 명료하게 커미셔닝의 목적에 접근 할 수 있는 기법을 제시하였다. 이는 지속적인 커미셔닝이 이루어 질수 있게 하는 근간이며 현장에 설치되어진 지열히트펌프 성능이 환경 및 계절적인 변화에 따라 지속적인 성능을 발휘하고 시스템이 현장 설치 후에도 최적의 성능으로 운전 상태를 유지함으로써 시스템의 신뢰도를 향상 시킬 수 있다.

3. 현장 설치 시스템 커미셔닝 수행 사례

3.1 하이브리드 히트펌프 시스템

본 장에서는 실제 KIER 현장에 설치되어진 하이브리드 지열원 시스템에 ISO 성능데이터를 활용한 커미셔닝 기법을 적용하여 시스템 성능 측정 및 확인 과정을 수행하여 보았다.

ISO 성능 데이터를 활용한 커미셔닝 기법이 적용된 시스템은 공기열원과 지열원을 동시에 사용하는 하이브리드 지열히트펌프 시스템으로서 자체내에 공기열 및 지열 열교환기를 내장하여 공기 열원과 지열원 동시 사용이 가능하며 작동냉매는 R410A를 사용한다. Fig. 4는 대상 시스템을 나타낸 것으로 실내기 및 실외기 및 지중 열교환기는 100M 깊이에 수직형 2개 루프가 직렬로 구성되어 있다. 본 적용 시스템은 공기열원과 지열원을 복합적인 시스템으로 인해 국제규격이 존재하지 않는 관계로 ISO 13256-1과 KS C 9306 에어컨디셔너 규격을 적절히 조합하여 ISO 규격에 준한 시험규격을 사용하였으며 Table 3은 적용된 냉방성능시험규격을 나타내고 있다. Table 4는 제조사가 제공하는 성능데이터 작성방법과 동일

하게 Table 3의 시험규격을 기준으로 넓은 작동 범위에 따른 운전 성능 실험 및 시뮬레이션을 통해 시스템의 성능데이터를 나타내었으며 이를 기준으로 ISO 성능 데이터를 활용 커미셔닝 기법을 적용하였다.

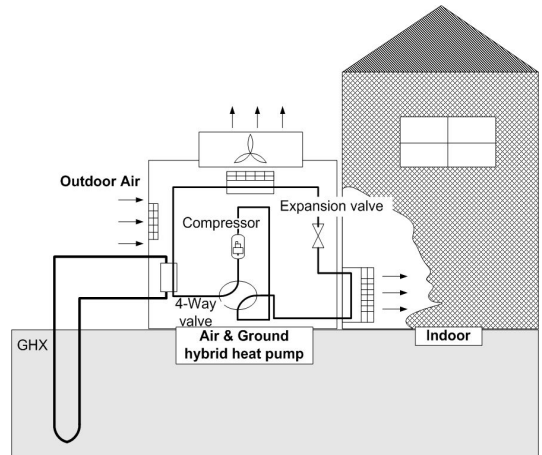


Fig. 4 Schematic diagram of air & ground source hybrid heat pump

Table 3. Test conditions of air & ground source hybrid heat pump

	Cooling
Air entering indoor side	
-dry bulb (°C)	27.00
-web bulb (°C)	19.00
Air entering outdoor side	
-dry bulb (°C)	35.00
-web bulb (°C)	24.00
Air-flow of indoor side (CMM)	87.60
Liquid entering heat exchanger (°C)	25.00
Liquid-flow entering heat exchange (LPM)	27.50
Liquid leaving heat exchanger (°C)	33.40

3.2 커미셔닝 수행 결과

Fig. 5는 현장 조건하에서 냉방 성능데이터와 ISO 규격에 성능데이터를 비교분석 하였고 그 결과를 나타내었다. 지중열교환기에서 실외기로 들어가는 입구측 물의 온도(EWT) 변화에 따른 결

Table 4. Air & ground source hybrid heat pump performance chart (KIER)

Cooling						Heating					
EWT (°C)	EA (°C)	TC	KW	HR	COP _c	EWT (°C)	EA (°C)	HC	KW	HE	COP _h
25	24	29.58	6.377	35.957	4.50	0	16	27.34	9.40	17.944	2.91
	25	29.26	6.458	35.718	4.43		17	27.63	9.45	18.18	2.92
	26	28.94	6.539	35.479	4.37		18	27.91	9.50	18.406	2.94
	27	28.61	6.619	35.229	4.30		19	28.2	9.56	18.641	2.95
	28	28.27	6.7	34.97	4.24		20	28.49	9.61	18.876	2.96
	29	27.92	6.781	34.701	4.18		21	28.78	9.67	19.11	2.98
	30	27.57	6.861	34.431	4.12		22	29.07	9.73	19.345	2.99
	31	27.2	6.942	34.142	4.06		23	29.37	9.78	19.589	3.00
	32	26.83	7.022	33.852	4.01		24	29.66	9.84	19.823	3.02
	33	26.45	7.102	33.552	3.95		25	29.95	9.89	20.056	3.03

TC, HR, HC, HE, KW=[Kilowatts]

과를 냉방능력으로 나타낸 것으로 ISO 규격에 준하는 성능데이터 냉방능력에 비해 현장 조건 성능데이터의 냉방능력이 약 46.6% 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 시스템은 비정상적인 냉방능력을 통해 현장 설치 시 시스템 운전은 최적조건 상태가 아닌 것으로 쉽게 판단이 가능하다. 이와 같은 원인을 해결하기 위해 히트펌프의 작동상태를 확인 한 결과 저압측이 압력 및 부하측 입·출구 온도차가 정상 상태에 비해 낮아진 것을 알 수

있었으며 또한 과열도가 과도하게 높아진 것을 알 수 있었다. 이처럼 운전 상태 모니터링을 통해 시스템을 점검하고 이를 통해 냉매배관의 누설로 인한 냉매량이 크게 부족한 상태라는 것을 파악할 수 있었으며 이는 냉방능력 감소로 인하여 시스템 운전 시 최적의 상태에 도달하지 못함을 확인 할 수 있었다. Fig. 6은 시스템에 적정 냉매를 다시주입하고 제 측정 결과를 에 나타내었으며 ISO 규격에 준하는 성능데이터 냉방능력이 76.6

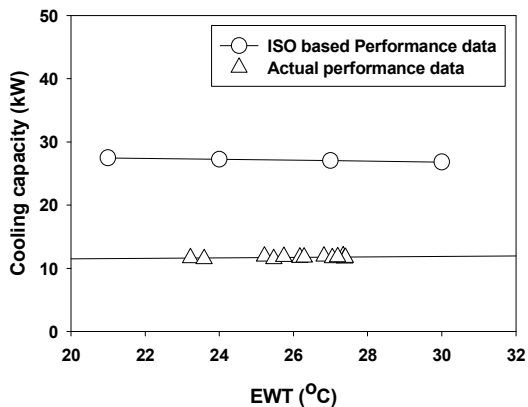


Fig. 5 Cooling capacity with respect to EWT (before Commissioning)

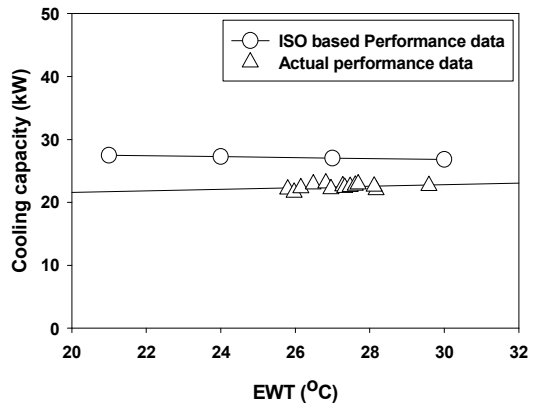


Fig. 6 Cooling capacity with respect to EWT (after Commissioning)

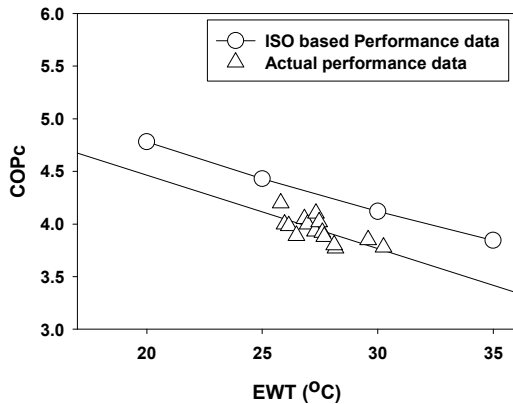


Fig. 7 COPc with respect to EWT (after commissioning)

% 까지 근접 시킬 수 있었다.

Fig. 7은 커미셔닝 수행 후 입구 측 물에 온도에 따른 냉난 COP를 나타낸 그래프로써 커미셔닝 과정을 통하여 ISO 규격에 준하는 성능 데이터와 현장 조건하에 성능이 근접함을 보였다.

4. 결론

본 연구는 ISO 규격에 기초한 성능데이터를 활용하여 지열히트펌프 시스템의 성능 확인 커미셔닝 기술 개발을 위한 연구로써 새로운 커미셔닝 기법 제안과 새로운 커미셔닝 기법을 통해 실제 현장에 설치되어진 하이브리드 지열히트펌프 시스템에 적용 평가를 수행하였으며 연구 결과는 다음과 같다.

본 연구에서 제시한 커미셔닝 기법은 ISO 표준 규격에 근거한 성능 데이터와 실제 현장에 설치되어진 지열히트펌프 성능 측정을 통한 성능 데이터를 비교 분석하고 이러한 과정에 나타난 성능 오차를 커미셔닝 수행을 통해 줄여 나가는 방안이다.

실제 현장에 설치되어진 하이브리드 지열히트펌프 시스템의 커미셔닝을 시행하였으며 냉방 능

력 성능 분석 결과가 준 ISO 규격에 의거한 성능 데이터보다 냉방용량은 현저하게 낮게 운전되는 문제를 찾을 수 있었다. 원인 분석 결과 냉매의 누설로 인하여 냉매량 부족으로 판단 할 수 있었으며 누설 테스트를 통해 기밀 작업 및 냉매를 보충하여 성능 감소 현상을 제거 할 수 있었고 결과적으로 현장 설치된 시스템의 성능이 ISO 규격에 기초한 성능데이터에 근접하게 나타났다.

이를 통해 커미셔닝 기술은 지열히트펌프 시스템의 운전 환경 변화에 따라 제 성능을 유지하지 못하는 것을 방지 할 수 있으며 또한 최적의 성능으로 운전 상태를 유지함으로써 시스템의 신뢰성과 우수성을 높일 수 있음을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산자부의 신·재생에너지기술 개발 사업(과제번호2006-N-GE02-P-01-3-020)의 지원에 의해 수행 되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. D. S. Kim, C. Y. Kim, 2001, Commissioning procedures of HVAC, SAREK Journal, Vol. 30, pp. 9-23.
2. D. S. Kim, C. Y. Kim, J. H. Lee, C. J. Um, 2002, The Procedure and performance of Commissioning, Proceedings of The SAREK, pp. 371-376.
3. KS B ISO 13256-1,2
4. KS C 9306
5. G. H. Ko, J. Y. Kim, E. C. Kang, E. J. Lee, M. T. Hyun, 2007, A study on Ground Source Heat Pump(GSHP) performance Measurement and Initial commissioning, Proceedings of The SAREK, pp. 44