

## 지열원 열펌프 유닛의 시험 및 성능인증 기준 조사분석

우 정태<sup>1)</sup>, 윤 재호<sup>2)</sup>, 강 희정<sup>3)</sup>, 김 종하<sup>4)</sup>, 최 연성<sup>5)</sup>, 김 민준<sup>6)</sup>

### Performance Certification Program for GSHP in Korea

Jeongtae Woo, Jaeho Yun, Heejeong Kang, Jongha Kim, Younsung choi, Minjun Kim

**Key words** : NR GT 101/102(물-물, 물-공기 지열열펌프 기술기준), Certification(인증프로그램), EER/COP(냉난방성능계수)

**Abstract** : In this study, NR GT 101 (water-to-water Ground source heat pump unit) and NR GT 102 (water-to-air Ground source heat pump unit) related with ISO and ARI guideline were introduced and researched. GSHPs testing was performed by NR GT 101, 102 and analyzed performance factors. Test result, Energy Efficiency Ratio and Coefficient of performance factor of GSHPs were relatively low at an average value rather than Certification.

#### 기호설명

- EER : energy efficiency ratio, W/W
- COP : coefficient of performance factor, W/W
- $\Phi_{total}$  : 총 소비전력, W
- $\Phi_{pai}$  : 부하 측 순환수 펌프 소비전력 보정, W
- $\Phi_{pao}$  : 열원 측 순환수 펌프 소비전력 보정, W
- $\Phi_{pai}$  : 부하 측 순환수 펌프 소비전력 보정, W
- $q$  : 부하 측 순환수 유량, l/s
- $\Delta p$  : 부하 측 순환수 펌프 입구와 출구 사이의 정압 차이, Pa
- $\eta$  : 상수, 0.3
- $\Phi_{tco}$  : 열펌프의 총 냉방 용량, W
- $\Phi_{tho}$  : 열펌프의 총 난방 용량, W
- $C_{pf}$  : 열원 측 순환수의 비열, J/kgK
- $T_{\beta}$  : 열원 측 순환수의 열펌프 유입 온도, °C
- $T_{\beta}$  : 열원 측 순환수의 열펌프 유출 온도, °C
- $w_f$  : 열원 측 순환수의 질량유량, kg/s
- $\Phi_t$  : 열펌프 총 소비전력, W

#### 1. 서론

지열원 열펌프 시스템(Ground Source Heat Pump System)은 신재생에너지의 활용 및 고효율이라는 큰 장점으로 인하여 지난 10년간 전 세계

30개국 이상에서 매년 10%이상의 빠른 성장세를 나타내고 있으며<sup>(1)</sup> 국내의 경우도 최근 시행된 대체에너지 이용법과 관련하여 공공부문에서의 신재생 에너지 설치가 의무화되면서 여러 가지 신재생에너지 원 중 지열을 이용한 지열원 열펌프 시스템에 많은 관심이 모아지고 있다. 하지만 지열원 열펌프 시스템은 다른 신재생에너지를 이용한 시스템과는 달리 건축, 토목, 기계 등 여러 산업분야의 기술이 접목되는 복합시스템으로 인하여 아직 완성된 표준화 시스템이 구축되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지열원 열펌프 시스템 중 시스템 효율의 가장 큰 영향을 미치는 지열 열펌프유닛과 관련하여 국내의 기술기준인 NR GT series, ISO 13256 series, ARI series 및 energy star 등을 조사하였고 인증 및 제품개발을 위해 현재까지 수행된 시험 품들의 냉난방능력, 소비전력, COP, EER등 성능결과를 분석하였다. 따라서 이러한 국내 기술기준 및 규격들을 보다 상세히 소개하고 이를 기초로 하여 제도적으로 보완해야할 사항들에 대한 개선안을 제시 함으로써 국내 지열 열펌프 시스템 산업의 보급 및 발전을 도모하고자 하였다.

#### 2. 국내외 규격현황

##### 2.1 국외규격현황

지열 열펌프 유닛과 관련된 해외규격으로는

1) Corresponding author  
E-mail : wjt@kraac.or.kr  
Tel : (031)500-3821 Fax : (031)500-3825

Table 1 ISO 13256-1,2 적용범위

적용범위	정 의
물 순환 열펌프	열원 또는 히트 싱크로서 일반적인 배관루프 기능 안에 액체순환을 사용하는 물-공기, 물-물 열펌프. - 주: 액체루프의 온도는 온도범위 15°C 부터 45°C 안에서 기계적으로 제어 된다.
지하수 지표수 열펌프	열원 또는 히트 싱크로서 우물, 호수, 시냇물로부터 펌프에 의해 공급된 물을 사용하는 물-공기, 물-물 열펌프. - 주: 물의 온도는 기후조건과 관계되고 깊은 우물에서 5°C부터 25°C까지 다양하다.
지중루프 열펌프	열원 또는 히트 싱크로서 지하배관 루프 기능을 통해 순환하는 브라인 용액을 사용하는 브라인-공기, 브라인-물 열펌프. - 주: 1. 열교환기 루프는 수평의 도랑이나 수직의 홀에 놓이거나 물속에 잠긴다. 2. 브라인 온도는 기후조건에 따라 변하며, -5°C부터 40°C까지 다양하다.

국제표준규격인 ISO 13256-1(수열원 히트펌프: 물-공기, 브라인-공기 히트펌프), ISO 13256-2(수열원 히트펌프: 물-물, 브라인-물 히트펌프)가 있고 미국 냉동협회 규격인 ARI 320-98(수열원 히트펌프), ARI 330-98(지열원 페루프형 히트펌프), ARI 325-98(지하수, 지표수 이용 히트펌프), ARI 870-2001(직접 지중열교환 방식의 히트펌프)등이 있으며 미국 환경보호국(EPA)과 에너지국(DOE)에서 공동으로 운영하는 에너지 효율성 프로그램인 Energy Star 등이 있다.

ISO 13256-1, ISO 13256-2는 물을 열원으로 사용하는 가정용, 상업용, 산업용으로 제작된 열펌프에 대한 성능테스트 및 평가기준으로 지하수, 지중열을 열원으로 적용하는 열펌프 뿐만 아니라 냉각탑을 이용한 페루프 형태의 수열원 열펌프에도 포괄적으로 적용하고 있다.

ISO 13256-1, ISO 13256-2는 수열원 히트펌프 유닛의 종류별 성능 시험조건 및 시험절차 등에 대해 정의하고 있으나 냉방/난방 효율기준인 EER, COP에 관해서는 언급하고 있지 않다.

ARI 320-98(Water-source heat pumps)은 미국 냉동협회(America Refrigeration Institute)에서 시행하고 있는 단체 인증 규격으로 물을 열원으로 하여 공장에서 제작된 주거용, 상업용, 산업용 열펌프의 정의, 시험 및 평가조건에 대한 기준으로 냉방용량기준 40kW 미만에 대해 정의하고 있다. ARI 320은 지열원을 적용하는 열펌프는 포함하고 있지 않으며 냉난방 기기 뿐만 아니라 냉방 전용기기에 대해서도 적용대상에 포함시키고 있다.

ARI 325-98(Ground water-source heat pumps)은 지하수, 지표수를 열원으로 하여 공장에서 제작된 주거용, 상업용, 산업용 열펌프의 정의, 시험 및 평가조건에 대한 기준으로 냉방용량 기준 40kW 미만에 대해 정의하고 있고 ARI 320과 마찬가지로 냉난방 기기 뿐만 아니라 냉방전용기기에 대해서도 적용대상에 포함시키고 있다.

Table 2 규격별 냉난방 표준 시험조건

시험항목	온습도 조건	장비내부로 유입되는 공기온도 (°C)	장비주변의 공기온도 (°C)	냉매-물, 냉매-유체 열교환기에 유입되는 물 온도 (°C)	냉매-물, 냉매-유체 열교환기에서 유출되는 물 온도 (°C)
ARI 320	냉방	26.7(건구) 19.4(습구)	26.7	29.4	35.0
	난방	21.1(건구) 15.6(습구)	21.1	29.4	-
ARI 325	냉방	26.7(건구) 19.4(습구)	26.7	21.1	-
	난방	21.1(건구) 15.6(습구)	21.1	21.1	-
ARI 330	냉방	26.7(건구) 19.4(습구)	26.7	25.0	-
	난방	21.1(건구) 15.6(습구)	21.1	0	-
ARI 870	냉방	26.7(건구) 19.4(습구)	26.7	25.0	-
	난방	21.1(건구) 15.6(습구)	21.1	5	-

ARI 330-98(Ground source close-loop heat pump)은 수직형 또는 수평형 밀폐식 페루프 열펌프 유닛에 대한 정의, 시험, 평가조건에 대한 기준으로 용량40kW 미만, 루프통과 유체온도 -3°C ~37.7°C로 정의하고 있다.

ARI 870-2001(Direct Geoexchanged heat pump)은 냉매공급 배관이 직접 지하 페루프와 연결되어 지열 원과 열교환하는 유닛으로서 다른 규격과 마찬가지로 공장에서 제작된 주거용, 상업용, 산업용 등 모든 열펌프의 시험조건, 평가조건 등에 대한 규격이다.

Table 2에는 각 규격별 냉난방 표준 시험조건을 명시하였다.

Energy Star는 미국 환경보호국과 에너지국에서 공동으로 운영하는 에너지효율성의 프로그램으로 그 대상품목은 에어컨디셔너, 세탁기, 냉장고 등 가전기기부터 창문, 출입문, 지붕 등 주택 단열품목까지 매우 다양하고 폭이 넓은데 지난 10년간 Energy Star 제품이 소비되었고, 7000여개 기업과 단체가 이 프로그램의 파트너로 가입하는 등 범 친환경 인증으로 평가받고 있다. 특히 냉동공조기기 관련 품목만 하더라도 룸 에어컨디셔너, 공랭식 열펌프, 제습기, 중앙식 공조기, 팬, 공기청정기, 환기장치, 지열 열펌프 등 여러 종류의 품목에 대하여 기준보다 10 ~ 25 %정도 더 높은 에너지 소비효율 기준을 정해놓고 있다.

Table 3은 Energy Star 인증의 지열열펌프 유닛 효율을 나타내고 있다.

## 2.2 국내규격현황

지열 열펌프 시스템 관련 국내규격으로는 현

Table 3 지열열펌프 유닛의 Energy star 효율기준

Product type	EER	COP	qualify under
Close Loop With integrated WH	14.1 14.1	3.3 3.3	ISO 13256-1
Open Loop With integrated WH	16.2 16.2	3.6 3.6	ISO 13256-1
DX With integrated WH	15 15	3.5 3.5	ARI 870

재 국제표준규격인 ISO 13256 series를 한국 산업규격으로 부합화한 KS B ISO 13256-1(수열원 히트펌프 - 성능 테스트 및 평가 제 1부 : water-to-air 히트펌프 및 brine-to-air 히트펌프), KS B ISO 13256-2(수열원 히트펌프-성능 테스트 및 평가 제 2부 : water-to-water 히트펌프 및 brine-to-water 히트펌프)와 신재생에너지 촉진법에 의해 에너지관리공단에서 제정한 지열 열펌프 기술기준인 NR GT 101 - 2006(물-물 지열 열펌프 유닛), NR GT 102 - 2006(물-공기 지열 열펌프 유닛)이 있다. NR GT 101, NR GT 102의 대부분은 KS B ISO 13256-1, KS B ISO 13256-2내용을 기반으로 하여 제정하였고 현재 지열 열펌프 인증을 위한 기술기준서로 활용하고 있다.

NR GT 101, NR GT 102는 물을 열원으로 사용하여 부하측에서 냉매와 물 또는 냉매와 공기가 열교환하는 방식으로 가정용, 상업용, 산업용으로 제작된 열펌프에 대한 기준으로 지하수, 지중 열을 열원으로 적용하는 열펌프뿐만 아니라 냉각탑을 이용한 폐루프 형태의 수열원 열펌프 시스템에도 적용되고 있다. 물을 적용하는 거의 모든 시스템을 범위로 포함시킨 관계로 열펌프의 구분 또한 물 순환 시스템, 개방형 지하수-지표수 시스템, 밀폐형 지중루프 시스템으로 정의하고 있으며 지열 열펌프 유닛의 적용용량은 냉방용량 기준 105kW이다.

NR GT series는 KS B ISO 13256 series와 달리 각 시스템 별로 표준 냉난방 조건하에서 냉난방 효율기준인 EER, COP가 명시되어 있고 이에 따른 시험환경조건도 명시되어 있다.

Table 4는 국내 지열 열펌프 인증을 위한 NR GT 효율기준을 나타내고 있다.

### 3. 기술기준분석

국내 지열열펌프 인증을 위한 기술기준을 NR GT 101 (물-물 지열열펌프 유닛)위주로 정의, 냉·난방능력 산출식, 에너지효율 산출식, 시험조건, 시험방법 등 핵심사항을 정리하여보면 다음과 같다.

#### 3.1 정의

지열 열펌프의 구분은 열교환 방식에 따라 크게 물-물, 브라인-물 열펌프 유닛, 물-공기, 브라인-공기 열펌프 유닛으로 나눌 수 있고 이를 다시 적용 시스템별로 물 순환 시스템, 개방형 지하수-지표수 시스템, 밀폐형 지중루프 시스템으로 나눌

Table 4 지열 열펌프 유닛의 NR GT 효율기준

운전 모드	적용시스템	최소요구성능 W/W	최소요구성능 Btu/Wh
냉방	물 순환시스템	3.5	12.0
	지하수-지표수 시스템	4.8	16.2
	지중루프시스템	4.1	14.1
난방	물 순환	4.2	-
	지하수-지표수 시스템	3.6	-
	지중루프시스템	3.3	-

수 있다. 각각에 대한 정의는 ISO 13256 series에 나온 적용범위와 거의 유사하다.(Table 1 참조)

### 3.2 냉난방능력 및 에너지 효율

냉난방능력은 주어진 시간동안 열펌프가 부하측 열교환기를 순환하는 순환수로부터 제거하는 열량 또는 순환수에 공급하는 열량을 의미하며 단위는 W이다.

#### 3.2.1 정미 냉·난방능력

정미냉방능력은 부하측 순환수 펌프 소비전력까지 고려한 능력이며, 단위는 W이다.

펌프 외장형 : 정미냉방능력(W) = 냉방능력(W) - 순환수 펌프 소비전력 보정(W)

펌프 내장형 : 정미냉방능력(W) = 냉방능력(W) + 순환수 펌프 소비전력 보정(W)

정미 난방능력은 부하측 순환수 펌프 소비전력까지 고려한 능력으로 단위는 W이다.

펌프 외장형 : 정미난방능력(W) = 난방능력(W) + 순환수 펌프 소비전력 보정(W)

펌프 내장형 : 정미난방능력(W) = 난방능력(W) - 순환수 펌프 소비전력 보정(W)

펌프 소비전력 보정 값은 순환수를 열펌프의 냉매-물 열교환기내로 유동시키는데 소요되는 부분만을 유효전력에 포함시키는데 이 값은 직접 측정될 수 없기 때문에, 부하측 냉매-물 열교환기 입·출구에서 순환수 유동에 의한 압력강하와 유량 등으로부터 간접 계산된다. 이 값은 펌프가 열펌프 구성요소가 아닐 경우 냉방용량 산정시 (-), 난방용량 산정시(+)가 되며, 펌프가 열펌프 내장형일 경우 냉방용량 산정시 (+), 난방용량 산정시 (-)가 된다. 열원측 순환수 펌프 소비전력 보정 값의 산출 방법도 부하측 순환수 소비전력 값 산출 방법과 동일하다.

Table 5 지열 열펌프의 표준용량 산정 및 성능시험용 유체

	물순환 시스템	지하수 시스템	지중루프 시스템
부하측	물	물	물
열원측	물	물	15wt. % 염화나트륨(NaCl) + 85 wt. % 물

$$\phi_{pai} = \frac{q \times 10^{-3} \times \Delta p}{\eta} \quad (1)$$

물-물 열펌프의 표준용량 및 성능시험에는 액체엔탈피법(liquid enthalpy test method)이 적용되며 열펌프의 부하측과 열원측에 액체엔탈피법을 적용하여 각각의 냉방용량과 난방용량을 계산하고, 두 값을 평균하여 총 냉방용량과 난방용량을 산정한다.

$$\phi_{tco} = w_f c_{pf} (T_{f4} - T_{f3}) - \phi_t \quad (2)$$

$$\phi_{tho} = w_f c_{pf} (T_B - T_A) + \phi_t \quad (3)$$

### 3.2.2 에너지 효율비

에너지 효율 비는 지열 열펌프에 공급되는 유효 전력에 대한 정미 냉난방능력의 비를 의미하며, 물-물, 물-공기 열펌프의 냉난방 성능 척도를 대변한다.

$$EER = \frac{\text{정미 냉방능력(W)}}{\text{유효 전력(W)}} \quad (4)$$

$$COP = \frac{\text{정미 난방능력(W)}}{\text{유효 전력(W)}} \quad (5)$$

$$\text{유효 전력(W)} = \phi_{total} - \phi_{pai} + \phi_{pao} \quad (6)$$

### 3.3 시험용 유체 및 시험조건

지열 열펌프 유닛의 표준용량 산정 및 성능시험에 사용되는 유체는 열원 순환수 온도조건이 상온일 경우 물 100%로 시험할 수 있으며 온도조건이 난방표준용량 산정조건인 0°C의 경우 Table 5와 같이 염화나트륨을 15% 섞어 시험한다.

지열 열펌프 유닛의 표준용량 냉난방 용량 및 부분부하 용량 산정을 위한 시험조건은 Table 6-7과 같다.

## 4. 인증시험 결과 및 분석

### 4.1 시험방법

본 연구에서는 한국냉동공조인증센터에 의뢰된 지열 열펌프 유닛들의 냉난방 용량 및 소비전력 등을 측정하여 각각의 제품에 대한 EER, COP 성능을 분석하였다. 시험에 사용된 제품들은 인증

Table 6 물 - 물 열펌프의 냉방용량 산정을 위한 시험조건

열펌프 적용 시험조건	물순환 시스템	지하수 시스템	지중루프 시스템
부하측 순환수 열펌프 유입온도, °C	12	12	12
열펌프 주위 공기 - 건구온도, °C	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30
표준용량 시험 열원측 순환수의 열펌프 유입온도, °C	30	15	25
부분부하용량 시험 열원측 순환수의 열펌프 유입온도, °C	30	15	20
주파수	정격 값	정격 값	정격 값
전압	정격 값	정격 값	정격 값

Table 7 물 - 물 열펌프의 난방용량 산정을 위한 시험조건

열펌프 적용 시험조건	물순환 시스템	지하수 시스템	지중루프 시스템
부하측 순환수 열펌프 유입온도, °C	40	40	40
열펌프 주위 공기 - 건구온도, °C	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30
표준용량 시험 열원측 순환수의 열펌프 유입온도, °C	20	10	0
부분부하용량 시험 열원측 순환수의 열펌프 유입온도, °C	20	10	5
주파수	정격 값	정격 값	정격 값
전압	정격 값	정격 값	정격 값

또는 개발을 위한 제품들로서 10-30 RT 용량범위의 제품들이었으며 물-물, 물-공기 방식의 제품들이 모두 포함되어 있었다. 제품들 중 물-물 방식의 지열 열펌프 유닛은 천안 생산기술연구원에 위치해 있는 열원설비 시험 장비를 이용하였고, 물-공기 방식의 제품들은 안산 냉동공조인증센터에 위치해 있는 멀티에어컨 칼로리미터 시험 장비를 이용하였다. Fig. 1에는 물-공기 지열 열펌프 유닛의 성능을 측정할 수 있는 시험설비의 개략도를 나타내었다.

시험에 사용된 제품들은 모두 수직형 지중루프 시스템이었지만 폭넓은 연구를 위해 물 순환 시스템, 지하수-지표수 시스템, 지중 루프시스템 등 모든 냉난방 표준 조건하에서 시험을 실시하였다.

본 시험에 앞서 측정시스템의 실내외 측 재현성은 NR GT 기술기준서 8번 항목의 5%이내를 모두 만족하였고 각 계측기기의 정밀도, 시험데이터의 불확실도 및 허용오차는 NR GT 기술기준서 8.2 ~ 8.9번 항목의 기준을 모두 만족하였다.

### 4.2 시험결과

물-물, 물-공기 지열 열펌프 유닛에 대한 성능

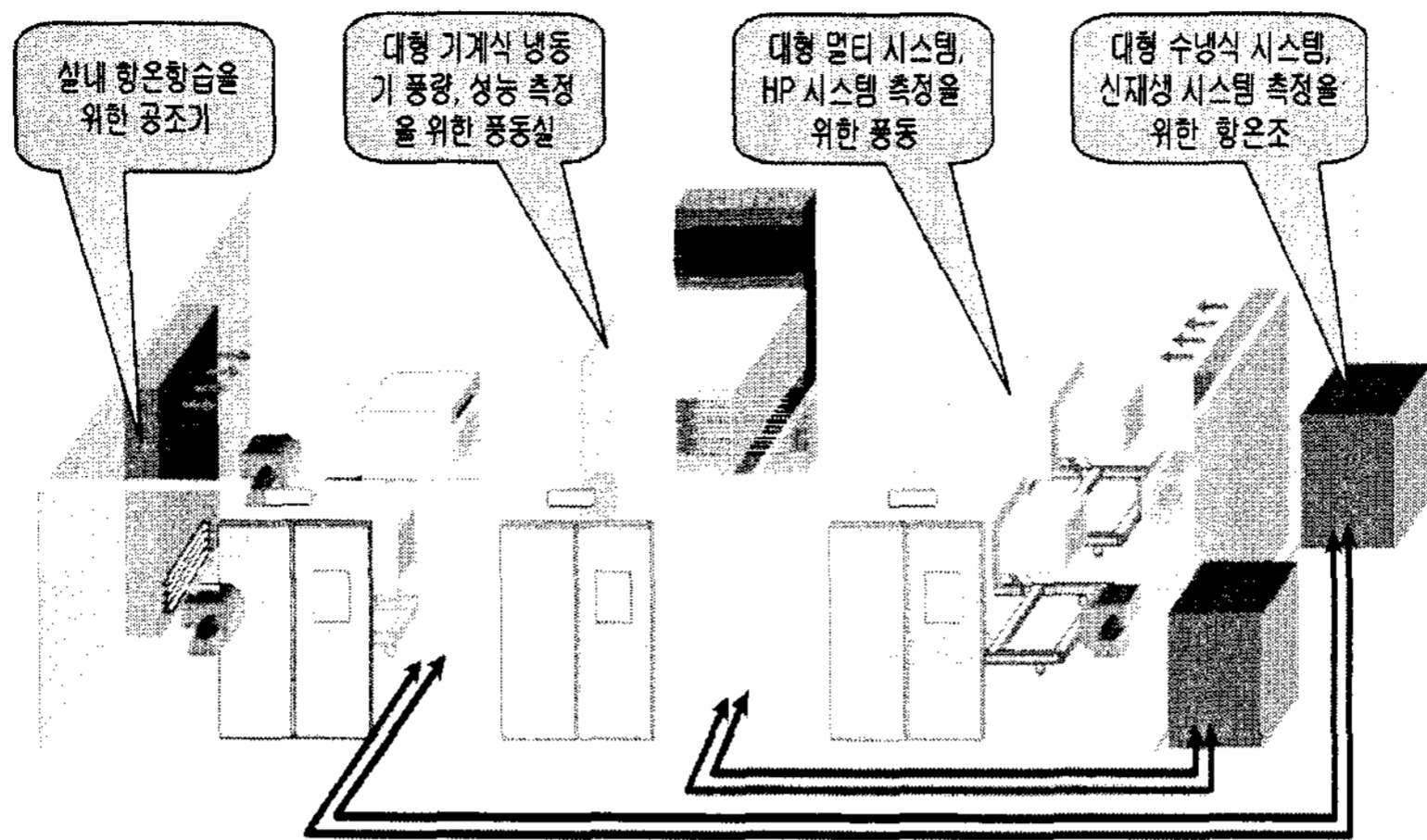


Fig. 1 물-공기 열펌프 성능시험장비 개략도

시험결과를 Fig. 2 ~ 4에 도시하였다. 냉방표준조건 및 난방표준조건하에 각각의 성능을 측정 및 분석한 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 약 50%의 시료가 모든 냉방 표준조건하의 효율기준 이상의 성능을 나타내었다. 현재의 냉·난방 효율기준은 Energy Star의 효율기준을 적용하여 제정되어 그 기준이 조금 높은 편으로 볼 수 있다. 하지만 시료의 용량이 다른 점, 구성요소기기(열교환기, 압축기, EEV, 4-way V/V 등)등이 다른 점, 시험시료의 상태가 개발품, 완제품 등으로 나뉜 점 등을 고려하더라도 현재 뿐 아니라 향후에도 일부제품을 제외하고는 대부분의 제품들이 냉방효율기준 이상의 성능을 나타낼 것으로 예측할 수 있다.

난방성능의 경우 Fig. 3에서 보는바와 같이 거의 모든 시료가 지중루프시스템의 표준시험 조건인 0°C에서는 효율기준 이하의 성능을 나타내었다. 이는 열원측 순환수의 입구 온도가 0°C일 경우 난방시 증발기 내부를 흐르는 냉매의 열교환 조건이 매우 나빠져 전반적으로 용량이 급격히 감소하기 때문으로 분석된다. 이는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 온도조건별 소비전력은 거의 변함이 없으나 난방용량의 경우 온도가 떨어질수록 급격히 감소하는 경향을 나타낸다. Fig. 5는 10RT이하의 제품들 중 물-공기방식의 지열 열펌프 유닛의 냉난방 성능그래프로서 냉방표준조건하에서의 경우 작은 용량일수록 냉방성능계수가 비교적 높게 나오는 경향을 나타내었으나 이 역시 난방표준조건에서는 모두 효율기준이하의 성능을 나타냄을 볼 수 있다.

## 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 국내외 지열열펌프 유닛의 기술 기준인 ISO 13256 series, ARI series, Energy star, NR GT series에 대해 적용범위, 시험조건, 시험방법, 효율기준 등에 대해 조사하고 분석하였다. 또한 현재까지 인증을 위한 효율기준에 맞추어 시험된 여러 종류의 지열 열펌프 유닛들의 열

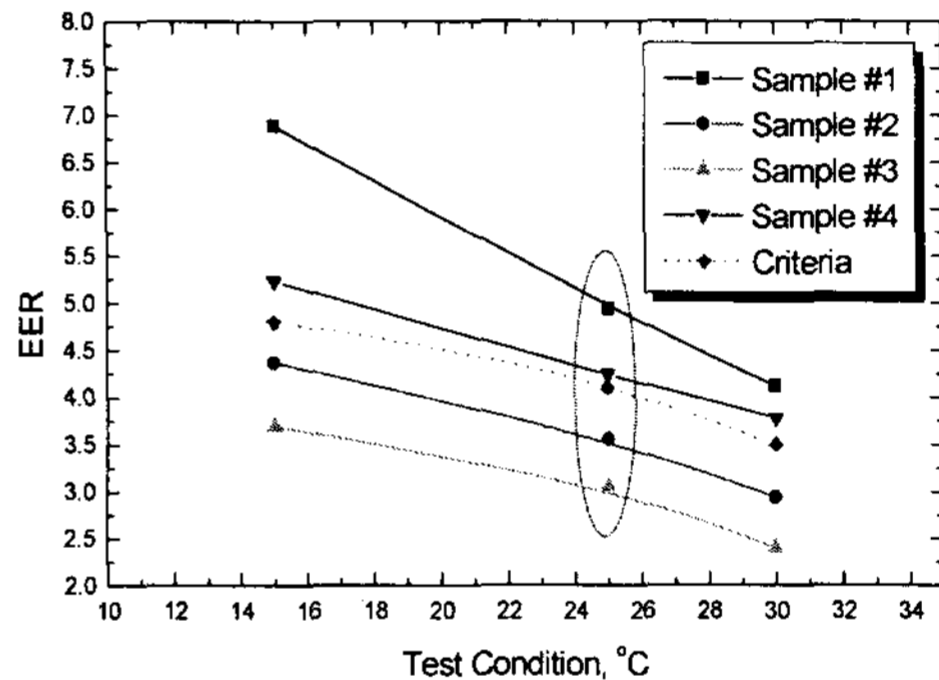


Fig. 2 냉방 에너지효율 기준 및 시험결과

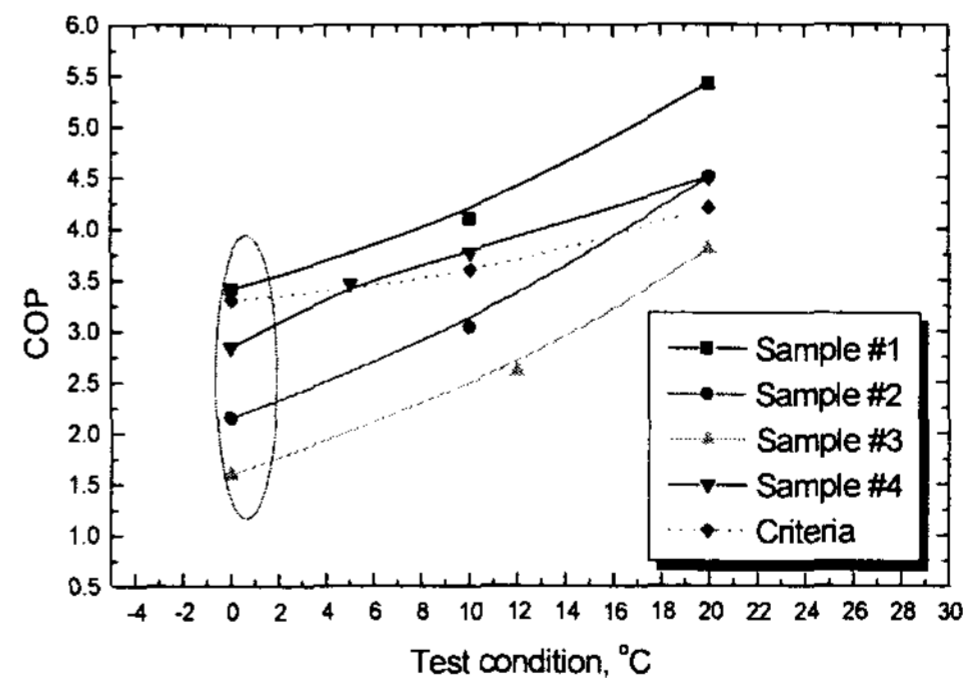


Fig. 3 난방 에너지효율 기준 및 시험결과

량, 소비전력, EER, COP 등 성능을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 국내 지열 열펌프 유닛의 기술기준인 NR GT series의 경우 Water Heating 유닛에 대한 적용범위, 효율기준의 추가가 필요하고 ARI 870과 같은 직접 지중 열교환 방식의 지열열펌프 유닛에 대한 시험조건 및 효율기준 등 규격의 추가도 필요한 것으로 사료된다.

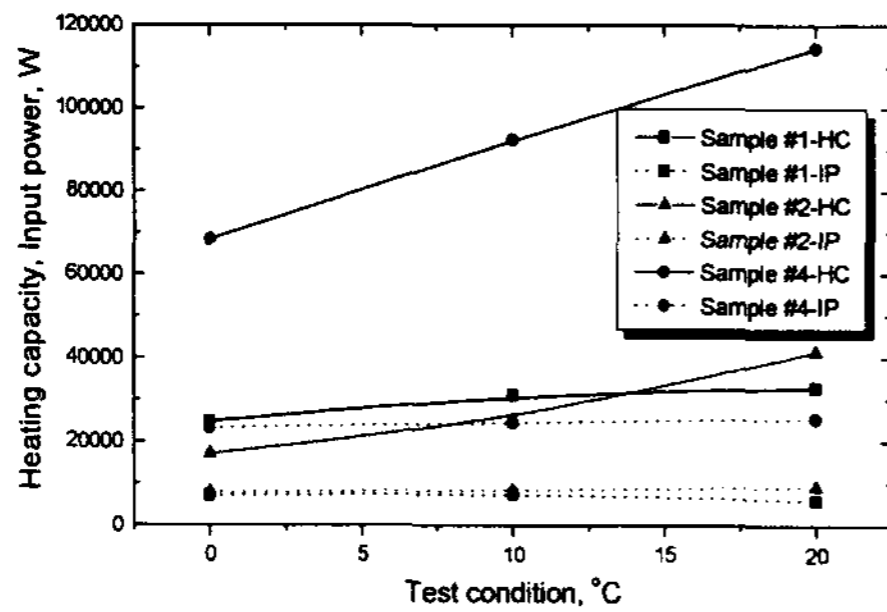


Fig. 4 조건별 난방용량 및 소비전력

(2) 냉방표준조건하에서 시험된 대부분의 제품들은 에너지소비효율인 EER 기준으로 4.1이상의 성능을 넘어 일부제품의 경우 5.0이상의 성능을 나타내었다.

(3) 난방표준조건하에서 시험된 제품들의 경우 한 개의 유닛을 제외한 모든 제품들이 에너지소비효율인 COP 기준으로 3.3이하의 성능을 나타내었으며 일부제품의 경우 2.0이하의 성능도 나타내었다. 또한 온도조건이 낮아질수록 급격한 성능의 저하를 나타냄을 알 수 있었다.

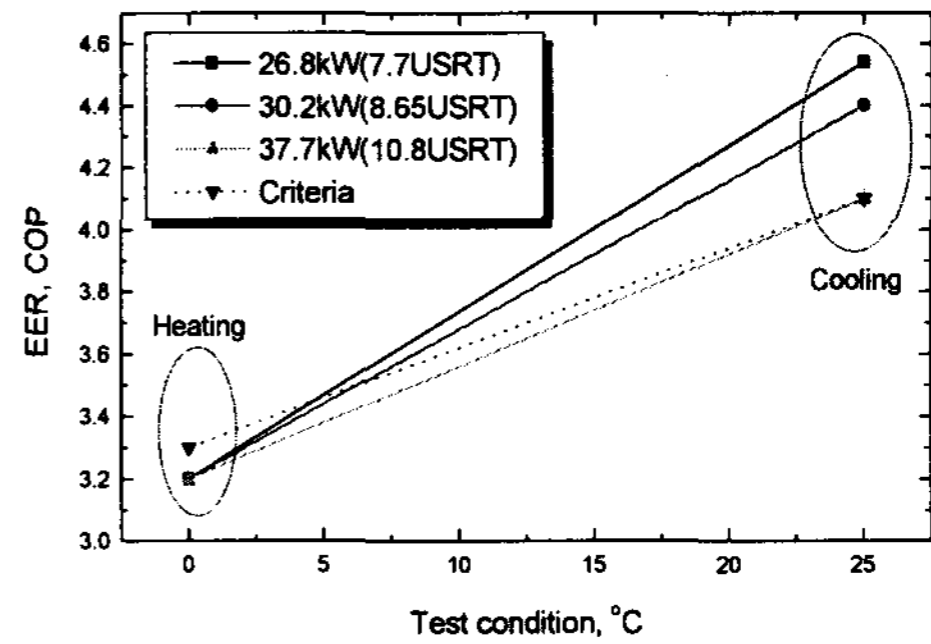


Fig. 5 용량별 성능결과 - Versatec

### 후 기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단의 2007년 신재생에너지기술개발사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### References

- [1] Rybach, L., The advance of geothermal heat pumps-worldwide, IEA Heat pump Center News Letter, 23(4), No2/2006.
- [2] ISO 13256-1, ISO 13256-2.
- [3] Air-conditioning and Refrigeration Institute.
- [4] U.S Environmental Protection Agency
- [5] 에너지관리공단 신재생에너지설비 인증제도