

발전기 내장 가스열펌프 연간성능시험 방법에 대한 표준화 연구*

오석호** · 김효엽*** · 김지수**** · 박원식***** · 김성민*****

전 세계는 그린에너지 시장을 선점하기 위하여 그린에너지산업의 육성과 기술개발을 위한 각국 정부의 지원이 확대되고 있는 상황이다. 우리나라는 2030년까지 국내 온실가스 851백만톤 대비 37% 감축, 원자력발전소 9기에 해당하는 전력수요 감축 등 에너지정책 무게중심이 환경과 안전을 고려하는 방향으로 전환되고 있는 상황에 가스를 이용하는 열펌프 산업이 중요한 역할을 담당할 것으로 보인다. 가스열펌프는 가스엔진에 압축기 및 발전기를 구동하여 전기와 냉방 또는 난방을 동시에 생산하는 냉난방기기로서 미국, 일본이 전 세계시장을 점령하고 있다. 가스열펌프에 대한 성능시험 방법 역시 일본의 JIS, JRA 그리고 미국의 AHRI, ASHRAE가 대표적이며 세계적으로 따르고 있는 추세이다. 따라서 본 연구는 발전기 내장 가스열펌프 연간성능시험 방법에 대한 국내외 표준화 현황과 활동에 대해서 조사하고, 우리나라에 적합한 성능시험 방법을 제안한다.

주요어: 가스열펌프, 발전기, 연간 성능, 시험 방법, 표준화

1. 서론

1. 개요

세계 난방기 시장은 '14년 기준 전체 650억\$로 이 중, 중국, 북미, 유럽 및 일본 시장이 약 365억 \$로 56%의 시장을 형성하고 있으며, 최근 들어 열펌프를 이용한 주거용 난방시장이 급격한 상승세를 보이고 있다. 특히 유럽연합에서는 온실가스 저감을

위한 친환경시스템 프레온가스(F-gas) 사용 금지 및 에너지 비용 증가문제해소의 3가지 목적 달성을 위해 신재생에너지시스템으로서 열펌프 시장 확장에 박차를 가하고 있으며, 열펌프의 수요는 꾸준히 상승곡선을 보여주고 있다.

열펌프 중에서도 가스를 이용하는 가스열펌프는 전기로 압축기를 구동시켜 건물의 냉/난방을 구현하는 EHP와 다르게 도시가스를 연료로 사용하여 가스엔진으로 압축기를 구동하고 열펌프 사이클을 이용하여 건물의 냉난방을 실행하는 시스템으로 최근

* 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구과제(No. 20162010104240)입니다.
** 한국에너지기기산업진흥회 표준개발실 책임연구원 (seokho_oh@naver.com)
*** 한국에너지기기산업진흥회 표준개발실 주임연구원 (afoplr@keaa.or.kr)
**** 한국에너지기기산업진흥회 표준개발실 연구원 (jskim9112@keaa.or.kr)
***** 한국에너지기기산업진흥회 표준개발실 수석연구원 (juius88@keaa.or.kr)
***** 한국에너지기기산업진흥회 표준개발실 상무 (kolas123@hanmail.net)

에는 엔진측에 발전기를 연결하여 전력까지 생산하는 제품이 출시되고 있다.

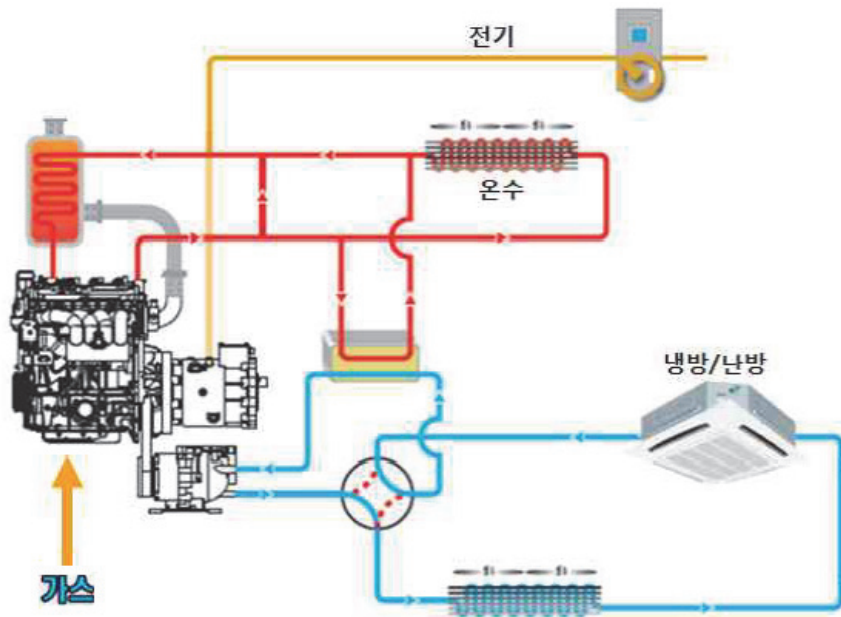
이런 GHP(Gas engine Heat Pump)는 EHP(Electric Heat Pump)와 다르게 가스배관공사가 필요하지만 많은 장점을 가지고 있다. 첫째 하절기의 전력수요는 난방부하에 의한 부하가 크기 때문에 여름철 전력 수급에 큰 어려움을 겪고 있으며 이에 반해 가스는 겨울철에 사용량이 많아 전력과 가스간에 수요 피크치가 계절적으로 역전하고 있어 이 현상을 개선할 수 있는 효율적인 에너지 시스템이다. 또한 GHP가 작동 시 전력까지 생산하기 때문에 여름철 전력 피크 대응에 큰 도움이 되는 시스템이다. 둘째 가스엔진 열펌프는 가스엔진을 이용하여 압축기를 구동하는 방식으로서 압축기 구동에 필요한 엔진의 출력 이외에 배기가스로 배출되는 열원을 회수하는 시스템을 추가하여 에너지 효율을 향상시킬 수

있는 시스템이다. 셋째 겨울철의 낮은 외기온도 조건에서는 외부에서의 열원 확보가 어려워 작동 영역에 한계가 있는 기존의 EHP와 달리 가스엔진 열펌프는 엔진 폐열을 이용하여 외기온도 저하에 따른 난방/급탕능력 저하를 효율적으로 보충할 수 있다. 넷째 가스엔진 열펌프는 실외온도가 낮을 때 발생하는 성능을 제거하는 제상운전이 필요 없으며 난방시 기동특성이 빨라서 쾌속 난방/급탕이 가능하다. 마지막으로 가스엔진 열펌프를 사용함으로써 이산화탄소 배출에 의한 지구온난화를 억제할 수 있으며, 프레온 냉매에 의한 지구 오존층 파괴문제를 해소할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 연구의 필요성

전 세계적으로 기후변화 대응과 에너지 효율향상

<그림 1> 가스열펌프의 연계 구성도

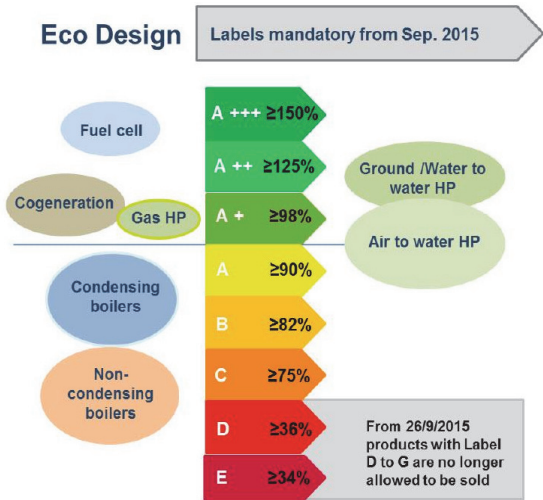


이 최대화두로 떠오르면서, 선진 유럽과 미국을 중심으로 에너지기기의 고효율화에 대한 연구개발이 급속하게 진행되고 있으며 고효율 제품을 보급, 장려하기 위한 각종 제도와 정책을 개발하여 시행하고 있다. 영국, 독일, 네덜란드를 포함한 유럽연합(EU)의 경우, 2005년을 기점으로 지구 온난화 대책 및 에너지 사용기기의 고효율화와 친환경성을 강화시키기 위하여 EuP(Energy-using products, 2005/32/EC)와 같은 제도를 적극 추진하였으며 이는 Eco-design Directive으로 불리고 있다. 2015년 9월부터 유럽 에너지 라벨을 기반으로 에너지 효율성을 확인하게 되며, 유럽 전체적으로 복합난방기에 대한 에너지 라벨 표시가 의무화되고, 열펌프의 경우, 허용된 난방연료 사용범위 내에서 최상급 라벨(A++ 또는 A+++)등급 달성이 가능한 고효율 기기로 향후 에너지기기 분야의 시장 점유율을 확대할 것으로 예측되고 있다.

현재 열펌프 분야의 국제표준은 ISO TC 86을 중심으로 국제표준화 작업이 이루어지고 있다. 특히 ISO 15042(Multiple split-system air conditioners and air-to-air heat pumps - Testing and rating for performance)의 국제표준화 Working Group은 일본을 중심으로 1990년대 중반부터 작업반이 구성되어 2011년에 제정되고 2017년에 개정되었다.

그리고 2013년에 제정된 ISO 16358-1(Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps - Testing and calculating methods for seasonal performance factors - Part 1: Cooling seasonal performance factor)은 에어컨디셔너 및 열펌프의 에너지 성능표시방법 및 시험방법을 개발하는 작업으로 국내 제조사들의 관심이 매우 큰 상황이다. 현재 국내 멀티시스템 에어컨디셔너의 표준으로 국

〈그림 2〉 유럽 Eco Design 에너지 라벨 등급 기기분류



출처: BSRIA(2014)

가표준으로는 KS B ISO 15042(멀티형 에어컨디셔너 및 열펌프성능시험 방법)이 제정되어 운영되고 있다. 이 표준의 경우 멀티 에어컨디셔너의 특징 중 하나인 부분 부하에 대한 정의를 도입하여 시험 방법을 제시하고 있다.

부분 부하를 나타내는 방법 중 하나인 통합성능계수(IPLV : Integrated Part Load Value)는 열펌프가 운전되는 기간 동안 시스템이 전부하로 운전되는 경우보다는 부분 부하로 운전되는 경우가 많으므로 부분 부하의 성능과 시스템의 운전 시간을 사용하여 가중치 값을 부여하여 시스템의 계절 성능을 표현하는 방법이다. 이와 같이 열펌프의 연간성능시험방법은 국제표준(ISO)에서 반영하여 시험방법으로 이용되고 있지만, 우리나라 가스열펌프의 경우 고효율에너지기자재 보급촉진 규정에 따라 전부하 방식으로 COP 방법을 이용하여 측정하고 있는 상황이다. 따라서 우리나라도 국내외 기준을 다시 검토하여 우리나라 기후에 적합하고, 실사용 조건을

〈표 1〉 국내외 연간성능 표준현황

표준번호	표준명
KS B 6410	가정용 공기열원 열펌프 보일러
JRA 4048	패키지 에어컨디션의 연간전기소비량 계산
JRA 4049	멀티 분리형 에어컨디션의 연간전기소비량 계산
EN 14825	에어컨, 액체 냉각 패키지 및 공간 가열 및 전기 압축기로 냉각하는 열펌프 - 부분 부하조건에서의 시험 및 평가
ASHRAE 116	에너지컨디셔너와 열펌프의 연간효율 등급 시험방법
AHRI 550/590	증기압축 사이클을 이용한 워터칠링 및 열펌프 난방 패키지의 성능평가
ISO 16358-1	에어컨 및 히트펌프 - 계절성 성능계수 시험 및 시험방법 - 제1부 : 냉방부하 성능계수
ISO 16358-2	에어컨 및 히트펌프 - 계절성 성능계수 시험 및 시험방법 - 제2부 : 난방부하 성능계수
ISO 16358-3	에어컨 및 히트펌프 - 계절성 성능계수 시험 및 시험방법 - 제3부 : 연간 성능계수

반영한 연간성능시험방법을 선정이 필요할 것으로 보인다.

II. 국내외 기준

최근 우리나라는 2025년 제로에너지주택(Zero Energy Housing) 목표로 다양한 지원책을 강구하고 있는 상황이다. 2016년 파리협정을 통해 신 기후체제가 출범하면서 우리나라는 온실가스를 2030년까지 배출전망치(BAU) 대비 37% 줄이겠다고 국제사회에 약속한바 있다. IEA(국제에너지기구)에서는 온실가스의 주범인 이산화탄소 감축량을 정량화하기 위하여 열펌프의 성능지표를 국가별로 산정하기 위하여 연구를 추진하고 있으며, 이를 기반으로 에너지 절감량을 공식화하고자 하는 움직임과 ISO(국제표준화기구)에서도 연간 에너지 소비량을 구할 수 있는 연간성능평가를 제정 하고 있다(김정석, 2012).

에너지소비효율은 나타내는 인자로 과거에는 EER(Energy Efficiency Ratio), COP(Coefficient

Of Performance)으로 시험조건(최대운전)에서 에너지효율(냉방/난방능력/소비전력)을 사용하였지만, 최근에는 연간성능평가, 통합성능계수 등 다양한 방법을 이용하여 국내 및 해외에서 에너지소비효율제도를 운영하고 있는 실정이다.

1. 국내기준

국내 열펌프와 관련된 효율측정기준은 KS B 6410의 공기열원 열펌프 연간효율 측정기준과 효율관리기자재 운영규정의 멀티열펌프시스템 통합냉방 효율 그리고 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정의 중온수 흡수식 냉동기 통합성능계수가 있다(산업통상자원부 고시 제2017-61호). 고효율기자재 인증의 경우 공공기관 우선 구매, 조달 구매시 우선 구매 등 여러 가지 혜택이 있는 상황이다(산업통상자원부 고시 제2017-168호).

1) KSB6410(가정용 공기열원 열펌프 보일러)
이 표준은 최근 보일러 대체품으로 수요가 증가하고 있는 가정용 공기열원 열펌프 보일러의 국산제품

품질향상 및 국제표준 작업을 위하여 2014년 에너지기분야 표준개발협력기관인 한국에너지기산업진흥회에서 제정한 KS표준이다. 이 표준의 난방 효율 측정방법은 연간효율측정방법 SCOP(Seasonal Coefficient of Performance)으로 30년의 기상청 기후자료를 기반으로 한국의 대표지역 3구역을 “한랭지(철원, 춘천, 원주), 평균(서울, 인천, 수원), 온난지(부산, 울산, 창원)” 정하고 대표지역 외기온도를 평균한 빈도분포(bin data)에서 각 가중치를 구하는 방법으로 아래의 순서대로 계산을 하게 된다.

- a) 연간 효율시험조건(외기온도에 따른 제품 입수 및 출수 온도)에 따라서 각 조건별 COP를 측정한다
- b) 제품 입수 온도는 표준조건 시험 시 결정된 유량에 결정한다.
- c) 각 조건별 COP는 난방능력 식(1)에서 소비전력으로 나눈 값으로 계산한다.

d) 측정된 COP는 한랭지, 일반 및 온난지 조건에 따라 다른 가중치를 주어 각 기후별 SCOP를 구한다.

$$Q_H = m \times C_v \times \Delta T \tag{1}$$

여기에서

Q_H : 난방 능력(W)

m : 물 유량(kg/h)

C_v : 비열(1.16279 Wh/kg°C)

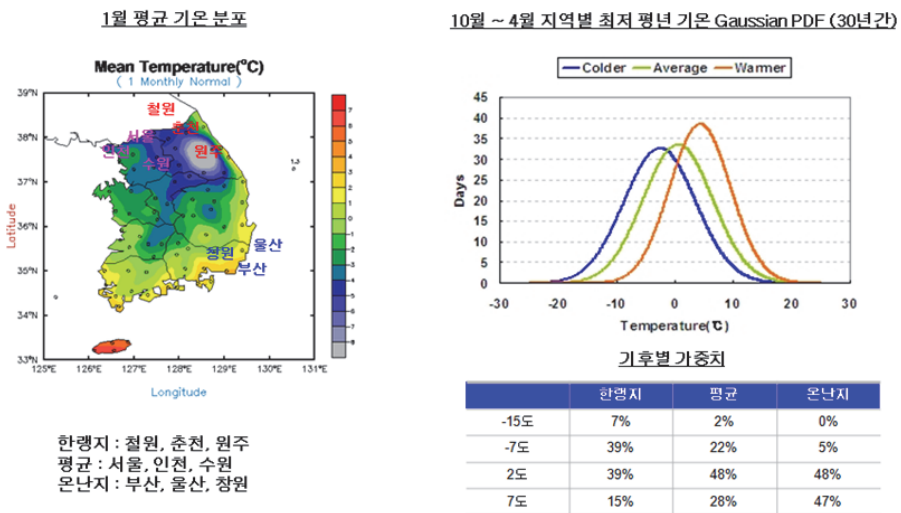
ΔT : 출수온도(T_{out})와 입수온도(T_{in})의 차(°C)

각 지역별 외기 온도 가중치는 표 2와 같다.

2) 효율관리 기자재 운용규정

효율관리 기자재 운용규정은 소비자들이 효율이 높은 에너지 절약형 제품을 쉽게 구입할 수 있도록 하고 제조업자들이 생산단계에서부터 원천적으로 에너

〈그림 3〉 외기온도 가중치를 위한 평균온도 분포



출처: KS B 6410 - 가정용 공기열원 열펌프 보일러

〈표 2〉 SCOP 기준치

온도	COP	한랭지	평균	온난지
-15 ℃/-	COP _{@15}	7 %	2 %	0 %
-7 ℃/-	COP _{@7}	39 %	22 %	5 %
2 ℃/1 ℃	COP _{@2}	39 %	48 %	48 %
7 ℃/6 ℃	COP _{@7}	15 %	28 %	47 %
KSCOP		SCOP_C	SCOP_M	SCOP_W

$SCOP_C = 0.07COP_{@15} + 0.39COP_{@-7} + 0.39COP_{@2} + 0.15COP_{@7}$
 $SCOP_M = 0.02COP_{@-15} + 0.22COP_{@-7} + 0.48COP_{@2} + 0.28COP_{@7}$
 $SCOP_W = 0.05COP_{@-7} + 0.48COP_{@2} + 0.47COP_{@7}$
 여기에서 SCOP_C : 한랭지 SCOP
 SCOP_M : 일반지 SCOP
 SCOP_W : 온난지 SCOP

지열약형 제품을 생산하고 판매하도록 하기위한 의 무적인 신고제도로 효율등급을 1~5등급으로 나누 어 표시하고 있다. 이 규정의 멀티열펌프 시스템은 전기를 이용하여 구동되는 기계적 증기 압축 열펌프 의 성적계수(COP), 통합냉방효율(IEER), 냉난방 효율(EERa)의 시험조건 및 계산방법을 규정하고 있다.

(1) 성능시험

a) 냉방시험은 IEER(Integrated Energy Efficiency Ratio)시험조건에 따르며 멀티열펌프시스템을 냉방 부분부하 조건으로 운전하였을 때의 성적 계수로서 다음의 식(2)에 의해 산출된 통합에 너지 효율비를 계산한다.

$$IEER = (0.020 \times A) + (0.617 \times B) + (0.238 \times C) + (0.125 \times D) \quad (2)$$

여기에서

- A = 표준 조건에서 100% 용량 상태에서의 EER
- B = 전체 75%의 용량 상태에서의 EER

- C = 전체 50%의 용량 상태에서의 EER
- D = 전체 25%의 용량 상태에서의 EER

IEER 등급은 시험조건에서 100%, 75%, 50%, 25% 부하에서 결정된 시스템 효율을 필요로 하며, 만약 용량 제어로직으로 인하여 장치가 75%, 50% 또는 25% 부하점에서 작동될 수 없다면, 75%, 50% 또는 25%에서의 EER은 실제 성능점을 연결하기 위해 시험 완료된 EER 대 %부하를 표시하여 직선 부분을 사용하여 결정한다. 선형 내삽법은 75%, 50% 또는 25%으로 EER을 결정하기 위해 사용되 며 데이터의 외삽법은 허용되지 않는다. 만약 시스 템의 실내유닛이 자동 풍향조절 기능이 있다면, 외 부 정압은 시험 조건에 따라 전부하 등급점으로 일 정하게 유지되어야 하나 풍량은 전부하 등급점에서 측정된 건구 공기온도를 그대로 두고 장치를 유지시 키기 위해 조정되어야 한다. 만약 75%, 50% 또는 25% 부하로 장치를 내릴 수 없다면 각 등급 부하점 을 위해 규정된 응축기 조건에서 최소 단계의 무부 하 상태로 장치를 작동시킨 이후에 다음의 식(3)와 같이 사이클 성능에 맞도록 효율을 조절해야 한다.

$$EER = \frac{L_F \times \text{용량}}{L_F \times [C_D \times (P_C + P_{CF})] + P_{IF} + P_{CT}} \quad (3)$$

여기에서

- 용량 = 기계의 최저 무부하점에서 측정한 용량(W)
- P_C = 기계의 최저 무부하점에서의 압축기 전력(W)
- P_{CF} = 기계의 최저 무부하점에 해당하는 경우의 응축기 팬 전력(W)
- P_{IF} = 최소단계의 용량에 맞는 팬 속도에서의 실내용 팬 모터 전력(W)
- P_{CT} = 제어회로 전력 및 보조 부하(W)
- C_D = 압축기 운전에 따른 성능저하 계수($-0.13 \times L_F + 1.13$)
- L_F = 부하계수

b) 난방시험은 KS B ISO 15042(멀티에어컨디셔너 및 열펌프의 성능시험 방법)의 절차에 따라 멀티열펌프 시스템을 운전했을 때 난방용량과 난방소비전력의 비율을 구하는 방법으로 멀티열펌프시스템을 난방조건으로 운전하였을 때의 성적계수로서 난방용량을 유효소비전력으로 나눈 값으로 표준난방효율(COP_1)과 한랭난방효율(COP_2)의 평균값으로 다음의 식(4)와 같이 계산한다.

$$\text{난방효율}(COP) = \frac{\text{표준난방효율}(COP_1) + \text{한랭난방효율}(COP_2)}{2} \quad (4)$$

c) 통합냉난방효율은 멀티열펌프시스템의 통합냉방효율과 난방효율과의 산술적 평균값으로 다음의 식(5)와 같이 계산한다.

$$\text{통합냉난방효율}(EERa) = \frac{\text{통합냉방효율}(IEER) + \text{난방효율}(COP)}{2} \quad (5)$$

3) 고효율 에너지기자재 보급촉진 규정

고효율에너지기자재인증제도는 에너지사용기자재 중 에너지효율 및 품질시험 검사 결과가 정부가 고시한 일정기준 이상 만족하는 제품을 고효율에너지기자재로 인증하는 자발적 제도로서 고효율제품의 보급 활성화와 초기시장 형성을 위한 것이다. 이 규정의 중온수 흡수식냉동기는 중저온의 가열용 온수를 사용하여 정격 냉동능력이 600RT(2,112kW) 이하인 냉동기의 통합성능계수(IPLV: Integrated Part Load Value)를 산출하는 방법을 규정하고 있다.

(1) 통합성능계수의 산출은 능력 100%(운전시간 1%), 능력 75%(운전시간 42%), 능력 50%(운전시간 45%), 능력 25%(운전시간 12%) 조건으로 다음의 식(6)을 따른다.

$$\text{통합성능계수} = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (6)$$

여기에서

- A = 100% 운전에서 성능계수
- B = 75% 운전에서 성능계수
- C = 50% 운전에서 성능계수
- D = 25% 운전에서 성능계수

여기에서 성능계수는 다음의 식(7)을 따른다.

$$\text{성능계수}(COP) = \frac{Q_c}{Q_i} \quad (7)$$

여기에서

- COP : 성능계수
- Q_c : 냉동능력(W)
- Q_i : 구동온수열 소비량(W)

2. 국외 기준

일본의 열펌프의 경우 일본냉동공조협회 규격(JRA)에 따라 성능표시를 하고 있으며 효율표시제도를 APF(Annual Performance Factor)를 사용하고 있다(JRA 4049, 2008). 미국은 AHRI의 주도로 유니터리 제품의 경우 계절 에너지효율비 SEER(Seasonal Efficiency Ratio)로 표시하고 있으며, 칠리의 통합성능계수는 IPLV(Integrated Part Load Value)으로 사용하고 있다. 유럽의 경우, 부분부하를 측정하기 위하여 EN 14825(Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions)를 제정하여 IPLV를 기본 개념으로 SEER과 SCOP를 구하는 방식을 채택하여 멀티시스템을 포함한 열펌프의 부분부하를 산출하는 방법을 운영하고 있는 상황이다(EN 14825, 2016), (장영수, 2013)

1) JRA 4049-2008(에어컨디셔너의 연간 소비 전력 계산방법)

이 표준은 일본 냉동공조협회의 단체표준으로 가정용 열펌프 및 멀티 에어컨디셔너로 냉방능력 10kW이하의 제품을 적용하고 있다. 여기에서는 냉방시준성능효율(CSPF), 난방시준성능효율(HSPF)를 이용하여 연간성능효율(APF)의 계산방법을 제공하고 있으며, 우리나라 국가표준인 KS C 9306(에어컨디셔너)에서도 연간성능인자 계산방법을 부속서 E에서 확인할 수 있다.

(1) 냉방시준성능효율(Cooling Seasonal Performance Factor)

에어컨디셔너가 냉방 운전상태일 때 실내 공기에서 사용된 냉방량(CSTL)과 소비된 전력량(CSEC)의 비율로 계산된다. 다음의 식(8)을 따른다.

- 냉방 기간 에너지 소비효율

$$CSPF = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} \quad (8)$$

여기에서

Q_c : 냉방기간 총 냉방량 합

P_c : 냉방기간 총 냉방 소비된 전력량 합

(2) 난방시준성능효율(Heating Seasonal Performance Factor)

에어컨디셔너가 난방 운전상태일 때 실내 공기에서 사용된 열량(HSTL)과 소비된 전력량(HSEC)의 비율로 계산된다. 다음의 식(9)을 따른다.

- 난방 기간 에너지 소비효율

$$HSPF = \frac{\sum Q_h}{\sum P_h} \quad (9)$$

여기에서

Q_h : 난방기간 총 난방량 합

P_h : 난방기간 총 난방 소비된 전력량 합

(3) 연간성능효율(Annual Performance Factor)

냉방시준성능효율과 난방시준성능효율의 합을 말한다.

$$APF = CSPF + HSPF \quad (10)$$

2) AHRI 550/590(열펌프의 성능평가)

이 표준은 2015년 개정된 표준으로 열펌프의 시험요구 사항, 등급요구 사항 등 성능평가에 대한 표준이다. 이 표준에서는 난방 성적계수인 COP 그리고 난방효율인 EER을 이용하여 IPLV를 구하는 방법을 규정하고 있다.

IPLV는 시험조건에서 100%, 75%, 50%, 25% 부하지점에서 부분부하 에너지 효율을 다음의 식 (11)를 따른다.

$$IPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (11)$$

여기에서

A = 100% 부하에서 COP 또는 EER

B = 75% 부하에서 COP 또는 EER

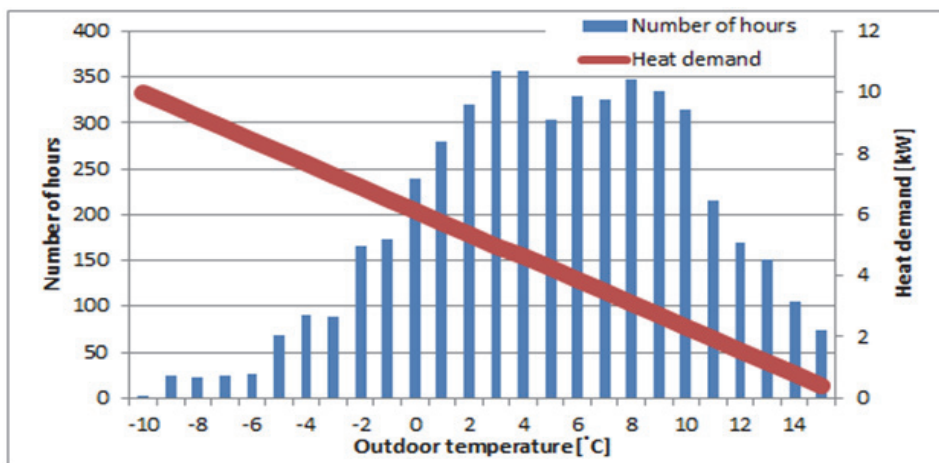
C = 50% 부하에서 COP 또는 EER

D = 25% 부하에서 COP 또는 EER

3) EN 14825(열펌프의 부분부하 조건에서 시험 및 평가와 계절별 성능계산)

이 표준은 에어컨디셔너, 열펌프와 액체 냉각 패키지를 다루며, 단일 덕트, 제어 캐비닛, 밀폐 제어 유닛을 제외한 EN 14511-1에 정의된 공장 제조 유닛에 적용하고 있다. 기준 계절별 에너지 효율 SEER 및 SEERon과 기준 계절별 성능계수 SCOP, SCOPon 및 SCOPnet의 결정을 위한 계산 방법을 제공하고 있다. 측정된 값의 경우, 부분부하 조건에서 작동 모드 동안의 용량 EER 및 COP 값의 결정을 위한 시험 방법을 다루고 있으며, 또한 서모스탯 오프 모드, 대기 모드 및 크랭크케이스 히터 모드 동안 전력에 관한 시험 방법을 다루고 있다. SCOP (Seasonal Coefficient of Performance)는 유럽의 최소 요구사항 및 열펌프에 대한 에너지 라벨링의 기초를 형성하는 파라미터이며, 열펌프의 평균 연간 효율 성능이므로 특정 열펌프에 난방 요구 프로파일이 주어졌을 때 얼마나 효율적인지를 표현한 것이라고 할 수 있다. 기본적으로 SCOP 계산 방법

〈그림 4〉 난방 기간에 관한 온도 분포 및 난방 수요의 예



출처: Energi styrelsen(2011)

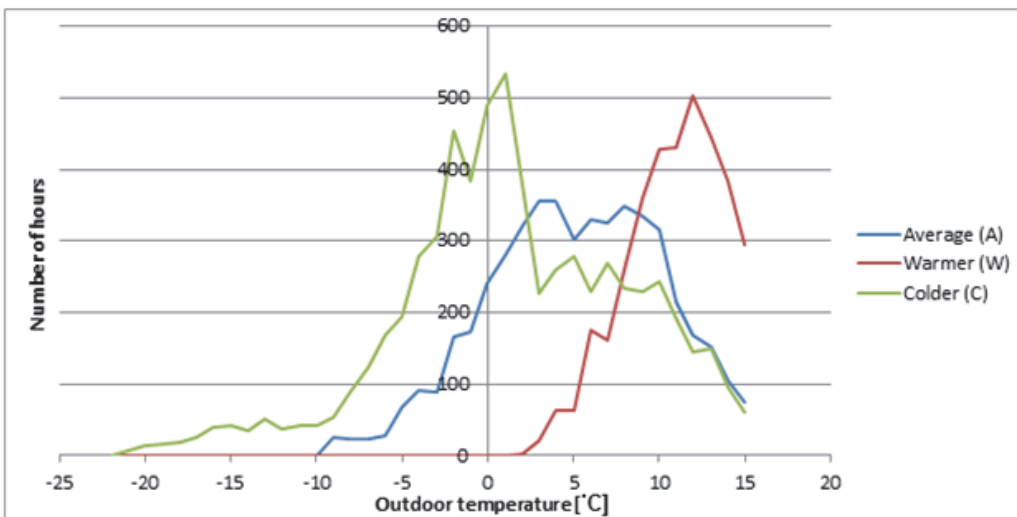
은 난방 기간을 난방 기간 전체에 걸친 온도의 변화를 함께 반영하는 다른 온도를 가지는 시간의 수 (Bins라고 함)로 나누는 것으로 이루어져 있으며, 난방 수요 곡선은 열펌프가 각각의 온도 설정을 만족하는 난방 수요를 제공하는 온도에 따라 결정된다. 각각의 Bins에 관한 COP 값이 얻어지면 이것은 평균 COP 즉, SCOP를 계산하기 위한 기초 값으로 이용된다. 이 표준은 시간의 수가 결정되고 난방 수요 곡선이 단일 입력 파라미터의 기초로 주어지는 에너지 라벨링 및 법규에 사용되는 기준 SCOP를 정의하며 그림 4는 ‘평균’ 기후 지대에 관한 시간 분포의 예를 보여준다.

그림 4는 온도가 증가하면서 얼마나 난방 수요가 떨어지고 있는지 확인할 수 있는 그림이다. 기후 지대(기후 조건)는 유럽지역에 따라 다양하기 때문에 SCOP는 세 개의 다른 기후 지대에 관해서 계산되며, 스트라스부르(Strasbourg)에 해당하는 평균

“A”, 아테네(Athens)에 해당하는 온난 “W”, 헬싱키(Helsinki)에 해당하는 한랭 “C”으로 형성한다. 유럽 에너지 라벨링에서 평균 기후 프로파일에 관한 SCOP는 의무인 반면 다른 두 개의 기후 프로파일은 임의사항인 상황이다. 따라서 최소 요구사항은 평균 기후 프로파일에 관한 SCOP에 근거하고 있다. 각각의 기후 영역에 관한 Bin의 시간의 수는 아래 그림 5에 나타낸 것과 같으며, 난방 기간의 총 시간수는 평균: 4,910시간, 온난: 3,590 시간, 한랭: 6,446 시간으로 세 개의 기후 지역마다 다르게 작성되어 있다.

SCOP는 각 온도에 대한 난방 수요 및 전기량을 누적하여, 누적된 난방 수요를 누적된 전기량으로 나누어 계산한다. 또한 대기 및 오프 모드에서 사용된 전기량 역시 SCOP를 계산 시 포함되어야 한다. SCOP는 다음의 식(12)을 따른다.

〈그림 5〉 평균, 온난 및 한랭 기후 지대에 관한 온도 분포



출처: Seasonal energy efficiency ratio for remote condensing units in commercial refrigeration systems(2018)

$$SCOP = \frac{Q_h}{\frac{Q_h}{SCOP_{on}} + H} \quad (12)$$

여기에서

- Q_h : 열펌프의 능력
- H : 열펌프 작동 모드에서 연 시간수(서모스탯 오프 모드)
- P : 열펌프 에너지 소비(서모스탯 오프모드)
- H_{SB} : 열펌프 작동 모드에서 연 시간수(대기모드)
- P_{SB} : 열펌프 에너지 소비(대기모드)
- H_{CK} : 열펌프 작동 모드에서 연 시간수(크랭크케이스 히터모드)
- P_{CK} : 열펌프 에너지 소비(크랭크케이스 히터모드)
- H_{OFF} : 열펌프 작동 모드에서 연 시간수(오프모드)
- P_{OFF} : 열펌프 에너지 소비(오프모드)

III. 연간성능시험에 대한 표준개발

가스열펌프는 국내에서도 현재 많이 보급되어 사용되고 있는 공기기이며 또한, 정부정책상 고효율 에너지기자재에 등록되지 않으면 설치 및 설계 장려금을 받을 수 없는 상황이다. 기존에 정해진 고효율에너지기자재 성적계수는 COP 방식이었지만, 가스열펌프는 전부하조건 운전보다는 부분부하조건에서 운전되는 시간이 더 많기 때문에 부분부하 운전 조건에서 성능계수를 구하는 것이 중요하다. 따라서 가스열펌프의 통합성능계수를 구하는 새로운 방법을 제안한다.

1. 적용범위

액화석유가스 또는 도시가스를 연료로 하여 가스

엔진에 의해서 압축기 및 발전기를 구동하여 전기와 냉방 또는 난방을 동시에 생산하는 열펌프식 냉·난방기기로 정격 냉방능력 100kW 이하, 발전능력 50kW이하의 가스열펌프의 성능시험에 적용한다.

2. 용어와 정의

가스열펌프의 주된 용어와 정의는 KSB8051에 따르며 다음의 용어와 정의를 적용한다.

- 냉방 성적계수(COP_{cool}): 냉방 능력을 외부에서 공급된 가스 소비량으로 나눈 값
- 난방 성적계수(COP_{heat}): 난방 능력을 외부에서 공급된 가스 소비량으로 나눈 값
- 냉방 복합 발전 성적 계수($COP_{cool+ge}$): 기기를 냉방 시험조건에 따라서 시험하였을 때, 냉방 능력과 발전기에서 발생하는 전기 출력의 합을 가스 소비량으로 나눈 값
- 난방 복합 발전 성적 계수($COP_{heat+ge}$): 기기를 난방 시험조건에 따라서 시험하였을 때, 난방 능력과 발전기에서 발생하는 전기 출력의 합을 가스 소비량으로 나눈 값
- 통합부분부하 값(IPLV): 각 부분부하 운전조건에서 산출된 성능계수에 부분부하 운전시간을 곱하여 적산한 값의 평균값
- 성능저하계수: 동일한 온도 및 습도 조건에서 가스열펌프 시스템을 연속 운전하였을 때와 단속 운전을 함으로써 발생하는 효율의 저하를 나타내는 계수

3. 성능시험

성능시험은 냉난방 시험 시 발전기에서 발생하는 발전출력을 포함한 값을 적용하여 기존의 가스열펌

프 성능시험과 차이가 있으며, 또한 정해진 온도조건에서 100% 부하운전을 하는 방식이 아닌 실 운전 조건에서 계산하는 방식으로 100%, 75%, 50%, 25% 부하조건에서 각 소비전력 %를 더한 값으로 산출하는 방식을 적용하여 기존의 방법보다 GHP의 성능특성을 정확하고 효과적으로 표시할 수 있다.

1) 냉방복합발전시험

(1) 냉방복합발전성능

- a) 기기는 제조사가 명시한 방법으로 설치하며, 기기 송풍방식에 따라 정격 냉방능력(COP_{cool}), 가스소비량을 측정한다.
- b) 기기를 정격 냉방 사용조건으로 유지한 상태에서 그림 6의 측정위치에서 1시간 이상 정격 냉방발전 출력을 측정한다.
- c) 냉방 복합발전 성적계수는 식(13)에 따른다.

$$COP_{cool,ge} = \frac{\text{정격냉방능력}(kW) + \text{발전출력}(kW)}{\text{가스소비량}(kW)} \quad (13)$$

(2) 냉방복합발전 연간효율성능

- a) 냉수 공급시 냉수 출구 온도는 (7±0.5)℃로 일정하게 유지한다.
- b) 냉각수 입구 온도는 능력 100% 시 (32±0.5)℃, 능력 0% 시 (27±0.5)℃이며, 중간은 비례적으로 산출한다.
- c) 냉방 복합 발전 부분부하 성능 값 산출의 경우 별도의 지정이 없는 한 식(14)에 따른다.

$$IPLV_{cool,ge} = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (14)$$

여기에서

- A = 100% 부하 냉방복합발전 성적계수
- B = 75% 부하 냉방복합발전 성적계수
- C = 50% 부하 냉방복합발전 성적계수
- D = 12% 부하 냉방복합발전 성적계수

만약 시스템이 25%의 냉방용량에서 제어운전이 되지 않을 경우에는 시스템을 운전 가능한 최소냉방 용량으로 운전하고 식(15), (16), (17)을 이용하여 냉방 복합 발전 부분부하 성능을 계산한다.

$$COP_{cool,ge} = \frac{Q_c + W_c}{C_d \times Q_i} \quad (15)$$

$$C_d = (-0.13 \times L_F) + 1.13 \quad (16)$$

$$L_F = \frac{(25/100) \times (\text{정격냉방능력})}{(\text{운전가능 최소냉방능력})} \quad (17)$$

여기에서

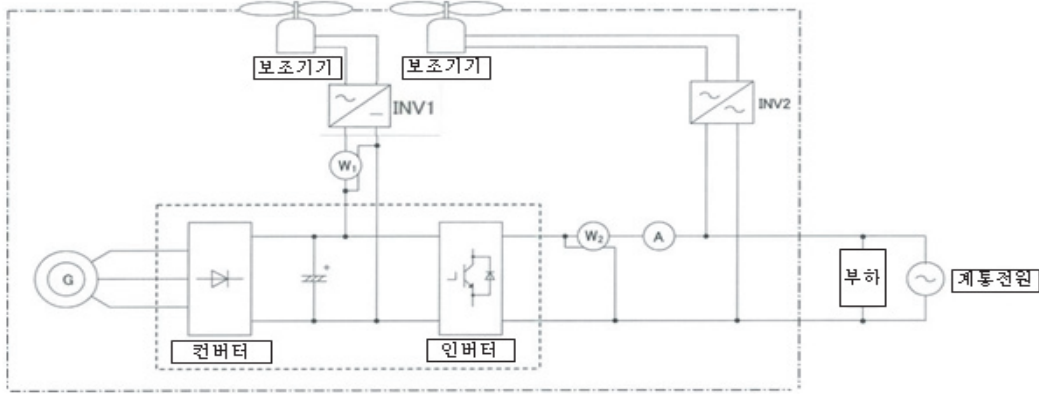
- COP_{cool,ge} : 냉방 복합 발전 성적계수
- W_c : 냉방시 발전출력
- Q_c : 냉방능력
- Q_i : 가스소비량
- C_d : 손실계수(싸이클 손실을 고려)
- L_F : 부하계수

2) 난방복합발전시험

(1) 난방복합발전성능

- a) 기기는 제조사가 명시한 방법으로 설치하며, 기기 송풍방식에 따라 정격 난방능력, 가스소비량을 측정한다.
- b) 기기를 정격 난방 사용조건으로 유지한 상태에서 그림 6의 측정위치에서 1시간 이상 정격 난방발전 출력을 측정한다.

〈그림 6〉 가스열펌프의 발전출력 및 발전량 측정위치



점선안	: 연계용 인버터	W ₁	: 직류 전력계
G	: 발전기	W ₂	: 교류 전력계
INV1	: 보조용 인버터 1	A	: 교류 전류계
INV2	: 보조용 인버터 2		

c) 난방 복합발전 성적계수는 식(18)에 따른다.

$$COP_{heat-ge} = \frac{\text{정격난방능력}(kW) + \text{발전출력}(kW)}{\text{가스소비량}(kW)} \quad (18)$$

(2) 난방복합발전 연간효율성능

- a) 온수 공급시 온수 입구 온도는 (95±1)℃로 일정하게 유지한다. 만일 95℃에 도달하지 않는 경우에는 조절할 수 있는 최고온도(이하, “최고 사용온도”라고 한다.)로 온수를 공급하는 사용 상태로 한다.
- b) 냉각수 입구 온도는 능력 100% 시 (32±0.5)℃, 능력 0% 시 (27±0.5)℃이며, 중간은 비례적으로 산출한다.
- c) 난방 복합 발전 부분부하 성능 값 산출의 경우 별도의 지정이 없는 한 식(19)에 따른다.

$$IPLV_{heat-ge} = 0.02A + 0.22B + 0.48C + 0.28D \quad (19)$$

여기에서

- A = 100% 부하에서의 난방복합발전 성적계수
- B = 75% 부하에서의 난방복합발전 성적계수
- C = 50% 부하에서의 난방복합발전 성적계수
- D = 12% 부하에서의 난방복합발전 성적계수

만약 시스템이 25%의 난방용량에서 제어운전이 되지 않을 경우에는 시스템을 운전 가능한 최소난방용량으로 운전하고 식(20), (21), (22)를 이용하여 난방 복합 발전 성적계수를 계산한다.

$$COP_{heat-ge} = \frac{Q_h + W_h}{C_d \times Q_i} \quad (20)$$

$$C_d = (-0.13 \times L_F) + 1.13 \quad (21)$$

$$L_F = \frac{(25/100) \times (\text{정격냉방능력})}{(\text{운전가능 최소냉방능력})} \quad (22)$$

여기에서

- $COP_{heat,ge}$: 난방 복합 발전 성적계수
- W_h : 난방시 발전출력
- Q_h : 난방능력
- Q_i : 가스소비량
- C_d : 손실계수(싸이클 손실을 고려)
- L_F : 부하계수

IV. 결론

가스열펌프는 정부의 에너지 다원화 및 신 재생에너지 활성화 정책에 부응하기 위한 제품으로 에너지 공급을 안정시키고 에너지를 합리적이고 효율적으로 이용할 수 있는 조건을 지니고 있다. 따라서 각 건물 용도에 따라 전력, 냉난방 수요패턴 조사가 이루어져 활용도를 높인다면 원전을 감축하는 현 정부의 에너지전환 정책에 부합하는 제품이 될 것으로 보인다.

국내 가스열펌프 성능시험 방법의 경우 2017년까지 KS표준을 인용하여 비덕트형, 덕트형으로 분리하고 냉방, 난방 및 한랭지의 성적계수 COP를 구하고 있다. 이 방식은 냉동사이클에서 냉동능력과 소비된 압축기 일의 양 비로 구하는 방식으로 정해진 온도조건에서 운전효율을 구하는 냉난방 평균 에너지소비효율을 나타낸다. 다시 말해 COP는 최적의 운전조건에서 나오는 성능계수로 실제 운전 조건에 부합하지 않는 방법이다. 따라서 2018년부터 가스열펌프에 대한 효율측정기준은 기존 COP에서 실제 운전 패턴 방식인 IPLV으로 변경됨으로써 관련 KS 국가표준과 단체표준 개정이 필요하다고 판단되어 용어와 정의 그리고 성능시험방법에 대하여 제안한다.

참고문헌

중소기업청(2017). 중소, 중견기업 기술로그맵 20017-2019. pp.75-76

김정석(2012). 공기열원 공기 대 공기 열펌프의 연간성능지표 비교에 대한 연구. 대한설비공학회, pp. 107-110.

산업통상자원부. 고시 제2017-61호. 효율관리기자재 운용규정.

산업통상자원부. 고시 제2017-168호. 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정.

JRA 4049:2008. Calculation method of annual power consumption for multi split air conditioner.

EN 14825:2016. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance.

AHRI 550/590:2015. Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle.

KSB6410:2014. 가정용 공기열원 열펌프 보일러

장영수(2013). 멀티전기히트펌프 시스템의 성능인증 방안에 관한 연구. 대한설비공학회, pp. 210-214.

Krystyna Dawson(2014). Trend in the world Traditional & Renewable Heating Markets. BSRIA.

Silvia Minetto, Antonio Rossetti, Sergio Marinetti (2018). Seasonal energy efficiency ratio for remote condensing units in commercial refrigeration systems. volume 85, 85-96

Energi styrelsen(2011). Beregning af SCOP for varmepumper efter En14825. <https://ens.dk/>

논문접수일 : 2018. 02. 12
 1차수정본접수일 : 2018. 04. 19
 게재확정일 : 2018. 04. 26

Standardization study on annual performance test method of gas engine driven heat pump with generator

Oh, Seokho* · Kim, Hyoyeop** · Kim, Jisu*** · Park, Wonsik**** · Kim, Sungmin*****

Abstract

In order to preoccupy the green energy market, the governments of each country are expanding to foster green energy industry and develop technology. Korea is expected to reduce domestic greenhouse gas by 37% compared to 851 million tonnes and to reduce power demand equivalent to nine nuclear power plants by 2030. In this situation, the center of energy policy is shifting toward environmental and safety considerations. The gas-driven heat pump industry is expected to play an important role. The gas-driven heat pump is a cooling/heating device that produces electricity and cooling or heating simultaneously by driving a compressor and a generator in a gas engine. The US and Japan occupy the entire world market. Performance test methods for this product are also being followed by JIS and JRA in Japan, AHRI and ASHRAE in the USA. The present study shows the domestic and foreign standardization status and activity on gas-driven heat pump with generator, and suggests the annual performance test method suitable for Korea.

※ Key Words: gas heat pump, generator, annual performance, test method, standardization

* Senior engineer, Dept of standard development Korea Energy Appliances Industry Association (seokho_oh@naver.com)

** Assistant engineer, Dept of standard development Korea Energy Appliances Industry Association (afopl@keaa.or.kr)

*** Engineer, Dept of standard development Korea Energy Appliances Industry Association (jskim9112@keaa.or.kr)

**** Principal engineer, Dept of standard development Korea Energy Appliances Industry Association (julius88@keaa.or.kr)

***** Managing Director, Dept of standard development Korea Energy Appliances Industry Association (kolas123@hanmail.net)