

인버터 압축기의 저속과 고속운전범위가 계절성능에 미치는 영향

The effect on the seasonal performance of an inverter compressor with higher and lower operating range

박 윤 철*, 하 도 용**, 민 만 기***
Y. C. Park, D. Y. Ha, M. K. Min

Key words : Inverter heat pump(인버터 열펌프), Capacity control(주파수제어), BIN method(빈법), Seasonal energy efficiency ratio(계절에너지효율비), Energy efficiency ratio(에너지효율비), Cooling load factor(냉방부하계수), Part load factor(부분부하계수)

Abstract

An experimental study was conducted on the effect of compressor capacity control range of heat pump on the seasonal energy efficiency ratio with variation of the maximum and minimum compressor input frequencies. To obtain seasonal energy efficiency ratio, steady state test at the maximum, minimum and intermediate compressor speed and cyclic test at the minimum compressor speed should be conducted. Maximum input frequency was varied to 95Hz, 105Hz, and 115Hz, and the minimum input frequency was varied to 35Hz, 45Hz, and 55Hz. The seasonal energy efficiency ratio increased as the input frequency of the compressor decreased. The maximum input frequency had only slight effects on the SEER.

1. 서 론

공기조화기는 여름철의 성수기에 에너지소비가 매우 크기 때문에 에너지 절약의 연구는 매우 중요한 과제이다. 특히 인버터형 열펌프는 냉·난방의 양계절에 있어서 이와 같은 에너지 문제를 해결하는데 있어서 중요한 에너지절약형의 열공급장치이기 때문에 각국에서는 인버터형 열펌프에 대한 많

은 연구를 수행하고 있다.

인버터 열펌프의 핵심부품인 압축기의 회전수 제어에 관한 연구를 살펴보면 가변속 압축기를 채용한 열펌프에 대하여 Jaster와 Miller⁽¹⁾가 컴퓨터시뮬레이션으로 미국의 특정지역의 계절성능계수(seasonal performance factor, SPF)를 구하였다. 이들은 인버터형 열펌프가 정속열펌프에 비하여 20.2%의 계절성능계수의 향상을 가져왔다고 주장하였다. 일본에서는 Hori⁽²⁾ 등이 실험적으로 인버터형 열펌프의 정상상태 성능특성, 저 주파수에서의 단속운전 효과 및 고 주파수에서의 적상/제상 효과 등을 밝히고 일본의 외기 데이터로 계절성능

* 고려대학교 대학원

** LG전자 리빙시스템연구소

*** 고려대학교 기계공학과

을 계산하여 기존의 일정속도형 열펌프보다 연간계절성능계수(annual performance factor, APF)가 15% 정도 높다고 하였다.

Krakow⁽³⁾ 등은 다양한 냉매유량 제어와 용량제어가 계절성능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 연구하여 난방운전시 정속압축기를 사용할 때보다 가변속압축기를 사용할 때 약 5%의 에너지 절약이 가능하다고 언급하였으며, Liles⁽⁴⁾ 등은 항온실에서 입력주파수를 변화시킬 수 있는 열펌프를 사용하여 주파수를 변수로한 실험을 통하여 COP와 외기온도의 관계를 구한 후 20~30%의 에너지 절약효과가 있음을 주장하였다.

국내의 연구로서 김⁽⁵⁾은 인버터형 에어컨의 압축기 입력 주파수를 45, 60 및 75Hz로 바꾸면서 정상상태와 단속운전시의 성능특성을 실험적으로 연구하여 입력 주파수가 증가할수록 증발기의 열교환량은 증가하나 COP는 낮아진다고 하였으며, 이⁽⁶⁾는 인버터형 압축기를 가진 열펌프를 사용하여 우리나라 몇몇 도시의 계절성능을 구한 바 있다.

인버터형 열펌프는 사용부하가 클 때는 압축기 속도를 높여 용량을 크게 하고 사용부하가 작을 때는 압축기 속도를 줄여서 운전함으로써 단속운전에 의한 손실을 줄인다. 그러나 기술상의 문제로 압축기 속도를 무한정으로 늘리거나 줄일수는 없고 압축기가 운전가능한 최고속도와 최저속도가 제한되어 있다.

본 연구에서는 압축기의 최고속도와 최저속도의 폭을 늘리고 줄임에 따른 인버터형 열펌프의 성능의 변화를 보기 위하여 압축기의 최고속도와 최저속도를 여러가지로 가정하고 바꾸어가며 ARI 및 ANSI/ASHRAE Standard^(7,8)에 제시된 방법으로 정상상태의 성능실험 및 단속운전 성능실험을 수행한 후 우리나라의 기상데이터를 바탕으로 하여 계절성능을 구하였다. 압축기가 최고속도와 최저속도 사이의 임의의 속도로 운전할 때의 전력소비량의 계산은 Domanski⁽⁹⁾가 제시한 방법을 따랐다.

본 실험에서는 최고속도와 최저속도 그리고 이 최고속도와 최저속도에 의해 정해지는 중간속도를 인버터를 사용하여 변화시켜 가면서 인버터 열펌프의 성능을 측정하여 압축기 속도변화가 계절성능에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에서 대상이 되는 열펌프는 분리형 열펌프로서, 회전피스톤형 로터리 압축기(rolling piston type rotary compressor), 모세관 및 2개의 흰-듀브형 열교환기 등으로 구성되어 있다.

Fig.1은 본 연구의 모델인 인버터 열펌프의 냉매 순환회로를 나타내고 있다. 냉방시 압축기를 나온 고온·고압의 냉매는 오일분리기와 4방밸브를 거쳐 두 개의 회로로 나뉘어져 실외열교환기로 유입되며, 실외열교환기를 나온 냉매는 두개의 모세관을 거친 후 실내열교환기 및 액분리기를 거쳐 다시 압축기로 유입된다.

본 연구에서 열펌프의 성능실험에서는 공기엔탈피법을 사용하였으며, 냉매엔탈피법을 보조적으로 사용하였다. 공기엔탈피법에 의한 열펌프의 성능을 구하기 위하여 공기의 건구온도와 습구온도를 측정하기 위한 샘플추출장치와 공기의 유량을 측정하기 위한 노즐이 설치된 덕트를 제작하였다.

열펌프의 계절성능을 구하기 위한 모든 실험은 ANSI/ASHRAE Standard 116-1983에 규정된 열펌프의 성능실험조건을 구현할 수 있도록 제작된 환경제어시험실에서 수행하였다.

실내·외 유닛의 흰 및 압축기의 소비전력의 측정을 위하여 전력변환기(watt transducer : KTG-33)와 적산전력계를 사용하였으며, 시스템 내를 순환하는 냉매의 유량측정은 질량유량계(mass flow-meter : Micro-Motion D25)를 사용하였다.

2.2 실험방법

본 실험에서는 인버터형 열펌프를 사용하여 압축기의 최고속도와 최저속도를 결정한 후 이러한 인버터 열펌프의 운전범위에 대하여 열펌프의 계절성능을 구하기 위한 성능실험을 수행하였다. 인버터 열펌프의 계절성능을 측정하기 위한 실험과 실험조건은 다음의 Table 1과 같다.

냉방성능실험은 Domanski의 방식대로 다섯가지의 습코일실험($A_{95}^{k=2}$, $B_{82}^{k=2}$, $B_{82}^{k=1}$, $B_{67}^{k=1}$, $I_{87}^{k=i}$)과 두 가지의 건코일실험($C_{67}^{k=1}$, $D_{67}^{k=1}$)으로 이루어진다. 여기서 상첨자는 압축기 속도(2: 최고속

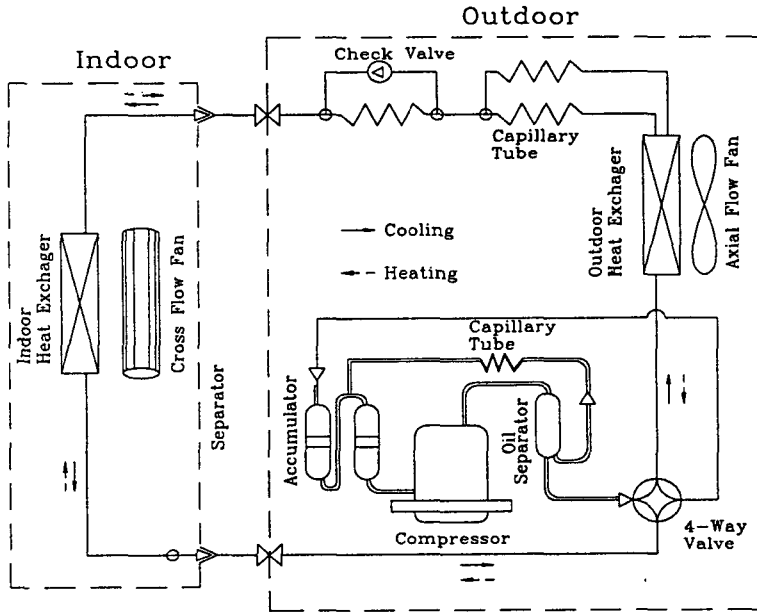


Fig.1 Schematic of an inverter heat pump

Table 1 Summary of test conditions for rating variable speed systems

Test	Compressor operation		Outdoor temperature				Indoor temperature				Quantity to be obtained	
	Speed	Mode	Dry bulb °F	Wet bulb °C	Dry bulb °F	Wet bulb °C	Dry bulb °F	Wet bulb °C	Dry bulb °F	Wet bulb °C	Capacity W	Power W
$A_{95}^{k=2}$	Max	Steady state	95.0	35.0	75.0	23.9	80.0	26.7	67.0	19.4	$q_{ss}^{k=2}(95)$	$E_{ss}^{k=2}(95)$
$I_{87}^{k=i}$	Int.	Steady state	87.0	30.6	69.0	20.6	80.0	26.7	67.0	19.4	$q_{ss}^{k=i}(87)$	$E_{ss}^{k=i}(87)$
$B_{82}^{k=2}$	Max	Steady state	82.0	27.8	65.0	18.3	80.0	26.7	67.0	19.4	$q_{ss}^{k=2}(82)$	$E_{ss}^{k=2}(82)$
$B_{82}^{k=1}$	Min	Steady state	82.0	27.8	65.0	18.3	80.0	26.7	67.0	19.4	$q_{ss}^{k=1}(82)$	$E_{ss}^{k=1}(82)$
$B_{67}^{k=1}$	Min	Steady state	67.0	19.4	53.5	11.9	80.0	26.7	67.0	19.4	$q_{ss}^{k=1}(67)$	$E_{ss}^{k=1}(67)$
$C_{67}^{k=1}$	Min	Steady state	67.0	19.4	53.5	11.9	80.0	26.7	-	-	$q_{ss,dy}^{k=1}(67)$	$E_{ss,dy}^{k=1}(67)$
$D_{67}^{k=1}$	Min	Cycle	67.0	19.4	53.5	11.9	80.0	26.7	-	-	$q_{cyc,dy}^{k=1}(67)$	$E_{cyc,dy}^{k=1}(67)$

도, 1 : 최저속도, i : 중간속도), 하첨자는 외기권 구온도(°F)를 구별하기 위해 사용하였다.

정상상태 냉방능력실험은 열펌프가 정상상태에 도달한 때부터 적어도 1시간 이상 운전한 후 10분 간격으로 1시간 동안 측정하여 실내측 건·습구 온도와 실외측 건·습구 온도는 Table 1의 조건에 따른다.

압축기의 최고속도는 압축기 입력 주파수 95Hz, 105Hz 및 115Hz의 세가지와 압축기의 최저속도는 압축기 입력 주파수를 55Hz, 45Hz 및 35Hz의

세가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 실험을 수행할 중간속도는 식(1)과 같이 압축기의 최고속도와 최저속도에 따라 결정한다.

$$RPM_i = PMR_{min} + (RPM_{max} - RPM_{min})/3 \quad (1)$$

여기서 압축기의 회전속도를 나타내는 RPM_i는 중간속도, PMR_{min}은 최저속도 및 RPM_{max}는 최고속도이다.

단속운전시에는 압축기가 최저속도로 운전하며 압축기 입력주파수가 35Hz, 45Hz 및 55Hz인 세

가지 경우에 대하여 실험하였다. 단속운전실험은 열펌프를 1시간 이상 운전하여 평형상태에 도달한 후 $C_{67}^{k=1}$ 의 조건에서 실험을 하고, $C_{67}^{k=1}$ 조건을 실험을 수행한 직후 단속운전은 최소 2사이클이상 운전하여 $D_{67}^{k=1}$ 조건에서의 실험을 수행한다. 이때 단속운전시간은 운전을 6분, 정지를 24분으로 하며 정지시에는 실내기와 실외기의 팬도 압축기와 같이 운전/정지시켜야 한다.

3. 실험결과 및 고찰

열펌프시스템을 구성하고 ASHRAE Standard의 A조건에서 최적의 냉매충전량에 관한 실험을 한 후에 정상상태 성능실험과 단속운전시의 성능실험을 수행하였다. 실험에서 냉방용량의 오차는 계기 오차와 측정오차를 합하여 총 오차범위는 5.2%이다. 또한 냉방용량에 대한 터널형 공기엔탈피법과 냉매엔탈피법의 에너지 평형을 비교한 결과 Fig.2와 같이 실험의 최대오차가 5.77%로서 ANSI/ASHRAE Standard의 허용범위인 6% 이내에 있음을 확인하였다.⁽¹⁰⁾

압축기 최고속도와 최저속도에서의 열펌프의 성능을 평가하기 위하여 정상상태성능실험을 수행하였다. Fig.3은 외기 건구온도가 35°C와 27.8°C이며 습구온도가 24°C인 조건에서 압축기 주파수를 95Hz, 105Hz 및 115Hz로 바꾸어 가며 실험한 결과이다. 외기온도가 35°C인 경우에 냉방용량은, 압축기 속도가 증가할수록 서서히 증가하여 115Hz일 때가 95Hz일 때보다 약 80W 크지만 소비전력

은 760W 정도의 급격한 증가를 나타내며 결과적으로 COP값은 하강한다.

외기온도가 35°C인 경우에 27.8°C인 경우보다 각 주파수에 대하여 소비전력량이 250W이상 크고 냉방용량은 거의 차이가 없기 때문에 COP가 0.2 정도 작아짐을 알 수 있다. 외기온도 상승에 따라 소비전력이 급격히 커지는데 이로 인해서 응축온도 상승에 따른 냉방능력의 감소가 작아진 것 같다.

Fig.4는 각각 27.8°C와 19.4°C의 외기온도에서 압축기 주파수를 35Hz, 45Hz 및 55Hz로 운전하였을 때의 실험결과이다. 압축기속도의 증가에 따라 냉방용량과 소비전력은 비슷하게 증가하고 COP값은 4.0정도에서 2.5까지 저하하는 것을 볼 수 있다. 소비전력은 외기온도 19.4°C인 경우가 27.8°C일 때보다 더 작은 반면 냉방용량은 오히려 더 크고 따라서 더 높은 COP를 보이고 있다. 이것은 Fig.3의 최고속도에서의 경향과 마찬가지로서

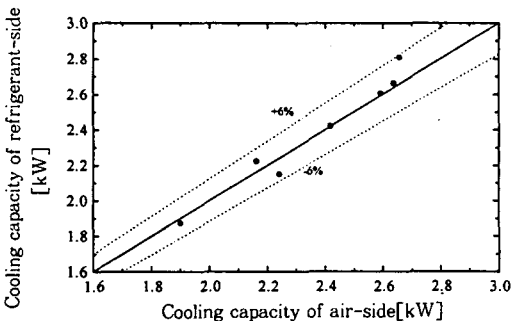


Fig.2 Energy balance between air enthalpy method and refrigerant enthalpy method

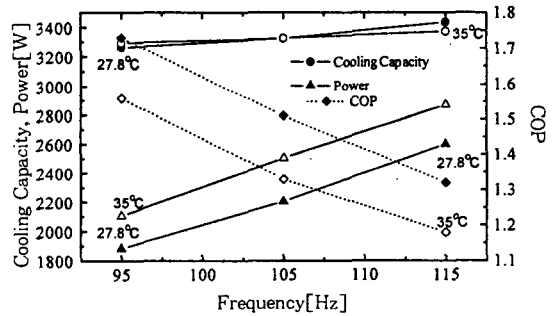


Fig.3 Variation of capacity, power and COP with frequency

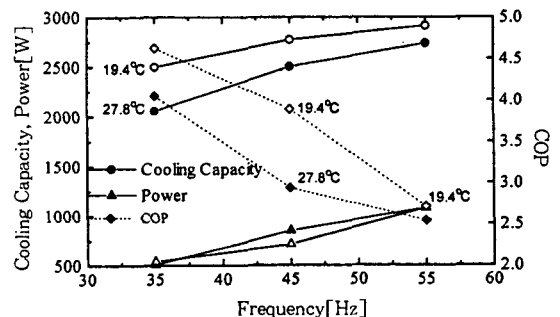


Fig.4 Variation of capacity, power and COP with frequency

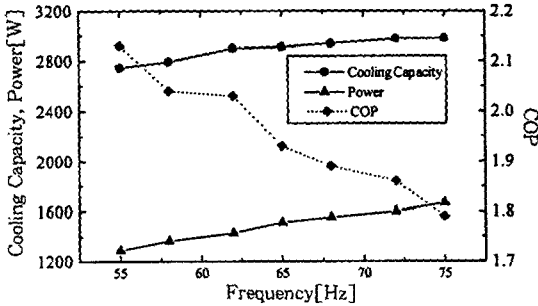


Fig.5 Variation of capacity, power and COP with frequency at outdoor temperature of 30.6°C and intermediate frequency

외기온도의 증가에 따라 응축압력이 증가하여 압축기의 소비전력이 증가하고 응축기와 외기온도의 차이가 줄어들어 열교환량이 줄기 때문이다.

Fig.5는 압축기의 최고속도와 최저속도로부터 정해지는 중간속도에서의 실험결과이다. 역시 압축기 속도의 증가에 따라 냉방용량은 증가하고 COP는 강하하는 것을 볼 수 있다.

단속운전은 열펌프의 최소 냉방능력이 사용부하보다 클 때 압축기 최저속도에서 운전되므로 본 실험에서는 압축기 주파수가 각각 35Hz, 45Hz 및 55Hz인 세 경우에 대하여 수행하였다.

Fig.6은 압축기 주파수가 35Hz인 경우의 시간에 따른 냉방용량과 소비전력의 변화이다. 열펌프 시스템을 운전하다가 정지시킨 시점에서 데이터를 얻으므로 처음에는 열펌프의 냉방용량이 강하한다. 그 후 압축기가 기동하면 냉방용량이 1,750W 가까이 증가하는 것을 볼 수 있다. 소비전력은 압축기가 정지한 후 바로 영으로 떨어지고 다시 시동되면 500W 이상 증가한다.

압축기의 운전주파수가 45Hz 및 55Hz에 관하여도 Fig.6과 같은 단속운전에 관한 실험을 수행하였으며, 단속운전에 따른 성능저하계수의 값을 산정할 때는 두 번째 사이클의 값을 사용하였다. C_b 값 계산을 위해 압축기 운전주파수변화에 따라 단속운전시의 정상상태운전시의 냉방용량비인 CLF (Cooling Load Factor)와 COP비인 PLF(Part Load Factor)를 산출하면 운전주파수가 35Hz, 45Hz 및 55Hz로 증가할 때 CLF는 0.173, 0.17 및 0.168로서 압축기 속도변화에 따른 변화가 크

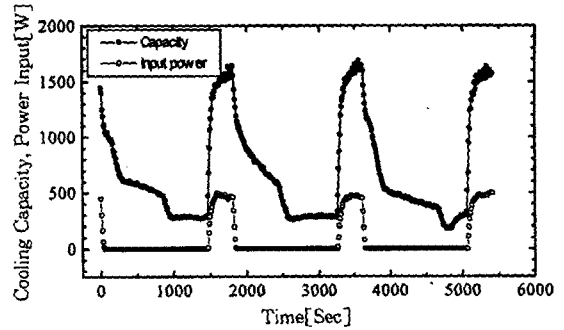


Fig.6 Variation of capacity and power input with time at 35Hz

지 않으나 PLF는 CLF에 비하여 큰 변화를 보여 주고 있다. PLF는 35Hz에서 0.846이고 45Hz에서 0.697로 강하하였다가 55Hz에서 다시 0.798로 상승하였다. PLF가 45Hz에서 크게 낮은 것은 45Hz에서 정상상태의 COP에 대한 단속운전시의 COP의 강하가 35Hz나 55Hz일 때와 비교해서 컸기 때문이다.

단속운전에 의한 시스템의 성능저하 정도를 나타내는 수치인 C_b 값은 실험에서 35Hz의 경우 0.19, 45Hz의 경우 0.36 그리고 55Hz인 경우에 0.24을 나타내었다.

위에서 구한 실험자료를 바탕으로 서울과 대구⁽¹²⁾에 대한 기상자료에 빈범을 사용하여 계절성능계수를 구하였다. 한 계절동안에 나타나는 외기온도범위를 등간격으로 나누고 등간격의 한 대표온도를 빈온도라 한다. 외기의 각 온도빈에서 나타나는 온도시간비율을 계산하고 각 빈에서의 냉방부하를 계산한다. 각 외기온도빈이 발생한 총 시간수와 이 온도빈에서의 냉방부하를 곱해 총 냉방부하를 구한다. Table 2와 Table 3은 압축기 최고속도가 115Hz이고 최저속도가 55Hz일 때의 서울과 대구의 계절성능의 계산과정을 나타내고 있다. Table 2와 Table 3에서 T_j 는 냉방기간중의 온도분포를 일정한 간격으로 나눈 각 온도빈의 대표온도, N_j 는 각 빈에서의 출현시간 비율을 나타내는 그 지역 고유의 data, $BL(T_j)$ 는 각 빈에서의 냉방부하 (Watt), $Q(T_j)$ 는 각 빈에서 열펌프가 제거하는 냉방부하, $E(T_j)$ 는 각 빈에서 압축기가 소비하는 전력량 (Watt), X 는 압축기 가동시간 비율이며 1일 때는

Table 2 Bin calculation work sheet for evaluation of SEER in Seoul

Bin #	Tj °F(°C)	Nj	BL(Tj)	Q(Tj)	E(Tj)	X	PLF	Nj · q	Nj · e
1	67(19.4)	0.2816	204.50	2,912.00	1,076.00	0.07	0.78	57.58	27.39
2	72(22.2)	0.2641	715.70	2,853.67	1,076.33	0.25	0.82	189.02	86.92
3	77(25.0)	0.2595	1,226.91	2,795.33	1,076.67	0.44	0.87	318.38	141.71
4	82(27.7)	0.1372	1,738.12	2,737.00	1,077.00	0.64	0.91	238.47	102.85
5	87(30.5)	0.0497	2,249.33	2,678.67	1,077.33	0.84	0.96	111.79	46.76
6	92(33.3)	0.0079	2,760.55	2,760.55	1,325.25	1.00	1.00	21.81	10.47

Table 3 Bin calculation work sheet for evaluation of SEER in Taegu

Bin #	Tj °F(°C)	Nj	BL(Tj)	Q(Tj)	E(Tj)	X	PLF	Nj · q	Nj · e
1	67(19.4)	0.2573	204.50	2,912.00	1,076.00	0.07	0.78	52.61	25.03
2	72(22.2)	0.2633	715.70	2,853.67	1,076.33	0.25	0.82	188.44	86.66
3	77(25.0)	0.2285	1,226.91	2,795.33	1,076.67	0.44	0.87	280.35	124.78
4	82(27.7)	0.1381	1,738.12	2,737.00	1,077.00	0.64	0.91	240.03	103.52
5	87(30.5)	0.0731	2,249.33	2,678.67	1,077.33	0.84	0.96	164.43	68.78
6	92(33.3)	0.0299	2,760.55	2,760.55	1,325.25	1.00	1.00	82.54	39.62
7	97(36.1)	0.0096	3,271.76	3,271.76	2,719.24	1.00	1.00	31.41	26.10
8	102(38.9)	0.0003	3,782.97	3,340.62	3,015.38	1.00	1.00	1.00	0.90

연속운전을 의미하며 PLF는 부분부하계수, q는 $Q(T_j) \cdot X$ 이며 따라서 $N_j \cdot q$ 는 출현시간(N_j)동안에 방출한 열량이고 $N_j \cdot e$ 는 $N_j \cdot (X \cdot E(T_j)) / PLF$ 로 나타낼 수 있다(상세한 내용은 참고문헌 11. 석사학위논문, 하도용, “압축기 용량조절범위에 따른 인버터형 열펌프의 계절성능에 관한 실험적 연구” 참조). 냉방능력과 소비전력에 온도빈을 곱한 $N_j \cdot q$ 와 $N_j \cdot e$ 를 각각 합하여 이들 값의 비로 계절성능을 구한다.

Fig.7은 각각 서울과 대구에 있어서 압축기의 운전주파수변화에 따른 계절성능의 변화이다. 서울의 경우 냉방시의 외기온도가 대구지방의 외기온도보다 낮기 때문에 대부분의 냉방운전이 압축기의 최저속도로 단속운전에 의해 이루어진다. 최저 주파수의 COP는 실험에서 35Hz, 45Hz 및 55Hz 순으로 높은 결과가 나왔으므로 결과적으로 35Hz일 때에 계절성능계수가 가장 높고 55Hz인 경우에 낮

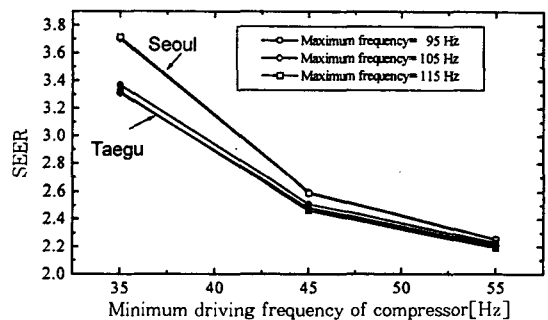


Fig.7 Effect of driving frequency range of compressor on SEER

다. 최고 주파수를 95Hz, 105Hz 및 115Hz로 변화시키더라도 계절성능계수값에 거의 영향을 미치지 않았다. 그것은 서울의 경우 최고 주파수에서 운전되는 온도범위가 없기 때문이다. 대구의 경우도 최저속도를 낮출수록 계절성능이 향상되는 것을

알 수 있다. 서울과 대구의 계절성능을 비교하면 대구에서의 계절성능계수가 서울보다 작는데 이것은 대구가 서울보다 고온쪽의 온도빈이 많아 COP가 낮은 상태에서 더 많은 시간 운전하기 때문이다. 대구의 경우 최고속도의 변화에 따른 계절성능의 변화가 서울의 경우보다는 큰 것도 대구의 경우 최고주파수에서 운전하는 온도빈이 있기 때문이다.

결과적으로 압축기의 최저속도를 55Hz에서 35Hz로 변화시킴으로써 서울의 경우 0.45정도, 대구의 경우 0.13정도의 계절성능계수값의 향상을 가져올 수 있다. 그러나 압축기 최고속도를 높이는 경우 계절성능계수에 거의 영향을 주지 않으며 오직 열펌프의 최대 냉방용량을 높이는 효과만 있을 뿐이었다.

4. 결 론

인버터형 열펌프를 사용하여 압축기의 최고속도와 최저속도를 여러가지로 변경하여 정상상태에서와 단속운전시의 성능실험을 하여 압축기 속도변화가 계절성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

정상상태 성능실험은 압축기 속도가 빨라지면 냉방용량 및 소비전력량 등이 모두 증가하지만 냉방용량의 증가에 비해 소비전력의 증가가 컸기 때문에 COP는 낮아지는 결과를 보였다. 압축기 속도가 같고 외기온도가 높은 경우에는, 소비전력이 크게 증가하여 낮은 COP를 나타내고 낮은 주파수에서는, 외기온도가 높은 경우에 소비전력이 거의 같지만 냉방능력이 감소하여 낮은 COP를 보였다.

서울과 대구의 외기데이터를 사용하여 계절성능을 구해본 결과를 보면 서울과 대구의 두 도시에 있어서 압축기 최저속도를 낮추면 계절성능계수값이 크게 향상되었다. 그러나 압축기 최고속도의 경우는 속도를 변화시키더라도 계절성능계수에 큰 영향을 주지 않는다. 대구는 서울보다 냉방기간중 외기온도가 높기 때문에 열펌프의 계절성능치는 더 낮은 값을 보이고 있다.

참 고 문 헌

1. Jaster, H. and Miller, S., 1980, "Steady state and seasonal efficiencies of air-to-air heat

pumps with continuously speed-modulated compressors", ASHRAE Trans., Vol. 86.

2. Hori, M., Akamine, I. and Sakai, T., 1986, "Seasonal efficiencies of residential heat pump air conditioners with inverter-driven compressors", ASHRAE Trans., Vol. 92.

3. Krakow, K. I., Lin, S. and Matsuki, K., 1987, "A study of the primary effects of various means of refrigerant flow control and capacity control on the seasonal performance of a heat pump", ASHRAE Trans., Vol. 93, Part 22, pp. 511~524.

4. Liles, A. W., 1980, "Variable frequency modulation versus line frequency operation of a conventional heat pump", ASHRAE trans., Vol. 86.

5. 김경식, 1992, "인버터형 공기조화기의 정상상태 및 시동시의 성능특성에 관한 실험적 연구", 고려대학교 석사학위 논문

6. 이상욱, 1995, "인버터형 열펌프의 계절성능에 관한 실험적 연구" 고려대학교 석사학위논문.

7. ARI Standard 210/240, 1989, "Unitary air-conditioning equipment", Air Conditioning and Refrigeration Institute.

8. ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116, 1983, "Method of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioners and heat pumps", American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.

9. Domanski, P. A., 1988, "Recommended procedure for rating and testing of variable speed air source unitary air conditioners and heat pump", NBSIR 88-3781, NBS Building Environment Division.

10. 박윤철, 1997, "인버터 열펌프의 동적성능에 관한 해석 및 실험", 고려대학교 박사학위 논문.

11. 하도용, 1997, "압축기 용량조절범위에 따른 인버터형 열펌프의 계절성능에 관한 실험적 연구", 고려대학교 석사학위 논문.

12. 김두천, "표준기상데이터", 1989.