

디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 냉난방특성에 대한 실험적 연구

전 용 호, 김 대 훈, 권 영 철[†], 장 근 신, 이 윤 수*, 문 제 명**, 윤 백**, 홍 주 태**
선문대학교 기계공학과, *공조기술연구센터, **삼성전자 시스템가전사업부

Experimental Study on the Cooling and Heating Characteristics of System A/C Applying the Digital Scroll Compressor

Young Ho Jun, Dae Hun Kim, Young Chel Kweon[†], Keun Sun Chang,
Yun Su Lee*, Je Myung Moon**, Youn Baek**, Ju Tae Hong**

Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea

*Regional Researcher Center, Chungnam 336-840, Korea

**Samsung Electronic Co., Ltd., Kyungki 442-742, Korea

(Received September 30, 2002; revision received April 16, 2003)

ABSTRACT: In order to investigate the cooling and heating characteristics of a variable-capacity system A/C applying a digital scroll compressor, the cooling and heating capacities and COP are measured by the psychrometric calorimeter. The capacity of the system is controlled by the digital scroll compressor, which is operated by controlling PWM valve and the loading vs. unloading time. In the case of unloading compared that of loading, the consumption power of the compressor is about 11% and the capacity variation of the system A/C is within about 1%. When the system A/C is operated under the cooling and heating standard conditions, COP is nearly uniform but cooling capacity and heating capacity increase at minimum, rated and maximum modes. The system A/C applying the digital scroll compressor is effective for the range with high load or the width of large load variation. When the auxiliary heater is on, at the cold region, the system A/C produces the excellent heating capacity.

Key words: Energy efficiency ratio(에너지 소비효율), Capacity modulation(용량가변), PWM(펄스폭변조), Digital scroll compressor(디지털 스크롤 압축기), Cooling and heating characteristics(냉난방특성)

1. 서 론

냉동공조산업은 사람들의 생활수준의 향상과 산업기술의 고도화 및 경제발전으로 쾌적한 주거환경 및 작업환경을 조성하는 데 필요한 기술 분야

이므로 그 중요성과 가치가 고조되고 있다. 최근 냉동공조 분야의 시장환경은 에어컨 등 냉방기 사용이 급증하면서 여름철 전력수요가 집중되어 연중 최고치를 기록하는 등의 전력공급의 어려움이 나타남에 따라 에너지소비 효율등급이 상향조정되고 있고, 더욱이 환경 및 에너지 문제로 관련 기술의 고효율화가 더욱 강조되어 에어컨 등과 같은 공조기의 냉난방 성능 및 에너지 소비효율 향상이 업계의 최대 관심사이다. 에너지 소비효

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-530-2396; fax: +82-41-530-2986

E-mail address: yckweon1@email.sunmoon.ac.kr

울의 향상은 공조기의 성능을 향상시키거나 관련 규격을 재검토함으로써 가능하다.

에너지 절약이 강조됨에 따라 에어컨의 냉난방 성능과 전력소비에 가장 큰 영향을 미치고 있는 압축기의 성능개선을 위해 다양한 압축방식 및 형태를 가진 새로운 압축기들이 소개되고 있다. 따라서 압축기의 개발에 따른 효율향상이 중요시 되고 있다. 일정 냉방능력을 유지하도록 설계된 정속형 공조기는 냉방기간중 시간에 따라 연속적으로 변하는 외기부하에 적절히 대응하지 못하여 실내온도가 설정온도에 도달하면 압축기의 운전이 정지되고 외기부하의 증가에 의해 다시 실내온도가 변하면 압축기가 운전되는 on-off 운전방식을 갖는다. 압축기의 종류에 따라 약간 차이가 있지만 모터 기동시 토크는 운전시의 약 2~3배에 이르므로 시동 및 정지운전에 따른 소비전력 증가가 공조기의 운전비용을 증대시키는 주원인이 된다. 따라서 외기부하에 적절히 대응하고 난방기능을 완전히 수행하기 위한 방법으로 가변속 압축기를 사용한 시스템이 확대되고 있는 추세이다. Rice and Fisher⁽¹⁾는 정속 압축기를 사용하는 것보다 가변속 압축기를 사용할 경우 전체적인 에너지 절약효과가 약 26.7%에 이른다고 보고하였으며, Fujita et al.⁽²⁾은 전자팽창밸브와 로타리 압축기를 사용하여 2실형 멀티 에어컨에 대하여 용량 및 유량제어 연구를 실시하여 단속운전효과가 부분부하성능에 미치는 영향과, 계절성능의 정격 및 실험방법 등을 규정하기 위한 연구를 수행하였다.^(3,4)

용량가변 방식은 크게 비선형 용량가변 방식과 선형 용량가변 방식으로 구분되어진다. 비선형 용량가변 방식은 부하의 경/중에 따라 2단계 이상 또는 연속적으로 자동변화시킬 수 있으나, 부하에 따라서 선형적으로 압축기의 용량을 제어할 수 없는 방식으로서, 2압축기형, 극수변환 방식, 그리고 실린더 언로드 방식이 여기에 해당된다. 한편 선형 용량가변 방식은 부하에 따라 선형적으로 압축기의 용량을 제어할 수 있는 방식으로서, 회전수 제어형(Inverter)과 부하에 따라서 실린더 압축 및 비압축과정을 제어하는 로딩주기형(디지털 스크롤 방식)이 여기에 해당된다. 디지털 스크롤 압축기는 PWM(pulse width modulation) 밸브를 이용하여 상부 스크롤의 부하/loading)/무부하(unloading)의 시간을 조절하여 시스템의 능

력을 변환하는 방식의 압축기로 PWM 밸브의 on/off 제어 방식에 따른 전력변환 과정이 없어 변환에 따른 전력소비를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 부하변동에 따른 전력소비의 감소 및 부하변동에 따라 PWM의 제어로 다양한 범위의 용량가변이 가능하다. 그리고 부하가 작은 최소 운전영역에서도 냉매유속이 충분히 커서 오일회수가 원활하고, 전자팽창밸브를 사용하여 실내기의 능력을 최적으로 제어할 수 있다.⁽⁶⁾ 그러나 새로운 방식을 채택한 디지털 스크롤 압축기를 시스템 에어컨에 적용한 경우에 대한 냉난방특성에 대한 연구결과가 충분하지 않다.

따라서 본 연구에서는 디지털 스크롤 압축기를 적용한 4방향 천정 부착형 카세트 타입의 시스템 에어컨의 냉난방성능 및 COP를 냉난방 표준조건 및 난방저온 조건 하에서 조사하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 디지털 스크롤 압축기(3.75 kW)를 적용한 시스템 에어컨의 냉난방특성을 보다 정확히 조사하기 위하여 칼로리미터를 이용하였다.

본 연구에 사용된 칼로리미터는 멀티형 공기엔탈피식 열량계로 안정성이 우수하며 많은 시험을 신속하게 수행할 수 있다. 본 설비는 3대의 풍량 측정장치, 실내 및 실외 공조장치, 자료처리분석 및 운영장치, 공기 샘플링유닛, 온습도제어기 및 전원제어기, 주파수변환기(50, 60 Hz) 등으로 구성되어 있다. 모든 시험상태는 제어기에서 제어하면서 실시간으로 모니터링이 가능하게 되어 있다. 운영 프로그램은 시료의 여러 실험값들을 자동으로 수집, 저장, 분석, 처리할 수 있는 기능을 내장하고 있다. 실내측과 실외측의 건구온도는 PID 제어기로 히터의 열량을 조절함으로써 실내측은 15~40℃, 실외측은 -15~60℃까지, 습구온도는 가습히터의 열량을 조절하여 상대습도 30~90%까지 유지할 수 있다. 멀티형 칼로리미터의 재현성 및 신뢰성은 ETL 시료대비 각각 ±0.5%와 ±1.4% 이내이다. 그리고 온습도 정밀도는 ±0.1℃ 이내이다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 멀티형 칼로리미터의 개략도이다. Fig. 2는 풍량측정장치의 개략도

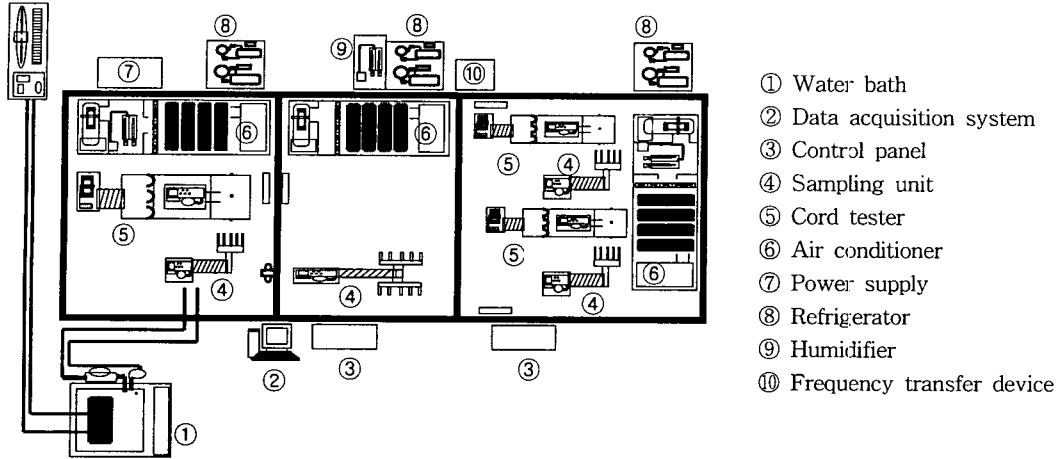


Fig. 1 Schematic diagram of the multi-calorimeter.

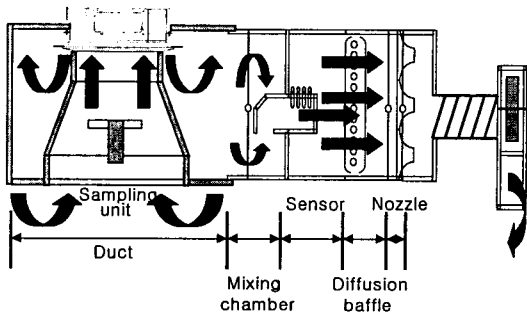


Fig. 2 Schematic diagram of cord tester.

와 온도, 압력 및 유량의 측정위치를 보여준다. 챔버 내의 공기상태를 일정하게 유지시켜 주기 위해 공기는 인버터로 변속이 되는 팬에 의해서 순환된다. 풍량측정장치 내부와 실내측의 차압이 'Zero'가 되도록 인버터의 속도를 조절하여 흡입과 배출 풍량을 같게 조절한다.

2.2 실험방법

디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 성능은 KS C 9306 시험규격⁽⁸⁾의 냉난방 시험기준에 따라 시험되었다. Table 1은 본 실험에서 적용한 온도조건을 나타낸다. 칼로리미터 내부의 온도와 습도가 프로그래밍되어 미리 설정된 안정 조건 범위에 도달한 후에 시스템 에어컨을 1시간 정도 계속 운전한다. 그리고 이때 측정된 능력 및 전력의 변동폭이 설정범위 이내에서 만족될 때

Table 1 Operating conditions

Test condition	Indoor room temp. (°C)		Outdoor room temp. (°C)		
	DB	WB	DB	WB	
Cooling	Standard	27 ± 0.3	19.5 ± 0.2	35 ± 0.3	24 ± 0.2
				7 ± 0.3	6 ± 0.2
Heating	Low temp.	20 ± 0.3	15 ± 0.2	-5 ± 0.3	-
				-10 ± 0.3	
				-15 ± 0.3	

데이터를 수집하였다. 시험은 10분 간격으로 연속 6회를 실시한 후 평균값을 획득한다. 냉난방 모드에서는 최소, 정격, 최대 운전시의 데이터를, 그리고 실외의 외기조건(-15°C, -10°C, -5°C)에서는 히터를 on, off한 경우에 대해 각각의 능력과 COP를 계산한다. 본 실험에 적용된 최소, 정격, 최대 운전용량은 냉방에서 약 9,000~12,500 W를 난방에서 약 7,500~15,000 W를, 그리고 COP는 난방에서 약 3 정도이다.

시스템 에어컨의 열량은 ANSI/ASHRAE Standard 58-1986(RA 99)⁽⁹⁾에서 규정한 시험방법에 의하여 측정된 온도와 습도, 풍량을 이용하여 공기 엔탈피법을 이용하여 냉·난방 능력을 계산하였다. 시스템 에어컨의 풍량을 정확히 측정하기 위해서 공기의 유입흐름을 고려하여 덕트를 제작한 후 풍량측정장치(Fig. 2)에 부착하였으며, 공기의 누설 및 단열을 위해 3mm의 접착성 단열재를 사용하여 최대한 마감처리를 하였다.

3. 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템의 특성

일반적으로 인버터 방식의 압축기는 부하에 따라 압축기의 회전수를 조절하므로 실내온도가 설정온도에 근접함에 따라 압축기의 회전속도를 점차 감속시키는 방법으로 용량을 조절하여 압축기의 소비전력의 절대값을 감소시킴에 따라 상대적인 에너지 소비효율을 증가시켜 계절 성능계수가 정속형 압축기에 비해 약 20~30% 정도 개선되는 것으로 알려져 있다. 이러한 장점 때문에 DAIKIN, MITSUBISHI, HITACHI 등 일본 업체들은 물론 중국 업체들도 인버터 스크롤 압축기를 적용한 제품개발을 활발히 진행중에 있다. 그러나 인버터 방식의 압축기는 회전수 제어를 위해 사용하는 인버터 회로부에서의 압축기 운전주파수 변환에 따른 추가적인 전력손실이 발생하므로 정속형 압축기의 에너지 소비효율에 비해 동일조건에서의 인버터 압축기의 에너지 소비효율이 낮게 나타나며, 운전주파수가 높아질수록 성능향상에 비해 소비전력 상승이 더욱 증가하는 단점이 있는 것으로 알려져 있다.

디지털 스크롤 압축기는 Fig. 3에 보이는 것처럼 PWM 제어를 통해 운전하게 되는데, 이는 PWM 밸브에 전원이 인가되어 밸브가 열린 상태가 되면 압축기의 토출배압이 해제됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 상승하는 무부하 상태(unloading)가 되고, 반대로 PWM 밸브에 전원이 차단되어

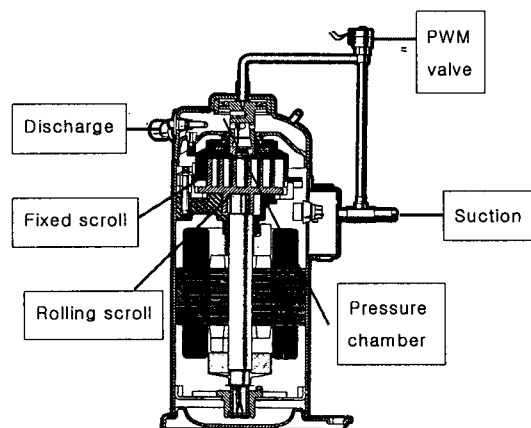


Fig. 3 Schematic diagram of digital scroll compressor.

밸브가 닫힌 상태가 되면 상부 스크롤에 배압이 부여됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 하강하는 부하상태(loading)가 되는데, 이 무부하 및 부하 시간, 즉 부하/무부하의 주기를 조절하여 냉매 토출량을 가변 제어함으로써 압축기의 용량을 변화시키는 방식이다. 본 연구에서 사용된 시스템 에어컨은 순환냉매의 흐름조절을 통해 난방 운전이 가능한 열펌프이다.

동절기 난방운전시 열펌프의 에너지 이용효율은 여타 어떤 난방기구보다 우수하나, 일반적으로 실외온도가 저하될수록 난방부하는 증가하는 반면에, 사이클의 증발온도와 응축온도가 내려가서 난방능력 및 에너지 소비효율이 저하되는 단점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 여러 가지 방법이 있는데, 그중 용량가변형 압축기를 적용하여 실외온도 저하시 압축기의 용량을 증대시키는 방법, 시스템 용량보다 큰 용량대의 압축기를 적용하여 난방용량의 부족부분을 충당하는 방법, Vapor Injection 방법, 이상적으로 고주파수 운전이 가능한 인버터 압축기를 사용하는 방법, 실내기에 히터를 부착하여 실내기로부터 토출된 공기를 직접 가열함으로써 난방용량의 부족부분을 충당하는 방법, 그리고 일부 저온구간에서 히터를 이용하여 난방용량의 부족부분을 충당하는 방법 등이 있다.

상기 방법 중에서 실내기로부터 토출된 공기를 직접 가열하는 방식은 히터 효율이 그대로 제품 효율에 반영되므로 난방 COP 측면에서 우수하나, 실내기의 종류에 따라 적용할 수 있는 기종이 극히 제한적이며, 히터를 실내에 설치하는 관계로 화재 등 안전에 주의해야 하는 단점이 있다. 한편, 시스템 용량보다 큰 용량대의 압축기를 적용하여 난방용량의 부족부분을 충당하는 방법은, 앞서 언급한 실내기 히터 적용방식과 비교해 실내기 종류에 제한이 없으며, 제품설계 측면에서도 용이하나, 시스템 용량보다 큰 용량대의 압축기를 사용하는 관계로 전 범위에 걸쳐 COP가 저하되어 연간 에너지 비용이 증가하는 단점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 냉매 간접가열 방식 히터를 채용하여 저온 난방성능을 향상시키면서 동시에, 히터를 저온난방시에만 사용함으로써 주사용 영역에서는 높은 COP를 유지하고, 저온영역

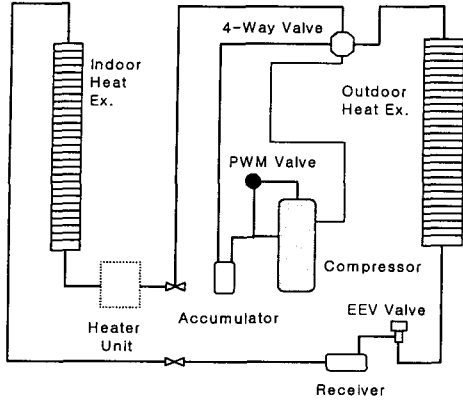


Fig. 4 Schematic diagram of system A/C.

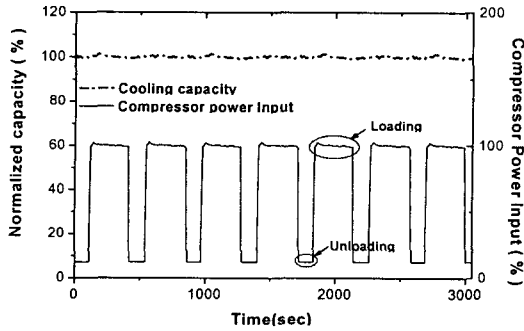


Fig. 5 Normalized cooling capacity and compressor power input of system A/C applying digital scroll compressor.

에서는 COP를 최소로 감소시키면서 난방성능이 향상되도록 꾀하였다. Fig. 4는 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 회로도를 개략적으로 보여준다.

Fig. 5는 본 실험에서 측정된 시스템 에어컨의 냉방운전시 능력과 압축기 소비전력을 나타낸 그림이다. 부하운전 대비 무부하운전시 압축기의 소비전력은 약 11% 정도이었으며, 시료의 능력변동은 약 1% 이내로 안정적이었다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 냉난방 표준조건

인버터 압축기는 압축기 회전수가 가변되는 방식이므로, 모든 운전주파수 영역에서 주파수 변환에 따른 전력변환 및 파형왜곡 등에 기인한 손

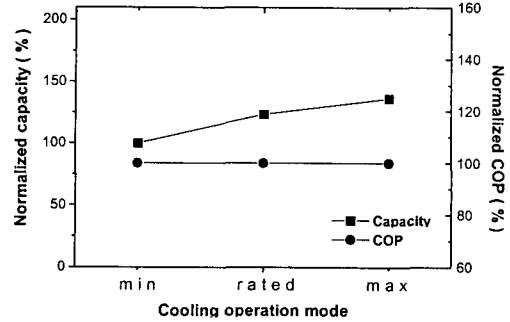


Fig. 6 Variation of normalized cooling capacity and COP of system A/C at minimum, rated and maximum operating modes.

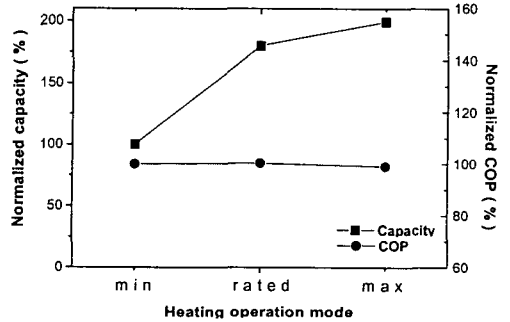


Fig. 7 Variation of normalized heating capacity and COP of system A/C at minimum, rated and maximum operating modes.

실이 압축기 소비전력의 약 10~14% 정도 발생하며, 압축기 모터 효율이 저주파수와 고주파수 영역에서는 급격히 감소되는 것으로 알려져 있다. 또한, 인버터 방식의 경우에 일반적으로 저주파수 영역에서는 압축기의 소비전력에 비해 상대적으로 시스템의 열교환 능력이 높아 COP가 우수하나, 고주파수 영역으로 갈수록 소비전력의 상승이 시스템의 열교환 능력보다 증가하게 되어 COP가 감소되는 경향이 있다.

Fig. 6과 Fig. 7은 시스템 에어컨을 표준조건에서 냉방과 난방 운전을 할 때 용량가변에 따른 냉방 및 난방 능력과 COP를 보여주고 있다.

본 실험의 결과, 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 경우 압축기 부하가 큰 영역에서도 일반적인 인버터형 압축기를 적용한 에어컨과는 달리 COP 감소현상이 뚜렷이 나타나지 않았다.⁽⁷⁾ 이는 부하가 큰 영역에서 인버터 방식

의 압축기의 경우 압축기 모터 효율이 감소하고 압축기 소비전력이 급격히 증가하는 반면에, 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 경우, 부하증가에 따른 압축기 소비전력이 거의 선형적으로 증가하는 특성에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨은 고부하 영역은 물론이고, 일반적인 에어컨 운전 영역에서 효율이 우수함을 알 수 있다.

4.2 난방 저온조건

Fig. 8은 실외온도가 -5, -10, -15℃로 변할 때 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 난방능력과 COP로, 그림에 나타난 데이터는 보조히터 off, 실외온도 -15℃를 기준으로 하고 있다. 실외온도가 낮아짐에 따라 시스템의 난방능력과 COP는 감소함을 알 수 있다. 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨은 Fig. 4와 같이 실외측에 냉매가열식 보조히터(3 kW)를 장착함으로써 실내측으로 유입되는 냉매를 가열하여 응축압력과 온도를 상승시켜 시스템의 난방능력 향상 및 실외의 낮은 온도로 인한 압축기의 결빙현상을 방지할 수 있도록 설계되어 있으므로 본 연구에서는 보조히터를 on한 상태와 off한 상태의 난방능력과 COP를 비교하고자 하였다. 본 연구에 사용된 시스템 에어컨은 히터를 off한 상태에서 실외온도가 -5℃인 경우에도 높은 COP 값을 유지하였으며 실외온도가 -15℃인 경우에도 AC 인버터 방식의 시스템 에어컨보다 높은

COP를 나타내었다.⁽⁷⁾ 이는 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템이 인버터 방식의 시스템보다 어느 정도 열적 능력에 대한 마진을 확보하고 있다는 것을 보여준다.

난방능력의 경우에, 히터를 off한 경우와 on한 경우의 실외온도 변화(-5℃에서 -10℃ 구간)에 따른 난방능력의 감소경향은 거의 비슷하다. 그러나 실외온도가 -10℃에서 -15℃로 더욱 낮아짐에 따라 난방능력의 감소 기울기의 변화는 히터를 정지한 경우와 가동한 경우에 다르게 관찰되었다. 히터를 off한 경우는 이전 구간보다도 큰 기울기를, 그리고 히터를 on한 경우는 오히려 적은 기울기를 보여준다. -5℃ 대비 -15℃에서의 난방능력 감소율은 히터를 off한 경우에 약 42% 정도이었으나, 히터를 on한 경우에는 약 30% 정도의 감소율을 가졌다. 이는 보조히터의 가동으로 시스템 작동냉매의 온도가 높아져 낮은 외기 온도조건에서도 열교환이 좀더 원활히 이루어졌기 때문이며, 그 결과 시스템 난방능력의 감소현상을 낮출 수 있었다.

한편, 히터를 off한 상태와 on한 상태의 실외온도 변화(-5℃에서 -15℃ 구간)에 따른 COP의 감소 변화는 난방능력과 다르다. 히터를 off한 경우에 외기온도가 낮아질수록 COP의 감소 경향은 더욱 뚜렷하다. 히터를 off한 경우에 -5℃ 대비 -15℃에서의 COP 감소율은 약 19% 정도였으며, 히터를 on한 경우에는 약 11%의 감소율을 가진다. 이 결과로부터 보조히터를 가동할 경우에 한랭지 조건(Fig. 8의 -15℃ 조건)에서 COP를 적정수준 이상으로 유지하면서도 효과적으로 난방능력을 제공할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 새로운 용량가변 방식의 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 능력 및 COP 특성을 조사하고자 용량가변에 따른 냉난방 표준실험과 난방 저온(-5, -10, -15℃) 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 부하운전 대비 무부하운전시 소비전력은 약 11% 정도였으며, 시료의 능력변동은 약 1% 이내로 안정적이었다. 표준조건에서의 용량가변에 따른 COP는 거의 일정하게 유지되었고, 냉방과 난

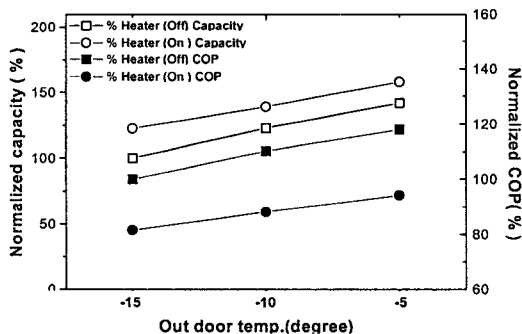


Fig. 8 Variation of normalized heating capacity and COP on outside temperature conditions.

방 능력은 크게 향상되었다. 또한, 압축기 부하가 큰 영역에서도 COP 감소가 뚜렷하지 않았다. 이는 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨은 고부하 영역은 물론이고, 일반적인 에어컨 운전 영역에서 효율이 우수함을 의미한다. 그리고 난방저온 성능을 향상시키기 위해 보조히터를 가동할 경우에, 한랭지 조건에서도 COP를 적정 수준 이상으로 유지하면서도 우수한 난방능력을 제공하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 선문대학교 공조 기술연구센터(RRC)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

참고문헌

1. Rice, C. K. and Fisher, S. K., 1985, A comparative analysis of single and continuously variable-capacity heat pump concepts, Proc. of the DOE/ORNL Heat Pump Conference, pp. 57-65.
2. Fujita, Y., Kubo, T. and Suma, S., 1992., Multi air conditioner with two indoor unit, Refrigeration, Vol. 67, No. 772, pp. 171-176.
3. Parken, W. H., Beausoliel, R. and Kelly, G., 1977, Factors affecting the performance of a residential air to air heat pump, ASHRAE Transaction, Vol. 83, pp. 839-849.
4. Didon, D. A. and Kelly, G. E., 1979, New testing and rating procedures for seasonal performance of heat pumps, ASHRAE Journal, September, pp. 40-44.
5. Kim, C. M., Hwang, Y. J., Ryu, Y. H. and Cho, K. S., 2001, The experimental study on the comparison in performance of the system which used modulated compressors, Proc. of the SAREK, Vol. 3, pp. 1114-1120.
6. Seo, H. J., Kim, J. M., Lee, J. K., Oh, S. K. and Moon, J. M., 2001, Characteristics of oil flow pattern of DVM system (1), Proc. of the SAREK, Vol. 3, pp. 1137- 1141.
7. Kweon, Y. C., Lee, Y. S., Kim, D. H. and Jun, Y. H., 2002, Experimental study on the efficiency improvement of DVS system air-conditioner using the digital scroll compressor, Final Report, RRC.
8. KS C 9306, 1999, Air conditioners, Korean Agency for Technology and Standards.
9. ASHRAE, 1983, Method of testing for seasonal efficiency of unitary air conditioners and heat pumps, ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116-1983.
10. Ryu, Y. H., Hwang, Y. J., Kim, C. M. and Cho, K. S., 2002, The effects of capacity modulation on the performance of residential vapor compression systems, Proc. of the SAREK, Vol. 1, pp. 98-107.