

디지털 스크롤 압축기를 이용한 시스템 에어컨의 냉난방특성

전용호*, 김대훈*, 권영철[†]*, 이윤수(선문대)*, 문제명**, 홍주태**(삼성전자)

Cooling and Heating Characteristics of System A/C using the Digital Scroll Compressor

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

Key Words: Digital scroll compressor (디지털스크롤압축기), Cooling and heating characteristics (냉난방특성), System A/C (시스템에어컨)

Abstract

In order to investigate the cooling and heating characteristics of a variable-capacity system A/C using a digital scroll compressor, the cooling and heating capacities and EER 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. When the system A/C is operated under the cooling and heating standard conditions, EER is nearly uniform but cooling capacity and heating capacity increase at minimum, rated and maximum modes. When the auxiliary heater is on, at the cold region, the system A/C produces the excellent heating capacity.

1. 서 론

냉동공조산업은 사람들의 생활수준의 향상과 산업기술의 고도화 및 경제 발전으로 쾌적한 주거환경 및 작업환경을 조성하는데 필요한 기술 분야이므로 그 중요성과 가치가 고조되고 있다. 최근 냉동공조분야의 시장환경은 에어컨 등 냉방기 사용이 급증하면서 여름철 전력수요가 집중되어 년 중 최고치를 기록하는 등의 전력공급의 어려움이 나타남에 따라 에너지소비 효율등급이 상향조정되고 있고, 더욱이 환경 및 에너지 문제로 관련기술의 고효율화가 더욱 강조되어 에어컨 등

과 같은 공조기의 냉난방 성능 및 에너지 소비효율(EER) 향상이 업계의 최대 관심사이다. 에너지 소비효율의 향상은 공조기의 성능을 향상시키거나 관련규격을 재검토함으로써 가능하다.

에너지 절약이 강조됨에 따라 에어컨의 냉난방 성능과 전력 소비에 가장 큰 영향을 미치고 있는 압축기의 성능개선을 위해 다양한 압축방식 및 형태를 가진 새로운 압축기들이 소개되고 있다. 따라서 압축기의 개발에 따른 효율향상이 중요시되고 있다. 일정 냉방능력을 유지하도록 설계된 정속형 공조기는 냉방기간중 시간에 따라 연속적으로 변하는 외기 부하에 적절히 대응하지 못하여 실내온도가 설정온도에 도달하면 압축기의 운전이 정지되고 외기 부하의 증가에 의해 다시 실내온도가 변하면 압축기가 운전되는 on-off 운전방식을 갖는다. 압축기의 종류에 따라 약간 차이가 있지만 모터 기동 시 토크는 운전시의 약 2~3배에 이르므로 시동 및 정지운전에 따른 소비전력 증가가 공조기의 운전비용을 증대시키는 주원인이 된다. 따라서 외기 부하에 적절히 대응하고

[†] 선문대학교 기계공학과

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

TEL : (041)530-2396 FAX : (041)530-2986

* 선문대학교 기계공학과

** 삼성전자

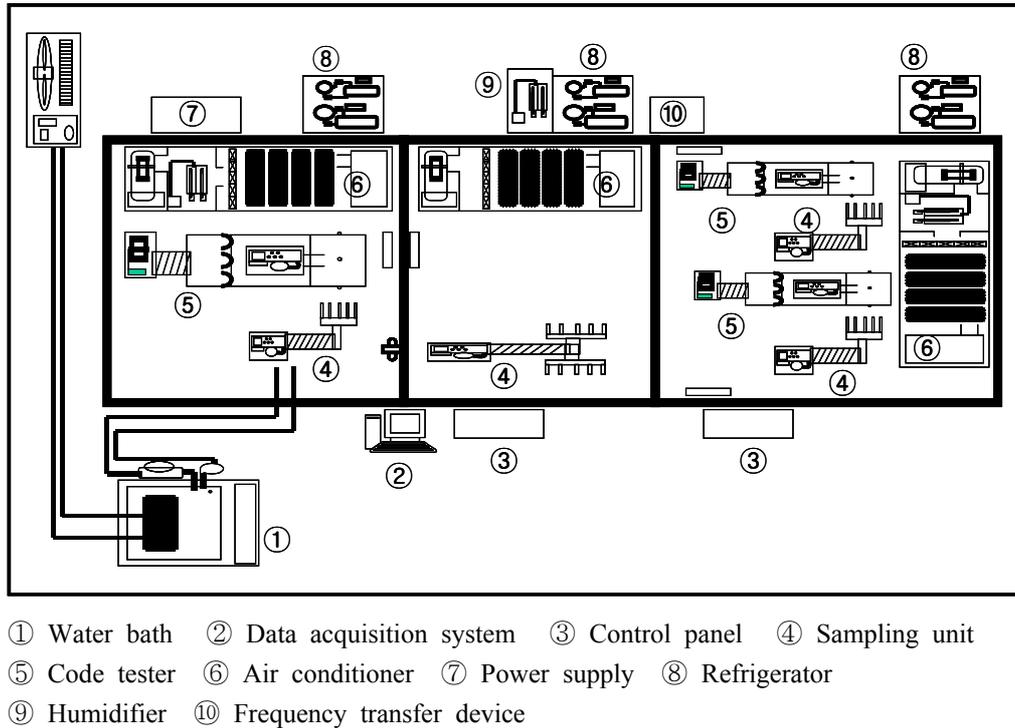


Fig. 1 Schematic diagram of the multi-calorimeter.

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 제어방식은 크게 회전수에 의한 용량 제어방식과 압축 행정거리에 따른 용량제어 방식으로 구분되어 지며, 회전수에 의한 용량제어 방식

에는 주파수 변환방식과 극수 변환 방식의 두 가지가 있고, 압축행정거리에 의한 용량제어 방식은 다기통 방식과 바이패스 방식의 두 가지가 있다.⁽⁵⁾ 최근, 디지털 스크롤 압축기를 사용하는 새로운 용량가변 제어방식이 소개되었다. 디지털 스크롤 압축기는 PWM(pulse width modulation) 밸브를 이용하여 상부스크롤의 부하/loading/무부하/unloading)의 시간을 조절하여 시스템의 능력을 변환하는 방식의 압축기로 PWM밸브의 on/off 제어 방식에 따른 전력변환 과정이 없어 변환에 따른 전력소비를 줄일 수 있다. 또한, 부하변동에 따른 전력소비의 감소 및 부하변동에 따라 PWM의 제어로 다양한 범위의 용량가변이 가능하다. 그리고 부하가 작은 최소 운전 영역에서도 냉매 유속이 충분히 커서 오일 회수가 원활하고, 전자팽창밸브를 사용하여 실내기의 능력을 최적으로 제어할 수 있다.⁽⁶⁾ 그러나 새로운 방식을 채택한 디지털 스크롤 압축기를 시스템 에어컨에 적용한 경우에 대한 냉난방 특성에 대한 연구결과가 충분하지 않다.

따라서 본 연구에서는 새로운 용량 가변방식을 적용한 디지털 스크롤 압축기를 채용한 4방향 천정 부착형 카세트 타입의 시스템 에어컨의 냉난

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
	Standard			7±0.3	6±0.2
Heating	Low temp.	20±0.3	15±0.2	- 5±0.3	-
				- 10±0.3	
				- 15±0.3	

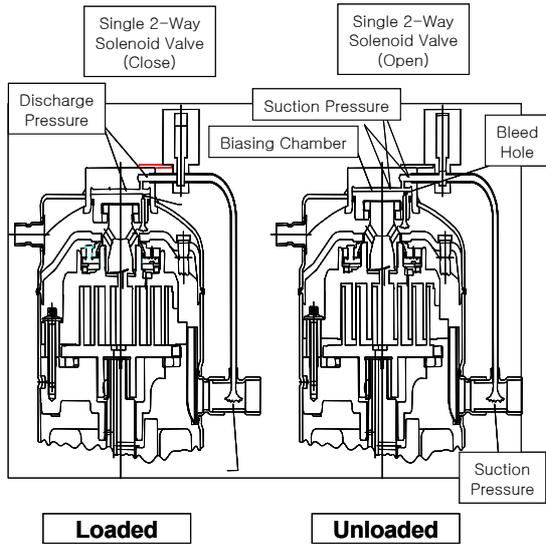


Fig. 2 Schematic diagram of digital scroll compressor.

방성능 및 EER을 냉난방 표준조건 및 난방저온 조건하에서 조사하고자 하였다. 본 실험연구에 앞서 디지털 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 PWM 밸브의 부하/무부하 주기 및 전자 팽창밸브의 조절 그리고 운전조건에 따른 사이클의 운전특성은 선행연구인 최적화실험을 통해 이미 수행되었다.⁽⁷⁾

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 디지털 스크롤 압축기(3.75 kW)를 적용한 시스템 에어컨의 냉난방 특성을 보다 정확히 조사하기 위하여 칼로리미터를 이용하였다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 멀티형 칼로리미터의 개략도이다. 본 연구에 사용된 칼로리미터는 멀티형 공기엔탈피식 열량계로 안정성이 우수하며 많은 시험을 신속하게 수행할 수 있다. 본 설비는 3 대의 풍량측정장치, 실내 및 실외 공조장치, 자료처리분석 및 운영장치, 공기샘플링유닛, 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 열량

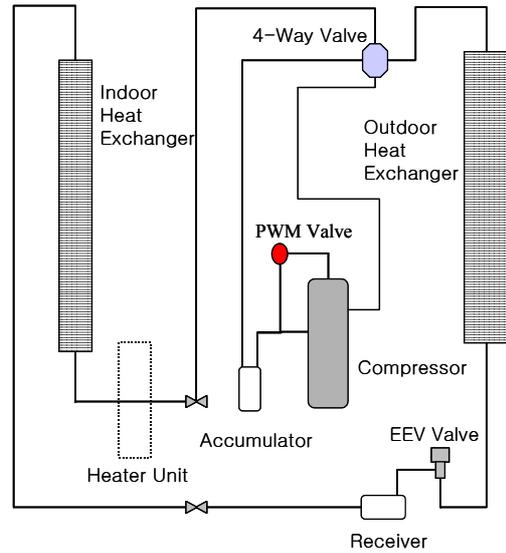


Fig. 3 Schematic diagram of system A/C.

을 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..

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 프로그램화되어 미리 설정된 안정 조건범위에 도달한 후에 시스템 에어컨을 1시간 정도 계속 운전한다. 그리고 이때 측정된 능력 및 전력의 변동폭이 설정범위 이내에서 만족될 때 데이터를 수집하였다. 시험은 10분 간격으로 연속 6회를 실시한 후 평균값을 획득한다. 냉난방 모드에서는 최소, 정격, 최대 운전 시의 데이터를 그리고 실외 외기조건(-15℃, -10℃, -5℃)에서는 히터를 on, off 한 경우에 대해 각각의 능력과 EER을 계산한다.

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.

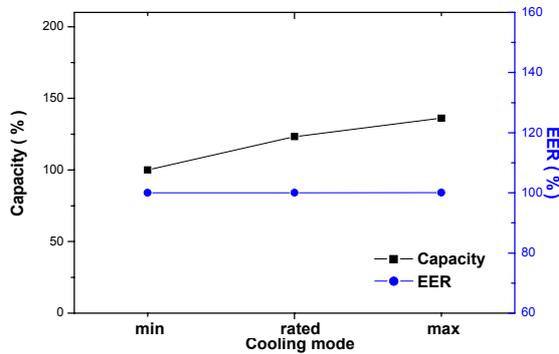


Fig. 4 Variation of cooling capacity and EER of system A/C at minimum, rated and maximum operating modes.

3. 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템의 특성

일반적으로 널리 알려진 방식의 압축기는 부하에 따라 회전수를 변화시켜 능력을 조절하게 되는데, 부하가 크다고 판단되면 주파수를 높여 회전수를 증가시키고, 낮다고 판단되면 회전수를 감소시킴으로써 냉난방 능력을 조절하기 때문에 불필요한 능력의 손실을 줄여 EER이 우수하고 낮은 외기 온도에서도 높은 난방능력을 낼 수 있다. 그러나 운전 주파수가 높아질수록 성능향상에 비해 소비전력 상승이 더욱 증가하는 단점을 가지고 있다.

디지털 스크롤 압축기는 Fig. 2에 보이는 것처럼 PWM 제어를 통해 운전하게 되는데, 이는 PWM 밸브에 전원이 인가되어 밸브가 열린 상태가 되면 압축기의 토출 배압이 해제됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 상승하는 무부하 상태(unloading)가 되고, 반대로 PWM 밸브에 전원이 차단되어 밸브가 닫힌 상태가 되면 상부 스크롤에 배압이 부여됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 하강하는 부하상태/loading)가 되는데, 이 무부하 및 부하시간, 즉 부하/무부하의 주기를 조절하여 냉매 토출량을 가변 제어함으로써 압축기의 용량을 변화시키는 방식이다.

본 연구에서 사용된 시스템 에어컨은 순환냉매의 흐름 조절을 통해 냉난방 운전이 가능한 열펌프이다. 난방저온 운전 시 실외온도가 감소하게 되면 난방부하가 증가한다. 그러나 이 때 증발온

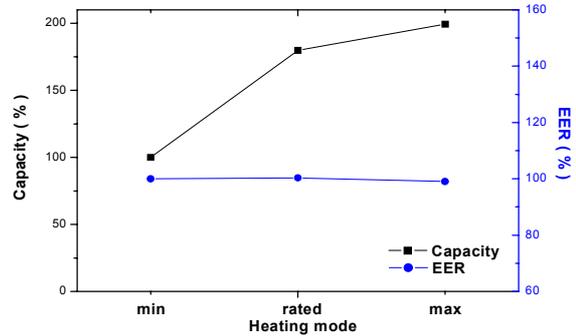


Fig. 5 Variation of heating capacity and EER of system A/C at minimum, rated and maximum operating modes.

도와 응축온도가 낮아지는 문제점이 있어, 본 연구에서는 압축기의 출구와 실내 열교환기 사이에 보조 가열 히터를 장착하여 이를 해결하였다. Fig. 3은 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 회로도를 개략적으로 보여준다

4. 실험결과 및 고찰

4.1 냉난방 표준조건

가변속 회전을 하는 인버터 압축기는 모든 운전 주파수에서 압축기 소비전력의 5~10% 비율로 구동드라이브의 손실이 발생하며 운전 주파수가 감소하면 모터효율이 감소하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁰⁾ 이와 달리 시스템 에어컨은 PWM 밸브의 on-off 제어에 의해 냉매의 토출량을 가변 제어하는 방식이므로 압축기는 정속도 회전을 한다. 따라서 시스템 에어컨은 인버터 방식에 비해 전 구간에서 압축기 효율이 크게 변하지 않았다.

Fig. 4와 Fig. 5는 시스템 에어컨을 표준조건에서 냉방과 난방 운전을 할 때 최소, 정격, 최대 운전모드에서의 냉방 및 난방능력과 EER을 각각 보여주고 있다. 냉방운전 시, 냉방능력은 운전모드가 최소, 정격, 최대로 변화함에 따라 최소운전에 비해 정격 시 약 23%, 최대 시 약 37% 정도 증가하였다. 그러나 디지털 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 EER은 전 운전모드에 거의 일정하게 유지되었다. 난방운전 시, 난방능력은 운전모드가 최소, 정격, 최대로 변화함에 따라 최소운전에 비해 정격 시 약 80%, 최대 시 약 100% 정도 증가하였다. EER은 최소 및 정격 운

전모드 시에 거의 일정하게 유지되었으나, 최대 운전 EER은 최소운전에 비해 약 2% 정도 감소하였다.

인버터 방식의 경우에 일반적으로 저주파수 영역에서는 압축기의 소비전력에 비해 상대적으로 시스템의 열교환 능력이 높아 EER이 우수하나, 고주파수 영역으로 갈수록 소비전력의 상승이 시스템의 열교환 능력보다 증가하게 되어 EER이 감소되는 경향이 있다. 본 실험의 결과, 디지털 스크롤 압축기를 채용한 시스템 에어컨의 경우 압축기 부하가 큰 영역에서도 일반적인 인버터형 압축기를 채용한 에어컨과는 달리 EER 감소현상이 뚜렷이 나타나지 않았다.⁽⁷⁾ 이는 압축기 효율의 변화가 크게 변하지 않았기 때문으로 디지털 스크롤 압축기를 채용한 에어컨은 부하변동 폭이 크거나 고 부하 영역에서 효과적임을 보여주는 것이다.

4.2 난방 저온조건

열펌프 에어컨의 경우에 실외 온도가 감소함에 따라 건물부하가 증가한다. 반면, 시스템의 증발 온도의 감소로 응축압력이 낮아져 난방능력이 줄어든다. 따라서 난방저온 시의 능력향상이 요구된다. 한편, 우리나라 한랭지역의 경우에 동절기 외기 온도가 매우 낮아 KS C 9306에서 제시하는 난방 저온조건 이외의 한랭지 조건(-15℃)에서 난방능력을 측정할 필요가 있다.

Fig. 6은 실외온도가 -5, -10, -15℃로 변할 때 디지털 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 난방능력과 EER로, 실외온도가 낮아짐에 따라 시스템의 난방능력 및 EER이 감소한다. 난방성능을 향상시키기 위해 실외측에 냉매 가열식 보조히터 (3 kW)를 부착하였으며, 이 보조히터를 사용했을 경우와 사용하지 않았을 때의 능력을 서로 비교하였다. 본 연구에 사용된 시스템 에어컨은 히터를 off한 상태에서 실외온도가 -5℃인 경우와 -15℃인 경우에도 높은 EER을 보여주었다.

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 기

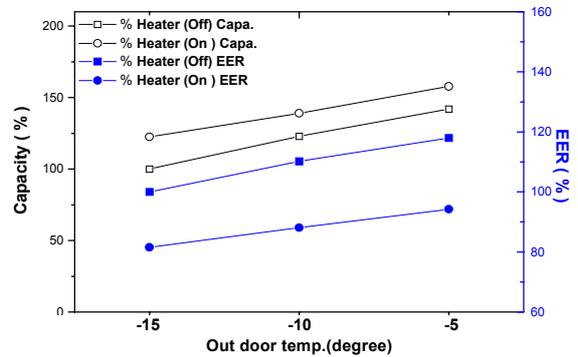


Fig. 6 Variation of heating capacity and EER on outside temperature conditions.

울기를 그리고 히터를 on한 경우는 오히려 적은 기울기를 보여준다. 히터를 off한 경우에 -5℃ 대비 -15℃에서의 난방능력 감소율은 약 42% 정도이었으나, 히터를 on한 경우에는 약 30% 정도의 감소율을 가졌다. 이는 보조히터의 가동으로 시스템 작동냉매의 온도가 높아져 낮은 외기 온도 조건에서도 열교환이 좀 더 원활히 이루어졌기 때문이며, 그 결과 시스템 난방능력의 감소 현상을 낮출 수 있었다.

EER의 경우에(히터전력 포함), 히터를 off한 경우와 on한 경우의 실외온도 변화(-5℃에서 -15℃구간)에 따른 EER의 감소경향은 난방능력과는 다르게 관찰되었다. 히터를 off한 경우에 외기 온도가 낮아질수록 EER의 감소 경향은 더욱 뚜렷하게 나타난다. 히터를 off한 경우에 -5℃ 대비 -15℃에서의 EER 감소율은 약 19% 정도이었으며, 히터를 on한 경우에는 약 11%의 감소율을 유지하였다. 이 결과는 보조히터를 가동할 경우에 한랭지 조건에서 EER을 적정수준으로 이상으로 유지하면서 보다 효과적으로 난방능력을 제공할 수 있음을 보여 준다.

5. 결 론

본 연구에서는 새로운 용량가변 방식의 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 능력 및 EER 특성을 냉난방 표준조건과 난방 저온(-5, -10, -15℃) 조건에서 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

표준조건에서의 냉난방 운전 시 최소, 정격, 최

대 운전모드에서 EER은 거의 일정하게 유지되었고, 냉방과 난방 능력은 크게 향상되었다. 또한, 압축기 부하가 큰 영역에서도 EER 감소가 뚜렷하지 않았다. 이는 시스템 에어컨이 부하변동 폭이 크거나 고 부하 영역에서 효과적임을 의미한다. 그리고 난방저온 성능을 향상시키기 위해 보조히터를 가동할 경우에, 한랭지 조건에서 우수한 난방능력을 제공하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 선문대학교 공조기술연구센터(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 DAS 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.