

PWM 방식과 인버터 방식의 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 성능평가에 대한 실험적 연구(냉난방 특성)

전 용 호, 김 대 훈, 허 삼 행, 권 영 철[†], 문 제 명^{*}, 홍 주 태^{*}
선문대학교 기계공학과, ^{*}삼성전자 시스템가전사업부

Experimental Study on Performance Evaluation of System Air-Conditioner using Compressor of PWM or Inverter Method (Cooling and Heating Characteristics)

Young Ho Jun, Dae Hun Kim, Sam Haeng Heo, Young Chul Kwon[†],
Je Myung Moon^{*}, Ju Tae Hong^{*}

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

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

(Received March 25, 2003; revision received May 19, 2003)

ABSTRACT: In the present study, the heating and cooling characteristics of system air-conditioner using a PWM compressor or a BLDC inverter compressor are investigated by the psychometric calorimeter using air enthalpy method. Cooling and heating capacities, power inputs and COPs are measured at the low, moderate, high loads under the cooling and heating standard conditions. At cooling conditions, the capacity of the PWM system is larger than that of the inverter case. Due to large power input, however, low COPs are measured under total load ranges. At heating conditions, the capacity of the PWM method is a little larger than that of the inverter case, except high load range. Since power input is low, large COPs are measured at moderate and high load ranges, which are different from cooling data. This shows that the PWM system compared with the inverter case has good energy consumption efficiency at moderate and high load ranges except low load range. And when the system A/C is operated under the cooling and heating standard conditions, COPs are nearly uniform at total load ranges.

Key words: System A/C(시스템에어컨), PWM(펄스폭변조), Compressor(압축기), BLDC inverter(BLDC 인버터), Cooling and heating(냉난방)

1. 서 론

경제수준의 향상과 산업의 고도화에 따라 안락하고 쾌적한 주거환경 및 효율적인 작업환경을

조성하는 데 그 중요성과 가치가 고조되어 가고 있으며, 삶의 질이 향상됨에 따라 건물 전체를 하나의 공간으로 보고 일반적인 공조를 하던 기존의 중앙공조방식에서 최근에는 각 공간의 특성을 개별적으로 살리는 개별공조방식으로 변해가고 있다. 공조 분야의 시장환경은 에너지 절감 및 환경문제로 시스템의 에너지 소비효율 향상이 업계의 최대 관심사이며, 에너지 절감을 위한 하

[†] Corresponding author

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

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

나의 방안으로 부하에 따라 용량을 조절할 수 있는 용량가변형 공조시스템이 개발되고 있다. 이러한 추세에 따라 실내 냉난방 부하에 적절히 대응하며 에너지 소비효율을 높일 수 있는 시스템 에어컨의 최적화, 고효율화에 대한 연구가 몇몇 연구자에 의해 수행중에 있다. Kim et al.⁽¹⁾은 정속 및 용량가변 압축기를 사용한 시스템에 관한 연구에서 정속 압축기를 사용하는 시스템보다 용량가변형 압축기를 사용한 시스템이 에너지 효율을 20~30%로 향상시킬 수 있다고 하였고, Ryu et al.⁽²⁾은 에어컨의 고효율화를 위해 용량가변방식을 비교하여 장단점에 관해 연구하였다. Kwon et al.⁽³⁻⁵⁾은 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 고효율화를 위한 성능 최적화에 관한 실험연구를 수행하였다.

지금까지의 시스템 에어컨은 폭넓은 용량의 변화에 대응할 수 있는 AC(Alternative Current) 인버터 방식을 채용한 제품이 주류를 이루어 왔다. 그러나 AC 인버터 방식의 성능 및 운전특성의 한계로 일본에서는 에어컨에 BLDC(Brushless Direct Current) 인버터를 사용하고 있으며 국내에서도 인버터 방식이 아닌 PWM(Pulse Width Modulation) 방식 압축기를 사용한 용량가변 시스템을 개발하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 이들 시스템은 압축기 회전수와 PWM 밸브의 on/off에 의해 압축기 용량이 조절되기 때문에 두 시스템의 작동방법이 서로 달라 절대적인 비교가 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 국내에서 개발되고 있는 PWM 방식을 사용한 용량가변형 시스템에

어컨의 냉난방의 기본 특성을 조사하고자 한다. 이를 위해 일본에서 상용화되고 있는 BLDC 인버터 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨(다이킨사)을 구입 설치하여 냉난방 표준조건에서의 성능을 측정함으로써 PWM 방식 시스템의 고효율화를 달성하는 데 필요한 기초자료를 얻고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 압축방식에 따른 시스템어컨의 성능 및 효율을 분석하기 위하여 PWM 방식과 BLDC 인버터 방식의 4방향 취출구를 갖는 천장 부착형의 카세트 타입 싱글형 에어컨을 실험하였다. 본 연구에 사용된 PWM 방식의 디지털 스크롤 압축기를 사용한 시스템어컨은 기존 시스템의 고효율화를 위해 실내기 커패시터 용량의 개선점, 실외기 상하부 모터의 변경 및 팬 RPM의 조절, PWM 밸브 작동주기의 변경, 전자 팽창밸브 개도의 용량대별 개선점, 그리고 운전 조건에 따른 사이클의 운전특성 등이 최적화된 시험시료이다.⁽³⁾ 본 실험에 사용된 칼로리미터는 공기 엔탈피 방식으로 KS C 9306⁽⁶⁾에 규정된 방법으로 능력 및 COP를 계산하게 되어 있다. 시험시료의 측정은 설정온도와 습도가 안정적으로 유지($DB \pm 0.3^{\circ}C / WB \pm 0.2^{\circ}C$)되는 동안 획득된다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 멀티 칼로리미터의 개략도로 본 설비의 실내기와 실외기는 별도로 온

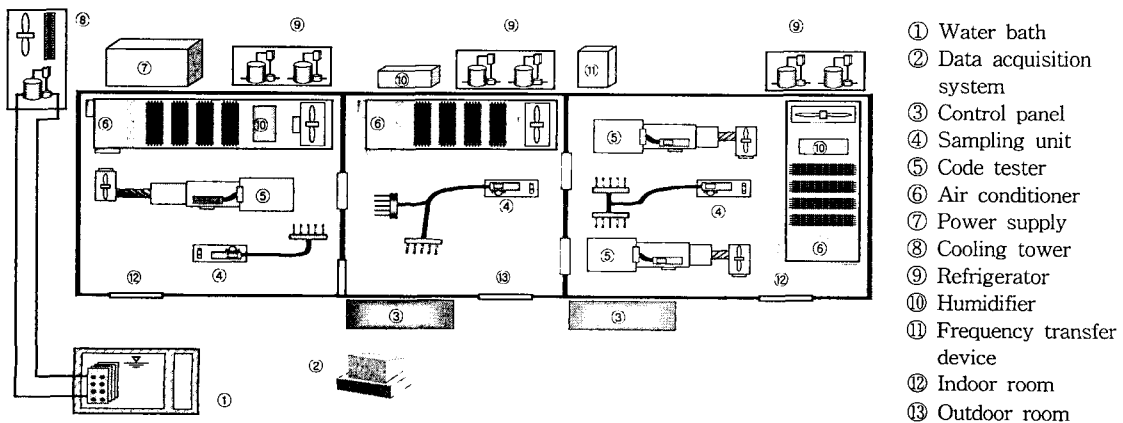


Fig. 1 Schematic diagram of the multi-calorimeter.

도와 습도조절이 가능한 항온·항습 챔버로 이루어져 있다.⁽⁷⁾

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 시스템에어컨의 성능은 KS C 9306 시험규격의 냉난방 시험기준에 따라 측정되었다. Table 1은 본 실험의 운전조건을 나타낸다. 실험에 사용된 싱글형 시스템에어컨의 주요 사양은 다음과 같다. PWM 방식의 시스템은 12,800 W 및 14,500 W의 정격 냉난방 능력과 4,200 W 및 4,800 W의 정격 냉난방 소비전력을, 그리고 BLDC 인버터 방식의 시스템은 14,000 W 및 18,000 W의 정격 냉난방 능력과 3,440 W 및 4,260 W의 정격 냉난방 소비전력을 가진다. 압축기 용량은 PWM 방식의 경우에 3,750 W를 BLDC 인버터 방식의 경우에 3,730 W이다.

Fig. 2는 본 실험에서 사용된 풍량 측정장치의 개략도이다. 데이터 획득은 칼로리미터의 온도와 습도가 안정조건 범위에 도달한 후, 시스템에어컨을 1시간 동안 계속 운전하여 이때 측정된 능력(W) 및 전력(W)의 변동폭이 설정범위 이내에서 만족될 때 획득하였다. 냉난방 운전모드는 저 부하영역, 중 부하영역, 고 부하영역으로 나누어 실험하였다. 시스템의 용량은 제조사에서 제시하

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
Heating	Standard	20±0.3	15±0.2	7±0.3	6±0.2

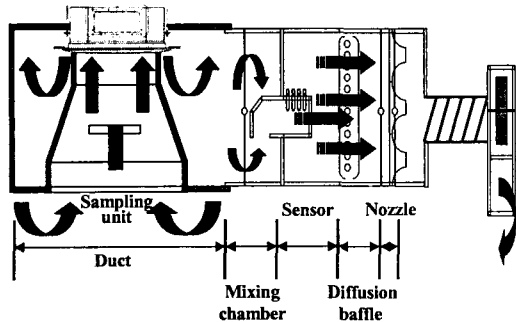


Fig. 2 Schematic diagram of code tester.

고 있는 열량을, 그리고 소비전력은 전체 시스템의 전력을 기준으로 하였으며 획득된 자료를 통해 각각의 능력과 COP를 계산하였다. 본 연구에 사용된 시스템에어컨의 열량은 ANSI/ASHRAE Standard 58-1986(RA 99)⁽⁸⁾에서 규정한 시험방법을 따랐다. 능력, 소비전력, COP들은 모두 BLDC 시스템의 저 부하영역 측정값 대비 각 시스템의 측정값을 상대 비교하였으며 각각 다음과 같이 표현하였다.

$$\text{Normalized Capacity} = \frac{\text{Capacity}}{\text{Capacity}_{\text{BLDC}}} \quad (1)$$

$$\text{Normalized Power Input} = \frac{\text{Power Input}}{\text{Power Input}_{\text{BLDC}}} \quad (2)$$

$$\text{Normalized COP} = \frac{\text{COP}}{\text{COP}_{\text{BLDC}}} \quad (3)$$

3. 시스템에어컨의 압축방식

Fig. 3은 BLDC 인버터 압축기와 PWM 방식 압축기의 개략도를 보여준다. 일반적으로 시스템에어컨에 상용되고 있는 인버터 방식의 압축기는 부하에 따라 회전수를 변화시켜 능력을 조절하게 되는데, 부하가 증가하면 주파수를 높여 회전수를 증가시키고, 부하가 감소하면 회전수를 줄여 냉난방 능력을 조절할 수 있도록 구성되어 있다. 그러나 운전주파수가 높아질수록 성능 향상폭에 비해 소비전력 상승폭이 더 커 COP가 낮아지는 단점을 가지고 있다. BLDC 모터를 압축기에 사용하게 되면, 효율향상과 보다 세분화된 능력이 가능하여 에너지 절약, 저소음, 저진동의 장점이 있다. BLDC 인버터 압축기를 사용할

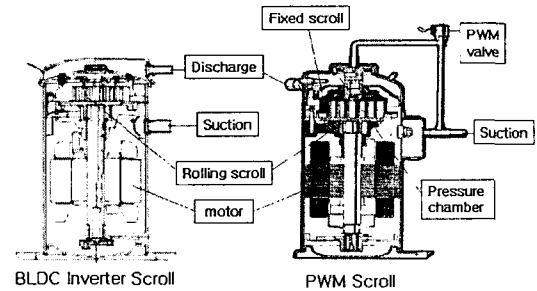


Fig. 3 BLDC inverter scroll compressor and PWM scroll compressor.

경우 기존 AC 인버터 압축기에 비해 COP가 고속에서는 약 10% 정도, 저속에서는 약 15~20% 이상 향상되는 것으로 알려져 있다.⁽⁹⁾

PWM 방식 압축기는 PWM 제어를 통해 운전하게 되는데, 이는 PWM 밸브에 전원이 인가되어 밸브가 열린 상태가 되면 압축기의 토출 배압이 해제됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 상승하는 언로딩 상태가 되고, 반대로 PWM 밸브에 전원이 차단되어 밸브가 닫힌 상태가 되면 상부 스크롤에 배압이 부여됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 하강하는 로딩 상태가 되는데, 이 로딩/언로딩의 주기 조절에 의해 냉매 토출량을 가변 제어하여 압축기 용량을 10~100%의 다양한 범위에서의 능력변화가 가능하다고 보고되고 있다.⁽¹⁰⁾

4. 실험결과 및 고찰

4.1 냉방표준조건

Fig. 4는 냉방표준조건에서의 BLDC 인버터 압축기와 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 냉방능력 변화에 따른 소비전력의 변화를 나타낸다. BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템의 저 부하영역에서 냉방능력은 약 6,070 W, 소비전력은 약 1,720 W이다. BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템의 경우에, 중 부하영역에서의 냉방능력 및 소비전력은 저 부하영역보다 각각 약 72%, 105% 정도 증가하였고, 고 부하영역에서는 중 부하영역보다 각각 약 42%, 84% 정도

증가하였다. PWM 방식 압축기를 사용한 시스템의 경우에, 중 부하영역의 냉방능력 및 소비전력은 저 부하영역보다 각각 약 64%, 81% 정도, 고 부하영역의 경우는 중 부하영역에 비해 각각 약 19%, 24% 정도 증가하였다. 한편, 저 부하영역에서 고 부하영역으로 냉방능력이 변화할 때 PWM 방식 압축기와 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템과 비교하여 보면, PWM 방식 압축기를 사용한 시스템은 능력 증가에 거의 유사하게 소비전력이 증가한 반면에 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템은 능력의 증가율보다 소비전력의 증가폭이 더 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 5은 냉방표준조건에서 PWM 방식 압축기와 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 냉방능력 변화에 따른 COP 변화를 나타낸다. PWM 방식 압축기를 사용한 시스템의 COP는 전 부하영역 하에서 거의 일정한 COP를 보여주고 있다. 그러나 소비전력 저감효과가 우수한 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템에 비해 낮은 COP를 가진다. BLDC 인버터를 사용한 시스템 에어컨은 부하가 낮은 저주파수 영역에서는 압축기 용량에 비해 상대적으로 시스템의 열교환 능력이 높아 COP가 크게 나타난다. 그러나 운전주파수가 높아질수록 성능 증가폭에 비해 소비전력 증가폭이 크기 때문에 COP가 점차 줄어들어 고 부하영역에서는 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템의 COP에 근접하게 된다. 이는 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 경우에 저, 중 부하영역보다 고 부하영역에서 상대적으로 효과

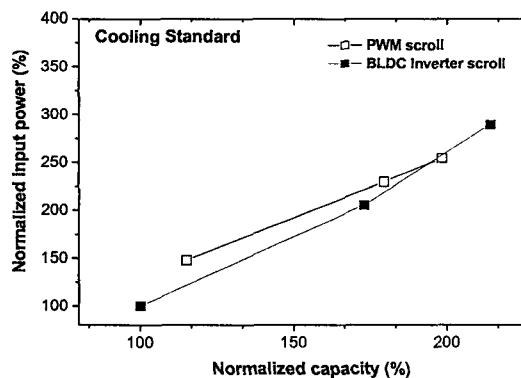


Fig. 4 Normalized capacities and input power for PWM system and BLDC inverter system under cooling standard mode.

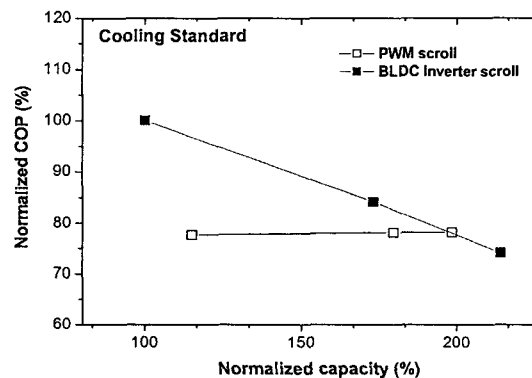


Fig. 5 Normalized capacities and COPs for PWM system and BLDC inverter system under cooling standard mode.

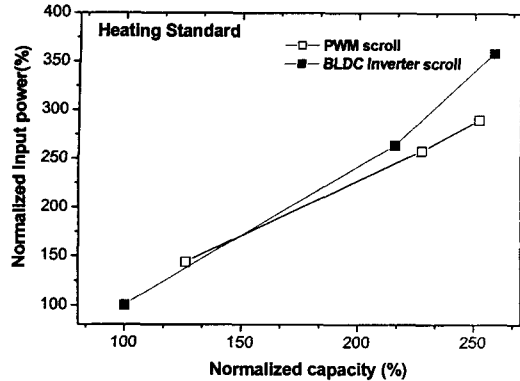


Fig. 6 Normalized capacities and input power for PWM system and BLDC inverter system under heating standard mode.

적임을 보여주는 것이나, 전 부하영역에서 COP를 향상시키기 위해 에너지 고효율화를 위한 연구가 필요하다.

4.2 난방표준조건

Fig. 6은 난방표준조건에서의 BLDC 인버터 압축기와 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템에어컨의 난방능력 변화에 따른 소비전력의 변화를 나타낸다. BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템의 저 부하영역에서 난방능력은 약 5,819 W, 소비전력은 약 1,690 W이다. BLDC 인버터 압축기의 경우에, 중 부하영역의 난방능력 및 소비전력은 저 부하영역보다 각각 약 116%, 164% 정도 증가하였고, 고 부하영역에서는 중 부하영역보다 각각 약 43%, 95% 정도 증가하였다. PWM 방식 압축기의 경우에, 중 부하영역의 난방능력 및 소비전력은 저 부하영역보다 각각 약 101%, 114% 정도, 고 부하영역의 경우는 중 부하영역에 비해 각각 약 25%, 32% 정도 증가하였다. 한편, 저 부하영역에서 고 부하영역으로 난방능력이 변할 때 PWM 방식 압축기와 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템과 비교하여 보면, PWM 방식 압축기를 사용한 시스템의 소비전력은 능력 증가에 거의 선형적으로 변하고 있는 반면에 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템은 능력 증가에 따른 소비전력 증가폭이 매우 커져서 중, 고 부하영역에서는 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템보다 더 큰 소비전력을 보이고 있다.

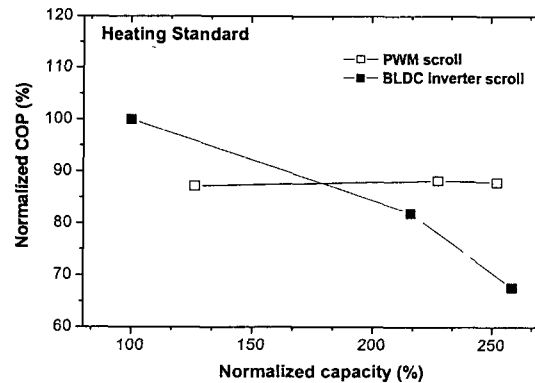


Fig. 7 Normalized capacities and COPs for PWM system and BLDC inverter system under heating standard mode.

Fig. 7은 난방표준조건에서 PWM 방식 압축기와 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템에어컨의 난방능력 변화에 따른 COP 변화를 나타낸다. PWM 방식 압축기를 사용한 시스템의 COP는 냉방의 경우처럼 전 부하영역 하에서 거의 일정한 COP를 가진다. PWM 방식 압축기를 사용한 시스템을 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템과 비교해 보면 냉방조건 때와 달리 중, 고 부하영역에서는 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템에 비해 다소 높은 COP를 확보하여 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템이 중, 고 부하영역에서 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템에 비해 에너지 소비효율이 우수함을 알 수 있다. 그러나 전 부하영역에서 높은 COP를 확보하기 위해서는 냉난방 사이클의 고효율에 대한 설계 최적화의 체계적인 연구가 필요하다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템에어컨과 BLDC 인버터 시스템에어컨의 냉난방 능력, 소비전력, COP를 상대 비교하기 위해 냉난방 표준조건에서 비교 실험하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 냉방 표준운전조건에서 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템은 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템보다 큰 소비전력으로 인해 낮은 COP를 보여주었다. PWM 방식 압축기를 사용한 시스템의 COP는 전 부하영역에서 거의 일정하게

유지되었지만 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템은 운전부하가 증가할수록 감소함을 확인하였다.

(2) 난방 표준운전조건에서 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템의 소비전력은 저 부하영역을 제외하고는 BLDC 인버터 압축기를 사용한 시스템보다 낮게 나타났다. 그리고 중, 고 부하영역에서 PWM 방식 압축기를 사용한 시스템이 냉방운전의 경향과는 달리 다소 높은 COP를 유지하여 우수한 에너지 소비효율을 보였다.

(3) 압축방식에 따른 용량 가변형 시스템의 운전특성에 영향을 주는 시험변수들이 매우 다양하므로, 설계 최적화를 위한 냉난방 사이클의 고효율화를 위해서 보다 체계적인 연구가 수행되어야 한다.

후 기

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

참고문헌

1. 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, Proceeding of SAREK, pp. 1114-1120.
2. Ryu, Y. H., Hwang, Y. J., Kim, C. M. and Cho, K. S., 2002, Benchmark performance analysis of vapor compression system with capacity modulation compressor, Proceeding of SAREK, Vol. 14, No. 2, pp. 98-107.
3. Kwon, 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.
4. Kwon, Y. C., Kim, D. H., Jun, Y. H., Lee, Y. S., Chang, K. S., Moon, J. M., Youn, B. and Hong, J. T., 2002, Experimental study on the cooling and heating characteristics of system A/C applying the digital scroll compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 454-460.
5. Kwon, Y. C., Kim, D. H., Jun, Y. H., Lee, Y. S., Moon, J. M. and Hong, J. T., 2002, Experimental study on performance evaluation of system A/C using PWM or Inverter method (heating characteristics at low temperature conditions), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 7, pp. 551-556.
6. KS C 9306, 1999, Air conditioners, Korean agency for technology and standards.
7. KTL, 2001, Sunmoon university air-enthalpy calorimeter performance evaluation project, Final Report.
8. ASHRAE, 1983, Method of testing for seasonal efficiency of unitary air conditioners and heat pumps, ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116-1983.
9. Soh, S. G., Kim, S. K., Lee, S. K. and Park, Y. S., 1998, Rotary compressor using a brushless DC motor, Proceedings of the SAREK, pp. 1114-1119.
10. Hong, J. T., Jang, G. S., Kim, D. Y., Kim, J. Y., Moon, J. M., Youn, B. and Shim, S. C., 2001, An experimental study on the heating capacity improvement at low temperature condition of system air-conditioner using the digital scroll compressor, Proceedings of the SAREK, pp. 680-685.