

## PWM 방식과 인버터 방식을 사용한 시스템 에어컨의 성능평가에 대한 실험적 연구(난방저온 특성)

김 대 훈, 전 용 호, 권 영 철<sup>†</sup>, 이 윤 수\*, 문 제 명\*\*, 홍 주 태\*\*

선문대학교 기계공학과, \*센추리 기술연구소, \*\*삼성전자 시스템가전사업부

### Experimental Study on Performance Evaluation of System A/C using PWM or Inverter Method (Heating Characteristics at Low Temperature Conditions)

Dae Hun Kim, Young Ho Jun, Young Chul Kwon<sup>†</sup>, Yun Su Lee\*, Je Myung Moon\*\*, Ju Tae Hong\*\*

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

<sup>\*</sup>Century Co., Ltd., Chungnam 336-842, Korea

<sup>\*\*</sup>Samsung Electronic Co., Ltd., Kyungki 442-742, Korea

(Received March 24, 2003; revision received May 26, 2003)

**ABSTRACT:** The present study concerns an experiment on the heating characteristics of a system air-conditioner (A/C) using PWM method or inverter method at low temperature conditions. The compressors used are digital scroll type and BLDC inverter type. Under the low outside temperature condition,  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-15^{\circ}\text{C}$ , heating capacities and COPs are measured by the psychometric calorimeter using air enthalpy method. Also, outlet air temperatures at heating operation mode are measured at  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$  and  $-15^{\circ}\text{C}$ . Experimental results show that COPs of the system A/C using a PWM method are more effective than those of the inverter method at heating operation mode. Although the heater is on, COPs of PWM method are similar to those of BLDC inverter method. Moreover, the heating capacities of PWM method at  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$  and  $-15^{\circ}\text{C}$  are larger about 10~20% and outlet air temperature at  $-15^{\circ}\text{C}$  is larger about 10%, compared to the inverter method.

**Key words:** System A/C(시스템 에어컨), PWM(펄스폭 변조), Scroll compressor(스크롤 압축기), BLDC inverter(BLDC 인버터), Heating and low temperature(난방저온)

#### 1. 서 론

시스템 에어컨의 경우에 실외온도가 낮아질수록 난방부하는 증가하는 반면에 사이클의 증발과 응축온도가 낮아져 난방능력이 저하되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 용량가변형 압축기를 사용하여 실외온도가 감소할 때 압

축기의 용량을 증대시키거나, 실내기에 히터를 부착하여 실내기로부터 토출된 공기를 직접 가열함으로써 부족한 난방능력을 보상한다. 또한 냉매 간접가열 방식 및 압축기 프리히팅 방식을 사용하거나, 저외기용 냉동오일, 냉매액 인젝션 사이클, 또는 새로운 제상제어 알고리즘을 사용하기도 한다.<sup>(1)</sup>

일반 열펌프의 경우는 외기온도가  $-15^{\circ}\text{C}$  이하일 때 난방능력을 충분히 발휘하기 어렵다. 일부 성능이 우수한 열펌프의 경우도 외기온도  $5^{\circ}\text{C}$ 부터는 난방효율이 저하되기 시작하여  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서

<sup>†</sup> Corresponding author

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

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

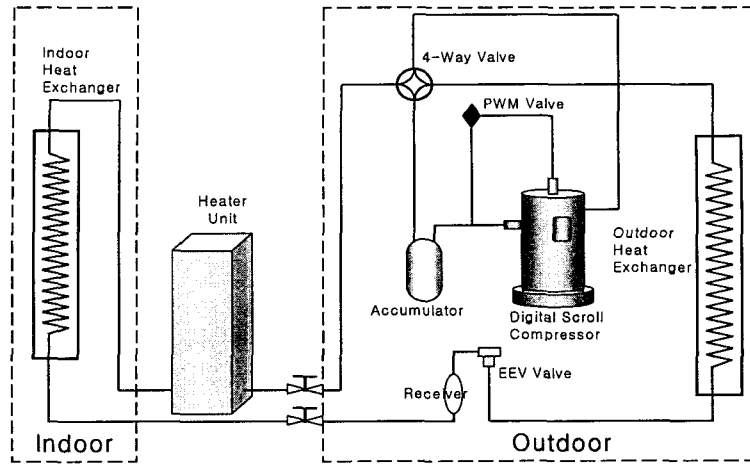


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up.

는 약 40% 정도의 성능저하가 나타나게 된다. 그러나 한랭지형 열펌프는 외기온도  $-10^{\circ}\text{C}$ 까지 난방능력이 크게 저하되지 않으며  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서도 약 80% 이상의 난방성능을 나타낼 수 있다고 보고하고 있다.<sup>(2)</sup> Moon et al.<sup>(3)</sup>은 동절기 열펌프 난방운전시 저온의 증발온도를 가지는 증발기 관내 증발열전달 특성에 관한 연구를 수행하여, 평활관과 마이크로핀관에서의 증발열전달 및 압력강하 실험을 통해 증발열전달은 마이크로핀관이 평활관보다 약 40~60% 정도 우수하였으며, 증발온도의 감소와 질량유속의 증가는 증발 열전달계수의 향상과 압력강하의 증대를 나타내었다. 최근 Lee et al.<sup>(4,5)</sup>은 용량가변방식인 디지털 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 냉난방성능과 저온에서의 난방성능에 대한 연구결과를 보고하기도 하였다.

본 연구의 목적은 최근 국내에서 개발되고 있는 PWM(pulse width modulation) 방식을 사용한 용량가변형 시스템 에어컨의 난방저온의 기본 특성을 조사하여 PWM 방식 시스템의 고효율화를 달성하는데 필요한 기초자료를 얻고자 하는데 있다. 이를 위해 고효율 시스템으로 평가되고 있는 BLDC 인버터 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨의 성능을 PWM 방식의 디지털 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨과 비교하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

저온에서의 난방성능 및 실내기의 토출 공기온

도 등을 개선하기 위하여 본 실험연구에서는 히터를 사용한 냉매 간접가열방식을 PWM 방식의 열펌프 시스템에 사용하였다. Fig. 1은 PWM 방식을 사용한 시스템의 개략도로서 열펌프의 단점으로 알려진 동절기 난방운전시 응축압력 저하에 따른 실내 토출 공기온도의 저하현상을 개선하기 위하여 압축기 출구에서 응축기 입구로 이어지는 연결배관 사이에 히터를 장착하였다. 히터의 용량은 3kW로 시험 중 히터의 on/off는 PCB로 제어되어지며 열교환기 3열 중 제 2열에 히터를 삽입(Fig. 2)하여 냉매를 간접 가열함으로써 응축압력과 온도상승을 통하여 난방성능 향상을 꾀하였다.

본 연구에 사용된 PWM 방식의 디지털 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨은 기존 시스템의

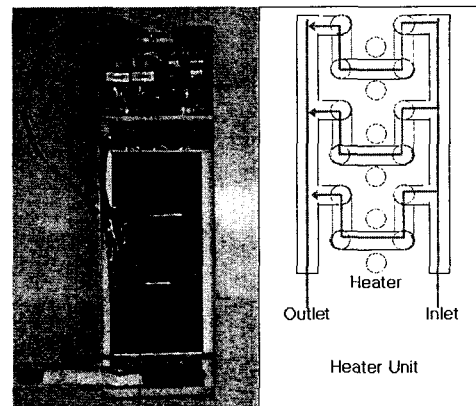


Fig. 2 Heating unit of system A/C using PWM scroll compressor.

고효율화를 위해 실내기 커패시터 용량의 개선, 실외기 상하부 모터의 변경 및 팬 RPM의 조절, PWM 밸브 작동주기의 변경, 전자팽창밸브 개도의 용량대별 개선, 그리고 운전조건에 따른 사이클의 운전특성 등이 변경된 시험시료이다.<sup>(6)</sup> 본 연구에서 실험되고 있는 시료의 난방저온조건에서의 기본성능을 파악하고자 현재 일본에서 시판되고 있는 BLDC 인버터 스크롤 압축기를 사용한 시스템 에어컨(일본 Daikin사)을 선정하여 실험하였다.

Table 1은 실험에 사용되어진 운전조건을, Table 2는 각 시스템의 주요 사양을 나타낸다. 시료의 형태는 4방향 취출구를 갖는 천장 부착형의 카세트 타입의 실내기로 공기 엔탈피식의 칼로리미터에 장착하여 실험하였다. 본 연구에 사용된 시스템 에어컨의 열량은 ANSI/ASHRAE Standard 58-1986(RA 99)<sup>(7)</sup>에서 규정한 시험방법을 따랐다. 능력 및 COP들은 모두 BLDC 시스템의 저부하 영역과 실외온도 -15℃의 측정값 대비 각 시스템의 측정값을 상대 비교하였으며 각각 다음과 같이 표현하였다.

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

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

Table 1 Operating conditions

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

Table 2 Specification of system A/C

| Type            |         | PWM       | BLDC inverter |
|-----------------|---------|-----------|---------------|
| Source          |         | 3 Ø 380 V | 1 Ø 200 V     |
| Capacity (W)    | Cooling | 12800     | 14000         |
|                 | Heating | 14500     | 18000         |
| Input power (W) | Cooling | 4200      | 3440          |
|                 | Heating | 4800      | 4260          |
| Compressor (kW) |         | 3750      | 3730          |

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 난방표준운전 시험 조건에서의 운전용량에 따른 COP 변화율을 나타낸다. 난방능력 및 COP의 기준값은 BLDC 방식 시스템의 최소용량 운전시의 5,819 W와 3.43이다. PWM 방식의 경우에 COP는 전 운전영역에서 난방능력이 증가하여도 거의 일정하게 유지되고 있다. 그러나 BLDC 인버터 방식의 경우에는 난방능력이 증가할수록 COP가 크게 낮아진다. 이는 BLDC 인버터 방식의 경우에 저주파수 영역에서는 압축기 소비전력에 비해 시스템의 열교환 능력이 높아 COP가 크게 나타나기 때문이며 고주파수 영역에서는 오히려 난방능력의 증가율보다 압축기의 소비전력 증가율이 더 커 COP가 크게 저하하기 때문이다. 실험결과로부터 BLDC 인버터 방식의 시스템은 저부하 운전영역에서 우수한 에너지 소비효율을 나타내었으며, PWM 방식의 시스템은 중·고부하 운전영역에서 BLDC 인버터 시스템에 비해 우수한 에너지 소비효율을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 최대용량 운전 조건에서 실내기 팬이 강풍으로 운전되고 실외온도가 -15℃, -10℃, -5℃일 때, PWM 방식 시스템과 BLDC 인버터 방식 시스템의 난방능력의 변화를 보여준다. 난방능력의 기준값은 -15℃에서의 BLDC 시스템의 8,442 W이다. 히터 off인 경우에 PWM 방식 시스템은 실외온도가 증가함에 따라 실외온도 -15℃에 비해 난방능력 증가율은 각각 약 23%, 42% 증가하였고, 히터 on인 경우에 약 13%, 29% 정도 증가하였다. BLDC 인버터 방식 시스템의 경

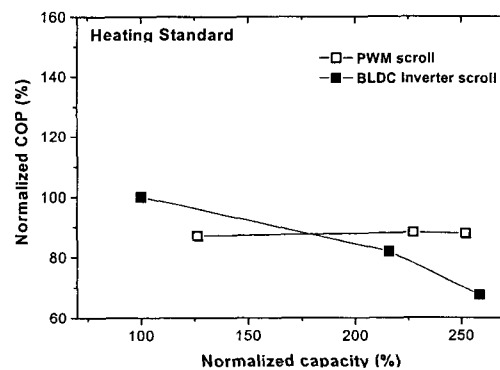


Fig. 3 Normalized capacities and COPs for PWM system and BLDC inverter system under heating standard mode.

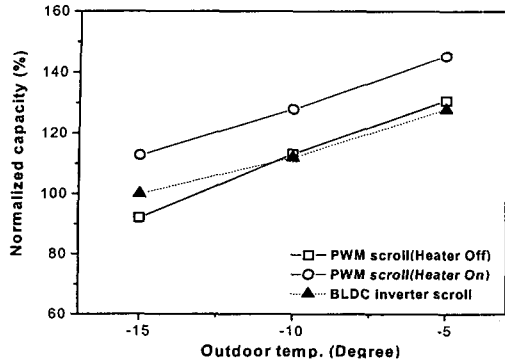


Fig. 4 Normalized capacities for PWM system and BLDC inverter system under heating low temperature condition (fan speed: high).

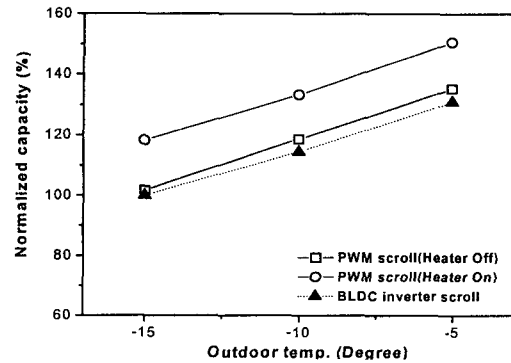


Fig. 6 Normalized capacities for PWM system and BLDC inverter system under heating low temperature condition (fan speed: low).

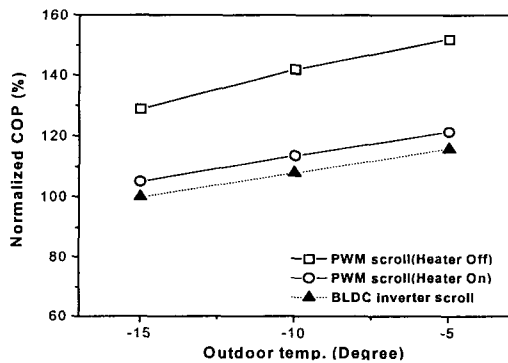


Fig. 5 Normalized COPs for PWM system and BLDC inverter system under heating low temperature condition (fan speed: high).

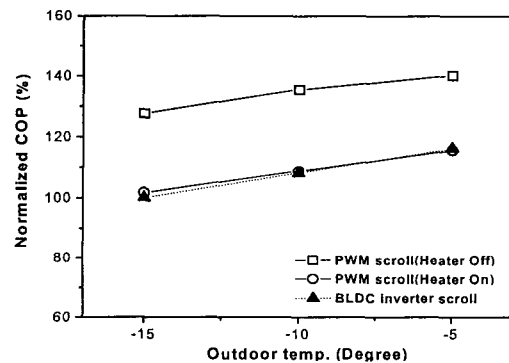


Fig. 7 Normalized COPs for PWM system and BLDC inverter system under heating low temperature condition (fan speed: low).

우에 약 12%, 28% 정도 증가하였다.

Fig. 5는 최대용량 운전조건에서 실내기 팬이 강풍으로 운전되고 실외온도가  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$ 일 때, PWM 방식 시스템과 BLDC 인버터 방식 시스템의 COP의 변화를 보여준다. COP의 기준값은  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서의 BLDC 시스템의 1.78이다. 히터 off인 경우에 PWM 방식 시스템의 실외온도가 증가함에 따라 실외온도  $-15^{\circ}\text{C}$ 에 비해 COP 증가율은 각각 약 10%, 18% 정도 증가하였고, 히터 on인 경우에 약 8%, 16% 정도 증가하였다. BLDC 인버터 방식 시스템의 경우에 약 8%, 16% 정도 증가하였다.

Fig. 6은 최대용량 운전조건에서 실내기 팬이 약풍으로 운전되고 실외온도가  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,

$-5^{\circ}\text{C}$ 일 때, PWM 방식 시스템과 BLDC 인버터 방식 시스템의 난방능력의 변화를 보여준다. 난방능력의 기준값은  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서의 BLDC 시스템의 7,855 W이다. 히터 off인 경우에 PWM 방식 시스템은 실외온도가 증가함에 따라 실외온도  $-15^{\circ}\text{C}$ 에 비해 난방능력 증가율은 각각 약 17%, 33% 증가하였고, 히터 on인 경우에 약 13%, 27% 정도 증가하였다. BLDC 인버터 방식 시스템의 경우에 약 14%, 31% 정도 증가하였다.

Fig. 7은 최대용량 운전조건에서 실내기 팬이 약풍으로 운전되고 실외온도가  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$ 일 때, PWM 방식 시스템과 BLDC 인버터 방식 시스템의 COP의 변화를 보여준다. COP의 기준값은  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서의 BLDC 시스템의 1.73이다.

히터 off인 경우에 PWM 방식 시스템의 실외온도가 증가함에 따라 실외온도  $-15^{\circ}\text{C}$ 에 비해 COP 증가율은 각각 약 10%, 18% 정도 증가하였고, 히터 on인 경우에 약 7%, 14% 정도 증가하였다. BLDC 인버터 방식 시스템의 경우에 약 8%, 16% 정도 증가하였다.

Figs. 4~7로부터 각 시스템 에어컨은 부하변동에 따라 난방능력 및 COP가 거의 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 히터 off인 경우, PWM 방식 시스템과 BLDC 인버터 방식 시스템의 용량대는 유사한 난방능력을 나타내고 있지만, COP는 PWM 방식 시스템이 BLDC 인버터 방식 시스템에 비해 약 20~30% 높게 나타나고 있다. 또한 3kW 용량의 히터를 사용하는 경우, COP는 거의 동등하게 나타나지만 난방능력은 약 10~20% 높게 나타남을 알 수 있다. 한편, 실내기 풍량이 증가함에 따라 COP가 향상되는데, 이는 응축기측 압력 및 온도가 낮아져 PWM 방식 시스템의 소비전력은 감소하고 난방능력은 증가하기 때문이다. 그러나 BLDC 인버터 방식 시스템은 소비전력과 난방능력이 동시에 향상되어 강풍, 약풍 운전모드에서 비슷한 COP를 나타내었다.

본 실험의 결과로부터 한랭지 조건에서 PWM 방식 시스템이 BLDC 인버터 방식 시스템에 비해 높은 난방능력과 COP를 유지하였으며, PWM 방식 시스템의 난방능력 향상을 위해 히터유닛을 사용하더라도 난방능력이나 COP 측면에서 BLDC 인버터 방식 시스템에 비해 우수한 한랭지향 대응 설계능력의 확보가 가능함을 알 수 있다.

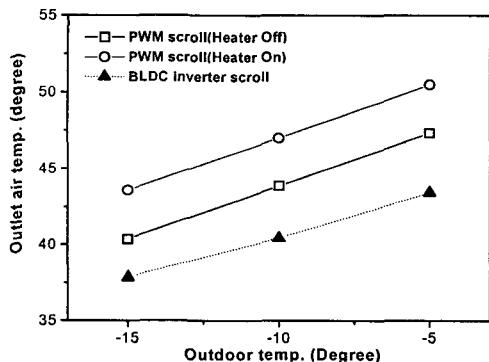


Fig. 8 Comparison of air discharge temperature at heating mode of low temperature condition.

Fig. 8은 PWM 방식 시스템과 BLDC 인버터 방식 시스템의 실내 토출공기의 온도를 보여준다. BLDC 인버터 방식 시스템은 한랭지 실외운전 온도 조건인  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서 측정된 실내 토출 공기온도는 약  $38^{\circ}\text{C}$  정도이다. 그러나 PWM 방식 시스템의 실내 토출 공기온도는 히터 off인 경우에  $40^{\circ}\text{C}$  정도를, 히터 on인 경우에 냉매의 가열로 인하여 실내 토출 공기온도가 BLDC 방식보다 높음을 알 수 있다.

한편,  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서 얻어진 난방능력은 실외온도  $7^{\circ}\text{C}$ 에서 측정된 난방능력 대비 PWM 방식 시스템은 약 70%, 인버터 시스템은 약 60% 정도이었다. 따라서 현재 시험중인 PWM 방식 시스템은 외기온도  $-5\sim-15^{\circ}\text{C}$ 의 저온에서도 비교적 수용할 만한 난방성능을 발휘하는 것으로 판단되나 향후 보다 만족할 만한 난방성능을 확보하기 위해서는  $-15^{\circ}\text{C}$  이하에서도 충분히 운전 가능한 고성능 시스템이 개발되어야 한다. 이는 에너지 소비효율 및 시스템의 신뢰성 문제를 수반한다. 따라서 사이클 및 제어 알고리즘에 대한 최적화 연구를 체계적으로 수행하여야 할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 PWM 방식을 사용한 시스템 에어컨(히터 on 또는 off)의 난방 저온특성을 살펴보고자 고효율의 BLDC 인버터 방식 시스템 에어컨과 비교 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) PWM 방식을 사용한 시스템은 난방 표준조건에서 부하가 적은 최소용량 운전영역을 제외한 중·고부하 운전영역에서 우수한 에너지 소비효율을, 그리고 난방저온 조건에서 약 10% 이상 우수한 난방성능을 나타내었다.

(2) 냉매 간접가열방식의 히터유닛을 사용한 결과, BLDC 인버터 방식을 사용한 시스템에 비해 동등 수준의 COP를 유지하면서도  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 실외온도에서도 약 10~20%의 난방성능의 극대화를 꾀할 수 있었으며,  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서 토출공기 온도도  $5^{\circ}\text{C}$  정도 더 높았다.

(3) 풍량이 증가함에 따라 PWM 방식을 사용한 시스템 에어컨에서는 난방성능은 증가하고 소비전력은 감소하여 COP가 증가되었다.

(4) 시험중인 PWM 방식 시스템은  $-5\sim-15^{\circ}\text{C}$ 의 저온에서도 비교적 수용할 만한 난방성능을

발휘하는 것으로 판단되며, 향후  $-15^{\circ}\text{C}$  이하에서도 충분히 운전 가능한 고성능 시스템을 개발하기 위해 사이클 및 제어에 대한 최적화 연구가 지속적으로 진행되어야 한다.

### 후 기

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

### 참고문헌

1. Hwang, Y. J., 1998, A technical prospect and trends in small size heat pump, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 27, No. 2, pp.165-175.
2. Hong, K. S., 2002, Multi air-conditioner for cold districts, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 31, No. 10, pp. 30-32.
3. Moon, D. S., Seo, J. K., Kim, Y. C. and Yoon, B., 1998, Evaporation heat transfer inside a tube at low evaporating temperature, Proceedings of the SAREK, pp. 85-90.
4. Lee, Y. S., Jun, Y. H, Kim, D. H., Chang, K. S., Youn, B., Moon, J. M., Hong, J. T. and Oh, M. D., 2002, An experimental study on the cooling and heating characteristics of system air-conditioner using the digital scroll compressor, Proceedings of the SAREK, pp. 575-580.
5. Lee, Y. S., Kim, D. H., Jun, Y. H., Kweon, Y. C., 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.
6. 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.
7. ASHRAE, 1983, Method of Testing for Seasonal Efficiency of Unitary Air Conditioners and Heat Pumps, ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116-1983.