

# 동시냉난방 시스템 에어컨의 냉매량 변화에 따른 고낙차 장배관 운전 신뢰성 평가

이 승 찬\*, 김 태 안\*, 태 상 진\*\*, 정 규 하\*\*, 문 제 명\*\*, 김 윤 제†

\*성균관대학교 대학원, \*\*삼성전자 생활가전사업부 시스템, † 성균관대학교 기계공학부

## Evaluation of the operating reliability on the concurrent heating-cooling system air conditioner for different refrigerant flow rates with high-head and long-line conditions

Seung-Chan Lee\*, Tae-An Kim\*, Sangjin Tae\*\*, Gyooha Jung\*\*, Jemyung Moon\*\*, Youn-Jea Kim†

\*Graduate School, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

\*\*Digital Appliance Division, System Air Conditioning, Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon 442-742, Korea

† School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

**ABSTRACT:** The heating and cooling performances of system multi-air conditioner for various refrigerant flow rates with high-head and long-line conditions are experimentally investigated. The maximum head and tube length were 110 m and 1000 m, and the two different adjustments of refrigerant flow rates were +20 % and -20 %, respectively. The experimental system was composed of 4 outdoor units with module systems, and 13 indoor units which were joined with the mode change unit by single-tube circuit. Field tests without indoor and outdoor temperature control were performed in a general office building with two different refrigerant flow rates. Especially, the oil level in the compressor was normally maintained at the safety zone. Experimental results were prepared on the p-h diagram.

**Key words:** System multi-air conditioner (시스템 멀티 에어컨), refrigerant flow rates (냉매량), high-head and long-line conditions (고낙차 장배관 조건),

### 1. 서 론

생활수준이 향상됨에 따라 쾌적한 생활을 영위하고자 하는 욕구 증가와 주거 및 사무공간의 대형화, 고급화 및 복합화 추세에 따라 공조기 사용이 점차 확대되고 있다. 이에 따라 건물의 공조 방식도 국·내외적으로 개별 공간의 기능과

각 공간의 거주자 요구에 부합하는 개별 공조 방식으로 변화하고 있는 추세이다. 이와 함께 에너지 절감 및 환경 문제 등의 해결 방안으로 각 개별공간의 부하에 따라 독립적으로 조절 가능한 용량 가변형 공조 시스템으로 시스템 멀티 에어컨이 개발되었다.

시스템 멀티 에어컨은 용량 가변형 압축기를 내장한 실외기를 설치하고, 각 실별 냉매 제어를 통하여 냉난방을 실현하는 방식으로, 사용량에 따라 동력비가 산정되기 때문에 효율적이다.<sup>(1)</sup> 실

† Corresponding author

Tel: +82-32-290-7448; Fax: +82-31-290-5889

E-mail address: yjkim@skku.edu

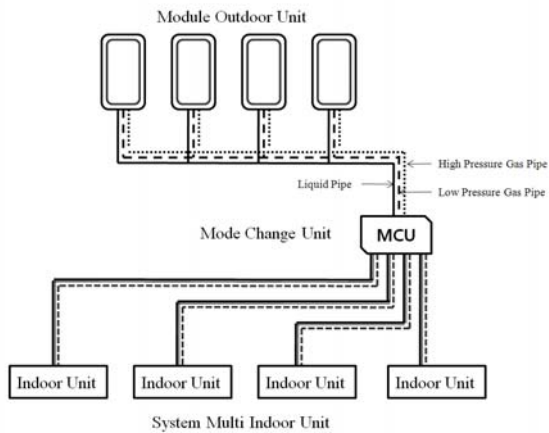


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

내기 설치 용량이 증가함에 따라 실외기 용량의 증가도 불가피 한데 이를 개선하는 방법 중 하나가 실외기를 모듈로 설치하는 것이다. 용량 가변형 압축기를 내장한 실외기를 단일배관으로 연결하고 필요한 냉난방 부하에 맞게 조합하여 손쉽게 용량을 증대시킬 수 있는 방식을 모듈형이라 한다.

Kang et al.<sup>(2)</sup>은 단배관 조건에서 4대의 실내기를 대상으로 동시냉난방 열펌프시스템의 운전모드별 성능특성에 관한 실험 연구를 통하여 문제점을 분석하였다. 동시냉난방 시스템 멀티 에어컨은 일반 단품 패키지형 에어컨에 비하여 여러 개의 실내기가 조합된 대형 시스템이고 배관의 길이가 수십 배에 달하므로, 압축기 누설 및 마모방지를 위한 냉동기 오일의 순환 및 회수, 냉매량 변화에 따른 운전 신뢰성이 검증되어야 한다.

Kim<sup>(3)</sup>은 가변속 열펌프에 대하여 냉매량 변화에 따른 냉난방능력 비교에 관한 연구를 실시하였다. 그러나 냉매량 변화에 따른 고낙차 장배관 조건에서 시스템 멀티에어컨의 운전신뢰성 평가는 전무한 형편이다.

본 연구에서는 이전 연구의 연장선상에서 실시한 것으로써<sup>(4)</sup> 모듈형 실외기를 적용한 동시냉난방 시스템 멀티 에어컨을 고낙차 장배관 조건인 실제 업무용 건물에 설치한 현장 시험을 통하여 냉매량 변화에 따른 운전 신뢰성을 평가하였으며, Fig. 1과 같은 시스템으로 실험 장치를 구성하였다.

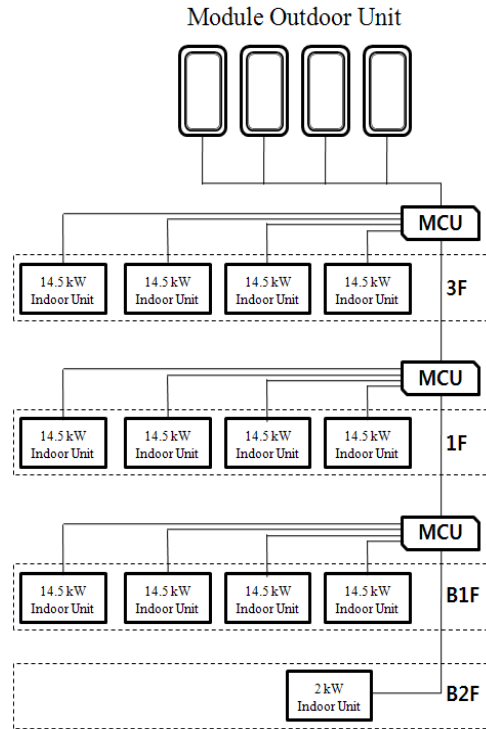


Fig. 2 Schematic of the experimental unit system

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 2는 본 연구를 위하여 건물에 설치된 현장 시험용 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 설치된 모듈형 시스템 멀티 에어컨은 동시냉난방이 가능한 설비로서 4대의 실외기에 총 13대의 실내기를 연결하였다. 디지털 스크롤 압축기와 정속 압축기가 병렬로 연결된 실외기는 4대가 모듈형으로 연결되어 총 54 HP 이며, 천장 매립형 실내기 13대를 실험실과 사무 공간 내에 설치하였다. 또한, 각 층의 실내기는 MCU(Mode Change Unit)에 연결되어 개별운전이 가능하며 실내기별 운전조건은 MCU에서 통제할 수 있도록 구성하였다.

실외기로부터 가장 멀리 떨어진 실내기까지 낙차는 2단계(56 m + 54 m)로 낙차를 조정하여 고낙차 110 m의 환경을 만들었다. 실내기간의 최대 낙차는 15.2 m이며, Table 1에서 보는 바와 같이 총 배관 길이는 1000 m이며 첫 분지 후 최대 배관길이는 90 m로 12 개 실내기가 동일하다. 실외

Table 1 List of reliability test

Test No.	Test List	Indoor Unit	
		Cooling	Heating
1	All Room Cooling	13	
2	1:1 Cooling and Heating	6	6
3	Cooling-Heating-Cooling	8	
4	Heating-Cooling-Heating	8	4
5	Long-Line Cooling	1	
6	Stop-Cooling-Cooling	8	
7	Cooling-Stop-Cooling	8	
8	Cooling-Cooling-Stop	8	
9	Cooling-Stop-Stop	4	
10	Cooling (1)-Stop-Stop	1	
11	All (5 min) → One Room Cooling	13 → 1	
12	12 hr Stop → Cooling	13	

기 압축기의 온도변화를 측정하기 위하여 열전대(thermocouple)를 설치하였으며, 압축기의 오일유무와 오일량 변화를 관찰하기 위하여 각 압축기에 가시화창(sight glass)을 만들어 CCD카메라를 설치하여 10 대의 압축기 오일레벨 변화를 관찰하였다. 냉매량은 실외기 4대의 냉매량 40 kg, 배관내 냉매량 127 kg, 총 167 kg을 기본 냉매량으로 하였다. 배관내 냉매량 127 kg에 대하여 20%(25.4 kg)를 보충, 회수 하여 과냉매 조건에서 총 냉매량 192.4 kg, 부족냉매 조건에서 총 냉매량 141.6 kg 으로 실험하였다.

본 연구에서는 현장 시험의 특성을 최대한 살리고 시스템의 실제 사용 공간 적용 시 운전 특성을 파악하기 위하여 냉매량 차이에 따라 실험 항목별로 Table 1과 같은 목록에 대하여 실험을 실시하였으며 온도 외에 다른 조건은 인위로 조절하지 않았다.

성능 계산은 시스템 운전 시작 후 모든 데이터가 정상 상태를 유지하는 시점까지 도달한 후 측정하였다.

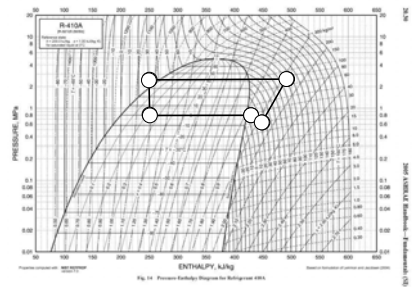
Table 1의 실험항목은 약 10개월에 걸쳐 냉매량 변화에 따라 진행 되었으며 총 12 가지의 실험 조건에 대하여 실시하였다. 모든 실험은 장배관 1000 m, 고낙차 110 m 조건이다.

층간낙차 실험 및 냉난방 동시 운전 시험은 1way 실내기를 제외한 세 개 층 실내기를 대상으로 수행하였다.

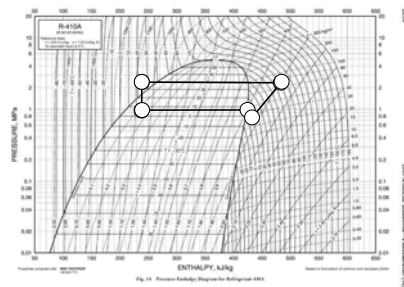
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 압력-엔탈피(p-h) 선도

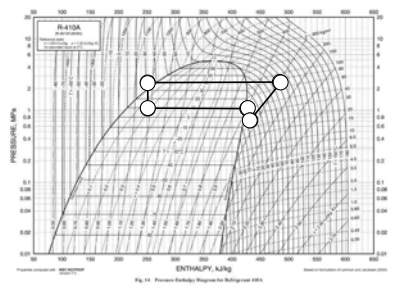
과열도가 너무 크면 밀폐 압축기 모터 코일 온도가 높아져 모터의 수명이 단축되며 토출 가스의 온도가 높아져 효율적인 시스템이 구성될 수 없다. Fig. 3(a)는 정상냉매 조건에서 전실냉방 운전 시 압축기의 흡입 온도, 압축기의 출구 온도, 응축기의 출구온도 데이터를 기반으로 에어컨의 사이클 상태를 p-h 선도에 나타낸 그림이다. 고낙차 장배관 설치 조건에서도 시스템은 전체적으로 안정적인 사이클을 보여주고 있다. Fig. 3(b)는 과냉매 조건에서 전실냉방 운전의 p-h 선도를 나타낸 그림이며 Fig. 3(c)는 부족냉매 조건에서 전실냉방 운전의 p-h 선도를 나타낸 그림이



(a) All room cooling



(b) +20 % All room cooling



(c) -20 % All room cooling

Fig. 3 P-h diagram

Table 2 Temperature of indoors

operating mode		MCU #1				MCU #2				MCU #3				
		(°C)				(°C)				(°C)				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
All Room Cooling	set temp	18	18	O	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	temp	16	19	F	19	16	17	15	16	19	21	18	20	26
	Eva in	16	5	F	5	14	15	14	14	5	5	5	5	8
	Eva out	16	8	F	10	14	15	14	12	12	10	8	8	11
Long Line Cooling	set temp	O F F												
	temp	O F F												
	Eva in	O F F												
	Eva out	O F F												
+20 % All Room Cooling	set temp	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	temp	22	21	21	17	22	22	23	21	19	21	20	20	24
	Eva in	6	5	6	8	6	7	6	6	5	6	6	6	10
	Eva out	11	11	12	8	12	12	11	12	9	11	11	10	15
+20 % Long Line Cooling	set temp	O F F												
	temp	O F F												
	Eva in	O F F												
	Eva out	O F F												
-20 % All Room Cooling	set temp	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	temp	21	23	22	20	19	20	18	19	24	23	23	24	25
	Eva in	9	8	9	7	7	8	7	7	7	7	7	7	11
	Eva out	10	10	9	7	8	8	7	8	15	13	13	10	15
-20 % Long Line Cooling	set temp	O F F												
	temp	O F F												
	Eva in	O F F												
	Eva out	O F F												

다. 두 운전조건 모두 안정적인 사이클을 확인할 수 있다.

### 3.2 체감 냉난방 성능

실내기의 체감 냉난방 성능을 확인하기 위하여 실내기 증발기 입구 온도를 기준으로 데이터를 정리하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다.

체감 냉방 성능은 실내 온도와 실내 열교환기의 입·출구 온도, 각 밸브의 개도 등을 통하여 간접적으로 확인할 수 있었다. 설정온도보다 실내온도가 낮은 곳은 간헐적으로 실내기 운전이 중단되어 열교환기 온도가 실내 온도와 유사하게 나타났으나 다른 실내기에서는 충분한 열교환이 가능한 온도차를 확보하는 것을 확인할 수 있었다. 과냉매의 실험 조건에서 간헐적으로 설정온도보다 실내온도가 낮아 자동 정지되는 경우가 있었으나 장기간 운전 관찰에서 충분한 온도차를 확보하며 운전되는 것을 실험 결과를 통하여 확인할 수 있다.

부족냉매 실험 조건의 경우 정상적인 온도차를 확보하였다. 증발기 입구 온도를 토대로 시스템의 성능을 살펴보면 고낙차 장배관 실험 조건에

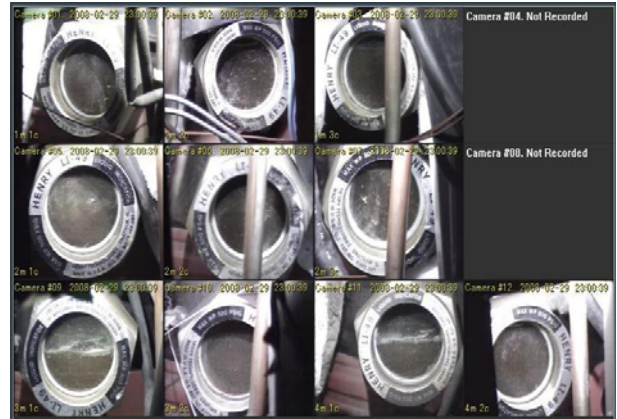


Fig. 4 Visualization of oil level through sight glass on compressors.

서 비록 효율은 단배관에 비하여 떨어지지만 체감 성능의 저하 없이 운전이 가능하다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 오일 수위

Fig. 4는 압축기마다 설치된 가시화부를 통하여 CCD 카메라로 오일 수위를 녹화한 데이터의 화면이다. 압축기 제조사에 의하여 가시화부를 설치하였으나, 실제 안전성을 보장하는 최저 오일 수위는 가시화부 설치 위치보다 더 아래쪽에 위치함을 감안하여, 본 연구에서는 오일 수위가 가시화부를 통하여 확인 가능한 경우, 안전 영역인 것으로 판정하였다.<sup>(5)</sup>

Fig. 5는 가시화부를 통하여 보이는 오일수위를 판단하는 기준으로 가득 찼을 때를 1로, 비었을 때를 0으로 하고, 중간일 때 0.5로 정하였다.

Fig. 6는 녹화된 데이터를 토대로 운전 시간에 따른 오일수위를 그래프로 나타낸 것이다. 넘버링은 실외기-압축기 순으로 표시하였다. 예를 들어 2번째 실외기의 2번째 압축기인 경우 2-2와 같이 표시하였다.

전실냉방의 경우 2-3 압축기의 오일수위가 약

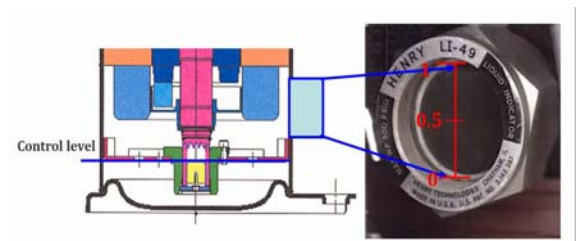
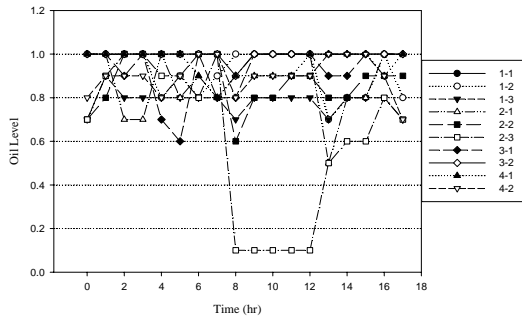
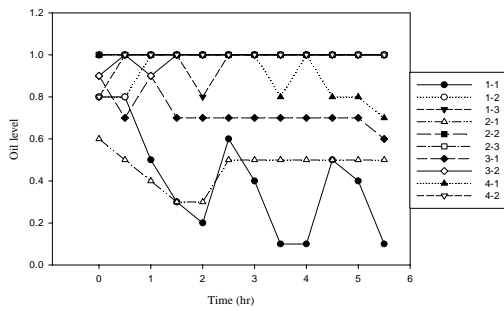


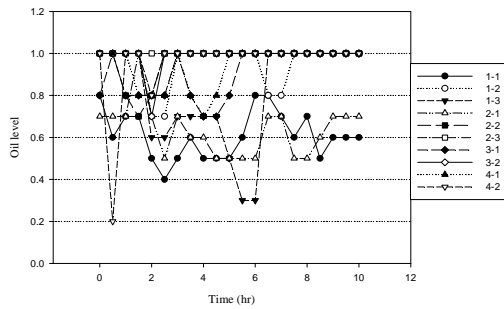
Fig. 5 Standard of oil level



(a) Oil level of all room cooling



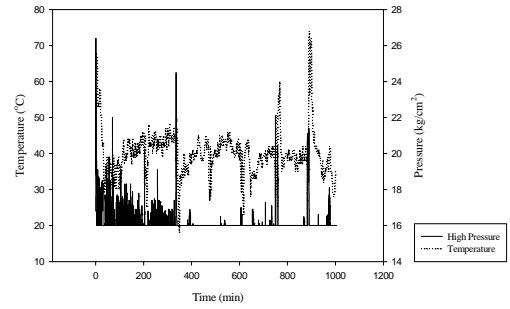
(b) Oil level of +20 % all room cooling



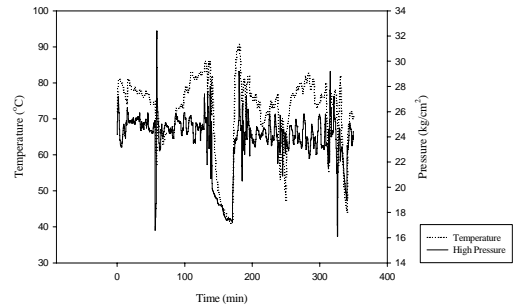
(c) Oil level of -20 % all room cooling

Fig. 6 Comparison of oil level

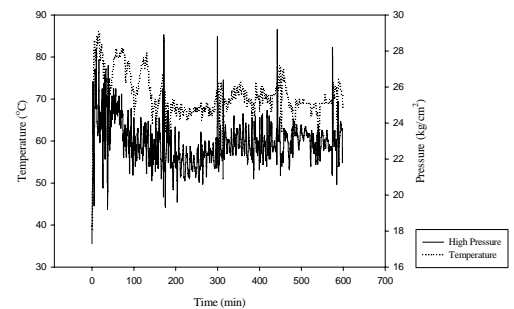
4시간 동안 10%에 머물러 있었으나, 이는 유면이 낮은 상태로 장기간 압축기가 정지되어 있었던 경우로, 해당 압축기 기동 시 즉시 가시화부의 50%까지 회복되는 모습을 볼 수 있었으며, 최소 안전 유면 수위가 가시화부의 하단에 위치하고 있는 것을 고려할 때, 오일 수위가 잘 유지 되는 것을 확인할 수 있다. +20% 전실냉방의 경우 1-1 압축기와 2-1 압축기의 오일 수위 변화가 많



(a) High pressure and temperature of compressor with all room cooling



(b) High pressure and temperature of compressor with +20 % all room cooling



(c) High pressure and temperature of compressor with -20 % all room cooling

Fig. 7 Comparison of high pressure and temperature

이 있었으며 특히 1-1 압축기의 경우 10% 까지 떨어졌으나 오일수위가 회복되는 모습을 확인할 수 있다. -20% 전실냉방의 경우 1-3 압축기와 4-2 압축기 오일수위가 잠시 30% 이하로 저하되었으나 즉시 회복되는 모습을 볼 수 있었다.

### 3.4 압축기 내부 고압 및 출구온도

Fig. 7은 운전 시 주(main)실외기가 되는 1-1 압축기의 냉매량 변화에 따른 고압, 출구온도의 변화를 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 전실냉방의 경우 1-1 압축기가 작동하지 않은 구역이 존재하며 정상상태에서 온도와 압력 모두 일정 수준을 유지한다. 과냉매 전실냉방의 경우 작동 후 약 2시간 후 불안정한 모습을 보이거나 작동 3시간 이후 다시 안정적인 상태를 회복하는 것을 볼 수 있다. 부족냉매 전실냉방의 경우 전체적으로 안정적인 모습을 확인할 수 있다.

## 4. 결 론

냉매량 변동에 따른 최장 배관장 합 1000 m, 고낙차 110 m 설치조건에서 수행한 모듈형 동시 냉난방 시스템 멀티 에어컨의 운전 신뢰성 평가 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) p-h 선도를 통해 고낙차 장배관 설치조건에서 시스템 사이클이 냉매량 차이에 영향 없이 안정적으로 작동하는 것을 확인하였다.
- (2) 각 실내기별 증발기 입·출구 온도를 통하여 본 연구와 같은 극한 설치 조건에서 시스템 에어컨이 냉매량 변화에 영향을 받지 않고 체감 성능 저하 없이 냉방 및 동시 냉난방 운전이 가능하다는 것을 확인하였다.
- (3) CCD 카메라를 통하여 관찰한 압축기 오일 수위는 전 시험 조건에 대하여 안전한 영역 내에서 유지되는 것을 확인하였다.
- (4) 오일 수위의 변화, 압력데이터, 압축기 출구온도를 기준으로 정상상태일 때 +20 % 조건보다 -20 % 조건에서 상대적으로 높은 안전성을 확보하는 것을 확인하였다.

이상과 같은 연구의 결과를 통하여 본 시스템이 냉매량 변화에 따른 고낙차 장배관 설치 조건에서 안정적으로 운전이 가능함을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 성균관대학교 미래가전연구센터(과제번호 : 2007-1020-000) 연구비에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. Moon, J. M., Kim, J. Y., and Kwon, H. J., 2005, Technologies and developmental status of the system multi-air conditioner, Proceeding of SAREK, pp. 472-480
2. Kang, H., Lee, S. I., Joo, Y. J., Chung, H. J., Kim, Y. C., and Choi, J. M., 2007, Experimental study on the performance characteristics of a simultaneous heating and cooling heat pump system at each operating mode, Proceeding of SAREK, pp. 679-686
3. Kim, B. H., 2001, An experimental investigation on the variation of heating performance due to the refrigerant flow control in a variable-speed heat pump, Proceeding of SAREK, pp. 746-756
4. Kim, T. A., Lee, S. C., Tae, S. J., Jung, G. H., Moon, J. M., Kim, Y. J., 2008, Evaluation of the operating reliability on the concurrent heating-cooling system air conditioner with high-head and long-line conditions, Proceeding of SAREK, pp. 609-614
5. Kim, K. R., Tae, S. J., Moon, J. M., Kim, J. Y., Kwon, H. J., and Cho, K. N., 2003, Study on the performance and oil-return characteristics of system-multi air-conditioner under high head condition, Proceeding of SAREK, pp. 596-601