

동시냉난방 시스템 에어컨의 고낙차 장배관 운전 신뢰성 평가

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

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

Evaluation of the operating reliability on the concurrent heating-cooling system air conditioner with high-head and long-line conditions

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

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

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

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

ABSTRACT: The heating and cooling performance of system multi-air conditioner under high-head and long-line conditions are experimentally investigated. The maximum head and tube length were 110 m and 1000 m, 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 22 different working conditions. Experimental results were prepared on the p-h diagram. Also the oil level in the compressor was normally maintained at the safety zone for the system multi-air conditioner with high-head and long-line conditions.

Key words: System multi air conditioner (시스템 멀티 에어컨), field test (현장 시험), concurrent cooling and heating (동시냉난방)

1. 서 론

현대인의 생활수준이 향상됨에 따라 쾌적한 생활을 영위하고자 하는 욕구 증가와 주거 및 사무 공간의 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 함

께 에너지 절감 및 환경 문제 등의 해결 방안으로 각 개별공간의 부하에 따라 독립적으로 조절 가능한 용량 가변형 공조 시스템으로 시스템 멀티 에어컨이 도입되었다.

시스템 멀티 에어컨은 용량 가변형 압축기를 내장한 실외기를 설치하고, 각 실별 냉매 제어를 통하여 냉난방을 실현하는 방식으로, 사용량에 따라 동력비가 산정되어 효율적이다.⁽¹⁾ 실내기 설치 용량이 증가함에 따라 실외기 용량의 증가도 불가피 한데 이를 개선하는 방법 중 하나가 실외기를 모듈형으로 설치하는 것이다. 용량 가변형 압축기를 내장한 실외기를 단일배관으로 연결하고 필요한 냉난방 부하에 맞게 조합하여 손쉽게

† Corresponding author

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

E-mail address: yjkim@skku.edu

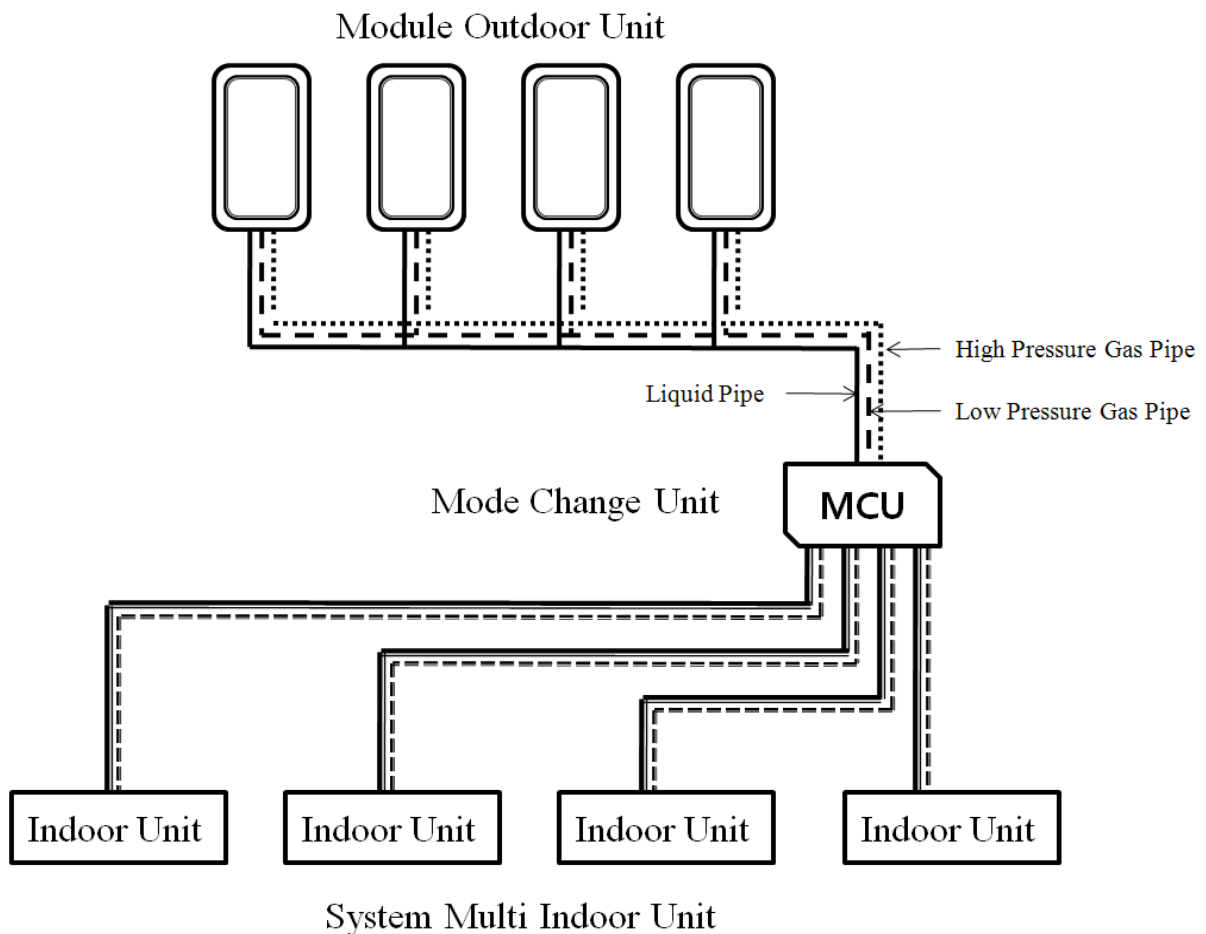


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

용량을 증대시킬 수 있는 방식을 모듈형이라 한다.

최근 건축공학의 발전과 건축자재의 기술발전에 따른 단열성능의 향상과 함께 사무자동화 기기들의 보급이 증가됨에 따라, 냉방이 필요한 기간이 장기화될 뿐만 아니라 겨울철에도 난방과 냉방이 동시에 요구되는 건물이 증가되고 있는 추세이다. 또한, 호텔 등과 같이 부하특성이 다양한 공간에서의 동시냉난방에 대한 요구도 꾸준히 증가되고 있다.

Kang et al.⁽²⁾은 동시냉난방 열펌프시스템의 운전모드별 성능특성에 관한 실험적 연구를 통하여 문제점을 분석하였다. 하지만 아직 동시냉난방이 가능한 모듈형 시스템 멀티 에어컨을 실제 고낙차 장배관 조건에서 실시한 성능평가는 전무한 상태이다. 동시냉난방 시스템 멀티 에어컨은 일반 단품 패키지형 에어컨에 비하여 여러 개의 실

내기가 조합된 대형 시스템이고 배관의 길이가 수십 배에 달하므로, 압축기 누설 및 마모방지를 위한 냉동기 오일의 순환 및 회수가 검증되어야 한다.

본 연구에서는 모듈형 실외기를 적용한 동시냉난방 시스템 멀티 에어컨을 고낙차 장배관 조건인 실제 업무용 건물에 설치한 현장 시험을 통하여 고낙차 장배관 설치 시의 운전 신뢰성을 평가하였다. Fig. 1과 같은 시스템으로 실험 장치를 구성하였으며, 4대의 실외기를 모듈로 연결하여 필요한 용량을 구성하고 MCU를 이용하여 실내기 동시냉난방이 가능하도록 하였다. MCU에는 고압 및 저압의 가스관, 그리고 액관이 각각 실외기로부터 연결되었으며 실내기의 운전 모드에 따라 냉매를 분배해 주는 역할을 한다. 실내기는 MCU에 독립적으로 연결되어 개별적인 운전조건 설정이 가능하다.

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 실내기가 연결되었다. 디지털 스크롤 압축기와 정속 압축기가 병렬로 연결된 실외기는 4대가 모듈형으로 연결되어 총 54 HP 으로 설치되었다. 천장 매립형 실내기 13대를 실험실과 사무 공간 내에 설치하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 각 층의 실내기는 MCU (Mode Change Unit)에 연결되어 개별운전이 가능하며 MCU에서 통제한다.

실외기로부터 가장 멀리 떨어진 실내기까지의 낙차는 2단계 (56 m + 54 m)로 낙차를 조정하여 고낙차 110 m를 만들었다. 실내기간의 최대 낙차는 15.2 m이며, Table 1에서 보는 바와 같이 총

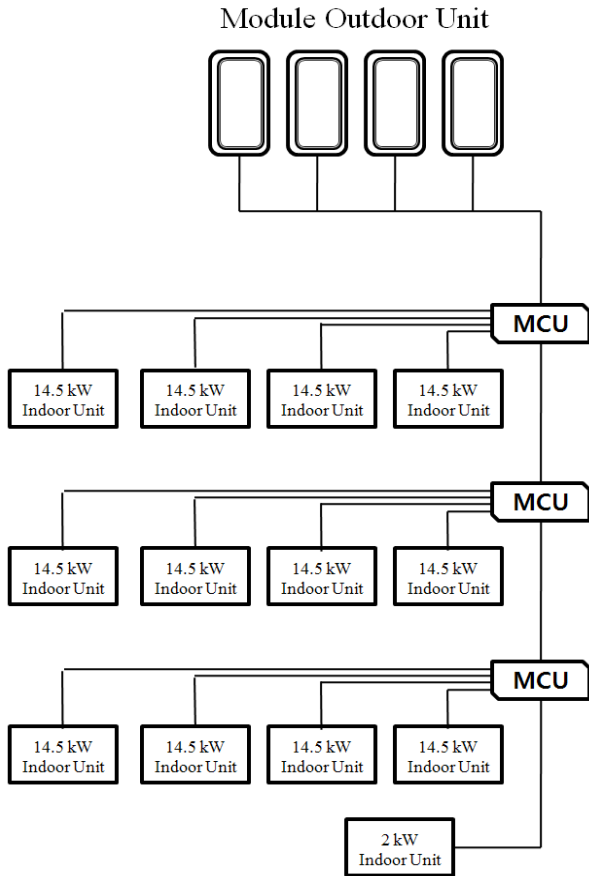


Fig. 2 Schematic of the experimental unit system

Table 1 Long-line installation features

Installation(m)	Pipe length		Sum (m)
	Straight pipe(m)	Curve pipe(m)	
Outdoor unit-First divergence pipe	159	Curve pipe 18 EA×0.5 = 9	168
40 m×MCU 3 = 120 m (First divergence pipe-MCU=40 m)	120	Divergence pipe 2 EA = 3 (Interval 1m from First divergence pipe) Curve pipe 24 EA×0.5 = 12	135
50 m×Indoor unit 13 = 650 m (MCU-Indoor unit = 50 m)	650	Curve pipe 200 EA×0.5 = 100	750
Total	929	124	1,053

배관 길이는 1000 m이며 첫 분지 후 최대 배관 길이는 90 m로 12 개 실내기가 동일하다. 실외기 압축기의 온도변화를 측정하기 위하여 T/C를 설치하였으며, 압축기의 오일유무와 오일량 변화를 관찰하기 위하여 각 압축기에 가시화창(sight glass)을 만들어 CCD카메라를 압축기 앞에 설치하여 10 대의 압축기 오일레벨 변화를 저장하여 관찰하였다. 냉매량은 실외기의 기본 냉매량을 포함하여 총 167 kg이다.

본 연구에서는 현장 시험의 특성을 최대한 살리고 시스템의 실제 사용 공간 적용 시 운전 특성을 파악하기 위하여 실험항목별로 Table 2와 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 2의 실험항목은 약 6개월에 걸쳐 진행되었으며 총 22 가지의 실험 조건에 대하여 실시하였다. 모든 실험은 장배관 1000 m 조건이며, 2 번 항목을 제외한 나머지 난방실험은 압력손실을 고려한 고낙차 110 m 조건이다. 2번 항목은 고낙차 62 m 조건이다.

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

Table 2 Lists of reliability test

Test No.	Test List	Indoor Unit	
		Cooling	Heating
1	All Room Cooling	13	
2	All Room Heating		13
3	All Room Heating (Pressure Drop)		13
4	1:1 Cooling and Heating	6	6
5	Cooling-Heating-Cooling	8	
6	Heating-Cooling-Heating	8	4
7	Long-Line Cooling	1	
8	Long-Line Heating		1
9	Stop-Cooling-Cooling	8	
10	Cooling-Stop-Cooling	8	
11	Cooling-Cooling-Stop	8	
12	Cooling-Stop-Stop	4	
13	Cooling(1)-Stop-Stop	1	
14	Stop-Heating-Heating		8
15	Heating-Stop-Heating		8
16	Heating-Heating-Stop		8
17	Heating-Stop-Stop		4
18	Heating(1)-Stop-Stop		1
19	All(5 min) → One Room Heating		13 → 1
20	All(5 min) → One Room Cooling	13 → 1	
21	12 hr Stop → Heating		13
22	12 hr Stop → Cooling	13	

3. 실험결과 및 고찰

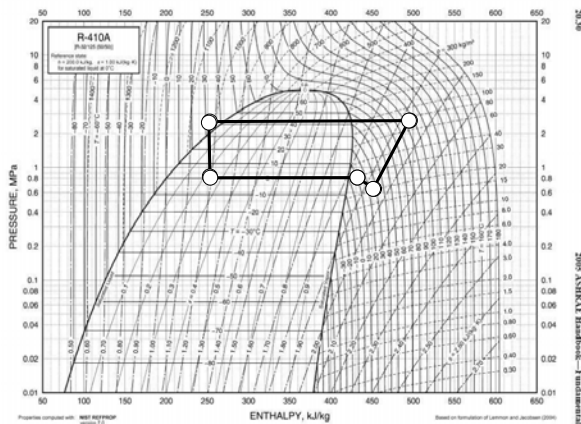
3.1 P-h 선도

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 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 전실냉방 운전의 P-h 선도를 나타낸 그림이며 역시 안정적인 사이클을 확인할 수 있다.

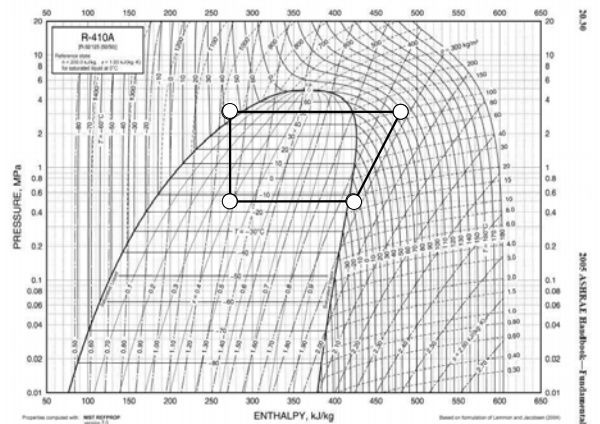
3.2 체감 냉난방 성능

실내기의 체감 냉난방 성능을 확인하기 위하여 실내기 증발기 입구 온도를 기준으로 데이터를 정리하여 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

체감 냉난방 성능은 실내 온도와 실내 열교환기의 입출구 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. 최장배관 1실 냉방 실험조건에서도 이러한



(a) All room cooling



(b) All room heating

Fig. 3 Pressure-enthalpy diagram

Table 3 Temperature of indoors

Operating mode		MCU #1 (°C)			MCU #2 (°C)				MCU #3 (°C)					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
All Room Cooling	set temp	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	temp	16	19	O	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		10	14	15	14	12	12	10	8	8	11
Long Line Cooling	set temp												18	
	temp	OFF											26	
	Eva in												7	
	Eva out												17	
All Room Heating	set temp	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	temp	27	32	31	32	23	24	23	23	33	29	26	29	30
	Eva in	45	45	33	46	39	38	41	40	48	48	48	48	35
	Eva out	59	58	52	58	59	59	58	59	47	47	47	47	45
Long Line Heating	set temp												30	
	temp	OFF											31	
	Eva in												45	
	Eva out												49	
1:1 Cooling and Heating	set temp	30			18	30	30	30	30	18	18	18	18	
	temp	30	O	O	18	25	23	25	26	18	17	17	17	O
	Eva in	47	F	F	10	46	46	47	47	8	3	4	4	F
	Eva out	63			9	67	66	66	67	8	4	4	5	

상태를 확인할 수 있다.

전실난방의 경우에도 간헐적으로 설정온도를 초과하여 실내기가 자동 정지되는 경우가 있었으나 장기간 운전 관찰에서 전실냉방과 같이 충분한 온도차를 확보하며 운전되는 것을 실험 결과를 통하여 확인할 수 있다.

동시냉난방의 경우 1번, 2번 실내기는 제외하고 총 10 대의 실내기를 이용하여 실험을 진행하였으며 난방으로 설정한 실내기에는 평균 46.5°C, 냉방으로 설정한 실내기에는 평균 5.8°C의 증발기 입구 온도결과를 얻을 수 있었다. 증발기 입구 온도를 토대로 시스템의 성능을 살펴보면 고낙차 장배관 실험 조건에서도 비록 효율은 단배관에 비하여 떨어지지만 체감 성능의 저하 없이 운전이 가능하다는 것을 알 수 있다.

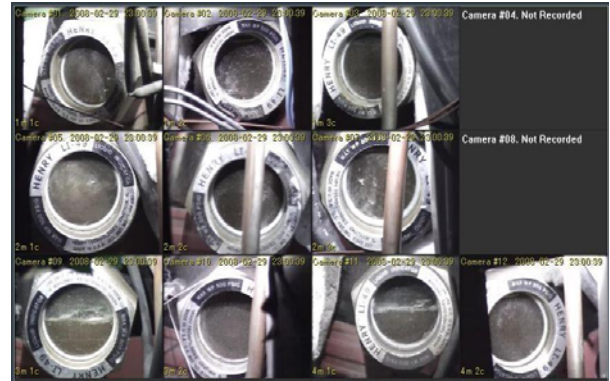
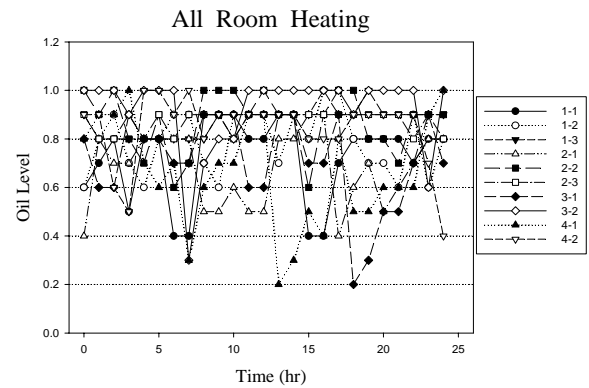


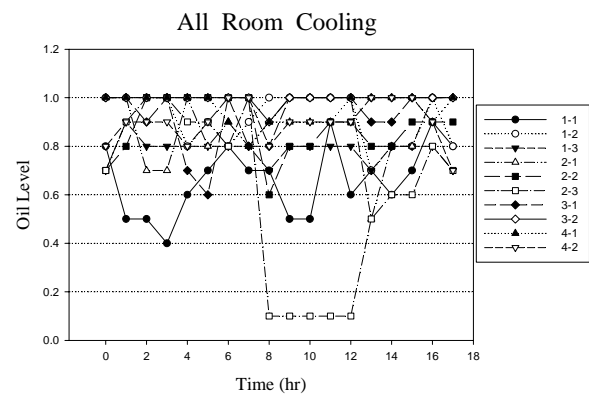
Fig. 4 Visualization of oil level through sight glass on compressors.

3.3 오일 수위

Fig. 4는 압축기마다 설치된 가시화부를 통하



(a) Oil level of all room heating



(b) Oil level of all room cooling

Fig. 5 Comparison of the oil level between all room heating and cooling conditions

여 CCD 카메라로 오일수위를 녹화한 데이터의 화면이다. 압축기 제조사에 의하여 가시화부를 설치하였으나, 실제 안전성을 보장하는 최저 오일 수위는 가시화부 설치 위치보다 더 아래쪽에 위치함을 감안하여, 본 연구에서는 오일수위가 가시화부를 통하여 확인 가능한 경우, 안전 영역인 것으로 판정하였다.⁽³⁾

Fig. 5는 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. 전실난방의 경우 오일수위가 가시화부의 50%이하로 떨어지는 경우가 발생하나 최저 가시화부의 20%에서 오일수위가 회복되는 것을 확인할 수 있었다. 전실냉방의 경우 2-3 압축기의 오일수위가 약 4시간 동안 10%에 머물러 있었으나, 이는 유면이 낮은 상태로 장기간 압축기가 정지되어 있었던 경우로, 해당 압축기 기동 시 즉시 가시화부의 50%까지 회복되는 현상을 볼 수 있었으며, 최소 안전 유면 수위가 가시화부의 하단에 위치하고 있는 것을 고려할 때, 오일수위가 잘 유지되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

최장 배관장 합 1000 m, 고낙차 110 m의 설치 조건에서 수행한 모듈형 동시냉난방 시스템 멀티에어컨의 운전 신뢰성 평가 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) P-h 선도를 통해 장배관 고낙차 설치 조건에서도 시스템 사이클이 안정적 영역에서 작동하는 것을 확인하였다.
- (2) 각 실내기별 증발기 입출구 온도를 통하여 본 연구와 같은 극한 설치 조건에서 체감 성능의 저하 없이 냉방, 난방 및 동시 냉난방 운전이 가능하다는 것을 확인하였다.

- (3) CCD 카메라를 통하여 압축기 오일수위는 전 시험 조건에 대하여 안전한 영역 내에서 유지되는 것을 확인하였다.

이상과 같은 연구의 결과를 통하여 본 시스템이 해당 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 mulit 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, 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