

R410A를 사용하는 멀티에어컨 시스템을 위한 사이클 시뮬레이션 프로그램 개발

김영재* · 박인섭* · 김학희* · 윤 백** · 길성호**

Development of a Cycle Simulation Program for Multi-Airconditioning Systems using R410A

Young-Jae Kim*, In-Seop Park*, Hak-Hee Kim*, Baek Youn** and Seong-Ho Kil**

요 약 본 연구에서 R410A를 사용하는 멀티에어컨 시스템의 성능(성능계수, 용량, 소비전력 등)을 정상 상태에서 모사할 수 있는 Multi_Cycle이라 명명된 컴퓨터 모사 프로그램을 개발하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 검증하기 위해서 일련의 사례 연구를 수행하였으며, 이에 대해서 설명하였다. Multi_Cycle은 실내기, 실외기, 압축기와 팽창 밸브 모사를 위한 부프로그램 및 냉매와 습공기의 열역학적 물성치와 전달 물성치 예측을 위한 부프로그램으로 구성되어있다. 멀티에어컨 사이클을 구성하고 있는 각 유닛의 복잡한 조작조건과 다양한 종류의 냉매를 고려해야 하는 멀티에어컨의 성능 분석시 Multi_Cycle의 사용은 많은 도움이 될 것이다. 나아가, Multi_Cycle은 멀티에어컨 시스템을 최적화하고, 경제적이고 효율적인 운전 조건을 확립하는데 매우 유용한 도구가 될 수 있을 것이다. Multi_Cycle의 주시뮬레이션 코드는 Digital Visual Fortran으로 프로그램 되었으며 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)는 Visual Basic으로 프로그램 되었다.

Abstract In this study, the computer program called Multi_Cycle, which simulates the steady-state performance (coefficient of performance, capacity, power consumption and etc.) of multi-airconditioning systems using R410A, was developed. In order to validate the simulation program, a series of case studies were carried out. The Multi_Cycle consists of several subroutines for simulating indoor units, outdoor unit, compressor, and expansion devices, and for estimating the thermodynamic and transport properties of the refrigerants and moist air. It would appear to be advantageous to use the Multi_Cycle for a performance analysis when considering various kinds of refrigerants and the complex operating conditions of each unit making up the multi-airconditioner cycle. Moreover, the Multi_Cycle would seem to be useful tool in optimizing a multi-airconditioning system and establishing economical and efficient operating conditions in the multi-airconditioner cycle. In the present study, the Multi_Cycle was programmed with Digital Visual Fortran for the main simulation code and Visual Basic for the graphic user interface.

Key Words : Multi-airconditioning Systems, Cycle Simulation Program, Performance

1. 서 론

최근 생활수준의 향상으로 인해 주거환경에 대한 쾌적성의 지향이 높아짐에 따라 가정용 에어컨은 필수화 되어지고 있으며 더 나아가 1가구 1대에서 1실 1대로 되어가고 있는 실정이다. 또한 가정용 에어컨에 대한 수요가 급속도로 증가하면서 정부에서는 에너지소비 효율 등급제를 시행하는 등 공조기기의 에너지소비 효율에 대한 규제가 강화되어 지고 있다. 하지만 한 가구에

복수대의 에어컨을 설치할 경우 초기비용이 많이 들 뿐만 아니라, 특히 도시지역의 경우 많은 실외기를 설치할 공간상의 문제와 운전 시 소비전력 증대 등의 문제들이 나타날 수 있다.

또한, 전 세계적으로 오존층의 감소로 인한 환경 위협 때문에 기존의 CFCs와 HCFCs를 대체하기 위한 냉매, 즉 오존층을 파괴하지 않는 대체 냉매를 찾고 있는 실정이다. 대체 냉매의 사용과 이에 따른 기존 냉동공조시스템의 설비개선을 위해서는 R22와 같은 과도기적 냉매뿐만 아니라 R410A와 같은 대체 냉매를 이용한 멀티 에어컨 시스템의 성능 평가가 수행되어야 하며, 이를 위해서는 대체냉매 멀티 에어컨 시스템의 성능을 예측하기

*선문대학교 재료 · 화학공학부

**삼성전자(주)

Tel: 041-530-2372, E-mail : yjkim@webmail.sunmoon.ac.kr

위한 컴퓨터 모사 프로그램의 개발이 중요하다. 이러한 배경에 의해서 설치공간의 절약, 미관성, 공사비의 절감, 동등 냉방능력에 대해 저가의 에어컨으로서 실외기 1대에 수대의 실내기가 접속 가능한 대체냉매 멀티에어컨 시스템을 모사하기 위한 프로그램을 개발하였다.

본 연구에서는 멀티에어컨 시스템의 성능 모사를 위해 Multi_Cycle이라 명명된 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, Multi_Cycle은 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기 등을 모사 할 수 있는 서브루틴과 공기와 냉매의 물성치 계산을 위한 서브루틴으로 구성되어있다. 이들 서브루틴 프로그램은 Digital Visual Fortran으로 작성되었으며, 또한 Visual Basic을 통해 사용자가 입력변수를 용이하게 입력시킬 수 있는 전처리 프로그램과 성능 모사 결과를 그래프 등을 통하여 나타내어주는 후처리 프로그램을 포함하는 사용자인터페이스(GUI)를 구축하였다.

2. 이론 해석 및 모델

2.1 응축기

대부분의 공조기의 열교환기는 알루미늄 핀과 원형 동관으로 구성된 직교류 핀-관 열교환기로 구성되어 있다. Hiller and Glicksman[1]과 Fischer and Rice[2]는 열교환기를 단순화하여 냉매측과 공기측이 모두 섞이지 않는 경우의 ϵ -Ntu 관계식을 적용하였다. 그러나 이와 같은 해석 방법은 특정한 경우에만 성립이 되며, 실제 공조기의 다양한 열교환기 설계 사양을 모사하기에는 너무 단순화되어 있다. 핀-관 열교환기는 냉매 회로 구성을 매우 다양하게 설계할 수 있으며 이러한 구성에 따라 다양한 특성을 나타낸다. 실제 공조기에 있어서 열교환기의 냉매 회로 구성이 매우 복잡하게 되어 있어서 단순화된 ϵ -Ntu 방법이나 LMTD 방법을 이용하여 해석하기는 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 Domanski[3, 4]는 관순법(tube-by-tube method)을 이용하여 열교환기를 해석하였다. 관순법이란 전체 열교환기를 각각 단일관으로 분리하여 직교류, 냉매측 혼합, 공기측 비혼합으로 해석하고, 해석되어진 결과를 연계하여 전체 열교환기의 성능을 해석하는 방법으로서 이에 대해 윤백 등이 자세히 설명하였다[5-7].

2.2 증발기

증발기도 응축기와 같은 방법인 관순법을 적용하여 해석할 수 있다. 그러나 증발기에서는 열전달과 물질전달이 동시에 일어난다. 증발기의 성능을 계산하는 과정은 응축기의 경우와 유사하지만 열교환기 표면온도에 따른 응축수의 발생여부를 판단해야 한다. 따라서 모든

과정에서 표면온도를 계산하고 온도에 따른 건표면과 습표면으로 나누어 계산해야 한다.

이와 같은 관순법에 의한 열교환기 해석 방법은 임의의 냉매 회로 구성을 모두 해석할 수 있으며, 열교환기에서 과열, 이상, 과냉 영역과 건표면 및 습표면이 함께 존재하고 있는 경우도 해석이 가능하다. 또한 유입 공기의 유속이 불균일한 분포를 가지는 경우에도 해석이 가능하며, 비공비 혼합냉매와 같이 온도구배(temperature gliding)가 있는 경우에도 해석할 수 있다.

2.3 압축기

본 연구에서는 Fischer and Rice[2]가 제한한 압축기 성능곡선을 이용한 map-based 모델을 이용하였다. 일반적으로 압축기 제조업체에서는 증발온도와 응축온도의 변화에 따른 소비전력, 냉매의 질량유량 등에 대한 데이터를 그래프 또는 표로 제공한다. 이러한 데이터를 커브피팅하여 임의의 증발온도와 응축온도에 대한 소비전력 및 냉매 유량을 계산할 수 있다.

2.4 팽창장치

(1) 전자팽창밸브

팽창장치로서 전자팽창밸브를 사용하였을 경우, 다음의 두 가지 방법에 의해 냉매유량을 예측하였다.

첫 번째 방법으로서, 팽창밸브의 제조업체에서 제공되는 증발온도, 응축온도와 펄스 변화에 따른 팽창밸브의 용량변화 데이터와 그래프를 이용하여 냉매유량을 예측하였다. 두 번째 방법으로는, 스텝모터의 구동에 의해 펄스의 변화에 따른 성능곡선을 따라 니들과 실린더의 오리피스스의 개폐의 정도가 달라진다. 이를 이용하여 오리피스스의 개도 면적의 변화에 따른 냉매유량을 예측하였다[8].

(2) 모세관

모세관은 일반 소형 공조기에 가장 널리 이용되는 팽창장치로서 일반적으로 응축기에서 나온 고압의 과냉액체가 들어가서 단열팽창을 거쳐 저압의 이상 상태로 나온다. 본 연구에서는 다음과 같은 가정 하에 모세관 내에서의 냉매 유동을 해석하였고 이에 관해서는 윤백 등의 논문에 보다 자세히 설명되어 있다[7, 9].

- ① 1차원 정상 유동, 단열팽창
- ② 모세관은 수평한 직선형이며 내부 단면적은 일정하다.
- ③ 단상영역은 비압축성 유동이다.
- ④ 이상유동은 균질유동으로 가정한다.

2.5 연결관

멀티사이클을 구성하는 연결관들에서의 압력강하 및

전열량 등을 고려하기 위해 냉방모드의 경우 다음과 같이 연결관들을 각각의 부분으로 정의하여 사용하였다.

- (1) Compressor discharge line : 압축기 출구 → 응축기 입구
- (2) Bubble line : 응축기 출구 → 냉매가 각 실로 나누어지는 지점
- (3) Expansion device inlet line : 냉매가 각 실로 나누어지는 지점 → 팽창 장치 입구
- (4) Evaporator inlet line : 팽창 장치 출구 → 증발기 입구
- (5) Evaporator outlet line : 증발기 입구 → 각 실의 냉매가 만나는 지점
- (6) Compressor suction line : 각 실의 냉매가 만나는

지점 → 압축기 입구

2.6 멀티에어컨 사이클 시뮬레이션

Multi_Cycle의 멀티에어컨 시스템 냉방모드의 flowchart를 Figure 1에 나타내었으며, 계산 과정은 다음과 같다.

- (1) 먼저 응축압력과 증발압력을 가정한다.
- (2) 압축기 모듈을 이용하여 압축기 출구 상태 및 냉매 유량 등을 계산한다. 압축기 모듈에서 계산된 냉매의 유량과 응축기 입구의 상태를 이용하여 응축기의 열량과 출구 상태 등을 계산한다.
- (3) 과냉각도가 주어진 경우에는 위에서 계산된 팽창장치(전자 팽창밸브 또는 모세관) 입구 상태와 주어진 과냉각도를 비교하여 일치하지 않으면 응축압력을 변경

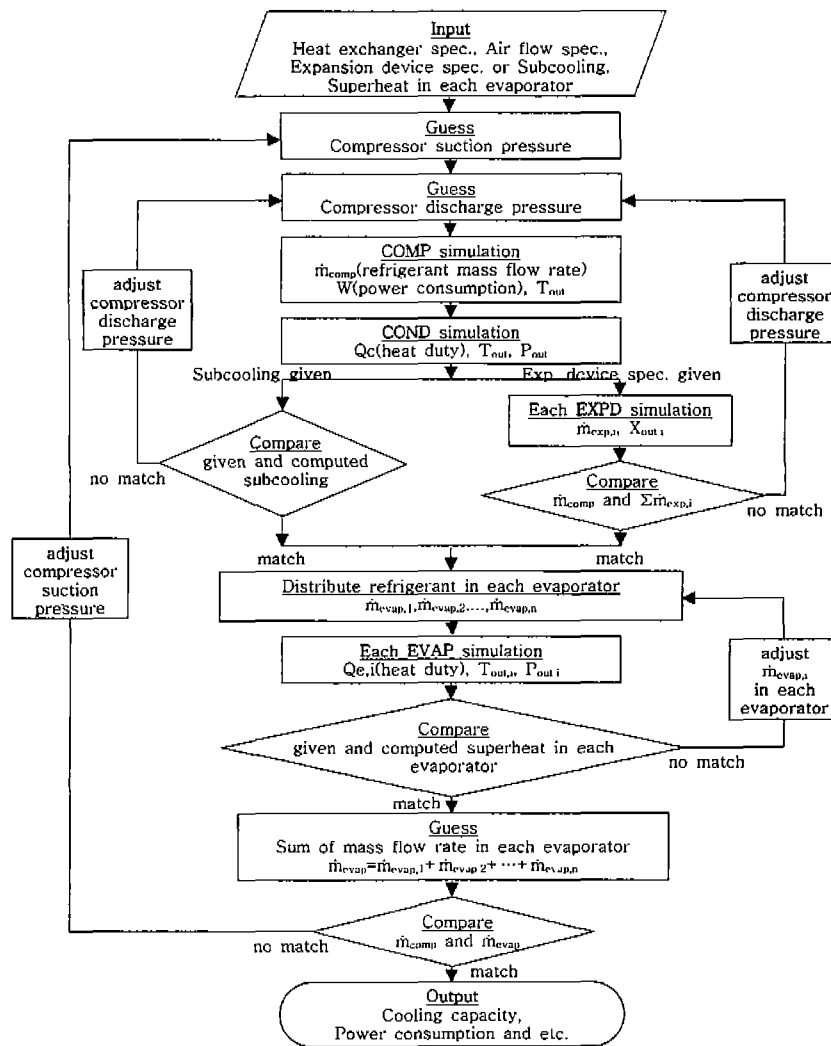


Figure 1. Flow chart of cooling mode the Multi-Cycle.

하면서 정할법(Secant method)을 사용하여 (2)과정을 반복한다. 팽창장치의 사양(팽창밸브 : 주파수(Hz) or 오리피스 개도 단면적(m²), 모세관 : 길이(mm), 직경(mm), 수량, 조도)이 주어진 경우에는 응축기 모듈에서 계산된 팽창장치 입구 상태와 주어진 증발압력으로부터 각각의 팽창장치 모듈을 이용하여 냉매의 유량을 계산한다. 여기서 계산된 냉매 유량의 합과 압축기에서 계산된 유량을 비교하여 일치하지 않으면 응축압력을 변경하면서 정할법을 사용하여 (2)과정을 반복한다.

(4) 과냉각도가 주어지면 등엔탈피 과정으로부터 팽창장치 출구의 상태를 계산한다.

(5) 위에서 구해진 각각의 증발기 입구의 상태로부터 증발기 모듈을 이용하여 증발기의 열량과 출구 상태를 계산한다.

(6) 계산된 각각의 증발기 출구에서의 상태와 주어진 과열도를 비교하여 일치할 때까지 냉매유량을 변경하면서 가위치법(Regular-Falsi method)을 사용하여 반복계산 한다.

(7) 위에서 계산된 각 증발기에서의 냉매유량의 합과 압축기에서 계산된 냉매 유량이 일치할 때까지 증발압력을 변경하면서 정할법을 사용하여 (2)-(6)과정을 반복한다.

3. 시뮬레이션 검증

본 연구에서 개발된 멀티에어컨 시스템을 위한 사이클 시뮬레이션 프로그램인 Multi_Cycle의 검증을 위해

Table 1. Specifications and operating conditions of the A model using R410A

Classification		Only one		Both	
room(case)		A(1)	B(2)	A(3)	B(4)
Evaporator	Diameter	Φ7		Φ7	
	Row, Step, Length	2×12×615 mm		2×12×615 mm	
	Fp, Shape	1.2 mm, SLIT		1.2 mm, SLIT	
	Air flow (m ³ /min)	6.8	6.7	6.9	6.7
Condenser	Diameter	Φ7		Φ7	
	Row, Step, Length	2×14×782		2×14×782	
	Fp, Shape	1.5, SLIT		1.5, SLIT	
	Air flow (m ³ /min)	21		21	
Compressor type		G4B102JV1		G4B102JV1	
Capillary (mm)		1.5×900	1.42×1000	1.5×900	1.42×1000

서 실험결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였으며, 다양한 운전 조건하에서 일련의 case studies를 수행하였다.

Multi_Cycle의 검증을 위해 사용된 멀티에어컨 시스템의 기본사양 및 운전조건을 Table 1과 Table 2에 정리하였다. A 모델과 B 모델은 2대의 압축기가 작동하는 2실 멀티에어컨 시스템으로 case 1(A room)과 case 2(B room)는 각각 하나의 실내기만을 작동하였을 경우를 나타내며, case 3(A room)과 case 4(B room)는 두대의 실내기가 동시에 작동하였을 경우를 나타낸다. 시험조건은 Table 3에 나타내었다.

Multi_Cycle의 검증을 위해 사용된 A 모델의 냉방능력과 성능계수의 비교결과를 Figure 2와 Figure 3에 나타내었다. Case 1, case 2, case 3과 case 4의 경우 냉방능력과 성능계수의 실험결과와 시뮬레이션결과 사이의 오차는 각각 2.91, 3.21, 3.11, 2.90%와 2.83, 3.11, 3.02, 2.82%로 나타났다. Figure 4와 Figure 5는 B 모델의 냉방능력과 성능계수의 비교결과를 보여주며, case 1, case 2, case 3과 case 4의 경우 냉방능력과 성능계수의 실험결과와 시뮬레이션결과 사이의 오차는 각각

Table 2. Specifications and operating conditions of the B model using R410A

Classification		Only one		Both	
room(case)		A(1)	B(2)	A(3)	B(4)
Evaporator	Diameter	Φ7		Φ7	
	Row, Step, Length	2×12×615 mm		2×12×615 mm	
	Fp, Shape	1.2 mm, SLIT		1.2 mm, SLIT	
	Air flow(m ³ /min)	5.5	8.2	5.7	8.0
Condenser	Diameter	Φ7		Φ7	
	Row, Step, Length	2×10×782(A) 2×18×782(B)		2×10×782(A) 2×18×782(B)	
	Fp, Shape	1.5, SLIT		1.5, SLIT	
	Air flow(m ³ /min)	15	27	15	27
Compressor type(A/B)		G4A080JU1E/ G8C124JU1E		G4A080JU1E/ G8C124JU1E	
Capillary (mm)		1.3×900	1.42×1100	1.3×900	1.42×1100

Table 3. KS cooling test condition for air-conditioner

Indoor temp.		Outdoor temp.	
Dry bulb	Wet bulb	Dry bulb	Wet bulb
27±1°C	19.5±0.5°C	35±1°C	24±0.5°C

2.24, 3.50, 5.68, 4.69%와 2.19, 3.38, 5.37, 4.48%로 나타났다.

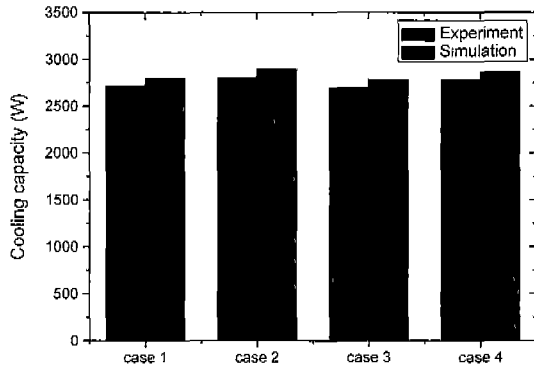


Figure 2. Comparison of the cooling capacity between experimental and simulation results with regard to the case 1, 2, 3 and 4 in the A model using R410A.

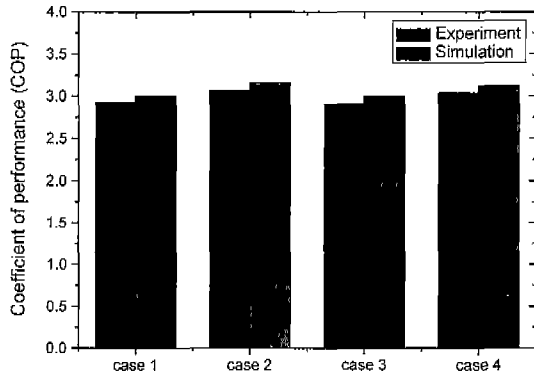


Figure 3. Comparison of the coefficient of performance between experimental and simulation results with regard to the case 1, 2, 3 and 4 in the A model using R410A.

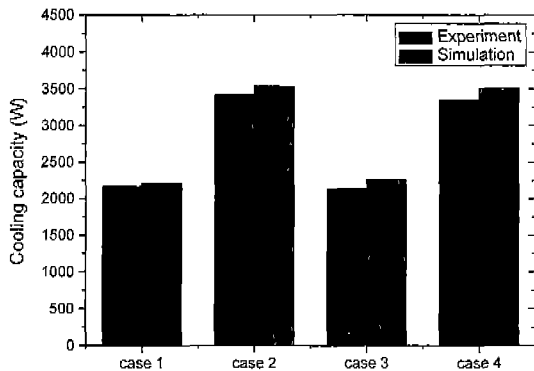


Figure 4. Comparison of the cooling capacity between experimental and simulation results with regard to the case 1, 2, 3 and 4 in the B model using R410A.

Figure 6과 Figure 7은 1대의 압축기가 작동하는 2실 멀티에어컨 시스템의 실내기 공기유량 변화에 따른 시

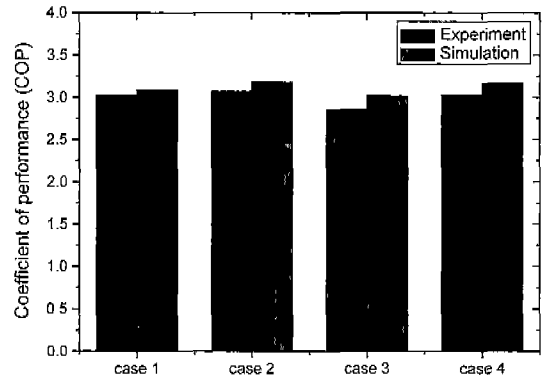


Figure 5. Comparison of the coefficient of performance between experimental and simulation results with regard to the case 1, 2, 3 and 4 in the B model using R410A.

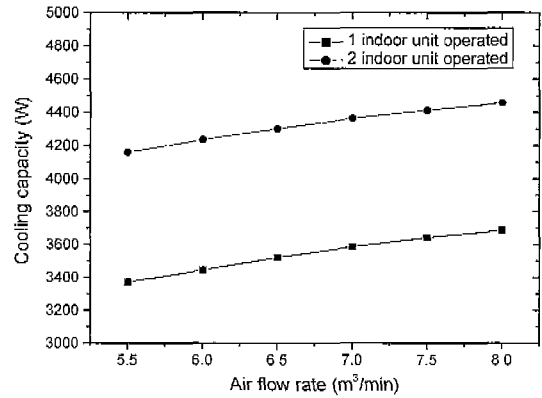


Figure 6. The cooling capacity as a function of the air flow rate of the indoor unit.

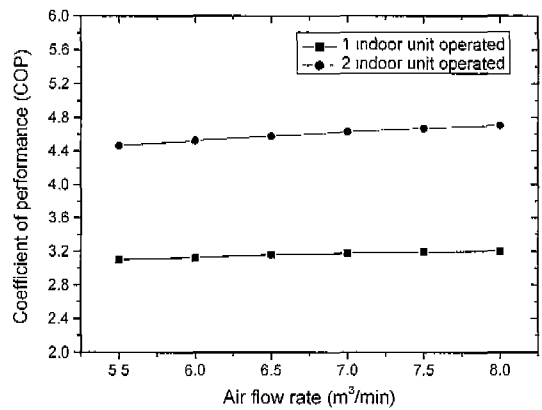


Figure 7. The coefficient of performance as a function of the air flow rate of the indoor unit.

스텝의 냉방성능과 성능계수를 나타내었다. Figure 6은 하나의 실내기만 작동하였을 경우이며, Figure 7은 두 대의 실내기가 모두 작동하였을 경우를 나타낸다. 두 대의 실내기가 작동하였을 경우 하나의 실내기가 작동하였을 경우보다 냉방성능 및 성능계수 값이 크게 나타났다. 또한 실내기의 공기유량이 증가함에 따라 냉방능력은 지속적으로 증가하였으며, 성능계수의 증가폭은 냉방성능 보다는 작게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서 한 대의 실외기에 수대의 실내기를 연결하는 멀티에어컨 시스템의 성능모사를 위한 Multi_Cycle 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, 이를 이용하여 멀티에어컨 사이클의 정상상태 성능(성능계수, 냉난방 용량, 소비 전력 등)을 모사하였다.

Multi_Cycle의 실행을 위해서는 과냉각도 또는 팽창장치 사양, 각각의 증발기에서의 과열도 및 각각 열교환기의 사양이 요구되어지며, 또한 압력강하 예측을 위해서 열교환기내의 관과 연결관의 길이와 지름이 요구되어 진다.

본 연구에서 개발된 Multi_Cycle의 결과 및 특성을 다음과 같이 정리하였다.

- (1) 과냉각도 또는 팽창장치(전자팽창밸브 또는 모세관)의 사양을 지정할 수 있다.
 - (2) 전자팽창밸브의 성능곡선을 이용하여, 팽창밸브의 주회수의 변화에 따른 냉매의 유량 예측할 수 있다.
 - (3) 멀티에어컨 시스템에 사용되는 팽창장치를 이용한 넓은 범위에서의 냉매 유량 제어가 가능하다.
 - (4) 멀티에어컨 시스템의 운전 조건 변화에 따른 영향을 파악할 수 있으며, 최적의 운전 조건을 예측할 수 있다.
 - (5) 비공비 혼합냉매와 같이 냉매의 온도 구배가 존재하는 경우에도 해석이 가능하다.
- 결론적으로 멀티에어컨 시스템의 부하 변동에 따른 다양한 작동 조건과 복잡한 구성을 고려해 볼 때, 멀티에어컨 시스템의 성능 해석 시 Multi_Cycle의 사용은 많은 이점이 있을 것으로 생각된다. 또한 Multi_Cycle은 멀티에어컨 시스템의 경제적이고 효율적인 작동조건을 예측하고, 시스템의 최적 설계를 위한 유용한 도구로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.
- 나아가 R410A 뿐만 아니라 R407C 같은 비공비 혼합물 대체 냉매를 사용한 멀티에어컨 시스템의 성능모

사에도 Multi_Cycle의 적용범위를 넓힐 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 선문대학교 지역협력 연구센터(RRC) 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] Hiller, C. C. and Glicksman, L. R., "Improving heat pump performance via compressor capacity control-analysis and test", MIT energy Lab. Report No. MIT-EL 76-001, Vols. I and II, 1976.
- [2] Fischer, S. K and Rice, C. K., "The Oak Ridge heat pump models :I. A steady-state computer design model for air-to-air heat pumps", ORNL/CON- 80/R1, Oak Ridge National Lab, 1980.
- [3] Domanski, P. A., "Computer modeling and prediction of performance of an air source heat pump with a capillary tube", Ph. D. Diss., Catholic Univ. of America, 1982.
- [4] Domanski, P. A., "EVSIM-An evaporator simulation model accounting for refrigerant and one dimensional air distribution", NISTIR 89-4133, NIST, 1989.
- [5] B. Youn, H. Y. Park and C. H. Kim, "Analysis model of dry surface cross-flow fin-tube heat exchanger by tube-by-tube method", Proceedings of the SAREK 1998 summer annual conference, pp. 1339~1404, 1998.
- [6] B. Youn, Y. S. Kim, H. Y. Park and H. Y. Park, "Experimental study of performance characteristics of various fin types for fin-tube heat exchanger", Proceedings of the SAREK, Vol. 11, No. 4, pp. 484~491, 1999.
- [7] B. Youn, H. Y. Park, K. C. Yoo and Y. C. Kim, "Air-conditioner cycle simulation using tube-by-tube method", Proceedings of the SAREK, Vol. 11, No. 4, pp. 499~510, 1999.
- [8] W. Vance Payne and Dennis L. O'Neal, "Multiphase Flow of Refrigerant 410A Through Short Tube Orifices", ASHRAE Transactions, pp. 66~74, 1999.
- [9] S. H. Kil, B. Youn and K. C. Yoo, "Selection of capillary tubes of air-conditioning system for the R407C and R410A refrigerants", Proceedings of the SAREK 1999 winter annual conference, pp. 87~94, 1999.