에너지공학, 제15권 제3호(2006)
Journal of Energy Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 154~159 (2006)

PWM 스크롤압축기를 적용한 시스템 에어컨의 냉방운전 시 압축기 토출온도에 대한 상관식 개발

권영철† · 박삼진 · 고국원* · 박병권 · 김대훈*** · 윤백****

선문대 기계공학부, *선문대 제어계측공학과, **선문대 대학원, ***산업기술시험원, ****삼성전자

(2006년 4월 20일 접수, 2006년 7월 1일 채택)

Correlation on Compressor Discharge Temperature of System A/C Applying PWM Scroll Compressor in Cooling Mode

Young Chul Kwon†, Sam Jin Park, Kuk Won Ko*, Byung Kwon Park, Dae Hun Kim*** and Baek Youn****

Division of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea
**Department of Control and Measurement Engineering, Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea*
***Graduate School, Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea*
****Energy Evaluation Team, Korea Testing Laboratory, Seoul 152-848, Korea*
*****System Appliances Division, Samsung Electronics, Suwon 442-742, Korea*

(Received 20 April 2006, Accepted 1 July 2006)

요 약

본 연구는 PWM 방식의 스크롤 압축기를 적용한 에어컨 시스템의 압축기 운전주기, 실내 온도, 그리고 실외온도를 변화시키면서 시스템 에어컨의 최적효율을 나타내는 압축기 토출온도 상관식을 도출하고자 실험연구를 수행하였다. 실험은 실내 및 실외 온도변화에 따른 시스템의 성능 및 압축기 토출온도를 측정하고자 다양한 온도를 설정하였다. 압축기 토출온도는 로딩듀티와 실외온도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하였다. 로딩듀티(loading duty)와 실외온도 변화에 따른 압축기 토출온도는 실내온도 변화보다 실외온도의 변화에 더 크게 변화하였다. 압축기 토출온도 상관식은 실외온도, 실내온도, 그리고 로딩듀티의 함수로 표현되었으며, 실험으로부터 획득된 압축기 토출온도와 최대 3°C 이내에서 만족함을 확인하였다.

주요어 : 압축기, 상관식, 토출온도, 시스템에어컨, 스크롤

Abstract — An experimental study has been performed to investigate the correlation on compressor discharge temperature of capacity modulated system A/C in cooling mode. Indoor and outdoor temperatures, the cooling capacity, compressor discharge temperature and loading time are measured by the psychrometric calorimeter. The system is controlled by applying the scroll compressor operated by PWM valve and loading duty. With decreasing outdoor temperature, the cooling capacity increases. But, with decreasing indoor temperature, it decreases. According to the increase in outdoor temperature and loading duty, compressor discharge temperature increases. From these experimental data, the correlation on compressor discharge temperature is proposed. The correlation obtained from the present study is agreed with the experimental data within 3°C.

Key words : Compressor, Correlation, Discharge temperature, System A/C, Scroll

†To whom correspondence should be addressed.
Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea
Tel: 041-530-2396
E-mail: yckweon1@sunmoon.ac.kr

1. 서 론

냉동공조 산업은 사람들의 생활수준의 향상과 산업기술의 고도화 및 경제발전으로 쾌적한 주거환경 및 작업환경을 조성하는데 필요한 기술 분야이므로 그 중요성과 가치가 고조되고 있다. 최근 에어컨 등 냉방기 사용이 급증하면서 여름철 전력수요가 집중되어 연중 최고치를 기록하는 등의 전력공급의 어려움이 나타남에 따라 에너지소비 효율등급이 상향조정되고 있고, 더욱이 환경 및 에너지 문제로 관련기술의 고효율화가 더욱 강조되어 에어컨 등과 같은 공조기의 냉난방 성능 및 에너지 소비효율 향상이 업계의 최대 관심사이다.

에너지 절약이 강조됨에 따라 에어컨의 냉난방 성능과 전력 소비에 가장 큰 영향을 미치고 있는 압축기의 성능개선을 위해 다양한 압축방식 및 형태를 가진 새로운 압축기들이 소개되는 등 압축기의 개발에 따른 효율향상이 중요시되고 있다. 일정 냉방능력을 유지하도록 설계된 정속형 공조기는 냉방기간 중 시간에 따라 연속적으로 변하는 외기부하에 적절히 대응하지 못하여 실내온도가 설정온도에 도달하면 압축기의 운전이 정지되고 외기부하의 증가에 의해 다시 실내온도가 변하면 압축기가 운전되는 on-off 운전방식을 갖는다. 압축기의 종류에 따라 약간 차이가 있지만 모터 기동 시 토크는 운전시의 약 2~3배에 이르므로 시동 및 정지운전에 따른 소비전력 증가가 공조기의 운전비용을 증대시키는 주원인이 된다. 따라서 외기부하에 적절히 대응하고 냉난방 기능을 완전히 수행하기 위한 방법으로 가변 압축기를 사용한 시스템이 확대되고 있는 추세이다.

Bahel and Zubair[1]는 정속 열펌프의 계절성능계수를 측정하여 에너지 절약의 관점에서 인버터 시스템과 비교하여 인버터 열펌프 시스템은 전체 운전시간의 22%가 저속에서 운전되어 단속운전손실을 11% 정도 감소시킬 수 있었으며, 정속 열펌프 시스템과 비교하여 24%의 에너지 절감효과가 있다고 하였다. Rice amd Fisher[2]는 정속 압축기를 사용하는 것보다 가변속 압축기를 사용할 경우 전체적인 에너지 절약효과가 약 26.7%에 이른다고 보고하였다. Lee *et al.*[3]은 디지털 스크롤 압축기를 이용한 시스템 멀티에어컨의 경우, 냉난방 운전 시 부하량에 따른 압축효율의 변화가 크지 않아 부하가 적은 영역과 큰 영역에서의 운전이 모두 효과적임을 보고하고 있다. Han *et al.*[4]은 시뮬레이션을 통한 멀티 히트 펌프 시스템에 대한 냉난방 성능예측에 관한 연구를 수행하였고, Kim *et al.*[5]은 압축기 제어를 위해 멀티형 공조 시스템의 저압측 압력을 사용하였다. 그리고 Choi *et al.*[6]은 압축기 입구 과열도를 사용하여 멀티 공조시스템의 용량가변에 대하여 연구하였다.

용량가변 방식은 비선형과 선형 방식으로 구분할 수 있다. 비선형 방식은 부하의 경/중에 따라 2단계 이상 또는 연속적으로 자동 변화시킬 수 있으나, 부하에 따라서 선형적으로 압축기의 용량을 제어할 수 없는 방식으로, 2단 압축기형, 극수변환, 그리고 실린더 언로드 방식 등이 있다. 한편 선형 방식은 부하에 따라 선형적으로 압축기의 용량을 제어할 수 있는 방식으로서, 회전수 제어형과 부하에 따라서 실린더 압축 및 비압축과정을 제어하는 로딩방식이 있다.

본 연구에 적용된 압축기는 PWM(pulse width modulation) 밸브를 이용하여 상부 스크롤의 로딩/언로딩시간(로딩듀티)을 조절하여 시스템 능력을 변환하는 방식의 스크롤 압축기로 PWM 밸브의 제어 방식이 on/off이므로 일반적인 인버터 방식과는 달리 전력변환에 따른 전력소비를 줄일 수 있다.

그러나 PWM 방식의 압축기를 시스템 에어컨에 적용하기 위해서는 다양한 실내외 온도조건에서 시스템의 운전특성을 조사할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 PWM 방식의 스크롤 압축기를 적용한 시스템의 성능을 조사하고 압축기 토출온도를 이용한 시스템 상관식을 도출해보려고 한다.

2. 실험방법 및 장치

본 연구에서는 시스템에어컨의 냉방특성을 보다 정확히 조사하기 위하여 공기엔탈피식 칼로리미터(Fig. 1)를 이용하였다. 시험 에어컨의 실내기와 실외기는 항온항습실의 실내측 및 실외측에 각각 설치되었으며, 각 실의 건/습구온도가 설정값의 허용범위 내에서 일정하게 유지되도록 제어하였다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 시스템에어컨의 개략적인 사이클과 열전대 및 압력계의 계측위치를 나타내고 있다. 본 실험에 사용된 시스템은 4방향 천정부착형으로

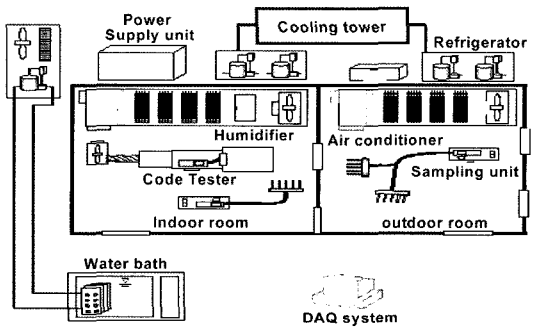

Fig. 1. Schematic of experimental apparatus used in this present study.

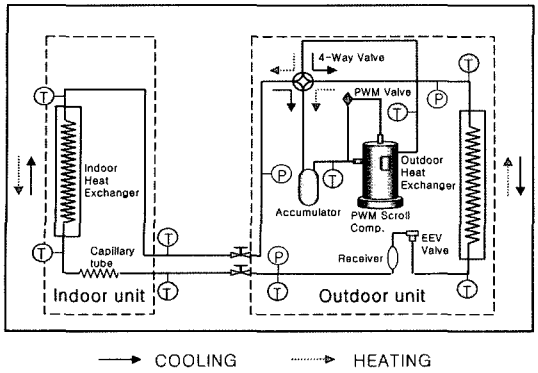

Fig. 2. Schematic of system air-conditioner used in the present study.

압축기와 실내기에 유량을 조절하여 공급하는 전자팽창밸브(EEV) 및 PWM방식 스크롤 압축기(3 kW), 실내외 열교환기로 구성되어 있다. 실내기는 열교환기, 송풍기, 모터, 모세관 등으로 구성되어 있으며, 열교환기는 1.4피치 슬릿핀으로 2단 12열로 구성되어 있다. 모세관은 열교환기 전체의 온도분포를 맞추기 위하여 Φ2.0×500 mm와 Φ2.0×300 mm의 2가지로 설치하였다. 실외기는 압축기, 열교환기, Accumulator, 사방밸브, EEV, 송풍기, 모터 등으로 구성되어 있으며, 열교환기는 1.7피치 2단 48열로 구성되어 있다. 압축기는 PWM 방식으로 용량가변을 위한 EEV는 0~2000 step의 개도로 작동된다.

냉방특성을 분석하기 위하여 압축기의 운전주기(7가지) 및 전자팽창밸브의 개도(5가지)를 조절하기 위한 컨트롤러를 구성하였다. 압력은 압축기 입출구와 EEV 출구에서 측정하며, 열교환기를 지나는 냉매의 압력강하와 배관 내 압력강하는 상대적으로 적으므로 무시하였다. 또한 실험으로부터 압축기 입출구, EEV 전후단, 열교환기 입출구 및 중간지점과 실내기와 열교환되는 공기의 입출구의 건습구 온도를 측정하였다. 소비전력은 디지털 파워메터를 이용하여 측정하였다.

본 연구에서의 실험조건은 Table 1과 같으며, 실내외 8가지 온도조건에서 압축기 로딩듀티를 50%에서 100%까지 10%씩 변화시키면서 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 로딩듀티 70% 이하를 저로딩듀티로 80% 이상을 고로딩듀티로 구분하였다. 각 온도조건에서 시스템을 운전하여 운전주기별로 전자팽창밸브 개도를 수동 조절하면서 성능과 COP가 최적인 조건(변곡점 형태)을 찾아 운전하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3과 Fig. 4는 실내온도 및 실외온도별 로딩듀티 변화에 대한 냉방능력을 보여주고 있다. 실내온도 고정(Fig. 3) 시 실외온도가 감소함에 따라 냉방능력은 증가한다. 실내온도 27.0°C의 경우(실외온도 43.0°C의 능력을 기준)에 실외온도가 43.0°C에서 35.0°C로 감소하면 능력은 약 7~8%, 실외온도가 29.0°C로 감소하면 약 11~17% 정도, 실외온도가 21.0°C로 감소하면 약 16~23% 증가하였다. 이것은 실외온도가 낮아짐에 따라 응축온도와 압력의 감소로 압력비가 낮아지게 되어 압축일은 감소하고 증발기 입구측 엔탈피는 증가하여 냉방능력이 증가되기 때문이다. 실외온도 35.0°C의 경우(실내온도 21.0°C의 능력을 기준)에 실내온도가 21.0°C에서 24.0°C로 증가하면 능력은 약 8~15%, 실내온도가 27.0°C로 증가하면 약 22~28%, 실내온도가 32.0°C로 증가하면 약 38~42% 증가하였다. 이것은 실내온도가 높아짐에 따라 증발온도가 상승하게 되어 압축일은 감소하고 과열도가 증가하여 냉방능력이 증가되기 때문이다. 또한 로딩듀티가 증가함에 따라 Fig. 3과 Fig. 4의 능력은 거의 선형적으로 증가하고 있다.

Fig. 5는 실외온도 및 로딩듀티 변화에 대한 압축기 토출온도를 나타내고 있다. 실외온도 변화에 대해 압축기의 로딩듀티가 증가함에 따라 압축기 토출온도는 증가하는 경향을 보여준다. 실외온도 21.0°C에서 압축기 토

Table 1. Experimental conditions.

Condition	Indoor room		Outdoor room	
	Dry bulb (°C)	Wet bulb (°C)	Dry bulb (°C)	Wet bulb (°C)
Fixed indoor temperature	27.0±0.3	19.5±0.2	21.0±0.3	13.1±0.2
			29.0±0.3	19.5±0.2
			35.0±0.3	24.0±0.2
			43.0±0.3	30.0±0.2
Fixed outdoor temperature	21.0±0.3	14.6±0.2	35.0±0.3	24.0±0.2
	24.0±0.3	17.0±0.2		
	27.0±0.3	19.5±0.2		
	32.0±0.3	23.6±0.2		

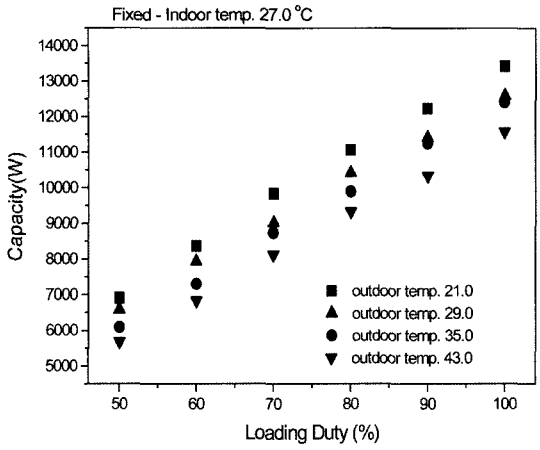

Fig. 3. Capacities on outdoor temperature and loading duty.

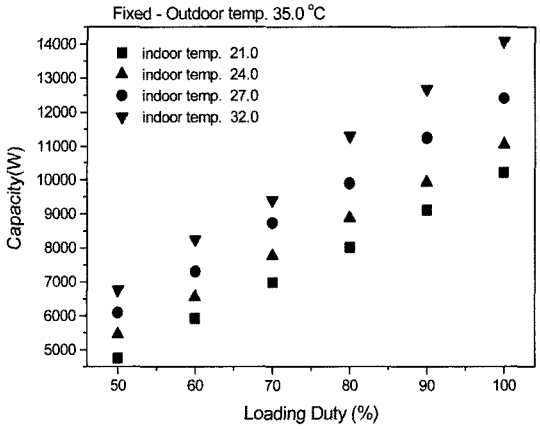

Fig. 4. Capacities on indoor temperature and loading duty.

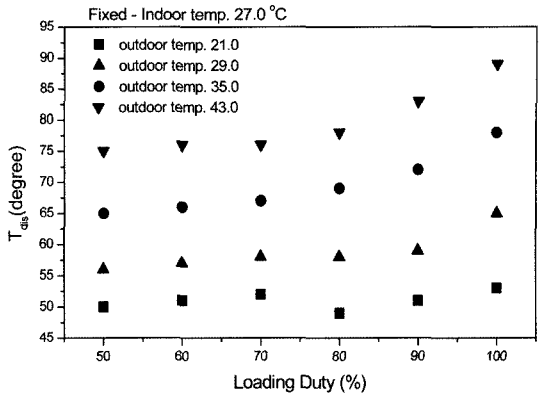

Fig. 5. Compressor discharge temperatures on loading duty under outdoor temperatures.

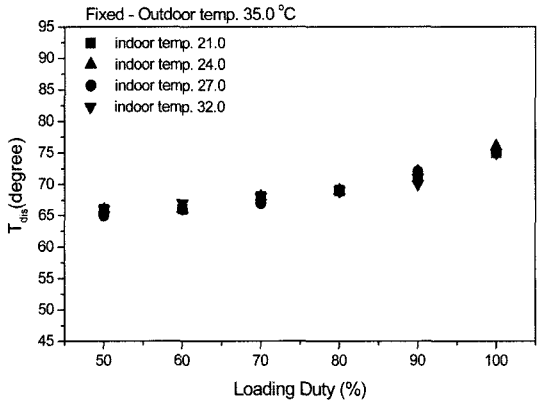

Fig. 6. Compressor discharge temperatures on loading duty under indoor temperatures.

출온도는 저 로딩듀티 영역에서 50~52°C로 또한 고 로딩듀티 영역에서 49~55°C로 증가하였으며, 실외온도가 43.0°C로 증가하게 되면 압축기 토출온도는 저 로딩듀티 영역에서 75~78°C로 또한 고 로딩듀티 영역에서 79~88°C까지 증가하였다. 압축기 토출온도는 로딩듀티 80% 이상의 로딩듀티 구간에서 다소 크게 증가하는 경향이 나타난다. 특히 실외온도가 낮은 경우(21.0°C)에 로딩듀티 70~80% 구간에서 압축기 토출온도는 감소하였다가 다시 재상승하는 경향을 확인하였다. 이는 시스템의 실외 송풍기 특성(고 로딩듀티에서 실외기 팬속도는 둘 다 900 rpm, 저 로딩듀티에서는 900 rpm과 450 rpm으로 작동)으로써 실외온도 조건이 21°C로 낮은 온도의 외기유입으로 인해 압축기 토출온도가 낮아졌기 때문이다. 이는 실외 열교환 능력을 충분히 가지고 있음에도 불구하고 높은 로딩듀티에서 실외 송풍팬의 회전이 증대되어 시스템의 운전에 있어 오히려 효율을 저하를 유발한 결과이다.

Fig. 6은 실내온도 및 로딩듀티 변화에 대한 압축기 토출온도를 나타내고 있다. 실외온도 변화와는 달리 실내온도 변화에 대해서는 압축기 토출온도의 변화폭이 미미하게 사이클이 운전되고 있음을 보여준다. 실내온도 21.0°C에서 압축기 토출온도는 저 로딩듀티 영역에서 64~66°C로 또한 고 로딩듀티 영역에서 65~75°C로 증가하였으며, 실내온도가 32.0°C로 증가하게 되어도 저 로딩듀티 영역에서 66~68°C로 또한 고 로딩듀티 영역에서 67~77°C 정도로 증가폭은 크지 않았다. 압축기의 로딩듀티가 증가함에 따라 압축기 토출온도는 Fig. 5와 같이 증가하는 경향을 보여준다.

Fig. 7은 여러 로딩듀티에서 실외온도 변화에 따른 압축기 토출온도를 나타내고 있다. 실외온도에 의해서는 로

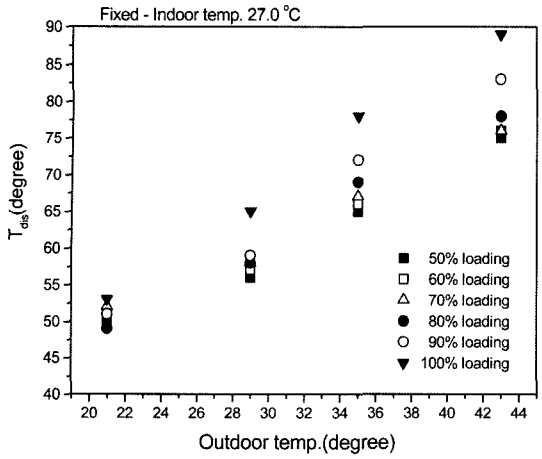

Fig. 7. Compressor discharge temperatures on outdoor temperatures under loading duties.

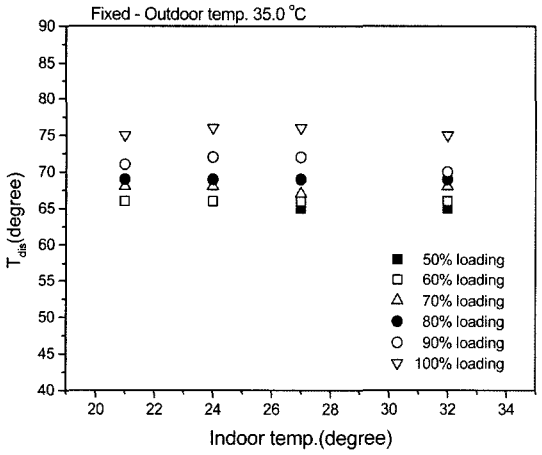

Fig. 8. Compressor discharge temperatures on indoor temperatures under loading duties.

딩듀티가 증가함에 따라 압축기 토출온도는 거의 선형적으로 증가하는 것을 보여주고 있다. 실외온도가 증가할수록 압축기 토출온도의 증가폭도 크게 높아졌다. Fig. 8은 여러 로딩듀티에서 실내온도 변화에 따른 압축기 토출온도를 나타내고 있다. 모든 영역에서 실험데이터의 최대/최소 온도변동 폭은 로딩듀티 90%일 때 2℃ 이내이며, 그 외 로딩듀티에서는 1℃ 이내로 실외온도조건(Fig. 7)에 대한 압축기 토출온도 상승경향에 비해 실내온도조건(Fig. 8)에 대한 압축기 토출온도 변동은 1~2℃ 이내로 완만하였다. 그리고 로딩듀티가 높아짐에 따라 압축기 토출온도는 다소 증가함을 확인할 수 있었다.

PWM 방식에 대한 압축기 토출온도는 로딩듀티와 실외온도가 증가함에 따라 서서히 증가하는 경향을 나타내었으며 실내온도가 증가함에 따라 미소하게 증가하는 경향이 관찰되었다. 본 연구에서 압축기 토출온도를 이용한 상관식을 구성하기 위해서 앞 절에서 획득한 실험의 결과 값을 바탕으로 압축기 로딩듀티, 실내 및 실외온도 조건 등을 변수로 하는 관계식을 구하고자 하였다. 아래 상관식은 위의 실험결과들을 토대로 토출온도에 영향을 크게 미치는 로딩듀티, 실외온도, 실내온도의 함수형태로 표현한 상관식이다. 상관식의 계수는 최적 압축기 토출온도 데이터를 이용하여 획득하였다.

$$T_{dis}=[(\text{Loading duty}\times C_1)+(T_{out}-35)\times C_2 +(T_{in}-27)\times C_3]+C_4$$

고로딩듀티 영역 - C_1 : 2.55, C_2 : 1.50, C_3 : 0.25, C_4 : 49

저로딩듀티 영역 - C_1 : 1.75, C_2 : 1.18, C_3 : 0.10 C_4 : 57

Fig. 9는 실외온도 변화 시 각 로딩듀티에서 실험값과 상관식에 의해 구해진 목표 압축기 토출온도를 비교한 그림이다. 상관식을 작성함에 있어 실외기 송풍량에 따라 큰 영향을 미치므로 저 로딩듀티영역과 고 로딩듀티영역을 구분하여 계산하였다. 상관식의 압축기 토출온도는 로딩듀티 증가와 실외온도 증가에 따라 저 로딩듀티영역과 고 로딩듀티영역에서 실험값을 잘 나타내고 있다. 본 연구에서 제시된 상관식은 로딩듀티가 5% 증가함에 따라 0.875~1.275℃의 증가율을, 실외온도가 1℃ 증가함에 따라 1.18~1.50℃의 증가율을 나타내었다. 또한, 실내온도가 1℃ 증가함에 따라 0.10~0.25℃의 증가율을 보이고 있다. 실제 운전 시 압축기 토출온도와 상관식은 저 로딩듀티영역에서 0.1~0.8℃ 이내의 편차를 보였다. 최대 편차는 실외온도가 35℃인 고 로딩듀티영역

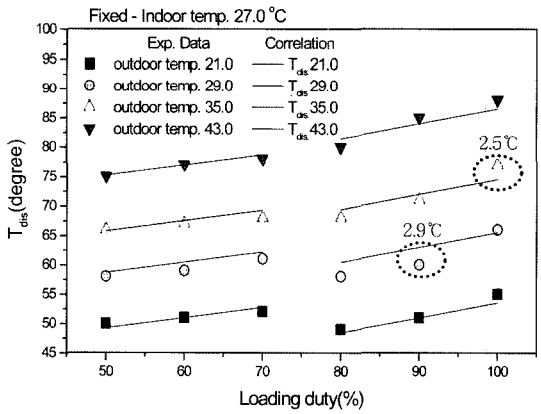

Fig. 9. Comparison of correlation with experimental data.

에서 2.9℃의 온도편차를 보였다. 그림으로부터 개발된 상관식은 전 로딩영역에서 실험데이터를 잘 추정하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 시스템 제어 알고리즘에 이를 적용하게 되면 보다 안정적이고 능동적으로 시스템 제어가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 PWM 방식의 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 압축기 운전주기, 실내 온도, 그리고 실외온도를 변화시키면서 시스템에어컨의 최적효율을 나타내는 압축기 토출온도 상관식을 도출하고자 실험연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실외온도가 감소함에 따라 냉방능력은 증가 하였고, 실내온도가 감소함에 따라 냉방능력은 감소하였다.

(2) 여러 실내, 실외온도 조건에서 로딩듀티가 증가함에 따라 냉방능력은 증가하였다.

(3) 압축기 토출온도는 로딩듀티와 실외온도가 증가함에 따라 증가하였다. 로딩듀티와 실외온도 변화에 따른 압축기 토출온도는 실내온도 변화보다 실외온도의 변화에 더 크게 변화하였다.

(4) 압축기 토출온도 상관식은 실외온도, 실내온도, 그리고 로딩듀티의 함수로 표현되었으며, 실험으로부터 획득된 압축기 토출온도와 최대 3℃ 내에서 만족하였다. 개발된 상관식을 시스템 알고리즘에 적용하면 안정적이고 능동적으로 시스템의 제어가 가능할 것이다.

참고문헌

1. Bahel, V.; Zubair, S.M. "An Assessment of Inverter Driven Variable Speed Air Conditioners: Sample Performance Comparison with a Conventional Systems", ASHRAE Trans., 1989, 95, 455-464.
2. Rice, C.K.; Fisher, S.K. "Comparative Analysis of Single and Continuously Variable-Capacity Heat Pump Concepts", Proc. of the DOE/ORNL Heat Pump Conference, 1985, 57-65.
3. Lee, Y.S.; Jun, Y.H.; Kim, D.H.; Chang, K.S.; Youn, B.; Moon, J.M.; Hong, J.T.; Oh, M.D. "An experimental study on the cooling and heating characteristics of system air-conditioner using the digital scroll compressor", Proceeding of the SAREK, 2002, 575-580.
4. Han, D.Y.; Kwon, H.J.; Ha, S.C. "Design and performance prediction of the multi-type heat pump system", Proceeding of the SAREK, 1999, 515-520.
5. Kim, S.Y.; Kim, M.S. "Capacity modulation of a multi-heat pump system using PID control with fuzzy logic", SAREK, 2001, 13, 810-817.
6. Choi, J.M.; Kim, Y.C.; Ha, J.H. "Experimental study on superheat control of a variable speed heat pump", SAREK, 2001, 13, 233-241.