

이산화탄소를 적용한 승용자동차 냉방시스템의 성능특성에 관한 연구

이호성¹, 조중원¹, 원종필¹, 이무연^{1*}
¹자동차 부품 연구원 열제어시스템 연구센터

Study on Cooling Performance Characteristics of Air Conditioning System Using R744 for a Passenger Vehicle

Ho-Seong Lee¹, Chung-Won Cho¹, Jong-Phil Won¹ and Moo-Yeon Lee^{1*}

¹Thermal Management System Research Center, KATECH

요약 본 연구의 목적은 이산화탄소를 적용한 자동차용 냉방시스템의 냉방 성능특성을 고찰하는 것이다. 특히 자동차의 실도로 운전 조건을 모사할 수 있도록 실험 조건을 선정하였으며 실제 자동차에 적용된 이산화탄소용 냉방시스템에 대하여 다양한 냉방성능 실험을 진행하였다. 결과적으로, 가스쿨러 입구 공기온도가 증가할수록 냉방용량과 COP는 감소하였고 증발기 입구 공기온도가 증가할수록 냉방용량과 COP는 증가하였다. 또한, 압축기 회전속도가 900 rev/min에서 1800 rev/min으로 증가할수록 냉방용량은 42.2% 증가하였으나 냉방 COP는 55.4% 감소하였다.

Abstract The objective of this study is to investigate cooling performance characteristics of mobile air conditioning system using R744 as an alternative of R-134a. In order to analyze the cooling performance characteristics of the air conditioning system using R744 for a passenger vehicle, the developed air conditioning system using R744 was applied in a real passenger vehicle and tested under various operating conditions with the variation of gas-cooler inlet air conditions, evaporator inlet air temperatures and compressor speeds. As a result, cooling capacity and coefficient of performance (COP) of the tested air conditioning system decreased with the rise of the inlet air temperature of the gas cooler but increased with the rise of the inlet air temperature of the evaporator. In addition, cooling capacity and coefficient of performance (COP) increased by 42.2 % with the rise of the compressor speed from 900 rev/min to 1800 rev/min, but it decreased by 55.4%.

Key Words : Air Conditioning, Compressor, COP (Coefficient of Performance), R744 (CO₂)

기호설명

COP : 성능 (coefficient of performance)
FEM : 차량 전면부 (front end module)
GWP : 온난화지수
(global warming potential)
i : 엔탈피, (kJ/kg)

m : 질량유량 (kg/h)
Q : 풍량, (m³/min)
 \dot{Q} : 열전달률, (W)
Rh : 상대습도 (relative humidity, %)
T : 온도, (°C)
V : 속도, (m/s)

본 논문은 지식경제부에서 지원하는 에너지자원기술개발사업의 일환으로 수행되었음.

*교신저자 : 이무연(myilee@katech.re.kr)

접수일 11년 11월 14일 수정일 (1차 11년 11월 23일, 2차 11년 12월 02일, 3차 11년 12월 05일, 4차 11년 12월 12일)
게재확정일 11년 12월 13일

하첨자

a	: 공기 (air)
c	: 냉방(cooling)
comp	: 압축기 (compressor)
evap	: 증발기 (evaporator)
gas	: 가스쿨러 (gas cooler)
in	: 입구 (inlet)
out	: 출구 (outlet)
p	: 압력 (pressure)
ref	: 냉매

1. 서론

지구온난화로 인한 환경에 대한 관심 증대는 자동차의 배기가스 규제는 물론 자동차 냉난방시스템에 사용되는 냉매에 이르기까지 직접적인 영향을 미치고 있다. 따라서 자동차 업계에서는 다양한 친환경 기술개발을 통하여 지구 온난화 규제를 만족시킬 수 있는 연구를 진행하고 있으며 그동안 자동차 냉방시스템의 냉매로 사용되고 있던 R-134a 냉매를 대체할 수 있는 친환경 냉매의 개발 및 공조시스템의 개발에 박차를 가하고 있다. 이러한 흐름은 국내는 물론 전 세계적으로 발생하는 현상으로 미국, 일본 및 유럽의 여러 냉매 제조 회사들을 중심으로 다양한 친환경 대체 냉매들을 개발하고 있다. 하지만 이러한 냉매들을 차량에 직접적으로 적용하기 위해서는 여러 가지 검증 절차가 필요하고 안정성 및 효율성에 대한 논의가 지속적으로 필요하다.

현재, 유럽공동체위원회(EC)에서 자동차 냉방시스템에 사용되는 화학냉매에 대한 규제법규를 제정 및 공포하고, 지구온난화지수인 GWP (global warming potential)가 150 이상인 냉매를 사용하는 냉방시스템을 장착한 자동차를 대상으로 2017년부터 수출입 규제가 이루어질 것으로 예상되고 있다.[1] 따라서 유럽의 각국을 포함한 일본과 미국 등 여러 나라에서는 이러한 규제에 대응하기 위하여 기존 자동차 냉방시스템에 사용되는 냉매인 R-134a (GWP>1300)를 대체할 수 있는 친환경 냉매를 적용한 냉방시스템을 개발하고 있다. 특히, 작동압력이 고압이라는 단점이 있지만 지구온난화 지수가 1인 이산화탄소를 이용한 자동차용 냉방시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 이산화탄소를 자동차용 냉매로 사용하면 각종 환경규제의 대응에도 유리하다.

Kim et al. (2009)은 이산화탄소를 자동차 냉방시스템 적용을 위한 열교환기 개발 및 성능특성에 관한 실험적 연구를 수행하였다.[2] Park et al. (2003)은 이산화탄소를

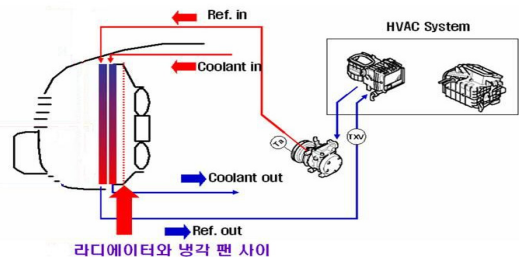
적용한 차량용 냉방시스템에 대한 동적 및 정상상태 특성에 대한 연구를 진행하였다.[3] 하지만 이러한 연구들은 이산화탄소를 자동차 냉방시스템에 적용하기 위한 부품 및 냉매측 현상들을 연구하기 기초적인 연구자료로 활용이 가능하지만 실제 자동차에 적용하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 이산화탄소를 적용한 친환경 냉방시스템을 실제 자동차에 적용하기 위하여 다양한 운행 조건 변화에 따른 성능특성을 고찰하기 위하여 실도로 조건을 모사할 수 있는 실험 조건에서 냉방성능 평가를 진행하였다. 이를 위하여 이산화탄소를 이용한 냉방시스템을 개발하였고, 공기 온도, 습도, 그리고 자동차의 주행 중에 발생하는 풍량 변화를 모사할 수 있는 자동차 공조용 항온/항습 챔버에서 실험을 진행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

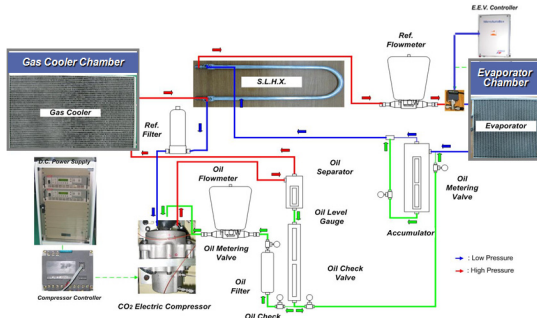
본 연구에서는 이산화탄소를 적용한 냉방시스템의 실차 장착을 위한 사전 단계로 실차의 실도로 운전 조건을 분석하여 실험실에서 벤치 실험을 진행하였다. 실차 운전 조건에서 가장 중요한 변수인 실외 열교환기의 공기 풍속과 실내 열교환기의 공기 풍량 조건을 결정하기 위해서, 차량 전면부의 라디에이터, 응축기, 그리고 응축기 팬으로 구성된 FEM (front end module) 통과 풍속과 HVAC 시스템 풍량 시험을 그림 1에서 보는 것처럼 진행하였다. FEM 통과 풍속을 측정하기 위하여 16 채널의 무지향성 열선풍속계를 라디에이터와 팬 사이에 균일한 위치로 적용하여 측정하였고, 측정 범위는 0 m/s에서 25.0 m/s이다. 본 연구에서 사용된 열선풍속계의 불확실도는 ± 0.15 m/s이다. HVAC 시스템의 풍량 측정 시험은 블로워 (blower)의 입력 전압을 변화시켜가면서 토출 풍량을 측정하였다. 그림 1는 본 연구에서 사용한 FEM 통과 유속 측정 장치의 개략도이다.



[그림 1] FEM 통과 풍속 측정 장치 개략도

[Fig. 1] Schematic diagram of air velocity through FEM

그림 2는 본 연구에서 사용한 실험 장치의 개략도이다. 이산화탄소를 냉매로 사용하기 위한 냉방시스템은 벨트 구동 왕복동식 압축기, 오일 분리기, 가스냉각기, 팽창밸브, 증발기, 어큐뮬레이터, 그리고 내부 열교환기로 구성되었다. 이산화탄소용 벨트 구동 왕복동식 압축기는 행정 체적 33 cc/rev으로 기존의 자동차용 압축기에 사용된 것과 같은 압축 방식이다. 즉 기존 자동차와의 성능비교를 위하여 동일한 방식의 압축기를 장착하였다. 증발기 및 가스쿨러에 적용한 열교환기는 마이크로 채널형상의 4-pass 열교환기를 적용하였다. 가스쿨러 코어크기는 545W×430H×12D mm³이고 증발기 코어크기는 231W×195H×38D mm³이다. 내부 열교환기는 길이 1000 mm의 Co-axial 타입의 열교환기를 적용하였고, 고압측 전열면적은 28.3 mm²이고, 저압측 전열면적은 104.4 mm² 이다. 표 1은 본 연구에서 사용된 냉방시스템의 사양이다.



[그림 2] 실험장치 개략도
[Fig. 2] Schematic diagram of the experimental setup

[표 1] 시스템 사양

[Table 1] Specifications of the tested system

Components	Specifications	
	Evaporator	Capacity (kW)
Core size (mm ³)		W 231 x H 195 x D 38
Gas Cooler	Capacity (kW)	7.5 at 4m/s, 35°C
	Core size (mm ³)	W 545 x H 430 x D 12
Internal HXR	Capacity (kW)	0.5 ~1.5
	Type	Co-axial
Compressor	Type	Reciprocating type External variable displacement
	Displacement (cc/rev)	0~33
Expansion valve	Type	Manually electronic control
	Flow rate (kg/h)	0~250
Accumulator	Pressure (mPr)	Max. 12.5 at 90°C
	Volume (cc)	550

먼저, 냉방시스템의 성능을 측정하기 하기위하여, 압축기 토크 및 회전수는 ONOSOKKI Co.사에서 만든 SS-201 토크미터와 TS-2700 타코미터를 이용하여 측정하였으며, LS산전에서 만든 인버터를 이용하여 회전수를 제어하였다. 냉매의 질량유량은 코리올리 효과를 이용한 냉매 질량유량계를 이용하였다. 질량유량계의 불확실도는 ±0.15% 이고, 측정 유량 범위는 최대 680 kg/h까지 측정 가능하다. 냉방시스템 각부의 압력은 절대압력 25MPa까지 측정 가능한 불확실도 ±0.1%의 PI3H 압력센서를 사용하였고, 각부의 온도는 고압 유동 배관 내의 정확한 온도 측정을 위해 초절연성 및 고내압성의 T타입 열전대를 냉매 배관에 직접 삽입하여 온도와 압력을 측정하였다. 또한, 실제 자동차 주행중의 실내외온도 및 습도 조건을 구현하기 위한 가스쿨러/증발기용 항온항습 챔버에 증발기와 가스쿨러를 설치하여 열교환기 시험부 전면에서 유입되는 공기 온/습도 조건을 일정하게 유지시켰고, 열교환되어 나오는 공기 온도는 열교환기 후면에 위치한 열전대를 이용하여 측정하였다.

표 2는 본 연구에서 사용한 실험 조건이다. 압축기 회전수는 자동차의 IDLE 및 주행 조건을 반영하기 위하여 900 rev/min에서 1800 rev/min로 변경하면서 실험을 진행하였고, 외기 온도27, 35, 42°C로 변경하면서 실험을 진행하였다. 여름철 승객들이 타고 있는 승차 공간의 냉방 부하에 따른 증발 용량을 관찰하기 위하여 실내 공기는 상대습도 50%에서 공기온도 27, 35, 42°C로 변경하였고, 풍량은 4.17 m³/min에서 7.5m³/min로 변경하면서 실험을 진행하였다.

표 3는 본 연구에서 사용한 계측장치 및 불확실도를 나타내고 있다. 냉방시스템 및 승차공간 내부 온도는 불확실도 ±0.1 °C의T-type 열전대를 이용하여 측정하였고, 압력은 불확실도 ±0.1%의 PI3H 압력계를 사용하였다. 모든 온도 및 압력은 Gantner의 Data logger를 이용하여 수집하였으며 Labview로 구성된 프로그램에서 실시간으로 모니터링 되었다. 본 연구에서 수행된 모든 실험은 냉방시스템의 과열도를 5°C로 유지하였다.

[표 2] 실험 조건

[Table 2] Test conditions

Components	Conditions
Compressor speed (RPM)	900, 1800
V _{gas,in} (m/s)	2, 4
T _{gas,in} (°C)	27, 35, 42
Rh _{evap} (%)	50
T _{evap} (°C)	27, 35, 42
Q _{evap} (m ³ /min)	4.17, 7.50

[표 3] 계측장치 및 불확실도

[Table 3] Test equipments and uncertainty of the experimental parameters

Items	Accuracy
Thermocouples (T-type)	± 0.1 °C
Pressure gage (Sensors, PI3H)	±0.1% (Max 25 MPa)
Mass flow meter (Coriolis type)	±0.15%, Max 680 kg/h
Data logger (Gantner)	E. Gate IP (V3) (2.93W @ 12.06 V)

2.2 실험계산

냉방시스템의 냉방용량 및 냉방 COP를 계산하기 위하여, 가스쿨러 출구에 불확실도 ±0.15% 를 가지는 질량유량계 (Coriolis type mass flow meter)를 설치하여, 운전 중 냉방 시스템의 냉매 질량유량을 측정하였다. 냉방용량은 측정된 냉매의 엔탈피를 이용하여 식 (1)과 같이 계산하였고, 공기측 냉방용량은 증발기 입/출구의 공기온도차와 냉매의 질량유량을 이용하여 식 (2)와 같이 계산하였다. 냉매측 및 공기측 냉방용량이 열평형 5%안에 비교적 잘 일치하였다. 냉방 COP (coefficient of performance)는 식 (3)을 이용하여 계산하였다. 여기서 압축기의 소비전력 (compressor power)은 압축기를 구동하는데 사용된 모터의 소비전력을 이용하여 계산하였다.

$$\dot{Q}_{ref} = \dot{m}_{c,ref} \Delta i_{c,ref} \quad (1)$$

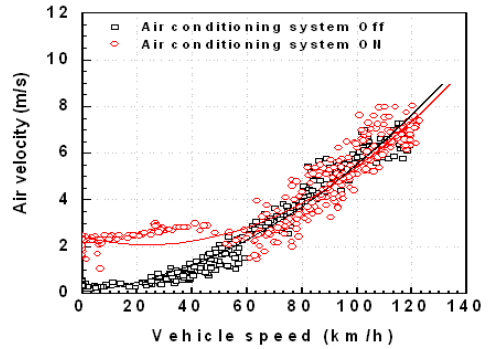
$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a C_{p,a} (T_{a,in} - T_{a,out}) \quad (2)$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ref}}{W_{comp}} \quad (3)$$

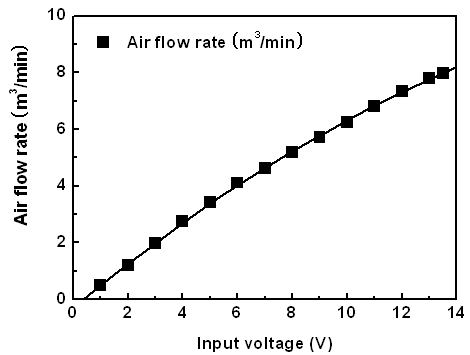
3. 실험결과 및 고찰

3.1 FEM 통과 풍속 및 풍량

그림 3는 FEM 통과 풍속 측정 및 HVAC 시스템 풍량 실험 결과를 보여주고 있다. 그림 3(a)의 결과를 보면, 자동차의 Idle 상태에서 FEM에 위치한 냉각 팬의 영향으로 FEM 통과 풍속은 평균 2.3 m/s로 측정되었으며 고속운전 조건인 100 km/h 자동차 주행속도에서 FEM 통과 풍속은 평균 6.0 m/s로 측정되었다. 본 결과는 냉방시스템 평가시 가스 쿨러쪽 입구 공기조건으로 사용되었다. 그림



(a) Air velocity of the FEM



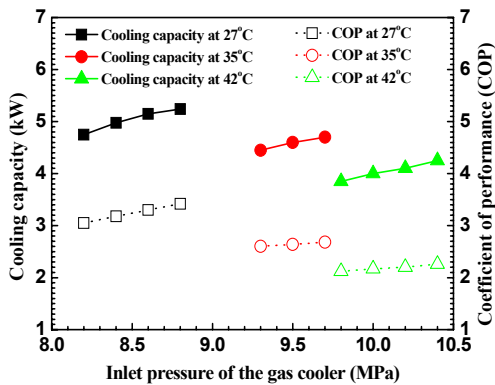
(b) Air flow rate of the HVAC system

[그림 3] FEM 통과 풍속 및 HVAC 시스템 풍량 측정 결과
[Fig. 3] Test results of the air flow rate of the HVAC system and air velocity of the FEM

3(b)에서 보면, HVAC 시스템의 실내 열교환기를 통과하는 풍량 측정은 ब्लो워 팬의 작동 전압을 1 V에서 13 V까지 변화시켜가면서 실험을 진행하였다. 팬 입력전압 6V에서 4.17 m³/min 풍량이 측정되었고, 12V에서 7.50 m³/min 풍량이 측정되었다. 본 실험을 통해서 얻어진 데이터는 자동차의 실도로 운전조건을 모사하기 위한 기초 평가로 본 연구에서 개발된 이산화탄소를 적용한 자동차 냉방시스템의 실험 조건으로 사용되었다.

3.2 가스쿨러 입구 공기 온도 변화에 따른 성능변화

기존의 연구를 분석하면, 자동차 냉방시스템에 이산화탄소를 적용할 경우 냉방성능에 영향을 미치는 핵심 인자 중 하나로 가스쿨러 입구 공기의 온도변화라고 보고하고 있으며, 본 연구에서도 가스쿨러 입구 공기온도에 따른 냉방시스템의 성능 특성 변화 고찰하였다.[4-6] 일반적으로 내연기관 자동차는 엔진에 의해 압축기가 구동되는 Belt-driven 방식이므로 IDLE상태에서 냉방성능이 취약하다.



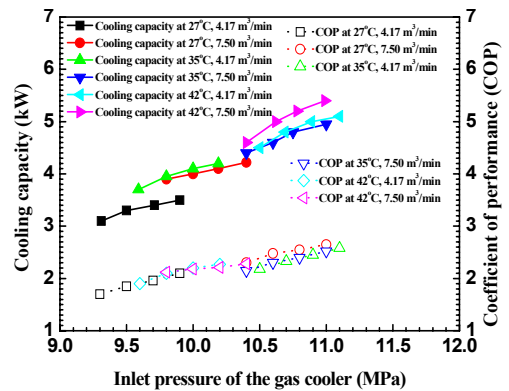
[그림 4] 가스쿨러 입구 공기온도 변화에 따른 냉방시스템의 성능 특성 변화
 [Fig. 4] Performance of the air conditioning system with the gas-cooler inlet air temperature

따라서 본 연구에서도 Idle 상태(900 rev/min), FEM 통과 유속 2.3 m/s, 증발기 입구 공기온도 27°C 및 공기 풍량 7.50 m³/min 조건에서 냉방 성능 특성 변화를 고찰하였다. Fig. 4에서 보면 가스쿨러 입구 공기온도가 증가할수록 냉방용량과 COP는 감소하였고, 동일한 가스쿨러 입구 공기 온도에서는 가스쿨러 입구 압력증가에 따라 냉방용량과 COP는 증가하였다. 가스쿨러 입구 공기온도 27 °C에서, 입구 냉매 압력이 8.2MPa에서 8.7MPa로 증가할 경우 냉방용량은 9.4% 증가하였고, COP는 9.7% 증가하였다. 이러한 이유로는 가스쿨러 입구 압력이 증가할수록 응축용량이 증가하였기 때문이다.

3.3 증발기 입구 공기 온도 변화에 따른 성능 변화

일반적으로 자동차는 외기조건, 주행조건 및 승차자에 의한 다양한 부하들이 자동차의 실내 부하에 영향을 주며, 이것은 증발기로 들어가는 입구 공기 온도에 영향을 주게 되며, 궁극적으로 냉방시스템 성능 변화에 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는, 가스쿨러 입구 공기온도 42°C, 공기 풍속 2.3 m/s 및 압축기 회전속도 900 rev/min 조건에서 증발기 입구 공기온도 및 풍량 변화에 따른 냉방 용량 및 냉방 COP를 고찰하였다.

그림 5에서 보면 증발기 입구 공기온도가 증가할수록 냉방용량과 COP는 증가하였고, 동일한 증발기 입구 공기 온도에서도 가스쿨러 입구 압력 증가에 따라 냉방용량과 COP는 증가하였다. 증발기 입구 공기온도 27 °C 및 가스쿨러 입구 압력 9.9MPa에서, 풍량이 4.17 m³/min에서 7.5 m³/min로 증가할수록 냉방용량은 3.5 kW에서 3.9 kW로 11.4% 증가하였다. 또한, 자동차 시험 조건 중 비교적 약

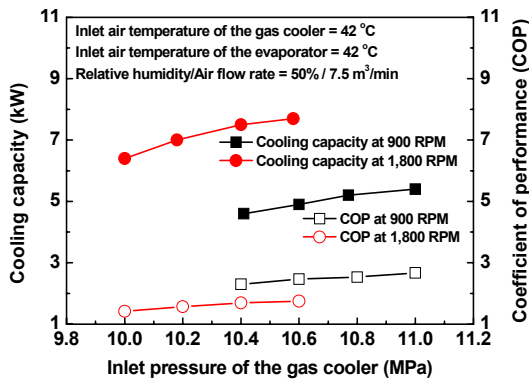


[그림 5] 증발기 입구 공기온도 변화에 따른 냉방시스템의 성능 특성 변화
 [Fig. 5] Performance of the air conditioning system with the evaporator inlet air temperature

조건이라 할 수 있는 실내온도 35°C 이상에서, 냉방 용량 5.0 kW 이상을 확보하였고, 냉방 COP도 2.3 이상 나타났다. 일반적으로 승용자동차의 최대 필요 냉방 부하가 5.0 kW인 것을 감안하면 본 연구에서 개발한 이산화탄소를 이용한 냉방시스템으로 기존의 냉방 부하를 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 압축기 회전속도 변화에 따른 성능 특성 변화

그림 6는 압축기 회전속도 변화에 따른 냉방시스템의 성능 특성변화를 나타내고 있다. 가스쿨러 입구 공기온도 42°C, 증발기 입구 공기 온도 42°C, 증발기 입구 공기 상대 습도 50% 및 공기 풍량 7.5 m³/min 조건에서 압축기 회전속도 변화에 따른 냉방용량 및 냉방 COP를 고찰하였다. 압축기 회전속도가 900 rev/min에서 1800 rev/min으로 증가할수록 냉방용량은 평균 42.2% 증가하였으나 냉방 COP는 평균 55.4% 감소하였다. 또한 동일한 가스쿨러 입구 압력 10.4MPa에서는 압축기 회전속도 900 rev/min에서 1800 rev/min으로 증가할수록 냉방용량은 63.0% 증가하였다. 이러한 이유로는 압축기 회전속도가 증가함에 따라 압축기의 냉방능력이 증가하였고 가스쿨러측 응축효율이 증가하였기 때문이다. 그러나 압축기 회전속도가 증가함에 따라 압축기 일이 증가하여 냉방 COP는 30.1% 감소하였다. 더불어 기존 자동차 냉방시스템의 냉방성능 취약 조건인 Idle 상태에서 (압축기 회전속도 900 rev/min) 냉방 성능 5.5 kW 이상 확보하였고, 냉방 COP도 2.7 이상을 유지함으로써 기존의 내연기관 자동차의 냉방시스템을 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

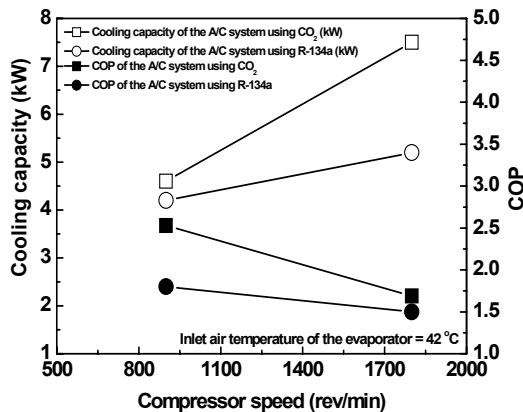


[그림 6] 압축기 회전속도 변화에 따른 냉방시스템의 성능 특성 변화

[Fig. 6] Performance of the air conditioning system with the compressor speed

3.5 기존 내연기관 자동차의 냉방시스템과 성능비교

그림 7은 본 연구에서 개발된 냉방시스템과 기존의 R-134a를 사용하는 냉방시스템에 대하여 증발기 입구 공기온도 42°C에서 압축기 회전수 변화에 따른 냉방성능 특성을 비교하였다.[7] 압축기 회전수가 900 rev/min에서 1800 rev/min로 증가함에 따라, 이산화탄소를 적용한 냉방시스템의 냉방성능은 R-134a를 적용한 냉방시스템에 비하여 우수한 성능을 나타냈다. 즉 압축기 회전수 전 영역에서 냉방용량은 평균 26.9% 증가하였고, 냉방 COP는 평균 26.6% 증가하였다. 그러나 냉방 COP는 두가지 냉매에서 회전수가 증가할수록 압축일의 급격한 증가로 인하여 감소하는 경향을 나타내었다.



[그림 7] 냉매 변경에 따른 냉방시스템의 성능 특성 비교
[Fig. 7] Performances of the air conditioning system with refrigerants

4. 결론

본 연구에서는 이산화탄소를 적용한 냉방시스템을 실제 자동차에 적용하기 위하여 다양한 운행 조건 변화에 따른 성능특성을 고찰하였다. 특히 자동차의 실도로 운전 조건을 모사할 수 있는 실험 조건을 선정하여 다양한 실험을 진행하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 가스쿨러 입구 공기온도가 증가할수록 냉방용량과 COP는 감소하였고, 동일한 가스쿨러 입구 공기온도에서는 가스쿨러 입구 압력증가에 따라 냉방용량과 COP는 증가하였다.
- (2) 증발기 입구 공기온도가 증가할수록 냉방용량과 COP는 증가하였고, 동일한 증발기 입구 공기온도에서도 가스쿨러 입구 압력 증가에 따라 냉방용량과 COP는 증가하였다.
- (3) 압축기 회전속도가 900 rev/min에서 1800 rev/min으로 증가할수록 냉방용량은 평균 42.2% 증가하였으나 냉방 COP는 평균 55.4% 감소하였다.
- (4) 이산화탄소를 적용한 냉방시스템의 냉방성능은 R-134a를 적용한 냉방시스템에 비하여 압축기 회전수 전 영역에서 냉방용량은 평균 26.9% 증가하였고, 냉방 COP는 평균 26.6% 증가하였다. 하지만 냉방 COP는 두가지 냉매에서 회전수가 증가할수록 압축일의 급격한 증가로 인하여 감소하였다.

References

- [1] EU News, "Parliament opts for containment on F-gases", <http://www.euractiv.com>.
- [2] S. C. Kim, D. H. Lee, J. P. Won., "Experimental studies on the performance characteristics of heat exchangers of CO₂ air conditioning system for vehicle", Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 1, pp. 146-153, 2009.
- [3] M. Park, S. C. Kim, D. W. Kim, M. S. Kim., "Studies on the steady state and dynamic characteristics of a carbon dioxide air-conditioning system for vehicles", Transaction of the KSME, Vol. 31, No. 6, pp. 531-538, 2007.
- [4] M. Park, S. C. Kim, D. W. Kim, M. S. Kim., "Studies on the steady state and dynamic characteristics of a carbon dioxide air-conditioning system for vehicles", Transaction of the KSME, Vol. 31, No. 6, pp. 531-538, 2007.
- [5] C.W. Bullard, M. Kim, J. Pettersen., "Fundamental process and system design issues in CO₂ vapor compression systems", Progress in Energy and Combustion Science,

Vol. 30, pp. 119-174, 2003.

- [6] J.K. Lee, D.H. Lee, J.P. Won, H.K. Lee,, "Effects of operating parameters on cooling performance of a transcritical CO₂ mobile air-conditioning system", KSAE spring conference proceedings, 2006.
- [7] D.Y. Han, Y.D. Cho., "Performance analysis of an automotive air conditioning system usig HFC-134a as an alternative refrigerant", Sarek, Vol. 7 (3), pp. 406-420, 1995.

이 호 성(Ho-Seong Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 선임연구원

<관심분야>

자동차 냉각시스템 해석 및 평가, 자동차 열관리

조 중 원(Cho, Chung-Won)

[정회원]



- 1999년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 : 두산중공업 신재생에너지 개발팀
- 2008년 5월 : 에너지기술연구원 고분자 연료전지 연구단

- 2008년 7월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 열제어시스템 연구센터

<관심분야>

친환경 자동차 열관리 시스템 , 연료전지 및 BOP

원 종 필(Won, Jong-Phil)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경희대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 경희대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 2월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 열제어시스템 연구센터 책임연구원

<관심분야>

자동차 냉각장치, 열교환기, 연료전지

이 무 연(Lee, Moo-Yeon)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2007년 2월 : LG연구소(연구원)
- 2010년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2011년 1월 : 고려대학교 기계공학과 (연구교수)
- 2011년 2월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 선임연구원

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 전동식 히트펌프, 신재생에너지 변환시스템, 열/물질전달, 연료전지