

연료전지 자동차용 R-134a 전동식 히트펌프 시스템 개발에 관한 연구

이 준 경^{*1)} · 이 동 혁²⁾ · 원 종 필²⁾

경남대학교¹⁾ · 자동차부품연구원²⁾

A Study on Electronically Controlled R-134a Heat Pump System for a Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

Jun Kyoung Lee^{*1)} · Dong Hyuk Lee²⁾ · Jong Phil Won²⁾

¹⁾Division of Mechanical Engineering and Automation Kyungnam University,
Gyeongnam 631-701, Korea

²⁾Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjung-ri, Pungse-myeon, Choonan-si, Chungnam 330-912, Korea

(Received 20 October 2006/ Accepted 27 November 2006)

Abstract : The main objective of this work is to investigate the characteristics of a heat pump system for fuel cell electric vehicle (FCEV). The present heat pump system adopts an electrically driven compressor running with R134a and uses the heat from the fuel cell stack as the heat source for the exterior heat exchanger. The experimental work has been done with various operating conditions such as different compressor speeds, fuel cell stack coolant temperatures and flow rates. The heating capacity was measured to be from 4 to 10 kW at -20°C ambient temperature, and the outlet temperature of interior heat exchanger was up to 70°C. After 30 seconds from start-up, the system reached a steady state and the heating capacity of 6.8 kW was acquired, and after 90 seconds, the air outlet temperature of interior heat exchanger became 35°C.

Key words : FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle(연료전지 자동차)), Heat pump system(히트펌프 시스템), Electrically driven compressor(전동식 압축기), Plate type heat exchanger(판형 열교환기), Multi flow interior Heat exchanger(평행다류관 실내 열교환기)

Nomenclature

HX : heat exchanger
T : temperature, °C
Q : heat Capacity, kW or kcal/h
W : work, kW or kcal/h
V : flow rate, L/min

Subscripts

comp : compressor
int.hxr : interior heat exchanger
ext.hxr : exterior heat exchanger
int.ao : interior heat exchanger air outlet

1. 서론

현재 화석 연료를 대체할 수 있을 것으로 기대되는 연료전지는 발전에서부터 소형기기에 이르기까지

*Corresponding author, E-mail: jklee99@kyungnam.ac.kr

지 사용 범위가 광범위하다. 그 중 연료전지 자동차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle)의 경우, 내연기관 자동차(ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle)보다 연비가 높고, 배기가스의 배출이 없는 등 장점이 많아 국내외에서 상용화를 위해 활발히 연구가 진행되고 있다. 그러나 실제로 연료전지 자동차의 상용화 목표를 달성하기 위해서는 기존의 내연기관 자동차와 유사한 최고속도, 가속성능, 등판능력을 가짐과 더불어, 냉각 및 공기조화 시스템의 열적 안정을 이루어야 한다. 그 중 연료전지 자동차용 난방 시스템과 관련하여, 기존의 내연기관 자동차와는 다른 것들이 존재하고,¹⁾ 이에 대해 살펴보면 다음과 같다.

차량의 열적 안정성과 관련하여, 기존 내연기관 자동차와 구별이 되는 큰 두 개의 특징이 존재한다. 첫째, 연료전지 자동차에 대해 기존 내연기관 자동차에서 사용되던 기계식 벨트 구동 압축기가 사용될 수 없다는 것이다. 그로인해, 구동 시스템과 별도로 제어되는 전동식 압축기의 사용에 기인하여 차량 정지 시의 겨울철 예열 및 여름철 예냉, 저속에서의 신속한 Cool-down에 따른 향상된 열적 안정수준을 제공할 수 있다. 또한, 전동 압축기의 위치 설정이 자유로워 설계 자유도 및 시스템 최적화가 향상되며 전동 압축기의 특성상 냉매 밀폐성 향상에 따른 시스템 기밀성 향상 및 시스템 신뢰성 확보가 용이하다. 이러한 설계 자유도 확보는 냉난방 시스템 모듈이 계기판의 안쪽이나 차체 바닥 아래에 놓일 수 있어 내부 공간 활용도를 향상시키며 냉난방 시스템의 고 기밀성은 시스템의 통합 모듈화에 기여하는 이점이 있다. 스크롤 타입 전동 압축기의 고효율과 높은 제어성은 차량 속도에 무관하게 안정된 시스템 성능 확보 및 시스템 효율 향상이 가능하다.^{2,4)}

둘째로, 연료전지 자동차의 경우, 동절기 난방 시, 냉각수 온도가 실내를 충분히 난방하기에 부족하다는 것이다. 즉, 기존 내연기관의 냉각수는 100°C 이상인데 반하여, 연료전지 스택의 경우, 작동온도가 80°C 이하라는 제한조건이 존재하기 때문에, 기존의 난방모드에 비해 낮은 냉각수 온도는 실내의 신속한 난방을 방해하게 된다. 이러한 난방

부족은 연료전지 자동차뿐만 아니라, 직접분사식 디젤엔진 자동차의 경우에도 동일하게 나타나고 있다. 시스템 효율이 높은 이러한 종류의 자동차는 냉각수 가열량이 적고, 통상적인 사양들로는 목표 난방 성능을 만족할 수 없으므로 이러한 문제 해결을 위해 열역학적 방법과 전기적 방법을 주로 사용하고 있다.

통상 전기적 방법에 비해 폐열을 이용하는 히트펌프 시스템은 에어컨 시스템을 그대로 이용할 수 있고, 조금 더 높은 효율을 달성할 수 있다는 것을 기존의 연구를 통해 알 수 있고, 그러한 방법들 중 냉매 특성상 높은 열용량을 가지는 자연냉매, CO₂를 사용한 히트펌프 시스템이 좋은 성능을 나타낼 수 있었다.^{2,6)} 그러나 CO₂ 시스템의 경우, 안전성, 대량 생산 및 인프라 구축 등의 문제가 남아있다. 또한 지구 온난화 규제에 대응하기 위해, 현재의 R134a와 비슷한 유체 물성치를 지니지만 GWP(Global Warming Potential)가 작은 신냉매(Fluid H(Honeywell), DP1(Dupon) 등)가 개발이 되고 있다.⁷⁾ 그러나 이 냉매 또한 아직까지는 성능 및 인체에 대한 무해성 등을 검증하는 단계에 있기 때문에, 차세대 냉매로의 대체는 시간이 좀 더 필요할 것으로 보인다.

따라서 본 연구는 연료전지 시스템에 유기적으로 통합된 히트펌프 시스템을 개발하는 것을 목적으로, 전기적인 방법보다는 연료전지 시스템의 폐열을 난방의 열원으로 사용하여 효율적인 난방을 발휘함과 동시에 전동 압축기의 구동에 기인하는 연비의 악화를 억제할 수 있는 전자 제어식 난방 시스템 개발을 목적으로 하였다. 이와 관련하여 CO₂ 및 R134a를 사용하는 히트펌프 시스템의 개발 모두가 의미가 있을 것으로 예상된다. 하지만 본 연구에서는 우선 비교적 시스템 구성이 용이한 R134a를 사용하는 히트펌프 시스템을 구성하였다. 그로부터 스택 냉각수의 조건 변화에 따른 시스템 특성을 파악하여, 향후 신냉매를 사용할 경우에 대비하고, 차후에 자연냉매 CO₂ 히트펌프 시스템 개발에 기초 및 비교 데이터로 본 연구의 결과가 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 주요구성요소

전동식 압축기는 냉매를 압축하는 기계적 기구, 이를 구동하는 전동 모터, 적절한 전류를 공급하는 인버터의 세 부분으로 구성되어 있다. 속도가 쉽게 변하지 않기에 용량 제어를 통해 외부 제어가 이루어지는 기계식 압축기에 비해 전동식 압축기는 스크롤 타입을 채택함으로써 저/중속에서 매우 적은 동력 소모를 하는 특성이 있다.⁴⁾ 본 연구에 사용된 전동식 압축기는 인버터 내장형 스크롤 타입 전동식 압축기로서 최대 허용 회전수는 7,800 rpm, 최대 냉방용량은 6.5 kW이다.

외부 전자제어식 팽창밸브는 PWM 제어 방식으로 작동 외기 온도 범위는 -30~120 °C, 최소 파괴 압력은 98 bar의 특성을 가진다.

Receiver Drier 일체형 평행다류관 응축기(M.F. Condenser)는 전면 풍속 5 m/s에서 15 kW의 방열 성능을 가지며, 냉방 모드에서는 증발기, 난방 모드에서는 응축기 역할을 하는 평행다류관 실내 열교환

기(M.F. Interior Heat Exchanger)는 냉방 모드시에 전면 풍량 480 m³/h에서 5 kW의 냉방능력을 가진다.

난방 모드시에 증발기 역할을 하는 실외 판형 열교환기(Exterior Plate Type Coolant Heat Exchanger)는 연료전지 스택의 폐열을 열원으로 사용하며 최대 5 kW의 전열 성능을 가진다. 이러한 물-냉매 열교환기를 사용하였을 경우, 공기-냉매 열교환기를 사용하였을 경우보다 콤팩트하게 제작을 할 수 있으며, 보통의 히트펌프 시스템의 실외 열교환기의 경우, 동절기에 공기에 포함되어 있는 수증기에 의한 서리 발생으로 그 성능이 많이 떨어지는 문제점이 있는 반면, 물-냉매 열교환기를 이용하면 그러한 것을 배제할 수 있는 장점이 있다.

Table 1에 본 연구에서 설계 제작을 추진한 연료전지 냉난방 시스템의 실내/외 열교환기 및 각종 핵심 부품의 제원을 나타내었다.

2.2 성능평가시험장치

Fig. 4는 전동식 압축기를 사용한 냉방 및 난방 시스템 시제품 성능 평가용 칼로리미터 시스템의 구

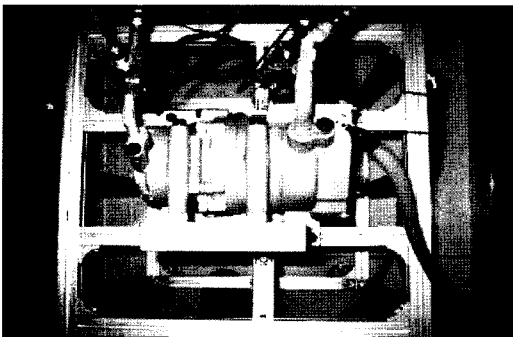
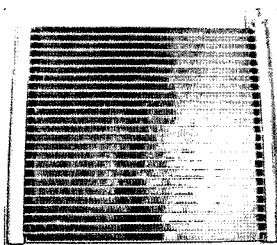


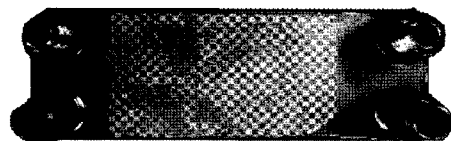
Fig. 1 Scroll type electric compressor



Fig. 2 PWM controlled electric expansion valve



(a) Interior heat exchanger



(b) Plate type heat exchanger
(Exterior heat exchanger)

Fig. 3 Proto type heat exchangers for FCEV A/C and H/P system

Table 1. Specifications of Proto types

M.F. interior heat exchanger	Capacity	5 kW@450 m ³ /h	Plate heat exchanger	Capacity	5 kW
	Core size	250×205×48 mm		Core size	190×75×45 mm
M.F. condenser	Capacity	15 kW@5 m/s	Electric compressor	Type	Scroll/Inverter
	Core size	594×370×16 mm		Max. speed	7,800 rpm

성도를 나타낸 것이다. 냉방 모드와 난방 모드의 전환은 2개의 4-way Valve와 1개의 3-way Valve에 의해 이루어지도록 구성하였으며 냉방 모드와 난방 모드 공통으로 냉매 질량 유량을 계측할 수 있도록 전동식 압축기 출구 측에 질량 유량계를 설치하였다. 전동식 압축기로의 액상 냉매의 유입을 방지하기 위하여 판형 열교환기 출구에 1,000cc의 내부 체적을 가지는 Accumulator를 설치하여 전동식 압축기를 보호하였으며, E.E.V. 입구와 전동식 압축기 입구 측에 냉매 필터를 설치하여 각각의 시작품을 보호하도록 하였다.

난방 모드 시험과 관련하여 냉매의 흐름을 Fig. 4에 표시하였고, ①~④로 냉매가 진행됨을 보여 준다.

시작품 성능 평가 시에 실험 데이터는 모두 Labview 프로그램으로 GUI 실현이 되는 데이터 획득 장치(DAQ)를 통하여 수집하였으며 경향 모니터링을 통해 충분히 정상 상태에 도달한 이후에 엑셀

형식으로 저장하도록 하였다. 저장된 데이터를 다시 냉매 R-134a의 열물성치를 자동적으로 계산하도록 구성된 엑셀 데이터시트로 변환하여 최종적으로 시스템 성능계수와 응축기의 방열량, 판형 열교환기의 전열용량, 실내 열교환기의 냉방용량 및 난방용량, 평균 냉매 질량 유량, 열교환기 입구 및 출구에서의 과열도 및 과냉도, 평행다류관 응축기, 온수식 판형 열교환기, 실내 열교환기에서의 압력 강하 등을 계산하도록 하였으며, 동시에 냉난방 시스템 사이클에 대한 P-h 및 T-s 선도를 구현해 보임으로서 각 시스템의 작동 상태를 직접 확인하고 시스템 추가 컨트롤 여부를 결정하는데 도움을 주도록 하였다.

3. 성능 평가 결과

현재 국내에서 개발중인 연료전지 자동차의 PEM 연료전지 스택은 80°C 이하에서 작동되어야 하는 한계가 있고, 연료 전지 스택의 필요 열용량에

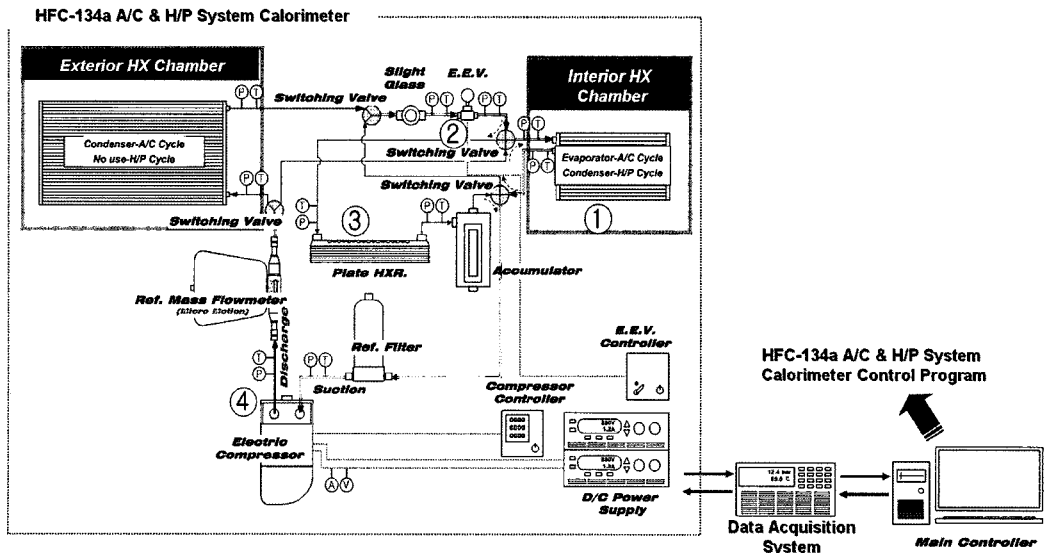


Fig. 4 Schematic diagram of experimental setup

따라 스택 냉각수의 온도 및 유량이 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 히트 펌프 시스템에 대해 연료전지 스택 냉각수의 온도 및 유량의 변화에 대한 난방 성능평가결과를 정리하였다.

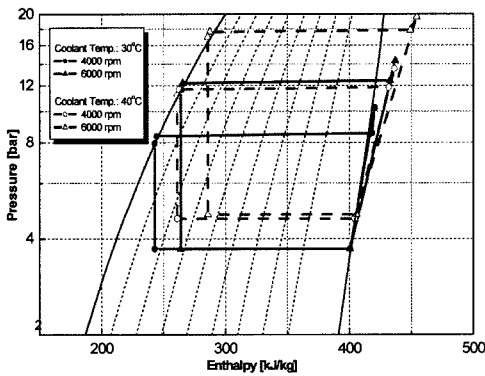
3.1 스택 냉각수 온도에 따른 성능 평가 결과

Fig. 5는 실내 공기 온도 -20°C, 실내 공기 풍량 7 m³/min, 스택 냉각수 유량은 5 L/min로 고정하고, 냉각수 온도를 20~60°C로 변화시켜가며 실험을 한 결과이다. 여기서 실내 공기 온도를 낮게 설정한 이유는 극한 조건인 자동차 외기의 온도가 -20°C가 되었을 경우 그대로 자동차 실내부로 유입이 된 경우를 가정하여 설정한 것이다.

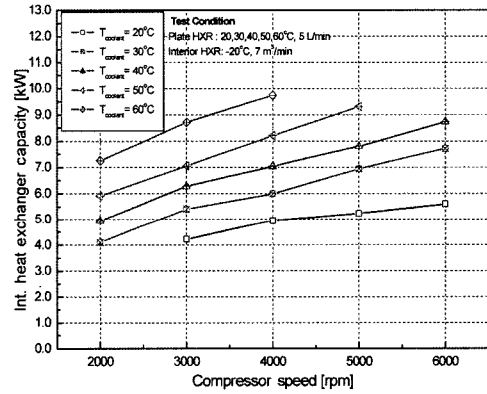
각각 다른 스택 냉각수 온도(30°C와 40°C)에 대

해 물리에 선도를 나타내어 보면 Fig. 5(a)와 같다. 높은 스택 냉각수 온도와 열교환을 할 경우의 저압측의 냉매 온도가 증가하게 되므로, 저압측 압력도 증가하게 된다. 따라서 전체적인 시스템 압력도 증가하게 됨을 알 수 있다. 그리고 선도에서 나타나듯이 실내부의 M.F. 열교환기 출구의 과냉도를 0°C로 하고, 스택 냉각수와 열교환을 하는 판형 열교환기의 출구 냉매의 건도를 1.0 근처로 설정하여 최대 난방 성능이 나오도록 전체 사이클의 조건을 설정하고, 실험을 수행하였다. 그에 의해 특히 40°C 냉각수 온도 조건에 대해, 고압부 엔탈피 차이가 별로 없는 반면에 저압부의 엔탈피 차이는 6000 rpm의 경우가 작게 나옴을 볼 수 있다.

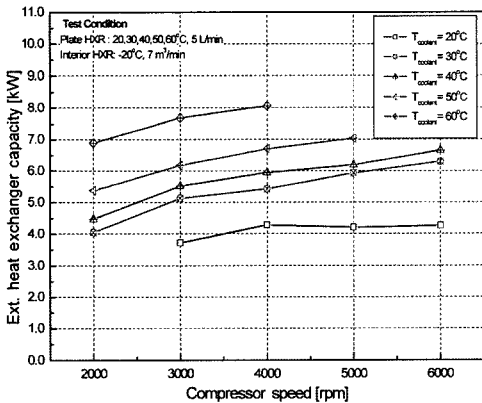
실험 결과에 대해, 냉각수 온도가 20°C, 압축기의 회전속도가 2000 rpm일 경우와 냉각수 온도가 50,



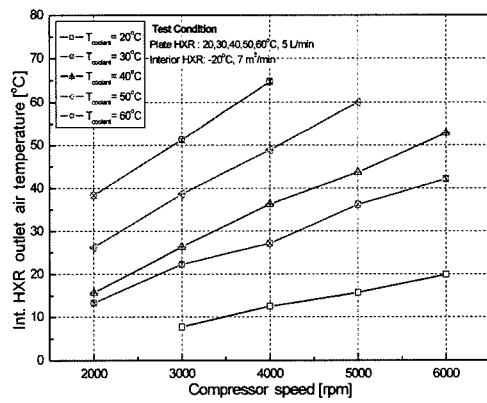
(a) P-h Diagram with different stack coolant temperature



(b) Int. HX Heating capacity

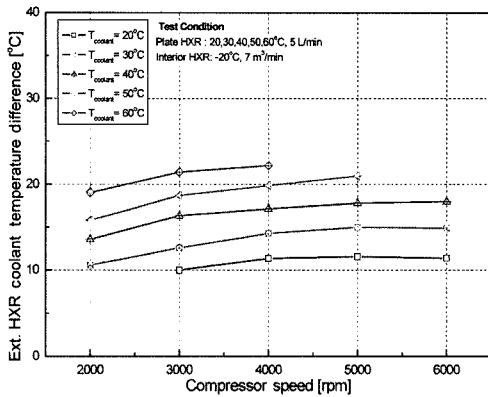


(c) Ext. HX Heat exchanging capacity

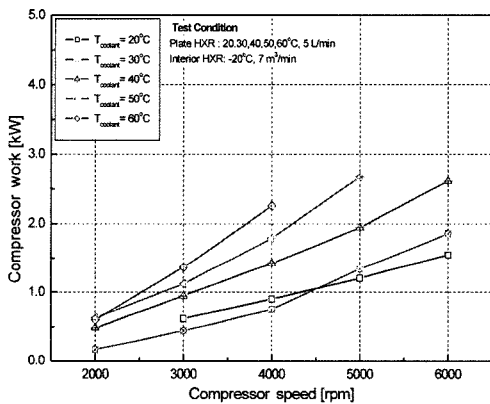


(d) Int. HX Outlet air temperature

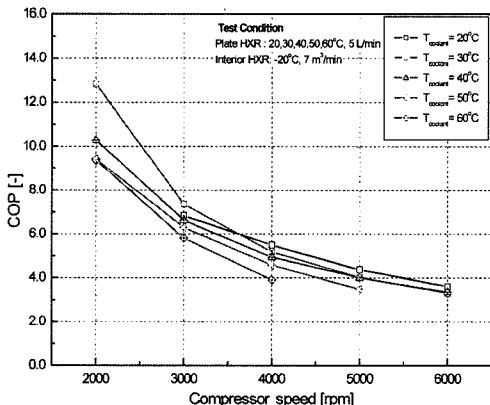
Fig. 5 Effect of stack coolant temperature (Coolant conditions of Exterior heat exchanger side : 20~60°C, 5 L/min, Air conditions of Interior heat exchanger side : -20°C, 7 m³/min)



(e) Ext. HX outlet coolant temperature difference



(f) Compressor work



(g) System COP

Fig. 5 Effect of stack coolant temperature (Continued)
(Coolant conditions of Exterior heat exchanger side :
20~60°C, 5 L/min, Air conditions of Interior heat
exchanger side : -20°C, 7 m³/min)

60°C, 압축기의 회전속도가 높은 경우일 때 각각의 데이터가 없는데, 그러한 경우의 조건에 대해 내부

M.F. 열교환기의 토출온도가 급격히 상승하여 정상 상태를 유지하기가 어려웠기 때문에, 본 실험에서 그러한 조건은 제외하였다.

같은 압축기 회전속도에 대해, 스택 냉각수의 온도가 증가할수록 내부 M.F. 열교환기의 난방 성능도 증가함을 볼 수 있다(Fig. 5(b)). 이는 스택 냉각수 온도가 증가할수록 냉매로의 열전달을 할 수 있는 에너지가 크기 때문이고, 외부 판형 열교환기의 열흡수량도 증가하여(Fig. 5(c)), 내부 열교환기의 난방 성능이 증가하였다고 할 수 있다. 그에 따라 내부 열교환기의 토출 공기 온도도 스택 냉각수 온도의 증가에 따라 증가함을 볼 수 있는데, 외기 온도가 -20°C의 경우에 대해, 10~65°C의 온도 범위를 갖게 된다. 특히 R134a의 경우, 외기 온도가 0°C 미만의 경우에 있어, 그 효율이 극히 낮아져서 사용이 불가능하지만,⁸⁾ 압축기 일도 대부분의 영역에서 3 kW 미만 (Fig. 5(f))이기 때문에, 연료전지용 난방 시스템으로의 적용에 크게 문제가 되지 않을 것으로 사료된다.

스택 냉각수의 회수 온도도 연료전지 스택을 운용하기 위한 중요한 요소가 되는데, 이것이 너무 낮으면 스택 효율이 크게 떨어지기 때문이다. 스택 냉각수 온도가 20°C로 외부 판형 열교환기에 유입되었을 경우, 회수 온도는 10°C 근처(Fig. 5(e))로서, 그 온도가 그리 낮지는 않지만, 실제 시스템 운전시, 압축기의 회전수를 높여서 난방 성능을 적절히 유지하면서 회수 온도는 크게 떨어지지 않게 만들어 주는 제어 로직이 필요함을 알 수 있다. 또는 CO₂ 히트펌프 시스템을 이용하는 방법이 좀 더 좋을 수 있는데, CO₂ 히트 펌프 시스템의 경우, 스택 냉각수가 필요 없이 외기로부터의 열흡수로 효율이 높은 히트 펌프 시스템을 구성할 수 있기 때문에, 스택 냉각수 온도가 높을 경우는 냉각수 열원 히트펌프(Coolant Source Heat Pump)를, 낮을 경우는 외기 열원 히트 펌프 방식(Air Source Heat Pump)을 사용하는 하이브리드 타입의 CO₂ 히트 펌프 시스템을 개발하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

압축기 일의 경우(Fig. 5(f)), 물리에 선도에서도 살펴봐왔듯이, 성능 실험 수행시 외부 판형 열교환기 출구의 건도를 1에 가깝게 설정하였고, 그에 따라 스택 냉각수 온도가 낮은 경우는 저압부 압력도

낮게 설정이 되어 엔탈피차가 큰 반면, 냉각수 온도가 높은 경우는 그 반대가 되어, 시스템의 열적 평형을 위해서는 시스템 내 냉매 유량이 커져야 하므로, 냉각수 온도가 높아질수록 압축기 일도 증가하는 경향을 나타내게 된다.

시스템의 성능계수(COP)와 관련하여, 본 연구에서는 다음과 같이 정의하였다.

$$COP_{H/P} = \frac{Q_{int.hxr}}{W_{comp}} \quad (1)$$

이러한 성능계수 값은 스택 냉각수 온도가 낮아질수록 증가하게 되는데, 이는 압축기 일이 감소하기 때문이다. 여기서 중요한 것은 시스템 성능계수의 정량적 값인데, 3 ~ 13의 높은 값을 가진다(Fig. 5 (g)) 이것은 스택 냉각수의 충분한 열량 공급에 의해, 압축기 일이 줄어들어 인하여 나타나는 결과라 할 수 있다.

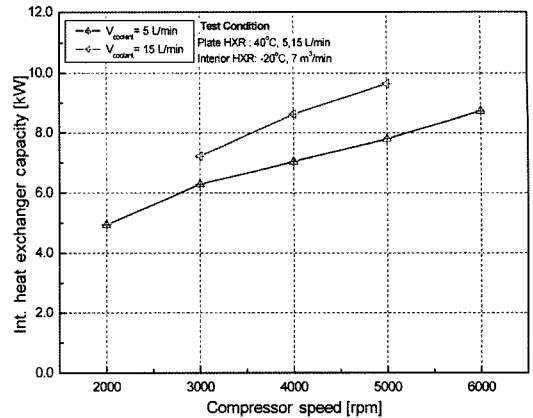
3.2 스택 냉각수 유량에 따른 성능 평가 결과

스택의 냉각수 온도뿐만 아니라 연료전지 스택의 원활한 작동을 위해서는 유량을 변화시켜야만 하고, 여기서는 그러한 영향을 살펴보기 위해, 스택의 유량을 바꾸어가며 실험을 수행하였다. 냉각수 온도는 40 °C를 기준으로 하였고, 냉각수 유량을 5 및 15 L/min으로 변화시켰고, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

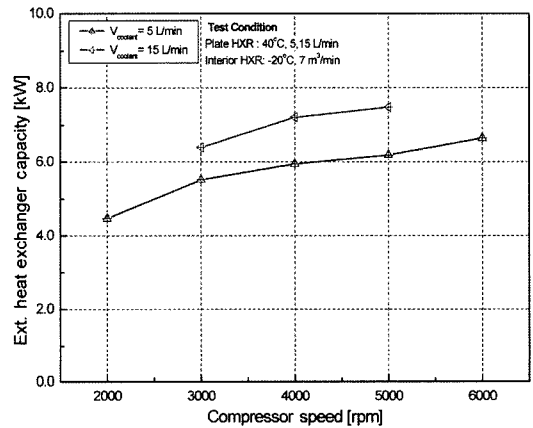
냉각수 유량을 증가시킨다는 것은, 외부 판형 열교환기에서의 열용량이 증가된다는 것을 의미하고, 그에 의해 실내 열교환기의 열용량도 증가하게 된다. (Fig. 6(a), (b)) 따라서 실험 결과 전체의 경향은 냉각수의 온도를 올리는 것과 유사하게 나타나게 된다. 3.1에서도 알 수 있었듯이 냉각수의 온도를 증가시키면, 실내 열교환기의 공기 토출 온도도 증가하였고, 마찬가지로 냉각수 유량을 증가시켰을 경우의 결과도 그 경향이 유사하였다.

3.3 히트펌프 시스템의 과도 성능 특성

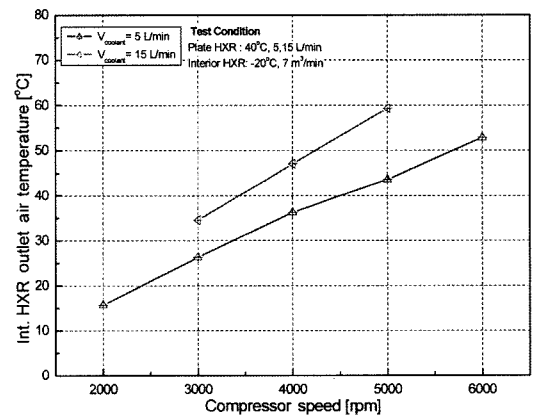
앞에서는 정상 상태에서의 히트 펌프 시스템의 성능 특성을 파악하였다. 여기서는 실제 히트 펌프 시스템을 운전하였을 때, 얼마나 빨리 그러한 정상



(a) Int. HX Heating capacity

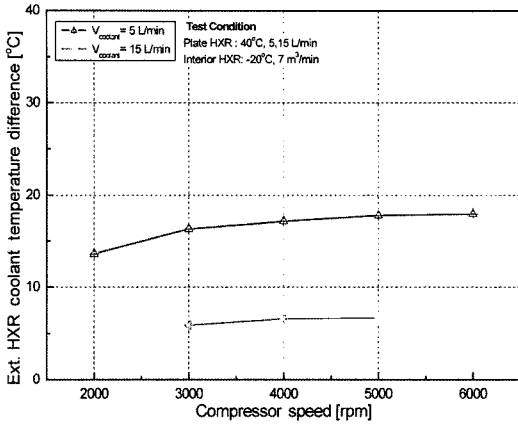


(b) Ext. HX Heat exchanging capacity

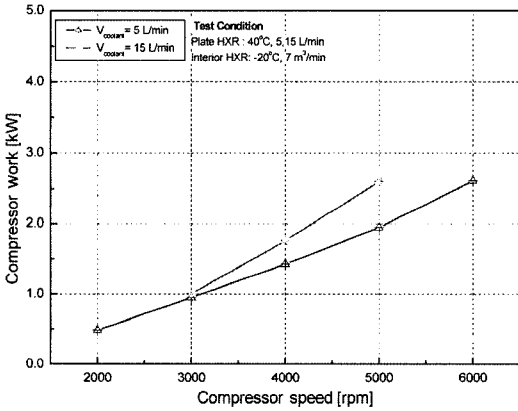


(c) Int. HX Outlet air temperature

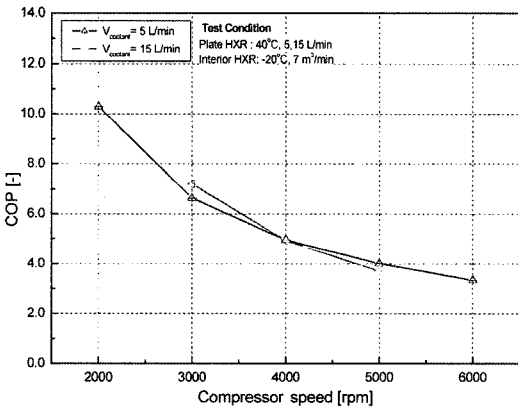
Fig. 6 Effect of stack coolant flow rate (Coolant conditions of Exterior heat exchanger side : 40°C, 5, 15 L/min, Air conditions of Interior heat exchanger side : -20°C, 7 m³/min)



(d) Ext. HX Outlet coolant temperature difference



(c) Compressor work



(f) System COP

Fig. 6 Effect of stack coolant flow rate (Continued) (Coolant conditions of Exterior heat exchanger side : 40°C, 5, 15 L/min, Air conditions of Interior heat exchanger side : -20°C, 7m³/min)

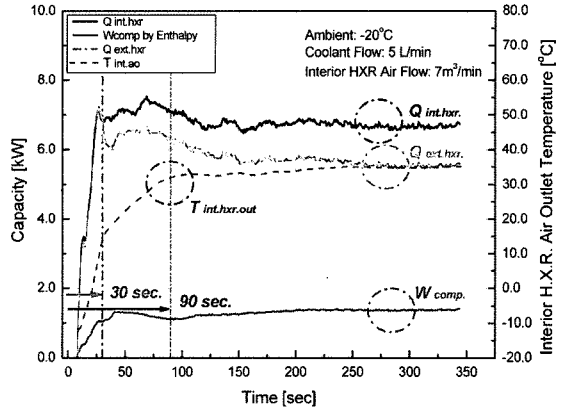


Fig. 7 Transient response of H/P system (Ambient temperature: -20°C, Coolant temperature: 40°C, Coolant flow rate: 5L/min, Interior HX Air flow rate: 7 m³/min, Compressor speed: 4,000 rpm)

상태에서의 성능을 나타낼 수 있는지는 문제도 정상 상태에서의 성능 특성만큼이나 중요하기 때문에, 그에 관한 실험을 수행하였다.

Fig. 7은 실내 공기 온도 -20°C, 실내 공기 풍량 7 m³/min, 스택 냉각수 온도와 유량은 각각 40°C, 5 L/min, 압축기의 회전속도는 정지상태에서 4000 rpm으로 시동을 시켰을 경우에 대한 결과이다.

실내 열교환기가 정상상태의 성능을 발휘하기까지 30초가 소요되며, 그에 의해 실내 열교환기 공기 축도출의 경우, 90초의 시간이 지난 후에 35°C의 온도로 실내 열교환기를 빠져나가 자동차 실내에 공급되게 된다.

4. 결론

- 1) 본 연구에서 제안한 연료전지 스택의 폐열을 난방 보조 열원으로 사용하는 난방 시스템에 대한 성능 평가를 통해, 외기 온도 -20°C에서 난방 성능 4~10 kW를 달성할 수 있었고, 실내 열교환기 출구 공기 온도가 최대 70°C까지 도달할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 시스템 성능계수도 3~13의 높은 값을 가질 수 있었다.
- 2) 스택 냉각수의 온도가 증가할수록, 실외 열교환기 내 열교환량이 커지고, 그로 인해 실내 열교환기의 방열량이 증가하여, 실내 열교환기 출구 공기 온도가 증가하였다. 그러나 열교환량이 커지

는 만큼 냉매의 질량 유량도 증가하여, 압축기의 소요동력도 증가하며, 그에 의해 시스템 성능계수가 낮아졌다.

- 3) 스택 냉각수의 유량이 증가할수록, 스택 냉각수의 온도가 상승할 때의 경향과 유사한 경향이 나타났다.
- 4) 외기 온도 -20°C 에서 시스템 가동 30 초 이후 난방성능 6.8 kW를 달성할 수 있었으며, 시스템 가동 90 초 이후 정상상태에 도달할 수 있었으며, 실내 열교환기 출구 공기 온도도 35°C에 도달함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2005년 산업자원부가 지원하는 미래형 자동차 기술개발사업 기술개발 결과의 일부임을 밝힙니다. 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) N. S. Ap, "Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) Cooling System versus Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV) Cooling System," EVS 19 Congress, Busan, Korea, 2002.
- 2) N. S. Ap, "Electric Vehicle Cooling System Comparison of Ethylene Glycol-Water and Fluorinert FC72," SAE 980430, 1998.
- 3) N. S. Ap, G. Guyonvarch, M. Cloarec and L. Rouveyre, "Cooling System and Climate Control of Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)," EVS17 Congress, Montreal, Canada, 2000.
- 4) M. Makino, N. Ogawa, Y. Abe and Y. Fujiwara, "Automotive Air-conditioning Electrically Driven Compressor," SAE 2003-01-0734, 2003.
- 5) K. Yasutaka, S. Itou, K. Keiichi and I. Kiwamu, "Development of Electrically-driven Heat Pump System with CO₂-Refrigerant," Denso Automotive Technology Conference, 2003 (In Japanese).
- 6) F. Vetter and S. Memory, Automotive AC/HP Systems Using R744, VTMS 6, Brighton, UK, 2003.
- 7) M. W. Spatz, "Ultra-Low GWP Refrigerant for Mobile Air Conditioning Applications," JSAE Automotive Air-Conditioning Conference, Tokyo, Japan, 2006.
- 8) J. Meyer, G. Yang and E. Papoulis, "R134a Heat Pump for Improved Passenger Comfort," SAE 2004-01-1379, 2004.