자동차 에어컨 열교환기 성능평가를 통한 교육용 열량계의 타당성 검토

송준호*, 강경호*, 이기만** 순천대학교 *우주항공공학전공, **기계우주항공공학부 e-mail: kmlee@sunchon.ac.kr

A Feasibility Study of Educational Calorimeter through Performance Evaluation of Automotive Air-conditioning Heat Exchangers

Junho Song*, Kyungho*, Keeman Lee*
*Dept of Aerospace Engineering, Sunchon University, 225 Jungang-ro,
Sunchon, Jeonnam 740-742, Korea

요 익

현대의 지속적인 기술개발과 산업발전은 삶의 질을 향상시키는 긍정적인 시각이 있는 반면 심각한 환경문제를 안고 있다. 자동차 공조기술도 지구 환경보호라는 거대한 과제와 탑승자의 쾌적성 만족이라는 두 가지 다른 관점을 동시에 충족시켜야 하는 과제를 가지고 있으며, 이 분야 산업에 전문적인 지식으로 공조 열량계 운용에 대한 경험이 대학 교육과정에서도 강조되고 있다. 본 논문에서는 대학교육과정 특성상 장비의 활용성, 경제성, 장비설치 및 취급의 용이성 등을 고려하여 교육용으로 적합한 간이 열량계를 제작하였다. 교육 및 연구용으로 제작한 간이 열량계의 타당성을 확인하기위해 현재가장 많이 쓰이고 있는 R134a 자동차용 냉방시스템을 구성하여 압축기 회전속도, 실내 풍량, 냉매 충전량 등을 변수로 하여 열교환기 냉방성능을 평가한 후 비교하여 교육용 열량계의 유용성을 확인하였다.

1. 서론

최근 생활수준 향상으로 자동차가 단순히 이동 수 단에서 하나의 생활공간으로 인식되면서 자동차의 개발이 성능 뿐 만아니라 쾌적성, 안전성 및 편의성 등이 중요한 요소로 부각되었다. 자동차 공조 시스 템은 차내의 승객과 운전자의 쾌적성을 향상시키기 위하여 사용되는 장치로, 차량의 주행 상태와 다양 한 외부환경에서 따라서 공조 부하가 크게 변하기 때문에 가정용 에어컨과 같은 정치형 시스템에 비해 서 동적 제어가 중요하게 된다. 또한, 자동차 공조 시스템은 차내 냉방을 위해 냉동 사이클을 이용한 냉방 장치가 사용되는데 이 장치에는 냉매라는 필수 적인 물질이 충전되어 있는데, 자동차 특성상 진동 이 심한 관계로 냉매 누설이 불가피하게 발생하게 되어 누설되는 냉매가 오존층 파괴뿐만 아니라 최근 들어서는 지구 온난화 물질로 부각됨에 따라 냉매 사용 규제와 에너지 사용에 따른 환경문제에 영향을 많이 받는 산업분야이기도 하다.

따라서 자동차 공조기술은 지구 환경보호라는 거 대한 과제와 탑승자의 쾌적성 만족이라는 두 가지 다른 관점을 동시에 충족시켜야 하는 과제를 가지고 있으며, 이러한 목적에 적합한 제품 개발이 필요하다. 현재 GWP150 이하의 차세대 냉매를 선택하기위한 노력이 국제적으로 추진되고 있으나, 쉽게 결정을 내리지 못하고 있는 상태이다. 하지만, 어떠한 냉매로 결정되더라도 차량용 공조시스템 구조에는 상당한 변화가 있을 것으로 예상된다.

이와 같은 과제들은 환경변화를 예의주시하면서하나씩 차근차근 해결해 나갈 것으로 판단되며, 미래 환경변화와는 무관하게 공조시스템의 경량화, 고효율화 및 모듈화 등은 소비자의 쾌적성 향상과 지구환경 보호의 관점에서 지속적으로 추진되어야 할대 명제이므로 이에 대한 연구개발은 관련 업계에서 지속적으로 추진해 나갈 것으로 판단된다. 따라서이 분야에 전문적인 지식을 갖는 엔지니어의 수요는계속적으로 요구될 것이며, 특히 핵심적인 공조기술중에 하나인 공조열량 계측에 필요한 지식과 경험을 갖는 기술이 매우 중요하게 요구된다.

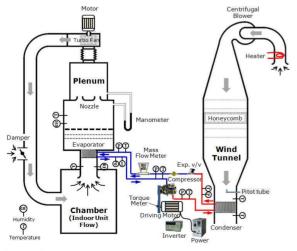
공조용 열량계(calorimeter)에 대한 관심이 증가하는 것에 비하면 국내 열량계 실험시설의 수가 턱 없

이 부족한 상황인데, 특히 정밀 열량계인 경우 상당히 고가인데다가 열량계 운용에 대한 전문적인 지식을 요하는 전문 실험설비이다. 이로 인해 대학 또는 대학원 교육 과정의 학생들이 열량계 실험시설을 활용하거나 접근하기에는 실제적으로 제약이 많고, 공조용 열량계 실험의 가동은 많은 사전 준비 시간을요하기 때문에 기초적이고 충분한 훈련을 통한 전문인력의 양성은 매우 제한적일 수밖에 없다.

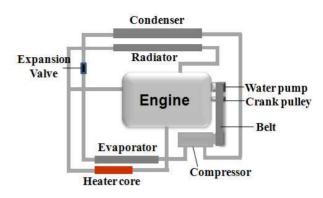
따라서 산업체에서 보유하고 있는 전문적인 정밀열량계 수준은 아니더라도 교육 및 일부 연구용으로 실험실 차원의 공조용 간이 열량계를 제작하여운용할 수 있다면, 앞서 설명한 바와 같이 대학 교육과정에서 많은 학생들이 냉동 공조 분야에 필수적인 열량 측정 방법을 직접 경험해 보는 기회를 넓힐수 있을 것으로 판단된다. 이 경우 교육 실험용으로간이열량계를 설계, 제작 시 교육적인 목적, 장비의경제성과 활용성, 장비 취급의 용이성 등이 고려되어야 한다.

본 연구에서는 KS, JIS 등의 국내외 시험 규격과 관련 문헌들을 토대로 설계, 제작한 교육과 일부 연구 목적의 자동차 공조용 간이 열량계의 성능을 파악하고자 차량용 에어컨의 냉방 능력을 측정하였다. 이를 위해 현재 운행 중인 자동차에 탑재된 국내 모제조사의 차량용 에어컨의 열교환기(증발기 및 응축기)를 선정하여 KS 규격에서 규정한 시험조건과 방법으로 차량의 냉방 성능 평가를 통해 열교환기 능력 특성을 분석하고 설계된 간이 열량계의 운용 타당성을 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법 2.1 간이열량계 시스템 및 주변장치의 구성



[Fig. 1] Schematic Diagram of Educational Calorimeter



[Fig. 2] Schematic Diagram of Car Air Conditioning System

자동차용 열교환기의 냉방 시스템의 성능을 측정하기 위한 장치는 Fig. 1의 개략도에서 나타낸 바와 같이 교육용 간이 열량계를 이용하여 수행하였다.

간이 열량계는 크게 제어부, 응축기 룸, 증발기 룸으로 나누어져있다. 제어부에는 압축기의 토출압력, 증발기 입구의 풍량, 응축기 입구의 풍속제어가 가능한 컴퓨터가 설치되어 있고. 응축기 룸은 응축기와 응축기 입구의 풍속을 제어하는 팬으로 구성되어있다. 증발기 룸에는 증발기와 풍량을 제어 할 수있는 노즐형식의 풍동이 설치되어있다.

간이 열량계로 실험을 하기위해 자동차 냉방 시스템을 Fig. 2에 개략도와 같이 구성하였다. 냉방 시스템은 압축기, 응축기, 증발기, 질량 유량계로 구성되어있으며 냉매는 현재 가장 많이 사용하고 있는 R134-a를 사용하였다. 냉방 시스템을 온도, 습도, 풍량 등 실제 운전환경을 모사하기 위해 실내외 챔버에 풍동 및 항온 항습기가 설치되어 구동되며, 제어부나 컴퓨터 프로그램에 의해 주요 부품 동작이 정밀하게 제어된다. 냉방 성능은 주요 부위에 각종 센서 및 계측기가 설치되어 온도, 압력, 유량 등의 데이터들을 컴퓨터에 의해 자동으로 수집하는 방식으로 측정하였다.

2.2 실험 조건 및 방법

교육용 간이 열량계의 타당성을 확인하기 위하여 자동차의 냉방 시스템을 구성한 후 그 성능을 파악하였다. 냉방 성능을 파악하기 위해 차량의 운전 조건을 감안하여 압축기의 회전속도, 실내 열교환기 입구 공기의 유량, 냉매의 충전량 등을 변수로 하였으며 Table 1에 본 연구의 실험 조건을 나타내었다.

위 실험을 진행하기 위해 시스템의 적정 운전조건을 파악하고자 사전 예비 실험을 수행하여 적정한 압축기 토출압력이 13kg/cm^2 임을 확인하였으며, 이 상태로 유지하면서 시스템의 냉방 성능을 측정하였다. 압축기

토출압력을 일정하게 유지하기 위해 응축기 팬을 자동조절 하도록 설정하였고, 실제 외부에 있는 자동차와동일한 조건을 유지하기 위하여 외기(outdoor air)와실내기(indoor air)의 온도를 같게 유지한 상태에서 냉방 능력을 측정하였다.

Γ	Table	1]	Test	Conditions

Condition	Unit	A/C
Compressor speed	rpm	1000/1500/2000
Outdoor, Indoor air inlet temperature	$^{\circ}$	27
Refrigerant Charge Amount	g	400/500
Indoor air flow rate	m³/h	200/300/400/500

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실내 풍량 변화에 따른 성능 특성

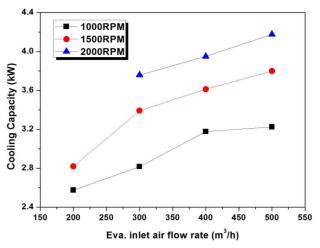
자동차의 실내 풍량은 탑승자로 인해 쉽게 조절이 가능한 인자이다. 실내 풍량 변화가 냉방능력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실내 열교환기입구로 들어오는 공기 유량을 본 연구에서 선정한 소형 자동차의 증발기 용량에 해당되는 범위인 $200 \text{m}^3/\text{h}$ 에서 최대 $500 \text{m}^3/\text{h}$ 까지 변화시켜가면서 실험을 수행하였다.

먼저 그림 3은 실내외 온도를 27℃, 차량의 실내 상대습도를 40%로 가정하고 냉매의 충전량을 500g으로 했을 때, 실내 열교환기(증발기)로 들어오는 공기량에따른 냉방능력을 보여주고 있다.

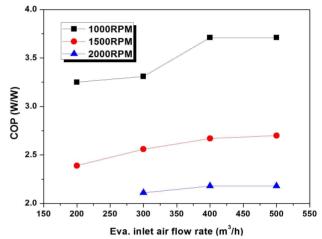
Fig.3에서 보는 바와 같이 실내 열교환기로 들어오는 공기 유량이 증가할수록 냉방 능력이 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 공기 유량이 증가함에 따라 실내 열교환기인 증발기와 응축기에서 엔탈피가 크게 증가하여 냉방능력이 증가되었으며 COP도 마찬가지로증가함을 알 수 있다. 이는 증발 열교환기 입구로 유입되는 공기 유량이 증가하면 냉방 능력이 증가하지만부하 증가에 따른 냉매 순환량도 같이 증가하여 압축기 소요 동력도 증가하게 되나 증발기 열량 증가율이 압축기 소요 동력의 증가율보다 크기 때문에 COP는증가하는 것으로 이해된다.

3.2 압축기 회전 속도의 영향

실제 자동차 운행에서 내연기관 엔진의 벨트식 자동차 에어컨은 차량의 주행 속도에 따라 압축기의회전속도가 변화하게 되면서 에어컨의 능력도 변하게 된다. 이에 대한 성능변화를 파악하고자 압축기를 엔진 대신 별도의 구동 모터로 회전시켜 회전속도를 1000rpm에서 2000rpm까지 변화함에 따른 냉방 능력과 성능계수의 변화를 살펴보았다.



[Fig. 3] Cooling capacity with respect to air flow rate $(T_{Eva.i}=27^{\circ}C, RH=40\%, Refrigerant Charge Amount=500g)$



[Fig. 4] COP with respect to air flow rate ($T_{Eva,i}$ =27°C, RH=40%, Refrigerant Charge Amount=500g)

Fig. 3에서 보는 바와 같이 압축기 회전속도가 증가함에 따라 실내 열교환기의 능력이 같이 증가하게 되는데, 이는 압축기 회전수가 증가하게 되면 회전수에 비례하여 열교환기 내 냉매 질량 유량이 증가되어 열교환기의 열용량이 커지는 것으로 이해된다. 하지만 Fig. 4에서처럼 증발 열교환기 성적계수인 COP는 압축기 회전수가 증가함에 따라 압축기 입구에서의 비체적이 증가하기 때문에 압축기 소요 동력의 증가로 인하여 감소하는데, 이는 압축기 회전 속도 증가에 따라 냉방 용량은 증가하지만 압축기 소요 동력은 당매에서 낮은 실내 풍량 조건에서는 열교환기의 동결이 일어나 실제 차량에서는 이를 방지하기위한 조취가 필요할 것으로 예상된다.

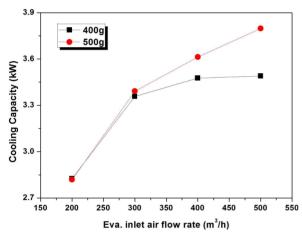
따라서 주어진 증발 열교환기 능력에서 최대 효율을 발휘하는 적정한 압축기 회전수가 존재함을 알수 있으며, 이러한 정보는 향후 실제 차량용 에어컨

의 운전 범위 설정에 유익한 정보로 활용되는 데이 터라는 것을 본 간이 열량계 운전을 통한 학생 교육 과정 자료로 제공되는 사례가 될 것이다.

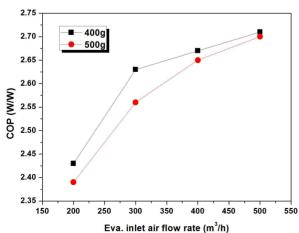
3.3 시스템 냉매 충전량의 영향

공조용 에어컨 시스템에 충전하는 적정한 냉매량을 파악할 목적으로 충전량의 영향을 알아보기 위하여 압축기 회전수를 1500rpm으로 고정한 다음 냉매충전량을 400g에서 500g으로 변화함에 따른 냉방능력과 성능 계수의 변화를 살펴보았다.

Fig. 5에서와 같이 냉매 충전량이 증가하면 냉방능력도 함께 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 냉매 충전량이 증가하면서 시스템 내의 질량 유량이증가하여 냉방능력이 증가한 것으로 판단된다. 그런데 성적계수인 COP의 경우 Fig. 6에서처럼 냉매 충전량이 400g인 경우가 500g인 경우보다 좀 더 높게나타났는데 이는 400g일 때가 현 시스템에서는 적합한 냉매 충전량임을 알 수 있다.



[Fig. 5] Cooling capacity with respect to Refrigerant Charge Amount ($T_{Eva,i}$ =27°C, RH=40%, Compressor speed=1500rpm)



[Fig. 6] COP with respect to Refrigerant Charge Amount($T_{Eva,i}$ =27°C, RH=40%, Compressor speed=1500rpm)

3. 결 론

교육 및 연구 활용 목적으로 설계, 제작한 차량 공 조용 간이 열량계의 유용성을 평가하고자 차량용 냉 방 시스템을 구성하여 시험 조건에 따른 증발기인 실내 열교환기의 냉방능력을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실내 열교환기 입구로 유입되는 차량 실내 풍량 이 $200\text{m}^3/\text{h}에서 500\text{m}^3/\text{h}으로 증가함에 따라 냉$ 방능력과 성적계수인 COP가 함께 증가하는 것을확인하였다.
- 2) 압축기 회전속도를 1000rpm에서 2000rpm까지 500rpm씩 변화함에 따른 냉방 용량 변화를 조사하였는데, 회전수의 증가에 따른 냉매 유량의 증가로 인해 냉방 능력이 증가하지만 압축 일량 증가로 COP는 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 냉매 충전량 변화에 따른 비교에서는 기준으로 잡은 1500rpm에서 400g의 냉매량이 500g에 비해 적정한 충전량임을 확인하였다.
- 4) 실제차량이 27℃, 1000rpm, 실내풍량 300m³/h에서 평균적으로 2.8kW의 성능을 보이는데, 본 실험의 결과와 비교하였을 때 매우 근사한 값이 측정됨으로써 교육용 간이 열량계로서의 타당성을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부의 호남광역경제권선도산업 육성사업 지원으로 수행된 연구 결과의 일부입니 다.(과제번호 70007773)

참고문헌

- [1] 김종수, 이대웅, 유성연, "R-134a와 R-152a 냉매를 이용한 자동차용 에어컨 시스템의 성능에 관한 실험적 연구", 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 1225-1231, 2006.
- [2] 백인철, 박기정, 심윤보, 정동수, "자동차 공조기용 R12 및 R134a 대체 냉매의 성능평가", 설비공학논 문집,제 19권, 제 5호, pp. 403-410, 2007.
- [3] 장의성, 윤원재, 정현준, 정해원, 김용찬, "R-600a 및 R-134a를 공용으로 사용한 소형 냉동사이클의 성능특성 최적화에 대한 실험적 연구", 설비공학회 논문집, 제 22권, 제 5호, pp. 268-274, 2010.