

현 타입 내부열교환기 적용에 따른 차량용 냉방시스템 성능 특성

김성철^{1*}

¹자동차부품연구원 그린카파워트레인연구본부

Performance Characteristics of Vehicle Air Conditioning System Using Internal Heat Exchanger with Inner Fin

Sung Chul Kim^{1*}

¹Green Car Powertrain R&D Division, Korea Automotive Technology Institute

요 약 내부열교환기를 이용한 에어컨 시스템은 작동유체인 R134a의 고압측 액상냉매와 저압측 기상냉매의 상호 열교환을 통해 시스템의 응축 효율을 증가시켜 에너지 효율을 개선시킨다. 이는 에어컨 시스템의 성능 향상 및 경량화를 가능하게 하여 차량 연비 향상과 냉매 누출을 최소화할 수 있으며, 또한 현 R134a 대비 대체냉매 (R1234yf 등)의 동등 냉방성능 확보를 가능하게 하는 기술이다. 본 연구에서는 내측 압출 파이프 및 외측 사이 고효율 냉각 현 (fin)이 삽입된 이중관 형태의 내부열교환기 상세 설계를 위해, 냉각 현의 높이 및 내측 압출 파이프 내부형상 등의 다양한 형상 설계인자 변경에 따른 열전달 성능 및 압력강하 특성을 살펴보았다. 가장 우수한 내부열교환기 성능은 난류 형성을 위한 내측관 형상이 라이너 및 세레이션 겸용 타입이었으며, 이는 내부열교환기가 장착되지 않은 경우보다 냉방시스템 성능이 약 6.4%, 시스템 COP는 약 9.2% 향상된 결과를 나타내었다.

Abstract Internal heat exchanger (IHx) apparatus using the temperature difference between high and low pressure lines in vehicle air conditioning system is a good method to enhance the cooling performance. In this study, we designed various double-pipe internal heat exchangers which have inner fins between the internal pipe and external pipe. We also measured the performance characteristic (pressure drop, cooling capacity, compressor work and coefficient of performance (COP)) of the modified internal heat exchangers that had the change of the fin height and the inside shape of the internal pipe. This experimental results indicated that the liner and serration type internal heat exchanger was the best cooling performance. In addition, the air conditioning system with the liner and serration type internal heat exchanger showed the improved performances of about 6.4% and 9.2%, respectively, for the cooling capacity and COP.

Key Words : Vehicle air conditioning, Internal heat exchanger (IHx), Inner fin, Coefficient of Performance (COP), Cooling capacity

기호설명

COP : 성능 (coefficient of performance)
 h : 엔탈피 (kJ/kg)
IHx : 내부열교환기 (internal heat exchanger)

하첨자

comp : 압축기 (compressor)
dis : 토출 (discharge)
exp : 팽창장치 (expansion device)
suc : 입구 (suction)

본 논문은 중소기업청 제조현장녹색화기술개발사업의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sung Chul Kim (Korea Automotive Technology Institute)

Tel: +82-41-559-3093 email: sckim@katech.re.kr

Received October 8, 2012 Revised December 17, 2012 Accepted January 10, 2013

1. 서론

최근 화석에너지 고갈 및 지구온난화 문제가 심각한 수준에 이르자, 이에 대한 해결방안 모색이 활발히 진행되고 있다. 이러한 흐름에 맞추어, GWP가 150 이상인 자동차 에어컨 냉매는 유럽에서 2017년도 이후부터 신차의 경우 사용이 금지될 예정이다. 따라서 신냉매 (R1234yf 등)에 대한 연구개발[1,2] 과 동시에 현 냉매 (R134a)에 비해 다소 감소한 냉방성능을 보완하기 위한 자동차 에어컨 시스템의 성능 향상기술은 필수적이다. 또한 전기자동차와 같은 전기 동력 기반 차량의 경우, 에어컨 시스템 가동으로 인한 전력 소모에 의해 주행거리가 상당히 감소되기 때문에 에어컨 시스템의 고효율화는 반드시 해결해야 할 사항이다.

자동차 에어컨 시스템의 고효율화 및 성능 향상 문제를 해결할 수 있는 하나의 방안으로, 내부열교환기 (internal heat exchanger, IHX)를 사용하는 방법이 있다. 내부열교환기란, 에어컨 시스템에서의 냉매 고압측과 저압측의 상호 열교환을 통해서 응축효율을 증가시켜주는 장치로서, 이를 통해 냉방성능 향상뿐만 아니라 에어컨 시스템의 응축기 사이즈를 줄일 수 있고, 이로 인해 차량의 연비 향상을 가능하게 한다.

자동차의 냉방 성능 향상을 위해 적용되는 내부열교환기가 장착된 에어컨 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[3-5] 자연냉매인 CO₂를 적용한 냉방시스템의 성능향상 및 시스템 안정화를 위해 내부열교환기가 사용되었으며,[3,4] 현 냉매인 R134a 냉방시스템에서도 최대 약 10%의 시스템 효율이 향상되는 것을 실험적으로 평가하였다.[5] 일반적인 내부열교환기 형태로는 스파이럴 (spiral) 타입이 대표적이고, 이 외에 흰 (fin) 타입 등이 있다. 이러한 내부열교환기의 구조적인 차이에 따른 성능 특성 (열교환량 및 압력강하 등)을 비교 분석하였다.[6]

본 연구에서는 내측 압출 파이프와 외측 사이 고효율 냉각 흰이 삽입된 이중관 형태의 내부열교환기를 설계하였다. 또한 흰의 높이와 내관 (internal pipe) 내에 들어가는 압출형상을 변화시켜 여러 가지의 시제품을 제작하였고, 아이들 및 고부하 운전조건에 대해서 각각의 열전달 성능평가를 실시하였다. 이러한 내부열교환기의 냉방시스템 평가를 통해 흰을 삽입한 내부열교환기들의 비교 성능을 확인하고, 성능 향상을 가져오는데 있어서 유리한 형상 설계인자를 파악하고자 한다.






2. 실험장치 및 방법

2.1 내부열교환기 설계

본 연구에서는 흰을 적용하여 열교환 면적을 증가시킨 구조의 이중관 내부열교환기를 설계 제작하였다. 판재를 말아 기계적으로 접합하는 방식인 외접합 제작공정을 통해 만들어진 내부열교환기로, 판내부에 흰을 부착함으로써 흰이 부착되지 않은 경우에 비해 열전달 면적을 증가시키고 추가적인 열경계층을 생성함으로써 열전달율을 높일 수 있다.

내부열교환기의 일반적인 구조는 내관이 스파이럴 (spiral) 형태로서, 공간의 제약으로 인한 변형이 용이하지만, 흰이 삽입된 구조에 비해 열교환량은 상대적으로 상당히 적다.[6] 따라서 고효율의 내부열교환기 성능을 흰을 적용한 구조가 유리할 수 있다. 하지만, 실차에 적용하기 위한 최대한 내부열교환기 크기 축소 및 가능한 굽힘 (bending) 허용을 가져올 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. Table 1에서 내부열교환기 제원을 알 수 있는 바와 같이, 내부열교환기에 들어가는 흰의 높이 (height)를 각각 3.2, 3.5, 3.9 mm로 하고, 내관의 형상은 3가지로 하여 총 4가지의 내부열교환기를 제작하였다. 스파이럴 타입의 Base 내부열교환기 대비 제작된 열교환기 길이는 모두 약 10% 줄어들었으며, 무게는 12~25% 정도 감소하였다.

[Table 1] Specifications of Internal heat exchangers

Specifications	Type of IHX				
	A	B	C	D	E
Height of the fin (mm)	-	3.2	3.9	3.5	3.5
The inside Shape of internal pipe	 Spiral	 Smooth	 Smooth	 Serration	 Liner & Serration
Internal pipe diameter (mm)	19	19	19	15	15
Heat exchanger length (mm)	384	372	372	372	372
External pipe diameter (mm)	22.8	23	23	23	23
Weight (g)	266.5	199.5	201.5	229	234.5

2.2 실험 장치 및 방법

Fig. 1과 같이 내부열교환기 성능실험 장치를 통해서 에어컨 시스템에서의 냉방성능, 압축기 소요동력 및 시스템

템 효율 (COP) 등을 알아보았다. 에어컨 시스템에서의 내부열교환기 역할은 냉매의 고압측과 저압측 간의 열교환을 통해 팽창밸브 입구의 과냉도 및 압축기 입구의 과열도를 확보하는 것이다. 이를 통해 시스템의 냉방성능과 응축효율을 증가시킬 수 있다.

Table 2는 아이들 및 고부하 운전조건에서 내부열교환기의 열교환량 및 압력강하를 구하고, 또한 내부열교환기의 유무에 따른 자동차 에어컨 시스템의 냉방성능, 압축기 소요동력 및 시스템 COP를 측정하기 위한 실험 조건이다. 따라서 내부열교환기의 흰 높이 및 내관의 압출 형상이 변화할 때, 내부열교환기의 단품 성능 및 자동차 에어컨 시스템의 성능향상에 미치는 영향을 평가하였다.

R134a 냉매 유량을 측정할 수 있게 ±0.15%의 정밀도를 갖는 냉매 질량유량계를 압축기 출구에 설치하였고, 더불어 응축기, 증발기 및 내부열교환기의 입·출구에 절대압력 30 bar까지 측정 가능한 정밀도 ±0.1%의 압력센서를 설치하였으며, 각 배관 내의 냉매 온도 측정은 ±0.1℃의 T타입 열전대를 사용하였다. 모든 온도 및 압력은 Gantner의 Data logger를 이용하여 수집하였다.

시스템의 냉방 COP를 계산하기 위하여는 압축기 및 증발기를 통과하는 냉매의 엔탈피를 이용하여 식 (1)에 의해 계산하였다.[7]

$$COP = \frac{h_{exp,out} - h_{comp,suc}}{h_{comp,dis} - h_{comp,suc}} \quad (1)$$

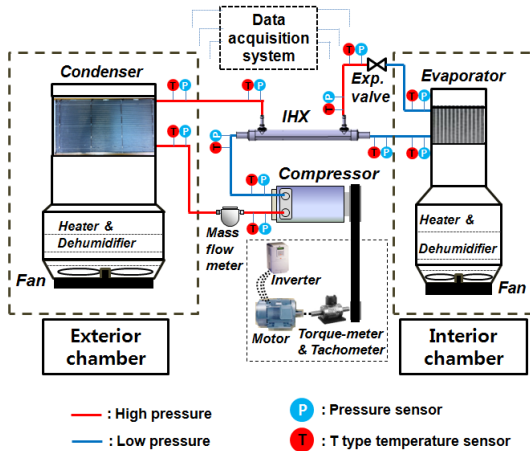
3. 실험결과 및 분석

3.1 내부열교환기 형상에 따른 비교 평가

흰을 적용한 내부열교환기의 흰 높이와 내관 형상 변화에 따른 열교환기의 성능을 비교하였으며, 내부열교환기의 제원은 Table 1과 같다. A타입은 흰 타입의 내부열교환기와 성능 비교를 하기 위한 기존의 스파이럴 (Base) 타입의 내부열교환기이다. B와 C타입은 내관의 형태가 매끄러운 (smooth) 형태로 흰의 높이는 각각 3.2, 3.9 mm이다. D와 E타입은 열교환 표면적 및 난류의 증가 효과를 위해, 내관의 형태를 각각 세레이션 (serration), 라이너 (liner) 및 세레이션 겸용 형태로 제작하였고, 흰의 높이는 3.5 mm로 동일하다.

[Table 3] Experimental results

Operation mode	Performance	Type of IHX				
		A	B	C	D	E
Idle	Amount of heat exchange (W)	290	192	201	290	326
	Pressure drop in liquid pipe (kPa)	4.32	4.36	3.85	1.36	1.78
	Pressure drop in suction pipe (kPa)	6.73	4.49	4.07	6.16	7.21
High load	Amount of heat exchange (W)	404	267	305	441	482
	Pressure drop in liquid pipe (kPa)	10.1	7.06	9.6	3.21	3.52
	Pressure drop in suction pipe (kPa)	14.4	10.1	13.8	28.2	31.0



[Fig. 1] Schematic diagram of the test facility for cooling performance

[Table 2] Experimental conditions

Operation mode	Inlet temperature difference between high and low pressure lines (℃)	Mass flow rate (kg/h)
Idle	36.6	100
High load	27.3	162

Table 3은 각 운전조건에 따른 내부열교환기의 열전달 성능평가 결과이다. 내부열교환기의 열교환량 및 고압측, 저압측의 입출구의 압력강하를 각각 비교하여 나타내었다. 흰 높이가 증가할수록 열교환량 및 압력강하도 비례하여 증가하였다. 고부하 운전조건에서, 흰 높이가 3.2 mm인 B타입에 비해 흰 높이가 3.9 mm인 C타입의 열교환량이 약 14% 더 높게 나타났다.

또한 열교환 표면적을 넓히고 난류에 의한 교란 효과

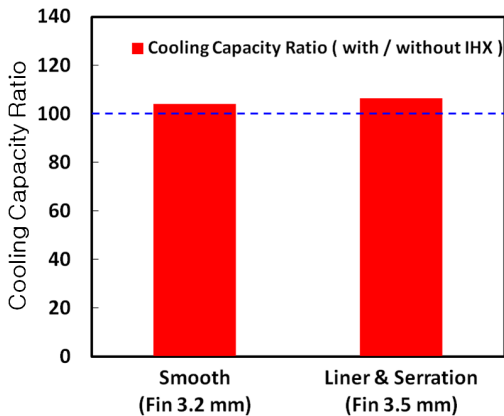
를 위해 내관을 가공한 D와 E타입이 열교환량에서 우수한 성능을 보였다. 스파이럴 형태의 A타입에 비하여 고부하 운전조건에서 D와 E타입이 각각 약 9, 19%의 열전달 성능 향상을 가져왔다. 반면에 고압측의 압력강하는 스파이럴 타입에 비해 감소하였으나, 저압측의 압력강하가 약 2배 이상 증가하였다.

3.2 내부열교환기 유무에 따른 시스템 평가

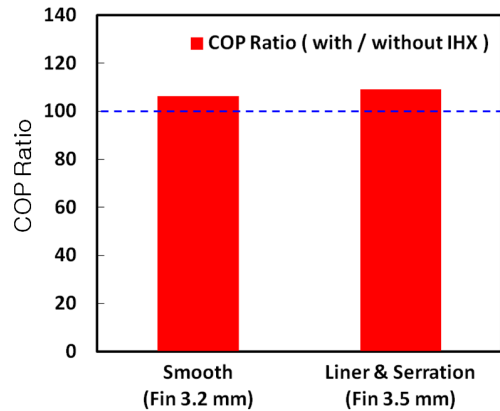
각 운전조건에서 내부열교환기의 유무에 따른 자동차 에어컨 시스템의 냉방능력 및 시스템 COP를 비교하였다. 냉방능력은 증발기의 열용량을 나타내며, 시스템 COP는 압축기 소요동력에 대한 증발기 열용량의 비 (식 (1))에 의해 냉매의 엔탈피를 이용하여 계산하였다.

내부열교환기의 모델 중, 내관이 매끄러운 B타입과 라이너 및 세레이션 형상이 추가된 E타입 내부열교환기의 냉방능력 및 시스템 COP를 내부열교환기가 없는 에어컨 시스템의 경우와 각각 비교하였다. Fig. 2와 같이, 내부열교환기가 없는 경우 (cooling capacity ratio 100% 기준)에 비해 B타입, E타입의 내부열교환기가 사용된 에어컨 시스템에서 각각 약 4, 6.4%의 냉방용량이 증가한 것을 알 수 있다. 또한 시스템 COP의 비교는 Fig. 3에서와 같이, 내부열교환기가 없는 에어컨 시스템에 비해 B타입과 E타입을 시스템에 적용하였을 때, 각각 약 6, 9.2% 정도의 시스템 COP 향상을 나타내었다.

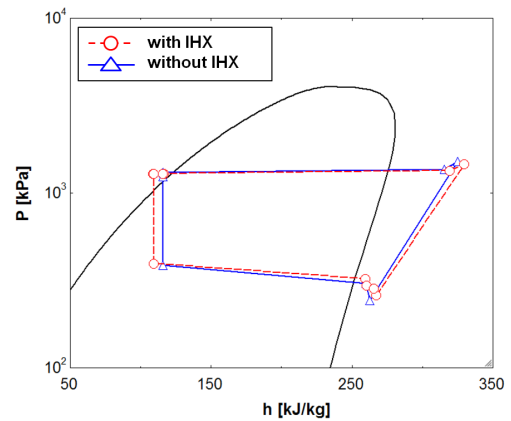
Fig. 4는 E타입의 내부열교환기의 냉방성능 향상을 보여주는 압력-엔탈피 선도이다. 붉은색 점선 및 파란색 실선의 냉방성능 곡선은 각각 내부 열교환기의 유, 무인 경우이다. 고압측 액상냉매와 저압측 기상냉매의 상호 열교환을 통해, 과냉도 추가 확보에 따른 냉방능력의 증가된 엔탈피의 양을 알 수 있다.



[Fig. 2] Comparison results of cooling capacity



[Fig. 3] Comparison results of COP



[Fig. 4] Pressure-enthalpy diagram for high load conditions in liner & serration E type IHX

4. 결론

본 연구에서는 자동차용 에어컨 시스템의 냉방성능 및 시스템 효율을 향상시키기 위해 흰 타입의 내부열교환기를 설계 및 적용하였다. 또한 형상설계 인자의 변화에 따른 성능 평가 및 비교를 통해 유리한 설계 조건을 알 수 있었다. 실험결과를 바탕으로 한 연구 결론은 다음과 같다.

- 1) 내부열교환기의 흰 높이가 높을수록 열교환량 및 압력강하가 증가하는 경향을 나타내었다. 매끄러운 내관 형상의 내부열교환기에서는 흰 높이가 3.2 mm 보다 3.9 mm를 갖는 경우에, 고부하 운전조건에서 열교환량이 약 14% 더 크게 나왔다.
- 2) 스파이럴 타입보다 내외측 환형 공간에 흰이 삽입된 세레이션, 라이너 및 세레이션 겸용 형상의 내관

을 이루는 내부열교환기의 열교환량이 고부하시 각각 약 9, 19% 정도 더 우수함을 알 수 있었다.

- 3) 내부열교환기를 적용한 에어컨 시스템의 냉방용량 및 COP는 각각의 조건에서 내부열교환기가 없는 경우의 시스템에 비해 향상된 성능을 나타내었다. 특히 흰 구조를 포함하는 라이너 및 세레이션 형상인 내관의 E타입 내부열교환기에서는 고부하시 약 6.4%의 냉방용량이 증가되었다. 또한 내부열교환기가 없는 경우에 비해 최대 약 9.2%의 COP가 향상되었다.

흰 냉매 (R134a)를 사용하는 기존 에어컨 시스템에 내부열교환기만을 추가함으로써, 대체냉매 (R1234yf 등)의 사용으로 인한 에어컨 시스템의 냉방성능 및 COP 감소를 보완할 수 있다고 판단된다. 향후 실차 적용에 따른 흰 구조의 내부열교환기가 갖는 벤딩 시 구조 변형에 따른 압력강하 및 내구 문제의 해결 방안으로는 열전달 성능 극대화를 통해 열교환기 길이의 최소화 또는 벤딩 부위용 피팅의 개발이 필요하다.

References

[1] H. Lee, J. Won, C. Cho, T. Lim, Y. Jung and Y. Kim, "An Experimental Study on Alternative Refrigerant's Drop-In Performance of Mobile Air Conditioning System", Annual Conference Proceedings of KSAE, pp. 1027-1032, 2010.

[2] H. Lee, J. Won, C. Cho, T. Lim, Y. Jung and Y. Kim, "An Experimental Study on Direct Expansion System's Performance of Mobile Alternative Refrigerant Air Conditioning System", Spring Conference Proceedings of KSAE, pp. 423-428, 2012.

[3] S. C. Kim, D. H. Lee and 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.

[4] D. H. Kim and Y. C. Kwon, "Experimental Study on Cooling Performance of Internal Heat Exchanger for CO₂ Refrigerant System", Transactions of the KAIS, Vol. 9, No. 3, pp. 587-592, 2008.

[5] H. Lee, J. Won, C. Cho and Y. Jung, "An Experimental Study on Performance Characteristic of Vehicle Air Conditioning System with Internal Heat Exchanger", Spring Conference Proceedings of KSAE, pp. 175-180,

2010.

[6] S. Kurata, T. Susuki and K. Ogura, "Double-pipe Internal Heat Exchanger for Efficiency Improvement in Front Automotive Air Conditioning System", SAE 2007-01-1523, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2007-01-1523>

[7] M. Y. Lee, C. W. Cho, H. S. Lee and J. P. Won, "Performance Characteristic of the Electrical Air Conditioning System for the Zero Emission Passenger Vehicle", Transactions of the KAIS, Vol. 12, No. 12, pp. 5430-5437, 2011.

김 성 철(Kim, Sung-Chul)

[정회원]



- 1999년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2007년 4월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 선임연구원

<관심분야>

미래형 자동차, 모터/인버터/배터리/연료전지 냉각, 공조(냉난방)시스템 및 열전달 응용