

자동차 공조시스템에서 건조기 일체형 응축기의 성능특성

김 경 훈^{*1)} · 김 석 우²⁾

경희대학교 테크노공학대학 기계공학전공¹⁾ · 한국에너지기술연구원 이산화탄소 사업단²⁾

Performance Characteristics of Sub-Cooled Hybrid Condenser in Automotive Air-Conditioning System

Kyunghoon Kim^{*1)} · Suckwoo Kim²⁾

¹⁾College of Advanced Technology, Kyung Hee University, Gyeonggi 449-701, Korea

²⁾CO₂ Reduction and Sequestration R&D Center, K. I. E. R., Daejeon 305-343, Korea

(Received 19 April 2004 / Accepted 22 July 2004)

Abstract : Sub-cooled hybrid condenser(SCHC) which have been developed through this study is an appliance of integrating a condenser with a receiver dryer, which were previously separated. It is supposed that the development of sub-cooled hybrid condenser will be able to reduce not only weight, size, production process and cost, but also quite improve in capability, which will be of great use for the technological development and research of an air conditioning system whose importance is higher in a car. Through the present study it was found that the developed SCHC increases in the degree of sub-cooling by 10~100% compared to conventional condenser. The excessive sub-cool has improved the cooling performance by 10%, and that leads to the reduction in evaporator outlet air temperature 1.5°C. Additionally, it is expected that sub-cooled hybrid condenser weights less by 100g than the previous condensers which has equal super heat.

Key words : Sub-cooled hybrid condenser(건조기 일체형 과냉각 응축기), Heat rejection rate(방열량), Sub-cooled(과냉각도), Pressure drop(압력 강하), Cooling performance(냉방 성능)

1. 서 론

국민 생활수준 향상과 더불어 자동차 보급이 급속히 신장되고 있다. 이제 자동차는 없어서는 안될 필수품이 되어버린 실정이다. 개발 초기의 단순한 교통수단의 개념을 넘어 주거 공간, 업무 공간에 이은 제 3의 생활공간으로 자리 잡고 있다. 이와 더불어 자동차의 조건도 차의 성능, 주행성, 안정성 등의 차의 기본조건 뿐만 아니라 승차감 및 쾌적한 운전 조건 등의 인간 감성부분을 추가한 개념으로 변화

되고 있다. 자동차의 공기조화 시스템도 단순한 냉·난방을 위한 기술보다는 건강, 편리성, 상황에 따른 적합한 온도 및 습도 등의 보다 첨단적인 방향으로 연구가 진행되고 있다.^{1,2)}

초기의 자동차 공조시스템은 실내의 온도 및 운전자의 시야를 확보하기 위한 단순기능에서 현재는 자동차 실내의 냉·난방 및 습도를 임의로 조절하여 운전자와 탑승자가 가장 쾌적한 상태로 유지할 수 있도록 하고 승차의 위치에 따른 전후좌우 독립 온도제어 기능, 간단한 음료를 차게 보관할 수 있는 보냉기능 등을 하는 장치로서 소형화, 경량화, 고효율화 및 전자화로 발전을 계속하는 추세이며, 대기

*To whom correspondence should be addressed.
kimkh@khu.ac.kr

오염상태가 심각해짐에 따라 보다 편리하고 쾌적한 환경을 추구하려는 인간의 욕구에 따라 실내 공기의 청정에 대한 관심도 급격히 부상하고 있다.³⁾

따라서 본 연구에서는 건조기 일체형 과냉각 응축기는 기존에 따로 분리되어있던 응축기와 건조기(dryer)를 일체화 시킨 것이다. 일체형 응축기의 개발을 통하여 무게, 크기, 생산 공정 및 생산 단가 등의 절감은 물론 성능 면에서도 크게 향상시킴으로서 자동차에서 더욱 중요시 되고 있는 공조 시스템의 기술개발과 연구 개발에 참고가 되리라 생각된다. 본 논문에서는 이러한 일체형 과냉각 응축기를 설계 및 제작하고, 실험을 통하여 시스템 자체의 성능평가 및 실제로 자동차용 공조 시스템에 어떤 특성을 보이는지에 대해 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

설계 기본사양을 중심으로 작성된 일체형 응축기의 설계 사양을 Table 1에 나타냈다.

Table 1 Design specifications of the sub-cooled hybrid condenser

Item	Unit	Required design	Conventional type	Experimental conditions
방열량	kW	15.119	11.820	5 m/s, 35°C
통기저항	Pa	69.0	49.0	4 m/s, 35°C
통로저항	kPa	130.0	213.0	226 kg/hr, 35°C

Table 1에서 보듯이 응축기와 건조기가 한 몸체로 되어 있는 일체형 응축기라고 하더라도 기존 응축기(건조기 제외)보다 성능이 대등하거나 우수한 성능을 가질 수 있도록 설계하였으나, 다만 통기저항 측면에서 기존 응축기가 채용한 21 mm폭의 튜브(tube) 대신 16 mm폭의 튜브를 사용함으로써 수치 해석 결과에 의하여 상대적으로 조밀한 핀피치(fin pitch)를 갖는 일체형 응축기 경우에 대한 통기저항을 약 20 Pa정도 여유 있게 설정하였다. 통로저항의 경우에는 기존 응축기의 약 60% 정도의 통로저항을 갖는 일체형 응축기를 설계하기 위해 목표 사양을 설정하였으며, 이는 기존 응축기의 경우가 건조기를 제외한 통로저항인 반면, 일체형 응축기의 경우

는 건조기를 포함한 통로저항 값으로서 달성 정도에 많은 관심을 기울였던 항목이었다.

앞에서 기술한 사양에 의거 방열성능이 기존의 응축기에 비해 동등 이상인 일체형 응축기를 설계하기 위하여 일체형 응축기에 대한 기하학적 설계 인자들은 자체 개발한 수치해석 프로그램⁴⁾으로도 출하였으며, 응축기와 한 몸체를 이루고 있는 건조기와 헤더(header)를 연결하는 부위에 대한 수치해석은 상용 코드(Fluent V5.0)⁵⁾를 이용하여 수행함으로써 헤더와 건조기 사이의 적절한 입구 및 출구 위치를 선정할 수 있었다.

본 연구에서 사용된 열량계(calorimeter)는 냉방 장치 등의 단품성능은 물론 자동차 냉방 시스템의 일반 성능을 측정할 수 있는 실험장치로써, Fig. 1에서 볼 수 있듯이 응축기의 성능측정을 위한 응축기 룸(condenser room), 압축기의 성능을 측정하기 위한 압축기 챔버(compressor chamber) 및 증발기의 성능을 측정하기 위한 증발기 룸(evaporator room)과 더불어 각각의 실험환경을 제어하기 위한 여러 가지 제반 설비(utility), 그리고 실험조건 및 실험 데이터를 수집하기 위한 제어판(controller) 및 중앙연산 장치(CPU)들로 구성되어 있다. 이는 전편의 연구에

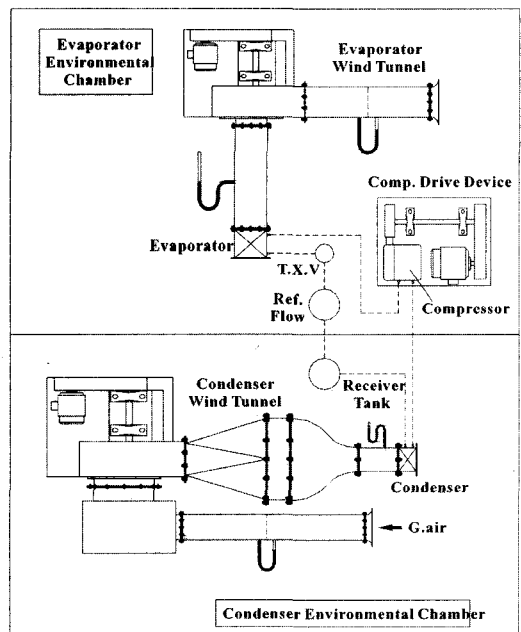


Fig. 1 Schematic diagram of calorimeter

서 검증되었던 사항들이다.⁶⁾

2.2 실험방법 및 조건

응축기의 시스템 성능을 측정하기 위한 실험조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Test conditions

Item	Conditions
응축기 전면 공기온도	35°C
응축기 전면 공기속도	1~7 m/sec
증발기 입구 공기온도	25°C
증발기 입구 공기상대습도	40%
증발기 통과 공기유량	450~480 CMM
냉매 유량	1200 g
송풍기 인가 전압	12.5 V
압축기 회전수	600~3500 rpm

이와 같은 조건에서 회전수를 변화시키면서 시스템 실험을 수행하였으며, 실험방법은 실험시작 후 약 30분 정도가 지나 안정화 된 후 데이터를 취득하였다.

모든 실험조건 및 방법들은 중앙연산처리장치에 입력한 후, 제어판을 거쳐 각각의 계측기 및 구동장치에 전달되어 실험이 시작되며, 실험 데이터들은 제어판을 거쳐 중앙연산장치에서의 사용으로 모든 조건을 판정한 후, 자동적으로 취득되도록 하는 취출장치(automatic data acquisition system)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

시작품을 대상으로 열량계(calorimeter)에 시스템을 구성하여 기존에 사용되는 일반형(분리형) 응축기와 본 연구에서 개발된 건조기 일체형 과냉각 응축기를 비교하는 성능실험을 수행하였으며, 그 결과를 살펴보면 다음과 같다.

증발기를 거친 냉매는 저온 저압의 과열 증기 상태로 압축기로 유입되어 고온 고압의 기체 상태로 응축기에 도달한다.

Fig. 2는 압축기의 회전수 변화에 따른 응축기로 유입되는, 다시 말해서 압축기로부터 토출된 냉매의 온도를 나타내는 실험결과를 보여주고 있다. 또

한 Fig. 3은 압축기 회전수 변화에 따른 일체형과 분리형 응축기의 출구온도 변화를 나타내고 있다. 입구 부분에서는 일체형 응축기가 분리형에 비해 높게 나타나고 있으나, 출구 부분에서는 일체형 응축기가 낮게 나타나고 있다. 이는 과냉각(sub cooled)으로 인하여 온도저하가 생겼기 때문으로 생각되며, 입구 부분에서는 일체형과 분리형 모두 불규칙적으로 나타나고 있으나, 응축기를 통과한 냉매가 출구부분에서는 안정화되는 것을 볼 수 있다.

실제 자동차 에어컨의 작동에 있어서는 압축기의 토출 온도가 낮은 것일수록 좋지만, 압축기 토출온도를 낮게 하려고 하다보면 증발기 출구의 과열도를 낮게 하여야 하므로 실험 결과를 토대로 고려해 볼 때, 증발기 출구의 과열도가 낮을 경우에는 압축기로 액 냉매가 들어갈 우려가 있고, 증발기의 토출

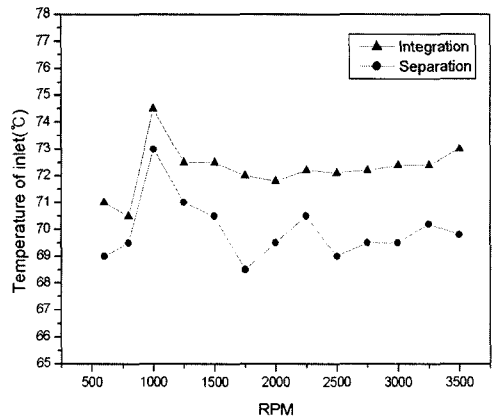


Fig. 2 Inlet temperature of condenser

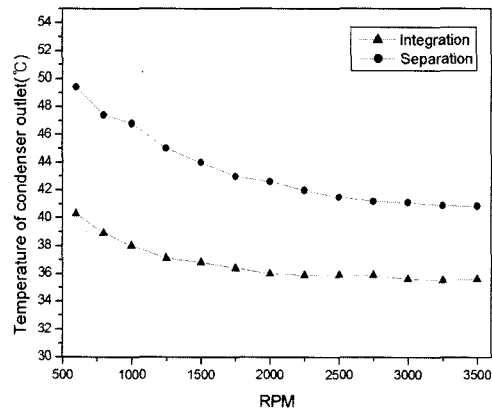


Fig. 3 Outlet temperature of condenser

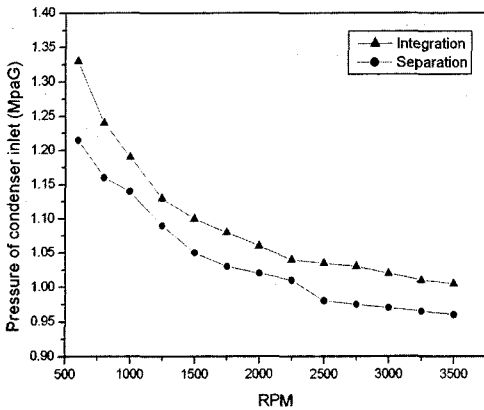


Fig. 4 Inlet pressure of condenser

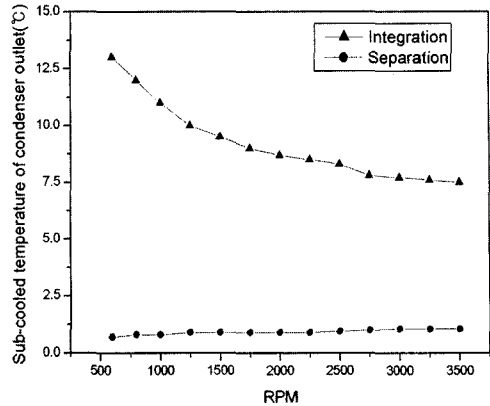


Fig. 6 Sub-cooled of condenser

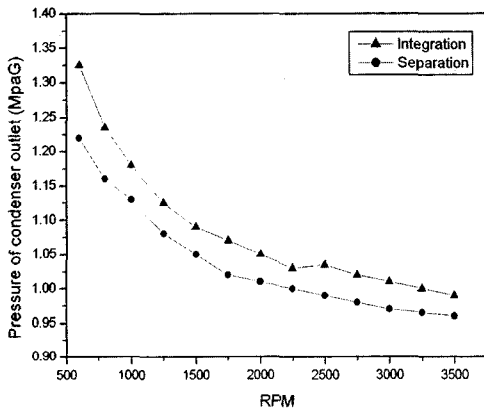


Fig. 5 Outlet pressure of condenser

(air-out) 온도는 상승하게 되어 실질적으로 자동차 실내의 온도를 하강시키는 데 걸리는 소요시간이 더 길어질 것이므로 압축기가 고장날 우려가 높을 것이다.

Fig. 4와 Fig. 5는 응축기 입구압력과 출구압력을 나타내고 있다. 입구압력과 출구압력은 거의 동일하게 나타나고 있으며, 이러한 경향은 건조기 탱크 (R/T : Receive Tank) 내에 있는 건조제 카트리지의 영향으로서 분리형보다 압력이 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 일체형 응축기 내부에 삽입되는 건조제 카트리지에 의한 압력손실 부분이 고려되어 있지 않기 때문으로 생각된다. 따라서 일체형 응축기와 분리형 응축기의 건조기 탱크 뒤쪽에서 압력을 측정해야 할 것으로 생각된다.

Fig. 6은 압축기의 회전수 변화에 따른 일체형과

분리형 응축기의 과냉각도(sub-cooled)를 나타내고 있다. 일체형 응축기가 기존의 응축기보다 과냉각이 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 이러한 사실은 압축기의 회전수가 올라갈수록 과냉각도가 줄어드는 원인이 응축기 헤더에 일체형으로 붙어있는 건조기 탱크에서의 냉매가 충분히 저장되지 못하기 때문으로 밝혀지고 있다. 이 사항에 대한 검증으로는 적정 냉매량을 결정하기 위하여 응축기 헤더와 건조기사이의 냉매의 거동을 파악하기 위한 유동가시화 시험에서 밝혀지고 있다. 여기서 적정 냉매충진량은 1100g 정도가 적당하다는 것을 알 수 있었으며, 이 충전량 구간에서 일체형 응축기의 압축비는 기존형의 그것과 다르게 압력비가 감소하는 구간을 보이지 않고 있다는 것이다.⁷⁾ 따라서 증발기에서의 냉방성능이 향상됨은 Fig. 6의 결과에서 살펴볼 때, 1250 rpm까지는 10°C 이상 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 7은 압축기의 회전수 변화에 따른 증발기를 통과한 공기의 평균 온도를 나타낸 그림으로서 실차상태에서의 실제의 냉방능력을 평가할 수 있는 중요한 지표가 되는 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 일체형과 분리형이 큰 차이를 보이지 않고 낮은 온도를 유지하고 있다.

Fig. 8에서는 압축기 회전수 변화에 따른 일체형과 분리형에 대한 압축기의 소요동력을 나타내었다. 여기에서는 건조기내의 건조제 카트리지로 인한 응축기 입·출구간의 압력차 증대로 인하여 일반형 보다 건조기 일체형 응축기가 소요동력이

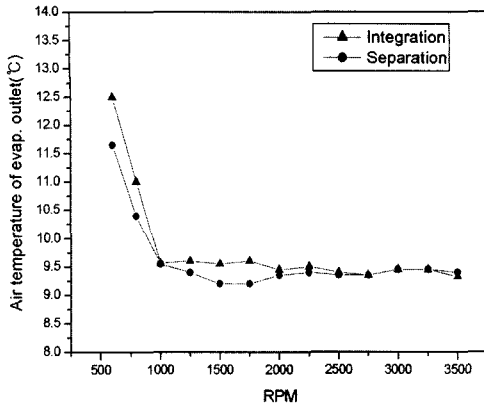


Fig. 7 Outlet temperature of evaporator

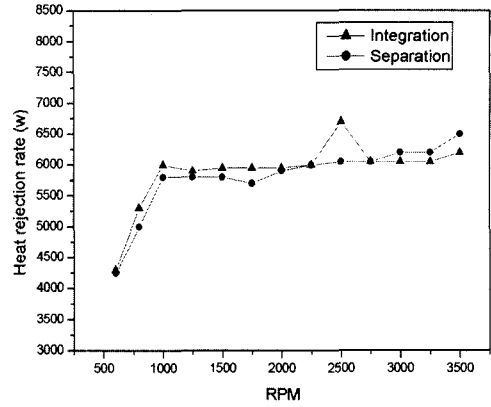


Fig. 9 Heat rejection of condenser

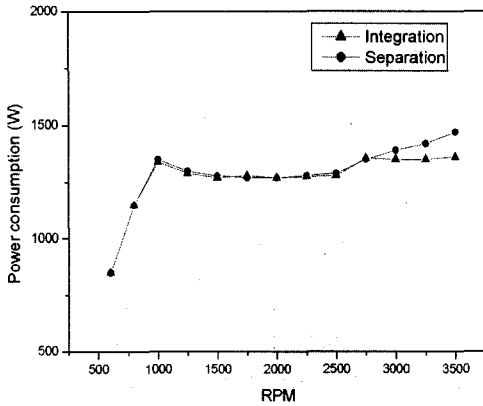


Fig. 8 Power consumption of compressor

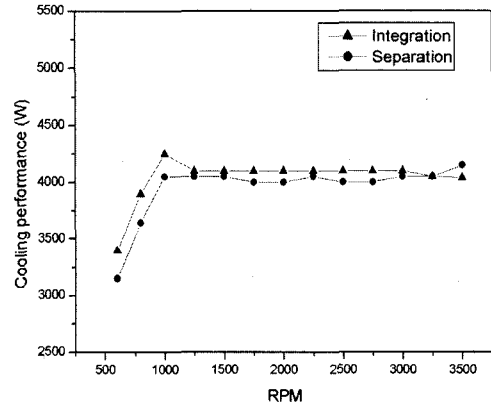


Fig. 10 Cooling performance of evaporator

3000 rpm 이상에서는 약간 작아진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 일체형과 분리형 응축기의 방열량을 나타낸 것이다. 2750 rpm까지는 일체형이 분리형에 비해서 방열량이 높게 나타나고 있지만, 그 차이는 미미하고, 그 이후부터는 서서히 떨어진다는 것을 알 수 있다. 그러나 가장 많이 쓰이는 회전수가 3000 rpm 일 때를 감안하면, 일체형의 방열량이 우수하다는 것을 알 수 있다.

시스템 실험에서 또 하나의 중요한 수치는 증발기에서의 냉방성능일 것이다. 응축기에서 같은 방열량을 얻는다고 해도 증발기에서의 냉방성능이 결국 시스템의 성능을 좌우하기 때문이다.

Fig. 10에서는 일체형과 분리형의 증발기 냉방 성능을 나타내고 있다. 전체적으로 일체형이 분리형에 비해서 높게 나타나고 있으며, 그 차이는 아주 적

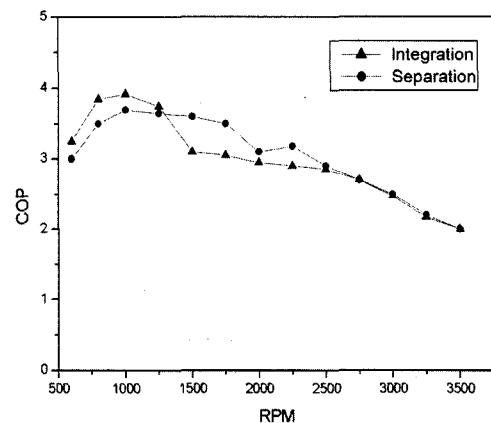


Fig. 11 Variation of the coefficient of performance

다. 또한 1000 rpm 정도부터는 안정화된다는 것을 알 수 있다. 시스템의 효율을 나타내는 성적계수의 변화를 Fig. 11에 나타냈다. 분리형 응축기가 일체형

응축기 보다 비교적 우수하게 나타나고 있는데, 이는 일체형 응축기에 비해 응축기에서 압력저항이 작기 때문이다.

압축기 소요동력과 시스템 냉방성능의 변화추이와 함께 성적계수를 관찰할 때, 앞의 그림들과 비교 시 시스템의 냉방성능이 향상될수록 압축기의 소요동력이 증가하지만, Fig. 11의 결과에서 알 수 있듯이 압축기의 회전수가 증가함에 따라 시스템의 성적계수는 나빠짐을 알 수 있다. 분리형 응축기를 채용한 시스템이 일체형 응축기를 채용한 시스템보다 성적계수 면에서는 오히려 좋은 효율을 내는 경우도 있으나, 그 차이는 적정 냉매량 구간에서 $\pm 10\%$ 정도이므로 실험상의 오차 및 시작품 제작상의 오차를 고려하면 그다지 큰 차이는 아닌 것으로 판단된다. 따라서 일체형 응축기를 장착한 시스템과 기존형 응축기를 장착한 시스템 간의 효율적 차이는 크지 않다는 결론을 내릴 수 있다. 따라서 지금 현재로서는 기존형 응축기가 조금 더 효율적인 경향을 나타내지만, 대체로 비슷한 운전효율을 갖는다고 할 수 있다. 그러나 일체형 응축기의 개발을 통하여 무게, 크기, 생산 공정 및 생산 단가 등의 절감효과를 기대할 수 있다고 생각하면 일체형 응축기를 장착한 시스템 쪽이 더 우수하다.

4. 결 론

자동차 공조시스템에서 쓰이고 있는 기존형 응축기를 대신하여 새로이 건조기를 내장한 일체형 응축기를 설계한 후, 개발하여 제작한 시작품들로부터 시스템 실험을 거친 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 일체형 응축기가 기존의 응축기보다 과냉각이 크게 나타나고 있으나, 압축기 회전수가 올라감에 따라 건조기 탱크에서의 냉매가 충분히 저장되지 못하여 과냉각이 줄어드는 것을 알 수 있었다.
- 2) 과냉각(sub-cooled)으로 인한 온도 저하로 입구 부분에서는 일체형 응축기가 분리형 응축기에 비해 온도가 높게 나타나고 있으나, 출구부에서는 일체형 응축기의 온도가 분리형 응축기에

비하여 낮아진다는 것을 알 수 있었다.

- 3) 동등한 방열량을 갖는 기존형 응축기에 비하여 일체형 응축기가 대략 100 g 이상의 중량 저감이 예상된다.
- 4) 실차 상태에서의 실제 냉방능력을 평가할 수 있는 증발기 출구 공기온도를 비교해 볼 때, 일체형이 분리형과 거의 비슷한 경향의 낮은 온도를 유지한다. 따라서 실제 차량에 적용되었을 경우 만족스러운 냉방성능이 유지될 것이라 생각된다.
- 5) 일반적으로 일체형 응축기를 장착한 시스템이 기존형 응축기를 장착한 시스템에 비하여 월등한 과냉각도 및 시스템 냉방능력을 나타냄으로서 냉방효과 면에서는 일체형 시스템이 우월하다는 것을 알 수 있다.

References

- 1) Y. Yamanaka, H. Matsuo, K. Tuzuki, T. Tsuboko, "Development of Sub-Cool System," SAE 970110, pp.37-41, 1997.
- 2) A. A. Rahman Ali, F. Castro. F. V. Tinaut, M. Melgar, "Modeling of Automotive Air Conditioning Parallel Flow Condensers With Pressure Drop Calculations," IMechE.c496/020, pp.429-434, 1995.
- 3) H. Aoki, T. Shinagawa, K. Suga, "An Experimental Study of the Local Heat Transfer Characteristics in Automotive Louvered Fins," Experimental Thermal and Fluid Science 0894-1777, pp.293-300, 1989.
- 4) S. Y. Yang, Y. K. Song, S. G. Jeung, J. K. Won, "Analytical and Experimental Study of The Automotive Air Conditioning Condenser," Journal of KSAE, Vol.29, No.2, pp.22-32, 1998.
- 5) Fluent6 User's Guide, Fluent Incorporated, 2002.
- 6) K. H. Kim, J. S. Jang, J. I. Park, "Development on the Sub-Cooled Hybrid Condenser in Automotive Air-Conditioning System," Transactions of KSAE, Vol.11, No.5, pp.70-76, 2003.
- 7) S. H. Lee, "An Experimental Study on Characteristics of Sub-cooled Hybrid Condenser," M. A. Thesis of Kyung Hee University, 2001.