

자동차용 열교환기의 개발 동향

오 광 현

한라공조주식회사 기술연구소(khoh@mail.hcc.co.kr)

지 용 준

한라공조주식회사 기술연구소(yjje@mail.hcc.co.kr)

최근 소비자들의 쾌적성 및 연비향상에 대한 욕구 증대로 고효율 부품과 새로운 편의장치가 추가되고 있는 한편, 차 실내의 거주 공간은 점차 확대되고 있다. 이에 따라, 기존 부품의 장착공간은 점차 축소되어 냉난방을 담당하는 공조시스템도 소형/경량, 고효율화가 진척되어 왔으며, 공조시스템의 핵심요소인 열교환기 또한 이러한 추세에 대응하여 진화를 거듭해왔다.

한편, 2005년 발효된 교토의정서에서 현행 자동차용 에어컨 냉매인 R-134a가 지구온난화 물질로 지정됨에 따라, 유럽에서는 2011년부터 신규 출시되는 자동차에는 GWP(Global Warming Potential, 지구온난화지수) 150 이하인 냉매만 사용할 수 있도록 규정한다. 이어, 미국도 R134a에 대한 규제를 준비중임에 따라, 자동차업계에서는 새로운 냉매를 이용한 공조시스템 및 관련 부품 개발에 박차를 가하고 있다.

현재 유력한 후보로 거론되고 있는 차세대 냉매 중, R-744(CO₂) 냉매시스템은 고압환경에서 작동됨에 따라 내구신뢰성이 높은 열교환기 개발이 필요하며, R-134a와 유사한 물성을 갖는 Fluid-H(혹은 1234yf), R-152a 등의 혼합냉매는 기존의 열교환기를 사용할 수는 있으나 냉매의 특성에 따라 열교환기의 추가 또는 최적화가 필요하다.

공조시스템 개발을 둘러싼 환경변화에 대응하기

위해 공조업계에서는 열교환기의 소형, 경량화와 더불어 모듈화, 신기술 개발 등 다양한 방법을 강구하여 민첩하게 대응하고 있다. 본 글에서는 이러한 환경변화에 대응한 국내외 자동차 공조업체들의 열교환기 개발 동향을 요약하여 소개하고자 한다.

고효율, 소형, 경량 열교환기

차실내에 위치하여 실내 공기의 온도와 습도를 제어하는 증발기(evaporator)와 히터(heater)는 차량에서의 전자장치 증대와 실내 거주성 향상에 부응하기 위해 열교환기 두께와 중량을 감소시키는 부품개발이 필요하다.

• 증발기(evaporator)

열교환기에 대한 소형/경량화, 고성능화 요구에 따라 증발기(evaporator)의 경우 불과 10년 사이에 두께가 81 mm에서 40 mm 미만으로 줄어들었으며, 형태도 플레이트형(plate type)에서 튜브형(tube type)으로 변경되었다(그림 1, 2). 히터와 유사 구조를 가지는 튜브형 열교환기는 통풍방향을 기준으로 병렬 배치된 튜브 사이를 핀(fin)으로 집합한 열교환기 코어(core)부와 튜브의 양단에 배치되는 헤더(header)부로 구성되어 있다.



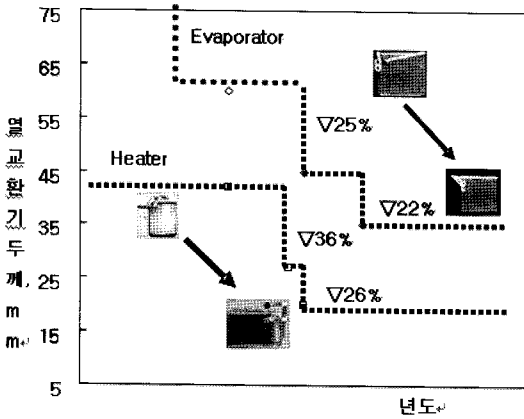
• 히터(heater)

히터(heater)의 경우도 약 30 mm에서 20 mm 수준으로 두께가 축소되면서, 내부유동형태도 U-Flow type에서 1-Way Flow으로 변경되었으며, 엔진의 고효율화에 부응하여 열교환기의 물측 압력저항을 줄이면서 방열성능은 증가시키는 고효율, 경량화의 방

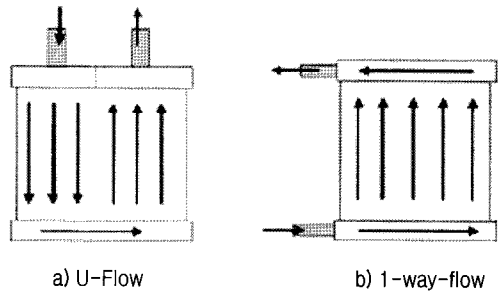
향으로 개발이 추진되고 있다(그림 1, 3). 또한, 이에 따라 종래의 편평튜브(Welded tube)에서 폴디드 튜브(Folded tube)로 변경되는 추세이다(그림 4).

모듈화 및 일체화 열교환기

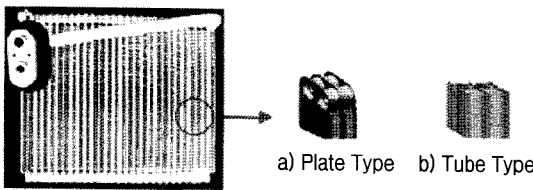
소형/경량화는 물론 원가절감 및 생산성 향상을 도모하기 위하여 열교환기와 주변부품의 기능 및 구조를 일체화한 모듈형 열교환기 개발이 활발하게 추진되고 있다.



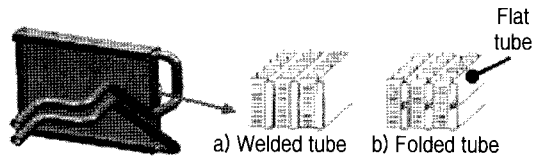
[그림 1] 증발기 및 히터의 두께 변화



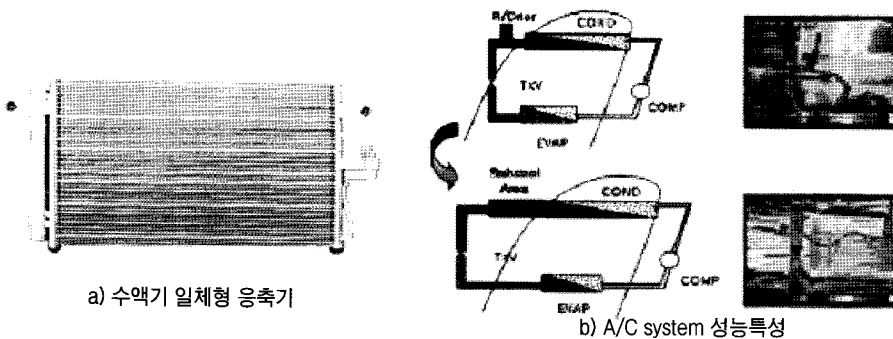
[그림 3] 히터 냉각수 유동형태



[그림 2] 증발기 type



[그림 4] 히터 Tube type



[그림 5] 수액기 일체형 응축기

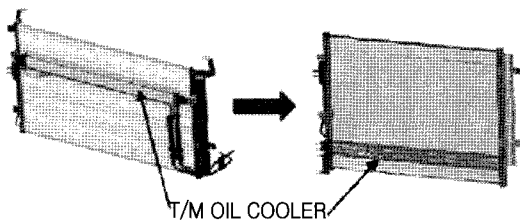
• 수액기 일체형 응축기

응축기는 그림 5와 같이 수액기 기능을 포함시켜 응축된 냉매를 효율적으로 재냉각함으로써 냉매량을 약 12 ~ 20% 줄이면서 과냉도와 시스템 효율은 향상시켰다. 또한, 지속적인 고집적, 고효율화로 약 12 mm 두께의 박형 열교환기로 전환되고 있는 추세이다.

또한, 통상 냉매 중에 혼입되어 있는 3 ~ 10% 정도의 냉매오일은 응축기의 성능 저하 및 시스템 효율을 떨어뜨리는 원인이 되고 있어 냉매오일의 영향을 줄임으로써 응축효율을 높이려는 연구도 추진되고 있다.

• 콤보 쿨러(combo-cooler)

기존에는 엔진 트랜스미션 오일 냉각용 오일쿨러와 에어컨시스템용 응축기가 각각 별도 장착되었으나, 콤보쿨러는 이들 두가지 열교환기를 일체화 한 복합 열교환기이다. 이와 같이 각기 다른 작동온도를 가진 작동유체(응축기: 냉매, T/M Cooler : 변속기 오일)의 경우에도 두 종류의 열교환기 사이에 상



[그림 6] 응축기와 변속기 오일 냉각기를 일체화한 콤보 쿨러

호 열전달을 차단하는 기술을 개발하여, 단일 열교환기로 개발함으로써 생산성 향상과 함께 두께축소 및 조립성의 자유도를 높이는 방향으로 기술개발이 추진되고 있다(그림 6).

고압냉매용 열교환기

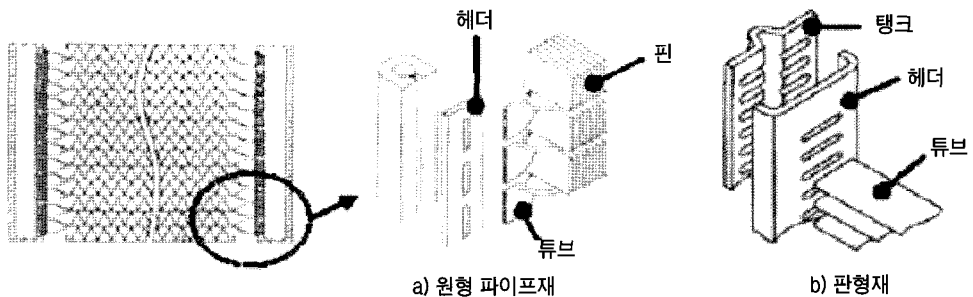
자연냉매인 이산화탄소를 이용한 냉매시스템은 현재 R-134a 냉매시스템 대비 5 ~ 10 배 정도의 고압에서 작동하므로 열교환기의 내압성을 확보하기 위한 설계가 필요하다.

특히, 내구성 확보 및 소형화 추진에 핵심이라 할 수 있는 헤더(header)와 튜브(tube)의 결합구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이와 더불어 충분한 두께를 가진 판형재를 이용한 고내압 부품에 대한 연구개발도 지속적으로 추진 중이다. 향후, 고압용 열교환기를 제작하기 위해서는 이에 상응하는 소재 개발과 제작공법의 향상이 필수적이다(그림 7).

저압냉매용 열교환기

Fluid-H 냉매(혹은 1234yf)는 R-134a 대비 엔탈피 차이가 약 30% 정도 작기 때문에 냉매유량을 증대시킬 필요가 있으며, 이에 따른 열교환기 압력 손실을 최소화하는 시스템적 개선이 요구된다. 현재 냉매의 압력손실을 개선하기 위하여 유로면적 증대, 냉매유로 단순화, 에어컨 라인 개선 등이 검토되고 있다(그림 8).

R-152a 냉매는 화염성 및 독성 문제로 2차 루프 시스템을 구성해야 하는 상황으로, 현 시스템 대비 추

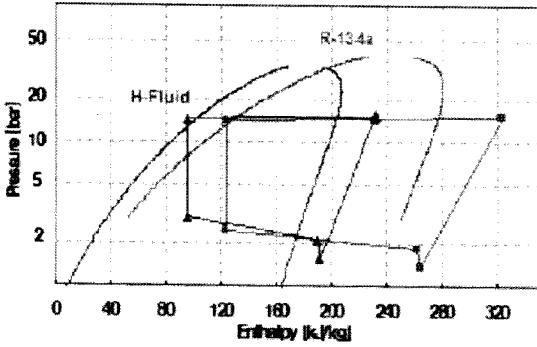


[그림 7] R-744 열교환기 개략도



가적인 부품개발(pump, 호스, 냉각수 탱크 등)이 필요하며, 이러한 냉각수 회로 추가에 따른 중량 및 원가 상승과 더불어 차량에 적용하기 위한 패키징성에

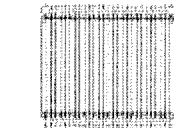
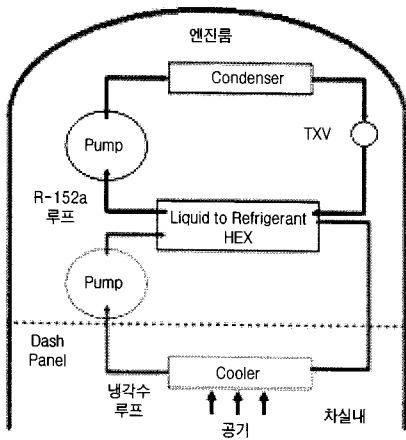
대한 연구가 필요하다. 그림 9와 같이 R-152a 시스템용 열교환기는 현행 R-134a용 열교환기를 개선하여 사용할 수 있으나, 토출공기의 온도분포 및 응축수 배수성에 대한 추가적인 검토가 필요한 상황이다.



[그림 8] Fluid-H 냉매의 P-H선도

라디에이터

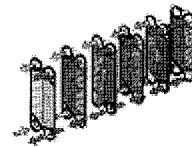
기존의 라디에이터는 그림 10과 같이 일반적으로 탱크(tank) 소재가 플라스틱이었으나, 최근에는 리사이클성 향상을 위해 알루미늄으로 변경되고 있다. 이 경우, 열에 의해 튜브가 길이방향으로 수축과 팽창을 반복하면서 열용력이 탱크 하단에 집중되어 균열, 파손이 발생할 우려가 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 서포트의 접합부를 국소적으로 접합시켜 튜브



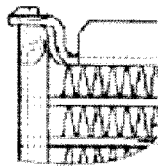
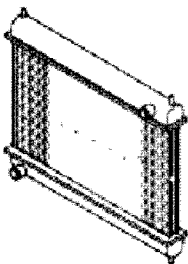
a) 실내 열교환기(Cooler)



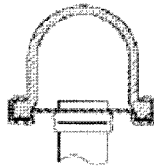
b) 실외 열교환기(LTR HEX)



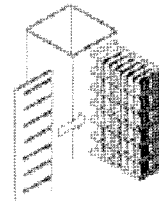
[그림 9] R-152a 시스템 및 열교환기 개략도



a) 서포트 구조



b) 튜브 구조



c) 판재 구조

[그림 10] 라디에이터

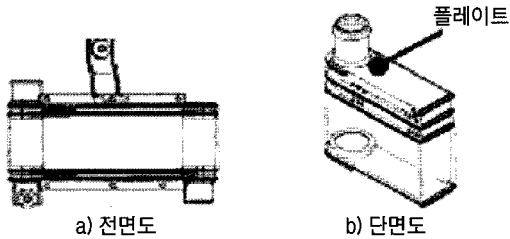
와 서포트의 열변형을 줄이거나(그림 10 a), 튜브의 끝부분에 열팽창 및 수축을 흡수할 수 있는 확장부를 구비하거나(그림 10 b), 헤더와 튜브 사이를 부재로 고정하여 열응력을 완화시키는 방법(그림 10 c) 등이 여러 업체에서 연구되고 있다.

인터쿨러(intercooler)

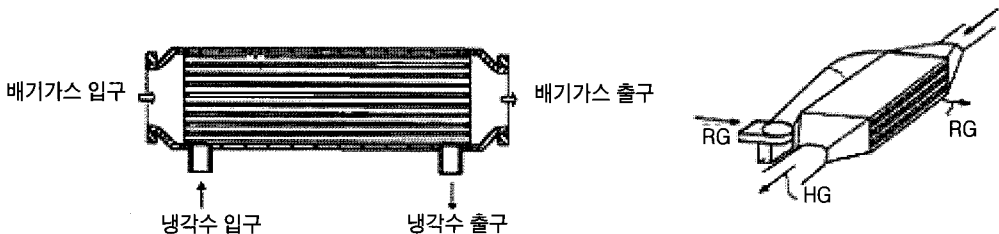
인터쿨러는 터보차저(turbo charger)에서 압축된 고온의 공기를 냉각시켜 저온의 압축공기로 만들어 고밀도의 공기를 엔진실린더로 공급하는 역할을 한다. 공랭식 인터쿨러는 플레이트와 핀을 적층하여 코아부를 형성하고, 적층방향 양단에 비교적 두꺼운 엔드 플레이트를 접합시키는 방법이 일반적이며, 부품수를 줄여 소형/경량화를 도모함과 동시에 조립공수를 줄여 생산성을 높이는 제품 개발에 주력하고 있다(그림 11).

EGR(Exhaust Gas Recirculation) 쿨러

EGR 쿨러는 배기가스의 일부를 냉각하여 엔진 흡



[그림 11] 인터쿨러



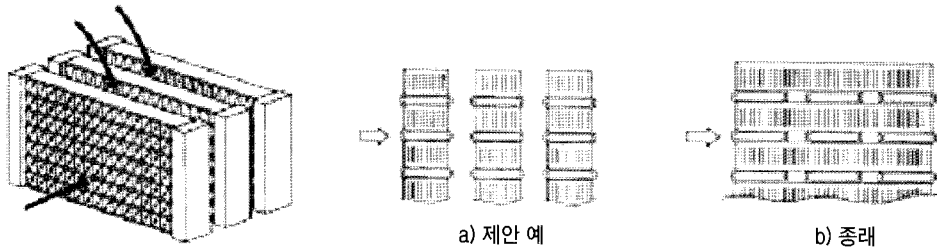
[그림 12] EGR 쿨러

기측으로 재순환시킴으로써 연소온도를 낮춤과 동시에 완전연소를 촉진하여 질소산화물(NOx) 등 유해물질의 배출을 최소화 하는 열교환기이다. 일반적으로 그림 12와 같이 편평 튜브의 양단을 헤더와 케이스로 감싸고 있는 구조이며, 냉각수 입구를 통하여 케이스로 유입된 냉각수는 튜브를 통하여 배기가스 입구측에서 출구측으로 움직이면서 각 편평튜브 사이를 통과하는 고온의 배기가스와 열교환을 통하여 배기가스를 냉각한 후, 냉각수 출구로 유출된다. 냉각수를 균등하게 유동시켜 열교환 효율을 높임은 물론, 냉각수의 국부적인 비등(沸騰) 방지, 내구성 향상, 원가절감 및 소형화 등이 업계의 주요 연구과제이다.

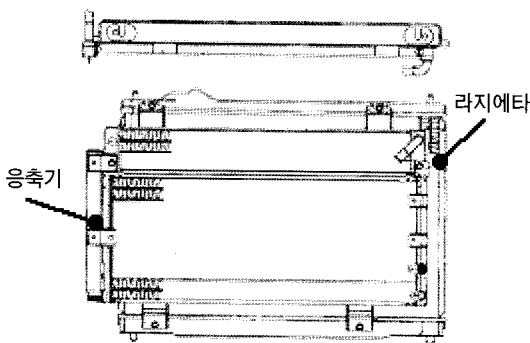
전기자동차/연료전지 차량용 열교환기

연료전지 시스템은 수소 연료와 산소를 화학반응시켜 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 것으로 연료전지의 작동온도가 약 65 ~ 80도 정도로 낮아 외부공기와 냉각수의 온도 차를 높이기 위한 고효율 냉각계와 고용량 냉각팬이 필요하다. 그림 13은 튜브와 핀으로 구성된 코아부를 냉각 공기의 유동방향으로 복수 배치함과 동시에 코아 사이에는 일정 간격을 두어 냉각공기가 코아부를 통과할 수 있도록 구성함으로써 냉각공기가 핀을 따라 유동하면서 발생하는 온도 경계층이나 속도 경계층의 성장을 억제하여 열교환 효율을 향상시킨 예이다.

하이브리드 자동차용 냉각시스템에는 엔진 냉각수 냉각용 라디에이터, 인버터와 전동기 등 전기 부품 냉각용 라디에이터가 있으며, 또한, 에어컨시스템용 응축기를 구비하고 있는 것도 있다. 이와 같이 3개의



[그림 13] 열교환기의 구성 예



[그림 14] 열교환기의 구성 예

열교환기를 가지는 경우, 엔진용 라디에이터와 전기 부품용 라디에이터는 동일 평면으로 배치하고, 응축기는 상류측에 배치하는 냉각시스템이 실용화 되어 있다(그림 14). 그러나, 하이브리드차의 출력을 향상시키기 위해 인버터 용량이 증가될 경우, 인버터용 라디에이터의 대형화가 필요한 반면, 동일 평면상에 배치된 엔진용 라디에이터는 작게 설계해야 하므로 필요한 방열량이 부족하게 된다. 이러한 시스템적 문제를 해결하기 위한 방안으로 업계에서는 배관 레이아웃의 간소화 및 열교환기 배치 최적화 등에 대한 연구를 추진하고 있다.

맺음말

자동차 부품 개발 기술은 지구 환경보호라는 거대한 과제와 탑승자의 쾌적성 만족이라는 두 가지 다른 관점을 동시에 충족시켜야 하는 과제를 가지고 있으며, 이러한 개발목적에 적합한 제품개발이 필요하다. 현재 차세대 냉매를 선택하기 위한 노력이 국제적으로 추진되고 있으나, 결정을 쉽게 내리지 못하고 있는 상태이다. 하지만, 어떠한 냉매로 결정되더라도 에어컨 시스템의 열교환기 구조에는 상당한 변화가 있을 것으로 예상된다. 또한, 하이브리드 자동차 및 연료전지자동차 등에 적용되는 열교환기도 새로운 측면으로 접근해야 할 과제들이 산적해 있다.

이와 같은 과제들은 환경변화를 예의주시하면서 하나씩 차근차근 해결해 나가야 할 것으로 판단되며, 미래 개발환경 변화와는 관계없이 열교환기의 경량화, 박형화, 고효율화 및 모듈화 등은 소비자의 쾌적성 향상과 지구환경보호의 관점에서 지속적으로 추진되어야 할 대명제이므로 이에 대한 연구 개발은 관련 업계에서 지속적으로 추진해 나갈 것으로 판단된다. ❁