

자동차 열교환기의 기술개발 동향

The Development Trend on Automotive Heat Exchangers

김 기 효
K. H. Kim

한라공조(주) 기술연구소



- 1956년생
- 자동차 공조시스템의 공기유동 및 열전달현상에 관한 실험 수치해석에 관심을 가지고 있다.

김 태 성
T. S. Kim

한라공조(주) 기술연구소



- 1962년생
- 자동차 열교환기 설계에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

최근들어 우리나라의 자동차 산업은 질적인 면과 양적인 면에서 급속적인 성장을 계속하고 있다. 1995년도 기준으로 한국은 약 260만대의 자동차를 생산하여 세계 제5위의 자동차 생산국이 될 것으로 예상되며, 또한 국내 자동차 업체들이 꾸준히 추진해온 품질개선 노력에 힘입어, 그동안 값싸고 품질이 낮은 자동차로만 인식되어 오던 국산 자동차의 이미지를 미국과 일본 등의 선진 자동차 메이커들이 생산하는 자동차에 비해 저가이면서도, 성능과 품질이 우수한 자동차로서 서서히 바꾸어 나감으로써, 질적인 면에 있어서도 괄목할 만한 성장을 이루었다고 볼 수 있다.

이러한 국내 자동차 업계의 외형적 성과와 더불어, 자동차 보급이 일반화되고 있는 현 상황에서는 자동차 수요자의 의식수준도 점차 고급화, 다양화되는 추세로 바뀌고 있다. 즉, 자동차가

현재와 같이 보편화되지 않았던 시대에는 자동차는 단지, 이동을 위한 교통수단의 하나로써 인식되는 것이 대부분이었으나 시대가 변천함에 따라, 현재는 자동차를 제2의 생활공간으로 여기는 형태로 그 관념이 변화하고 있다고 보여진다. 이에 따라, 자동차 수요자들은 성능과 안전성이 우수하고 고장이 적은 자동차와 더불어, 쾌적한 운전환경을 갖춘 자동차를 선호하는 추세를 보이고 있는데, 현재 에어컨이 선택사양으로 되어 있는 내수용 중, 소형자동차의 에어컨 장착율이 90%를 상회하여 거의 기본사양화 되고 있다는 사실이 이를 입증해 준다고 볼 수 있다.

자동차 앞유리의 성에 제거를 통한 운전자의 시계 확보와, 차실내의 제습 및 냉난방 기능을 수행하는 자동차 공조시스템은 그 성능이 자동차의 안전 및 자동차 수요자의 만족도와 직결되기때문에, 우수한 성능과 품질을 확보하는 것이 무엇보다도 중요하다.

한편, 자동차의 경량화 및 Cost down에 대한 필요성이 자동차 및 자동차 부품업계의 현안으로 대두되면서, 그 대안으로서 각종 부품의 소재를 알루미늄 등의 경량화 소재로 변경하거나 구조 및 부피를 단순화, 소형화하는 소형, 경량화 추세는 관련업계에서 두드러지게 나타나고 있다. 자동차 공조업계 또한 이러한 추세를 반영하여 열교환기의 주요소재를 동에서 알루미늄으로 변경하고 구조를 소형화하는 등, 공조시스템의 소형 경량화를 위해 온 힘을 쏟고 있다.

이 글에서는, 자동차 쾌적환경 조성에 주 역할을 담당한다고 할 수 있는 공조시스템의 핵심부품인 열교환기의 일반적인 구조, 특성과 최근의 기술개발 동향을 소개하고자 한다.

2. 자동차용 열교환기의 종류 및 특성

자동차의 공조시스템은 엔진냉각시스템 및 에어컨과 히터시스템으로 구분된다.

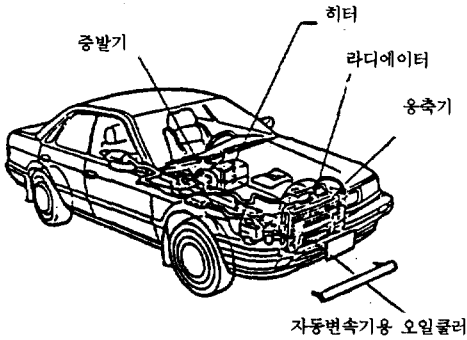


그림 1 자동차 열교환기

엔진냉각시스템은 라디에이터(Radiator)와 자동변속기용 오일쿨러(Oil Cooler)로 구성되어 있으며 에어컨과 히터시스템(Heater system)은 증발기(Evaporator), 히터(Heater), 응축기(Condenser)등으로 구성되어있다. 그림 1은 자동차에 적용되고 있는 각종 열교환기의 장착위치를 나타내고 있다. 그림1을 참조하면서 현재 생산되고 있는 자동차용 열교환기의 구조와 최근의 기술개발 동향에 관하여 설명하고자 한다.

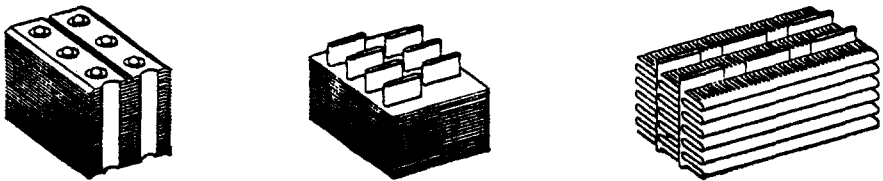
2.1 라디에이터

(1) 라디에이터의 기능

라디에이터는 자동차의 실린더 내부에서 연료의 연소로 발생하는 고온의 열이 실린더를 통해 실린더 벽 워터재킷의 내부에 순환되고 있는 냉각수에 전달되고, 이 냉각수가 라디에이터를 통과하면서 외부공기와 열교환을 하여 실린더 내부의 온도를 적정수준으로 유지시킴으로써 엔진의 손상을 방지하고 엔진구동이 효율적으로 이루어지도록하는 열교환기이다.

(2) 구조

그림2는 라디에이터의 일반적인 구조를 나타낸 것이다. 초창기에 개발된 Round tube-plate fin형 라디에이터는 구리 또는 알루미늄 소재가 사용되었으며, 튜브와 핀의 접합에는 기계확관 방식이 사용되었다. 이후 개발된 Oval tube-plate fin형 라디에이터는 구리와 황동 소재가 사용되었는데 튜브와 핀의 접합에는 납용접 방식이 사용되었다. 상하 탱크 역시 주로 황동소재를 사



(a) Round tube-plate fin형 (b) Oval tube-plate fin형 (c) Oval tube-corrugate fin형

그림 2 라디에이터의 구조 형식

용하였다.

Oval tube-corrugate fin형 라디에이터는 현재 생산되고 있는 라디에이터의 일반적인 형태로, 초기에는 구리 및 황동 소재가 사용되었으나 경량화 추세에 따라 알루미늄으로 바뀌고 있다. 튜브와 핀의 접합은 구리/황동 소재의 경우 납용접 방식이 사용되었으나 알루미늄소재로 변경되면서 소재의 외피에 모재보다 낮은 용융점을 갖는 알루미늄 재질을 입혀서 브레이징접합하는 방식으로 바뀌고 있다. 상하 탱크의 소재 역시 황동에서 플라스틱 수지로 바뀌고 있으며, 플라스틱수지 탱크의 경우 코아와 조립시 고무재질의 가스켓(Gasket)을 사용한다.

(3) 최근의 기술개발 동향

최근의 자동차 개발추세는 연료의 연소효율을 높이는 등 엔진이 고효율화 되고 자동차 전면부의 형상이 공기역학적으로 설계됨에 따라 외부에서 라디에이터로 유입되는 공기의 흐름은 열악한 조건이 되고 있으며, 자동차에 다양한 기능이 추가됨으로써 엔진룸 내부가 복잡해지고 역시 엔진룸 내부에서의 공기흐름이 열악하게 되어 고성능, 소형의 라디에이터가 요구되고 있다. 또한, 자동차의 품질보증기간이 확대됨에 따라 내구성이 우수한 제품이 요구되고 있으며, 주행연비 향상을 위해 경량화가 지속적으로 요구되고 있다.

이러한 요구에 따라 구리/황동을 대신한 알루미늄 재질의 라디에이터가 개발되어 국내에서는 1980년대말부터 승용차에 점차적으로 적용되어 왔다. 국내의 경우 1995년도 승용차의 80% 이상이 알루미늄 라디에이터를 장착한 것으로 예상되며 지프(Jeep)형 자동차에도 그 적용범위를 넓혀가고 있다.

냉각성능 향상을 위한 방안으로 공기측의 열전달 성능을 향상시킬 수 있는 핀형상에 대한 연구가 이루어지고 있는데, 핀과 튜브의 적정치수를 설정하여 튜브-핀-대기로의 열전달효율을 향상시키는 방안이 연구되고 있다. 또한 냉각수측의 열전달 성능 향상을 위해 튜브관로의 형상에 관한 연구가 이루어져 왔다.

딴플튜브(Dimpled tube)는 냉각수의 흐름이 저속일 경우 튜브관로내의 냉각수의 흐름을 충류

에서 난류로 보다 효과적으로 만들어 라디에이터 방열성능의 약 30% 향상시켰다. 그림 3은 딴플 튜브 형상을 나타낸 것이다. 이 밖에 엔진냉각시스템에 대한 연구도 진행되고 있는데 예를 들어 De-gas 엔진냉각시스템은 냉각수 중의 공기를 제거함으로써 냉각수측의 방열 효율을 높이고 또한 워터펌프의 효율을 높이는 방법이다. 그림 4는 De-gas 엔진냉각시스템을 나타낸 것이다.

최근 전세계적으로 환경보호 문제가 대두되면서 자원을 재활용하는 리사이클링시스템이 요구되고 있다. 현재 다른 소재에 비해 재활용도가 낮은 플라스틱 수지의 경우 자동차 총중량의 7~8%를 차지하고 부피면에서는 약 30%를 차지하고 있다. 따라서 플라스틱 수지를 사용하는 탱크의 표면에 재질기호를 표시하여 재활용시 구분이 가능하도록 하는 방법이 이미 실시중에 있다. 또한, 라디에이터에 사용되는 소재를 단순화하는 방안으로서 상하탱크의 소재를 알루미늄으로 바꾸어 재활용을 용이하게 하는 방법이 실험적으로 실시되고 있다.

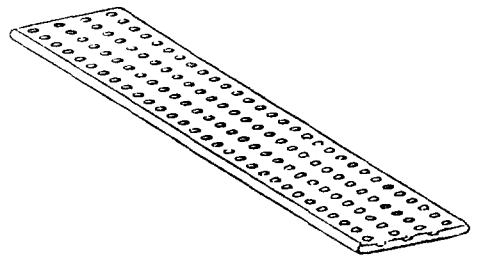


그림 3 딴플튜브(Dimpled tube)의 형상

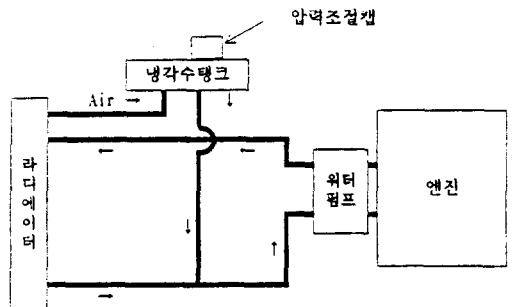


그림 4 De-gas 엔진냉각시스템

2.2 히터

(1) 히터의 기능

히터는 고온의 냉각수를 이용하여 자동차 실내를 난방시키는 열교환기로 그 구조는 라디에이터와 유사하다. 히터는 자동차 공조장치의 기본부품으로서 추운겨울에 자동차 실내를 난방시키는 역할외에도 유리창의 성에를 제거하는등 운전자의 편의 및 안전운전에 도움을 주는 역할을 한다.

(2) 구조 형식

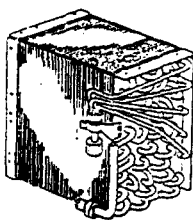
히터의 구조형식은 라디에이터와 같다. 초창기에 개발된 Ribbon cellular형은 황동판을 성형하여 용접한 것으로 북미에서 사용되었다. Round tube-plate fin 형은 알루미늄 소재를 이용한 기계확관방식으로 탱크에는 주로 플라스틱 수지가 사용되고 있는데 지금은 유럽과 일본의 일부 자동차에 적용되고 있다. 현재는 라디에이터와 마찬가지로 Oval tube-corrugate fin형이 일반적으로 사용되고 있으며, 소재 역시 구리/황동에서 알루미늄 재질로 바뀌고 있는 추세이다. 탱크도 알루미늄 소재를 사용하여 히터의 각부품을 일체

로 브레이징할 수 있도록함으로써 제품의 제조원가를 낮추었다. 국내에서는 1980년대말부터 승용차를 시작으로 적용범위를 확대하고 있다.

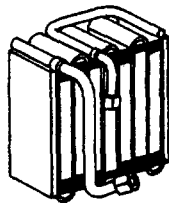
(3) 최근의 기술개발 동향

히터는 차실내 공간의 대형화에 따라 차내의 난방성능 향상 및 급속난방이 요구되고 있다. 장착공간의 협소로 히터의 소형화가 가속되고 있으며, 유리창의 성에를 조속히 제거하기 위한 통기저항의 감소등이 요구되고 있다. 그동안 이러한 요구조건을 충족시키면서도 성능은 기존제품과 동일하거나 또는 더욱 향상시키는 히터에 대한 연구가 이루어져 왔다.

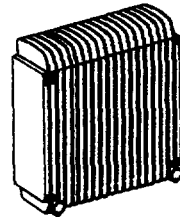
먼저, 냉각수측의 방열성능을 향상시키기 위하여 튜브관로의 형상에 대한 연구가 진행되었는데 라디에이터 튜브내의 냉각수 흐름을 층류에서 난류로 바꾸어주는 것과 마찬가지로 덤플튜브가 연구되었다. 덤플 튜브는 튜브내의 냉각수 흐름이 적어 층류상태인 냉각수 흐름을 방열성능이 우수한 난류로 만들어 준다. 또한 공기측의 방열성능을 향상시키기 위하여 1열 튜브 히터가 연구되고 있다.



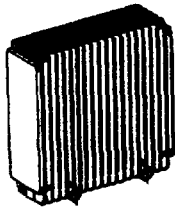
(a) Cross fin형



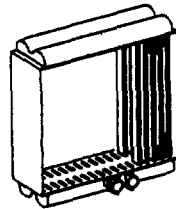
(b) Serpentine형



(c) Drawn cup형
-Both side tank형



(d) Drawn cup형-One side tank형



(e) Parallel flow형

그림 5 증발기의 구조 형식

2열 튜브 히터는 공기 저항 손실이 높고, 튜브와 튜브 사이 부분의 핀이 튜브와 접촉되지 않기 때문에 효율이 떨어진다. 이러한 문제점을 개선시키기 위해 튜브와 핀의 형상을 최적화하고 1열의 덤플 튜브를 사용함으로써 약 30%의 소형화와 약 20%의 중량감소 그리고 약 10%의 통기저항 감소 등의 품질향상 효과를 가져왔다.

2.3 증발기

(1) 증발기의 성능

증발기는 응축기에서 응축된 냉매가 팽창밸브에서 팽창되어 증발기를 통과하면서 액체상태에서 기체상태로 상변화를 할 때 발생하는 증발잠열이 공기와 열교환을 함으로써 자동차 실내를 냉방키는 열교환기이다. 또한, 유리창의 발생하는 습기를 신속히 제거하여 운전자의 안전운전을 도와주는 중요한 역할을 하는 것으로 운전환경의 쾌적성이 중요시 되면서 최근에는 적용이 일반화되고 있다.

(2) 구조 형식

그림 5는 현재 사용되고 있는 증발기의 일반적인 구조를 나타낸 것이다. Cross fin형은 튜브에 플레이트 형상의 핀을 적층시켜 조립한 형태로 유럽에서 주로 사용되고 있다.

Serpentine형은 여러개의 작은 유로를 가진 편평한 냉매 튜브를 절곡하여 코아를 형성하고 튜브 사이에 핀을 삽입한 형태로 장착 공간에 대한 대응성은 좋으나 코아를 통과하는 냉매측의 저항이 큰 것이 단점으로 지적되고 있다.

Drawn cup형은 Laminated형이라고도 하며 프레스 성형된 플레이트를 접합하여 냉매의 유로를 형성하고 그 플레이트 사이에 핀을 삽입한 형태이다. 생산성과 성능이 기존의 다른 형태보다 우수하여 1980년대 중반이후 가장 일반적으로 사용되고 있다.

(3) 최근의 기술개발 동향

증발기에 요구되는 사항은 냉방성능 향상 및 에어컨 시스템 작동시 곰팡이등으로 인한 악취를 없애는 것이다. 그림 5의 (d)와 (e)는 최근에 개발되고 있는 것으로서, One side tank형과 Parallel flow형의 증발기를 각각 나타낸 것이다. One side tank형은 Both side tank형에 비해 동일한 면적에서 공기 및 냉매측의 유효 열전달 면적을 증대시킬 수 있으며, Parallel flow형은 냉매측 유로내의 저항 손실을 줄이고 튜브와 핀의 접촉을 보다 효율적으로 할 수 있는 장점이 있다.

에어컨 시스템 작동 초기에 발생하는 곰팡이 냄새등은 운전자로부터 불쾌감을 야기시키므로 증발기 표면에 항균 처리를 실시하는 방안이 연구되어왔다. 현재 증발기의 표면에 항균처리를 실시하고 있으나, 그 효과를 높이기 위하여 계속적인 연구가 이루어지고 있다.

2.4 응축기

(1) 응축기의 기능

응축기는 압축기에서 나온 고온 고압의 기체상태인 냉매의 열을 외기로 방출시켜 냉매를 액화

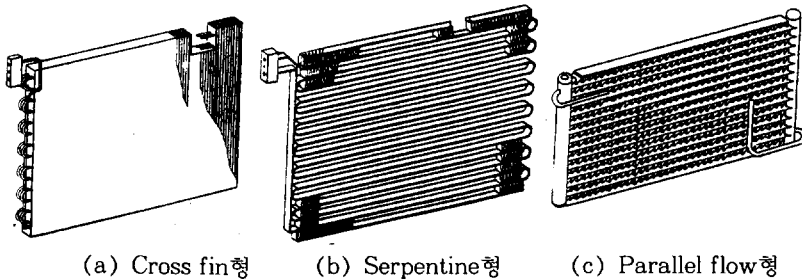


그림 6 응축기의 구조 형식

시키는 열교환기로, 증발기와는 상변화 과정이 반대로 이루어 진다. 응축기는 그림 1과 같이 자동차의 그릴과 라디에이터 사이에 설치되므로 공기측 저항손실이 적고, 내식성이 우수해야 하며, 진동 및 고압에 대한 내구성이 요구된다.

(2) 구조 형식

그림 6은 일반적으로 사용되고 있는 응축기의 구조를 나타낸 것이다. Cross fin형 응축기는 증발기와 마찬가지로 튜브에 플레이트형 핀을 적층시킨 것으로, 구형 디자인으로 분류된다. 지금은 주로 유럽과 북미의 자동차에 사용되고있다. 이후 개발된 Serpentine형 응축기는 R12 냉매용으로 가장 일반적으로 사용되어온 구조이며 내구성도 우수하다. 최근들어 오존층 파괴물질에 대한 국제적인 규제 조치에 대응하여 신냉매가 개발되면서 보다 높은 방열성능을 가진 Parallel flow형 응축기가 개발되었다. Parallel flow형 응축기는 신냉매가 요구하는 응축방열성능을 만족시킬 뿐만아니라 소형화, 경량화에도 많은 발전을 이루게 되었다.(일부 공조업체에서는 Serpentine형 응축기의 분배기를 개선하여 신냉매용 응축기로 사용하고 있는 경우도 있다.)

Parallel flow형 응축기는 냉매가 여러개의 튜브로 분산되어 흐르게하여 냉매의 흐름저항을 낮추고 응축효과를 높인 것으로, 그림 7에 Parallel flow형 응축기의 형상 및 그 흐름 형태를 나타내었다.

(3) 최근의 기술개발 동향

최근의 응축기 개발과정에서의 큰 이슈중의 하나로 등장한 것은 특허권이다. 신냉매용으로 개발된 parallel flow형 응축기를 구성하고 있는 부품의 구조 및 중요부품의 제조공정에 대해 미국, 일본등의 선진개발업체가 이미 특허권을 설정하여 공조업계간에 특허권 침해 분쟁이 발생하고 있다. 또한 냉매의 흐름방식에 대해서도 선개발업체가 특허권이 설정되어 있어 일부 후발 공조업체는 특허권을 보유하고 있는 선개발 업체에 특허권 사용료를 지불하고 생산하는 경우도 있다.

이외에도 응축기의 방열성능을 향상시키기 위하여 튜브내의 유로 형상에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 핀과 튜브의 적정치수를 설정하여 튜브-핀-대기로의 열전달효율을 향상시키는 방안도 연구되고 있다.

3. 맺음말

경제환경이 점차 세계화되면서 자동차업계의 경쟁이 심화되어 공조제품에 있어서도 고성능화, 품질향상 및 가격인하가 절실히 요구되고 있고, 또한 1970년대에 일어난 에너지 파동 이후로 연료절감 방안으로 제품의 경량화가 지속적으로 요구되고 있어, 자동차 관련업계는 이러한 환경에 대응하기 위해 열교환기 각 부품의 설계 최적화

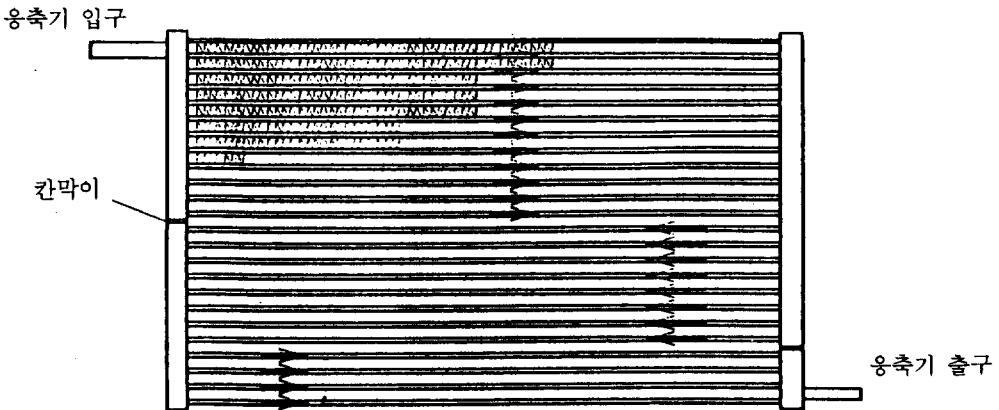


그림 7 Parallel flow 형 응축기의 냉매흐름분배도

와 효과적인 시스템설계를 위한 다양한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 제품설계에 반영하고 있다. 그리고 신소재 개발을 통한 제품의 내구성 및 내식성을 향상시킴으로써 자동차의 품질보증기간 연장이라는 소비자의 욕구를 만족시키기 위해 현재 열교환기업체와 소재업체간에 공동으로 다양한 소재의 연구개발이 진행되고 있다.

앞으로는 지구환경보존이라는 세계적인 추세에 발맞추어 열교환기를 개발하는 것이 필요할 것으로 판단되며, 이에대한 기술개발이 뒤따라야 할 것이다. 또한, 신냉매의 등장으로 새로운 열교환기가 요구되면서 공조시스템 제조업체의 특허에 대한 권리주장이 제기되고 있고 일부 제조

업체간에는 특허침해에 따른 분쟁이 발생되고 있다. 따라서 미국, 일본등의 선진업체가 이미 구축해 놓은 특허를 사전에 면밀히 검토, 분석함으로써 특허분쟁을 예방하고, 애써 개발한 기술이 수포로 돌아가지 않도록 하는 등, 향후 열교환기를 포함한 공조제품 개발시 특허권에 보다 많은 관심을 기울여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 이상영, 1995, “올해생산, 수출급증으로 성장세 지속”, 자동차경제, Vol. 139, pp. 22~25.
2. 안수웅, 1996, “자동차 리사이클링 현황과 전망”, 자동차경제, Vol. 141, pp. 28~37.