

## 차세대를 위한 신형상 열교환기 연구개발동향

### The research and development trends on the new shapes of heat exchangers for next generations

윤 점 열

J. Y. Yun

LG전자(주) 생활시스템 연구소



- 1960년생
- 환-관 열교환기의 성능해석 및 실험, 공기축 열전달성능 향상, 최적설계등에 관심을 가지고 있다.

이 관 수

K. S. Lee

한양대학교 기계공학부



- 1952년생
- 착상·제상·열교환기 성능해석, 전자장비 냉각 등에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 머리말

최근 가정용 에어컨의 개발에 있어서 첫째 관심사는 에너지 소비효율의 향상이다. 특히 미국, 일본, EU 등 선진국의 이에 대한 열의는 상상을 초월하고 있다. 일본은 올해부터 냉동 공조기에 대한 에너지 소비효율(EER)의 규제를 top runner 방식을 채택하여 가장 뛰어난 성능을 가진 제품을 무조건 추종하도록 의무화하였으며, 미국도 2,000년부터는 모든 공조기의 EER이 10.0 (Btu/kW)을 달성하지 못하면 팔지 못하도록 관련 법규를 강화할 전망이다. 국내에서도 용량별 등급제를 채택하여 제품에 부착하는 것이 의무화되어 있으며, 이들 등급도 향후 단계적으로 상향 조정될 전망이다. 잘 알려진 바와 같이 공조기는 압축기와 증발기, 응축기에 부착되어 있는 팬과 열교환기가 핵심부품이며, 소비전력의 대부분은 이들 압축기와 팬을 구동하는데 소모되고

있다. 따라서 기기의 EER을 향상시키려면 압축기와 팬의 소모전력을 최소화하고, 이들을 이용하여 직접 일을 수행하는 열교환기의 성능을 최대화하는 것이 필수적이다. 실제로 공조기의 각 부품에 대한 EER 향상기여도는 68%를 차지하고 있는 압축기를 제외한다면, 증발기, 응축기가 28%를 차지하고 있어서<sup>(1)</sup> 핵심부품인 열교환기의 성능향상에 대한 연구는 매우 중요한 과제로 취급되어져야 한다.

또한 열교환기에 있어서 성능과 함께 중요하게 다루고 있는 것이 압력손실이다. 이는 시스템의 소음과 매우 밀접한 관계에 있기 때문에 열교환기 개발시 서로 trade-off의 대상이 되기도 한다. 일반적으로 열교환기 성능향상 정도가 15%라면, 시스템 성능향상이 대략 4% 정도를 나타내기 때문에 어느 면에서는 성능향상을 기존 열교환기 수준으로 유지하면서 압력손실을 최소화함으로써 시스템의 저소음화를 추구하는 방향으로

로의 개발하는 것도 바람직하다. 따라서 저소음형 공조기를 위해서는 저(低)압력손실을 갖는 열교환기를 개발하는 것이 매우 중요하며, 이를 두 번째 개발방향으로 취급하고 있다.

작금의 가정용 에어컨에 대한 시장환경이 원자재 가격의 상승과 내수보다는 수출로의 전환을 유도하고 있는 긴박한 상황이기 때문에 기기 자체의 저가(低價)화가 필연적으로 이루어져야 하며, 그 중에서도 가격의 상당부분을 차지하고 있는 열교환기의 저가화는 열교환기 개발에 있어서 세 번째의 가치기준으로 자리매김을 하고 있다. 그러나 고성능의 열교환기는 저가의 열교환기와 직결되기 때문에 성능이 향상된 열교환기를 개발하는 것이 선결과제이다. 뿐만 아니라 열교환기는 설비에 대한 투자비가 높고, 생산시의 에너지 비용이 비싸기 때문에 비용절감은 다른 각도에서도 검토되어야 한다. 전술한 개발방향들과는 다소 다르지만, 가정용 에어컨의 개발에 있어서 또 하나의 관심사는 기기의 재생(recycle)성을 향상시켜 친환경적인 제품을 구현하는 것이다. 이는 국내에서는 아직 활성화되어 있지 않지만, 일본 등 선진국에서 재사용율에 대한 법규제를 강화하고 있기 때문에 머지 않아 매우 중요한 현안으로 떠오를 전망이다. 이와 함께 환경적인 문제와 대체냉매 사용에 따른 냉매 가격의 상승이 예상되고 있어서 운전에 사용되는 냉매량을 최소화하는 것도 친환경 제품구현의 또 하나의 방향이다. 냉매량을 열교환기의 내용적과 밀접한 관계가 있기 때문에 최적의 열교환기 선정이 필수적이다.

일반적으로 가정용 공조기에 있어서 현재 가장 많이 사용되고 있는 열교환기는 환-관 열교환기이다. 지금까지 제시된 연구결과를 토대로 분석하여 보면, 환-관 열교환기로는 전술한 개발방향들을 모두 만족시키지 못한다. 성능향상 측면에서는 관내측에 3차원 groove 형상을 가공하고 관외측의 환형상을 개선함으로써 일부 성능을 개선하고 있으나 15% 이상의 성능향상을 기대하기는 어려울 것으로 전망된다. 다행히도 아직 분지기술 등을 이용하여 성능을 개선시킬 여지가 있지만, 이렇게 되면 저가화와는 모순되

기 때문에 trade-off 차원의 문제이다. 또한 환-관 열교환기는 저가화가 설비 상각부분을 제외하고는 불가능하고, 재사용을 위해서 고가(高價)의 해체비용이 요구되며, 사용 냉매량의 절감을 더욱 더 난망(難望)하기 때문에 차세대 공조기를 위해서는 신재질이나 신기술이 적용된 신형상 열교환기로의 대변혁(innovation)이 이루어져야 한다.

따라서 이 글에서는 가정용 공조기에 있어서 차세대 열교환기 후보로 거론되고 있는 몇 개의 신형상 열교환기를 선정하여 각각에 대한 연구개발 동향을 소개하고자 한다. 제시된 열교환기들이 전술한 장래의 열교환기 개발방향과 모두 부합되는 것은 아니지만, 나름대로 특정 가치기준에 부합되기 때문에 이들 후보군에 대한 여러 가지 각도의 검토를 통하여 최종적인 열교환기 형상이 선정될 것으로 예상된다.

## 2. PF형 알루미늄 열교환기

PF(parallel flow)형 알루미늄 열교환기는 자동차 에어컨의 응축기로 많이 사용되고 있는 소형, 고효율 열교환기로서 미국, 일본 등의 선진국을 중심으로 가정용으로의 적용성을 활발하게 연구하고 있으며, Sharp社 등에서는 일부 수출용 룸에어컨 모델에 적용하여 판매하고 있다. 이 열교환기는 그림 1에서 보여 주듯이 다공(micro channel)을 갖는 여러개의 납작관(flat tube)을 수평방향으로 설치하여 냉매가 평행하게 흐르도록 제작되었기 때문에 PF형 열교환기라고 하며, micro channel 열교환기로 불리우기도 한다. PF형 열교환기는 루버가 가공된 corrugate형 환, 납작관, 헤더(header) 등을 브레이징(brazing)을 통하여 일체형으로 제작하며, 전 부품이 알루미늄으로 구성되어 재사용이 가능하기 때문에 차세대 열교환기중 하나로 분류된다. 특히 브레이징 용접을 사용하기 때문에 접촉저항이 전체 열저항의 20%까지도 나타나는 환-관 열교환기의 단점을 보완하여 접촉저항을 완전히 배제할 수 있는 장점이 있다. 이러한 결과로 동일체적의 환-관 열교환기에 비해 열전달율이 1.5~2배 정

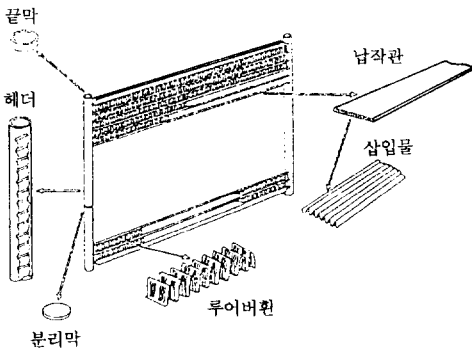


그림 1 PF형 알루미늄 열교환기

도 높아 에어컨의 소형화가 가능하다. 또한 동일한 성능을 기준으로 하여 볼 때 공기층의 압력 손실도 30% 이상 감소하기 때문에 열교환기로 인한 시스템의 소음 증가를 보다 쉽게 해결할 수가 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 내용적이 적어서 냉매 사용량이 30% 이상 절감됨으로써 환경문제 해결에 기여하는 바가 크며, 이로 인한 원가절감에도 큰 효과가 있다. 이는 향후 대체냉매 사용에 따른 냉매가격의 상승에도 효과적으로 대응이 가능하도록 하는 부가적인 효과도 있다. 전 부품을 알루미늄을 사용하기 때문에 기존의 환-관 열교환기에 비해 무게가 30% 이상 줄어들어 시스템의 경량화도 가능하다. 이러한 장점에도 불구하고 아직 활성화되지 않는 것은 운전중 물이 생기는 냉방 전용 에어컨에서의 증발기 사용은 개발에 성공한 예가 있지만, 운전중 착상이 일어나는 heat pump의 실외기 사용성 문제에 있어서는 아직 해결해야 할 문제점이 많이 남아 있기 때문이며, 기존의 환-관 열교환기 생산설비 투자비의 회수와 신규설비투자비의 부담도 어느 정도 작용하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 이 열교환기에 대한 우수성이 계속 발표 또는 검증되고 있는 관계로 상용화 시기가 의외로 빨리 앞당겨질 수도 있을 것이다.

납작관과 루이버핀으로 구성된 PF형과 유사한 열교환기 형상에 대한 최초의 기본적인 성능자료는 Achaichia와 Cowell<sup>(2)</sup>에 의하여 제시되었으며, 덕트유동의 존재를 확인하였다. Chang과 Wang<sup>(3)</sup>은 27종의 열교환기를 이용하여 면적비

(area ratio) 개념을 도입하여  $j, f$  인자에 대한 보다 단순한 관계식을 구하였고, 자료의 신뢰도를 높여 면적비 개념을 정당화 시켰다. 이러한 기본적인 열전달 및 유동특성에 대한 연구결과들은 주로 자동차용 공조기에 적합한 유속범위에서 이루어진 연구가 대부분이지만, 최근에는 가정용 공조기로의 적용성에 대한 연구들이 많이 수행되고 있다. 가정용 공조기는 자동차용과는 달리 3 m/s 이하의 낮은 속도에서 운전되며, 사용되는 냉매가 완전히 다르므로 적절한 납작관의 선정과 환형상(fin geometry) 최적화, 냉매유로(path) 변경 등의 체계화된 연구가 요구된다. Webb과 Jung<sup>(4)</sup>은 가정용으로의 적용을 위한 기존의 환-관 열교환기와의 성능비교 실험과 R-22 적용을 위한 내압(burst pressure)성 실험 결과를 제시하였다. 그들은 표준 환형상을 갖는 PF형 알루미늄 열교환기의 열전달계수는 지름 9.5mm, 12fpi를 갖는 평판 환-관 열교환기의 1.9배이며, 열전달 증가율은 압력강하 증가율에 비해 52% 더 높은 것으로 나타났다. 대표적인 PF형 열교환기 제조업체중의 하나인 Showa<sup>(5)</sup>는 환-관 열교환기와 전면적(frontal area)이 동일한 4종류의 PF형 응축기를 환-관 열교환기와 동일한 시험조건에서 R-22를 적용하여 실험한 결과, 열전달 성능이 1~1.4배 증가하는 것으로 나타났으며, R-22 적용에 따라 문제시될 수 있는 파괴압력이 micro channel수가 증가함에 따라 증가하여 7채널은 120(kg/cm<sup>2</sup>G), 10개의 채널에서는 150까지 견딘다고 하였다. 표 1에 그들이 실험한 4가지 종류의 PF형 열교환기에 대한 기존의 열교환기와의 성능비교 결과를 제시하였다. 이 자료들은 모든 성능을 전면적을 기준으로 비교하였기 때문에 실제 가정용 에어컨에 적용할 때 매우 유용한 자료로 활용될 수 있다.

PF형 열교환기에 대한 상품화 응용 연구의 실례는 룸에어컨의 응축기에 적용하여 각종 성능과 신뢰성 실험을 수행한 佐藤近義 등<sup>(6)</sup>에 의해 제시되었다. 표 2에 그들이 사용한 열교환기의 사양을 제시하였다. 시료로 사용된 열교환기는 헤더를 수평으로 배치하여 냉매가 수직으로 흐르도록 고안하였고, 동(銅) 배관과의 용접방법

표 1 응축기 적용시험 결과 비교(Showa aluminum)<sup>(5)</sup>

	흰-관 열교환기	PF 열교환기			
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
크기(W×H×D)(mm)	677×355.5×44	677×352×13	677×352×16	677×355×20	677×351×22
관 형상(W×H)(mm)	φ9.53	13×3	16×3	20×2	18×1.8
흰 형상(W×H)(mm)	44(W)×0.115(t)	13×8.1	16×8.1	20×8.1	22×7.0
중 량 (%)	100(3.6kg)	50	56	65	56
열전달율 (%)	100(2,800kcal/h)	100	115	135	140
압력강하 (%)	100(1.4mmAq)	98	115	125	110
내압 (kg/cm <sup>2</sup> G)	135 이상	110	110	150	120

을 상세히 기술하였다. 성능실험 결과 PF형 열교환기의 총합 열전달계수가 흰-관 열교환기의 2배가 됨을 확인하였으며, 일반적으로 알려진 자동차용 응축기와 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 결과적으로 자동차용과는 달리 낮은 풍속에서 운전되는 가정용에서도 응축기로서의 성능이 우수하다는 것을 확인하였으며, 헤더의 상하배치로 증발기로서의 사용 가능성과 수직 구조에서의 냉매 분류방식의 기초를 제공하였다. 또한 중요한 신뢰성 판단기준인 염수분무시험에서도 흰-관 열교환기는 500시간, PF형 열교환기는 750시간을 통과하여 내식성에서도 보다 우수한 성능을 보여주었으며, 파괴압력도 수출국의 규격을 만족하여 PF형 알루미늄 열교환기에 대한 그동안의 좋지 않은 평판을 불식시키는 데 크게 기여하였다.

최근 伊藤正昭 등<sup>(7)</sup>은 운전시 착상문제로 인하여 heat pump 사용시의 제약성을 해소하기 위하여 PF형 열교환기를 heat pump의 실외기에 장착하여 착상성능 등을 고찰하였다. 상기에서 설명하였듯이 냉방전용의 실외기에는 상품화 적용사례가 있지만, heat pump를 주로 사용하는 일본의 경우 이 문제가 적용확산의 최대 걸림돌로 작용하고 있기 때문에 이 문제의 검토는 시의적절한 것으로 판단된다. 그림 2에 냉방전용 에어컨의 증발기로 적용할 때의 물빠짐성 문제를 해결하여 가정용 에어컨으로의 확산적용 가능성을 검토하기 위해 수직 및 수평으로 설치하

표 2 응축기의 사양 비교

	흰-관 열교환기 (A)	PF 열교환기 (B)	비 (B/A)
열전달율(kcal/h)	3,024	3,024	1.0
크기(H×W×D) (mm)	406×455×38.1	354×420×21.1	-
체적(l)	7.04	3.14	0.446
중량(g)	3,090	1,830	0.592
유효 흰 표면 면적 (m <sup>2</sup> )	7.91	3.98	0.503
냉매 충전량(g)	680	500	0.735

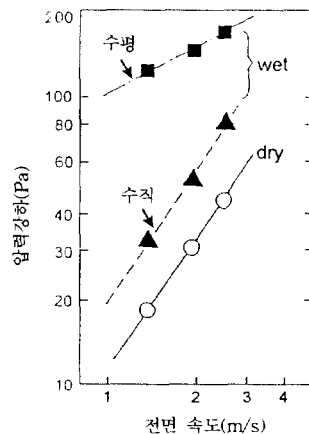


그림 2 PF 열교환기의 설치구조에 따른 압력강하 특성<sup>(7)</sup>

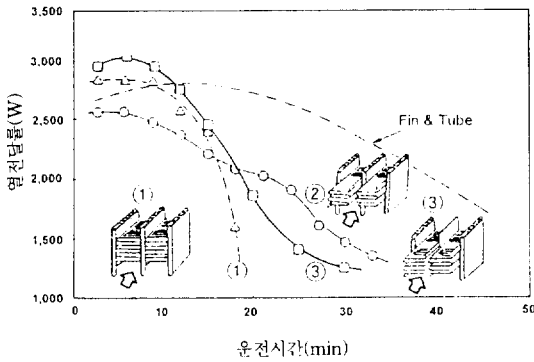


그림 3 PF형 열교환기의 착상운전시 열교환량의 변화<sup>(7)</sup> ①기준 PF시료, ②흰폭 증가(증가부 평판형상), ③흰폭증가(증가부 루버형상)

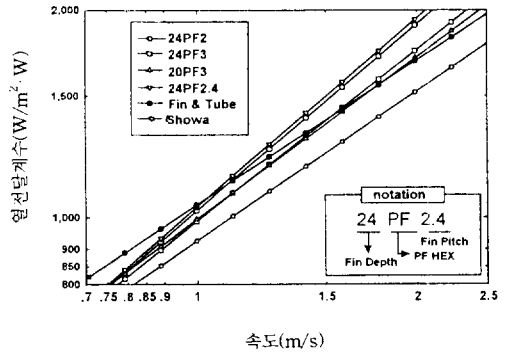


그림 4 흰형상의 변경에 따른 PF 열교환기의 열전달계수 변화

있을 경우에 대한 각각의 압력강하 실험결과를 제시하였다. 납작관을 수평으로 설치할 경우 건조한 상태의 1.5배에 달했던 압력강하 값이 납작관을 수직으로 설치할 경우 1.2배까지 감소하여 증발기로 사용할 경우의 불빠짐성 문제를 거의 완전하게 해결하였다. 그러나 보다 더 줄이기 위해서는 친수처리, 흰형상의 개선, 설치방법 등이 추가적으로 고려되어야 한다. 부가적으로 수직 배치는 냉매를 흘려 통풍저항과 풍량 및 열교환량의 변화를 운전시간에 따라 평가하였다. 그 결과 PF형 열교환기는 기존의 흰-관 열교환기에 비해 착상에 의한 막힘현상이 현저하고, 풍량이 급속히 감소하며, 그림 3에 제시한 바와 같이 열교환량 또한 운전 개시후 20분이 지나서 흰-관 열교환기의 50%이하로 감소함을 알았다. 루버각도를 20~40°로 증가시키고, 흰폭을 늘린 개선 시료에 대해서는 비교적 충분한 착상 열교환량을 얻을 수 있었지만, 전반적인 착상성능에 대해서는 흰-관 열교환기에 필적할 만한 성능을 얻지 못한 것으로 알려졌다. 그러나 2번 형상과 같이 개선된 아이디어를 적용한 시료들은 기준시료에 비해 상당한 착상성능의 개선효과를 보이고 있기 때문에 향후 연구결과에 따라 착상시의 성능저하 문제도 충분히 해결가능할 것으로 보인다. 결과적으로 PF형 열교환기에 대한 불빠짐 성능과 냉매분배 방법 등의 문제 해결로 냉방전

용의 가정용 에어컨에 적용하는데 있어서는 큰 무리가 없지만, 착상성능에 대해서는 충분히 해결된 것으로 보고 있지 않기 때문에 가정용 heat pump에 적용하려 할 때는 보다 많은 연구가 집중되어야 한다. 더불어 냉방전용 에어컨이 주류를 이루고 있는 국내에서는 상기에서 보여주듯이 증발기 사용에 대한 기술적인 우려들이 충분히 해결되어 상품화에 대한 장애요인은 충분히 제거된 것으로 판단된다.

국내에서도 최근 이와 관련된 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 배대식 등<sup>(8)</sup>이 자동차용 응축기로 사용하였던 이 PF형 열교환기를 가정용 룸에어컨의 응축기로 사용하기 위한 가능성을 타진하였다. 김만회 등<sup>(9)</sup>은 실제 창문형 에어컨에 장착하여 성능을 평가하였고 그 결과를 흰-관 열교환기와 비교하였다. 실험결과 열전달 성능은 기존 열교환기에 비해 48~79% 정도 높게 나타났으며, 기존 열교환기 체적의 50% 정도로도 동일수준의 냉방능력을 갖는다는 것을 확인하였다. 나병철 등<sup>(10)</sup>은 R-22 사용에 따른 PF형 열교환기에서의 최적의 냉매분배 문제를 해결하기 위하여 해석적인 방법과 실험을 통하여 가정용 에어컨에 적합한 분배구조를 결정한 바 있다. 저자 등은 그림 4에 제시한 바와 같이 4개의 흰형상이 다른 PF 열교환기 시료(폭 20mm, 채널수 10)와 기존의 에어컨 실외기에 장착된 지름 9.5mm의 흰-관 열교환기, 그리고 Showa의 기본 PF 열교환기 시료(폭 16mm, 채널수

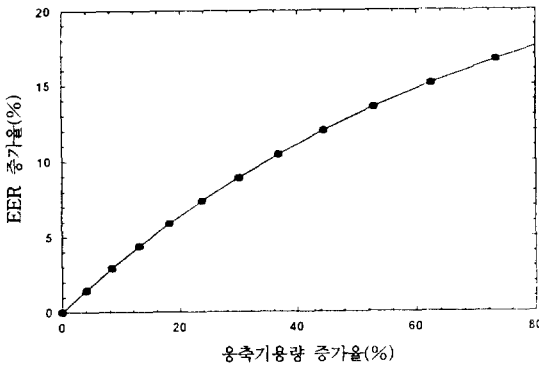


그림 5 응축기 성능 향상이 시스템의 EER 향상에 미치는 영향

4)를 이용하여 각 단품에 대한 전면적용 기준으로 한 열전달 성능실험을 실시하였다. 비교대상 시료에 대한 흰폭과 흰 피치는 그림상에 표기하였으며, Showa의 흰피치는 2.8mm이다. 그리고 20PF3의 시료는 자동차용으로 사용중인 시료를 재설계 과정을 거치지 않고 가정용에 그대로 적용한 것이다. 그림에서 보듯이 흰 폭에 의한 개선효과도 어느 정도 인정되지만 흰 피치의 개선에 따라 성능의 편차가 크게 나타남을 알 수 있다. 흰 피치가 작아질수록 성능이 향상되며, 흰-관 열교환기 대비 성능의 교차점이 저유속 부분으로 이동하는 것을 알 수 있다. 24PF2의 경우는 흰 피치 증가에 따른 풍량의 감소로 오히려 성능이 내려가기 때문에 가정용에 적용할 경우는 기존 시스템의 풍량조건을 감안한 설계가 이루어져야 한다. 실제 시스템의 유속조건이 용량에 따라 1.5~2.0m/s정도이므로 이 대역을 기준으로 판단할 때 PF형 열교환기는 기존의 흰-관 열교환기에 비해 보다 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났다. 1.5m/s의 유속조건에서 비교하여 볼 때 가장 성능이 뛰어난 24PF2.4는 기존의 흰-관 열교환기에 비해 대략 14% 정도의 성능향상 효과를 보이고 있다. 그림 5에 기존 시스템에 대비한 응축기의 성능향상이 시스템 전체의 EER 향상에 미치는 영향도를 분석하여 놓았다. 24PF2.4의 성능향상 정도가 14%이므로 EER에 미치는 영향도는 대략 4% 정도에 해당된다. 예를 들면 기존 시스템의 EER이 2.6이면, PF형

열교환기를 적용할 경우 2.7정도를 나타낼 수 있다는 의미이다. 그러나 상기에서 보여주었듯이 가정용으로의 재설계가 흰 폭과 흰 피치에만 국한하여 이루어졌기 때문에, 그 외의 인자들 즉 루버형상 및 관형상의 개선 등을 고려하면 최소한 20~30% 정도의 성능향상은 가능할 것으로 판단된다. 20% 정도의 성능향상은 6.5%의 EER 개선효과가 있기 때문에 2.6을 기준으로 할 때 2.77 정도를 달성할 수 있다는 계산이 나올 수 있다. 실제로 흰-관 열교환기의 경우는 최대 개선시킨다고 해도 15% 정도의 개선효과 밖에 기대할 수 없기 때문에 기존 시스템에서의 EER 개선효과는 오늘날과 같이 에너지 규제가 강화된 시기에는 대안이 될 수 없다. 그와 반대로 PF형 열교환기는 20~30% 정도는 충분히 개선시킬 수 있는 잠재력이 있기 때문에 차세대를 위한 신형상 열교환기의 대안으로 부상될 전망이다. 그리고 상기의 분석결과가 응축기 적용에만 국한된 것이므로 이 열교환기를 증발기에 동시에 적용할 경우에는 보다 많은 EER 개선효과가 기대된다.

### 3. 타원관(oval tube) 열교환기

타원관 열교환기는 그림 6에서 보여주듯이 타원형상의 동(copper) 또는 알루미늄관에 원형의 곡관이나 헤더를 사용하여 냉매회로를 구성하고, 슬릿 또는 루버가 가공된 일체형 환을 전통적인 기계적 확장방식으로 결합한 열교환기이다. 이는 주로 자동차용 radiator와 작동압이 낮은 증발기에 선택적으로 사용되어 왔으며, 관의 재질도 자동차 적용시의 중량문제로 인하여 알루미늄을 사용한 것이 일반적이었다. 최근 유럽의 자동차 또는 열교환기 전문업체들을 중심으로 상대적으로 작동압이 높은 응축기로 개발하여 사용중에 있으며, 점차 그 사용을 가정용 에어컨으로 확대해가고 있는 추세이다. 이 열교환기의 가장 큰 장점은 초기 시설 투자비가 적게 든다는 점이며, 관 제조공정과 확관과정의 교체만으로도 제조가 가능하기 때문에 상대적으로 높은 시설투자비를 요구하고 있는 PF형 열교환기의 대체 열교환기

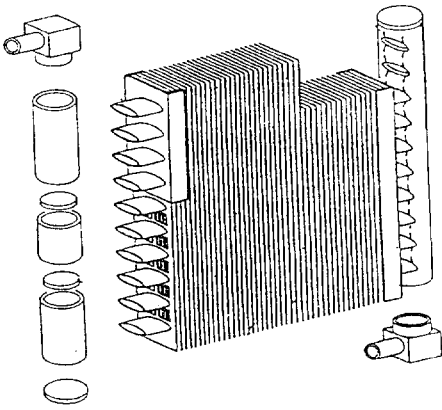


그림 6 타원관 열교환기의 실례

로써의 가능성 타진에 대한 연구가 미국을 중심으로 활발하게 전개되고 있다. 성능측면에서도 공기유로의 유선화로 가용 열전달 면적이 증가하고, 이로 인해 후류영역이 최소화됨으로써 공기측 압력손실이 줄어들기 때문에 저소음형 에어컨의 개발이 가능하다. 실제로 압력손실이 1 : 2의 종횡비(aspect ratio)를 갖는 타원관 열교환기의 경우 기존 원관의 2/3 수준에 불과하기 때문에 열교환기로 인한 유로저항을 최소화할 수 있다. PF형 열교환기가 물빠짐성 문제로 인하여 아직 증발기 적용에 약간의 불리한 점을 가지고 있는 반면, 타원관 열교환기는 관의 곡률을 어느 정도 보유하고 있고 기존의 원-관 열교환기와 같이 일체형 환을 사용하기 때문에 이 문제는 완전히 해소할 수 있다. 이와같은 성능의 장점에도 불구하고 결정적인 문제점은 고압냉매의 사용에 따른 내압성이며, 압력이 가해질 때 원관으로의 복원력이 작용하기 때문에 단축방향으로 힘이 집중되어 관의 변형과 이로 인한 환의 뒤틀림 현상이 일어날 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 최적의 관두께 및 환 형상 연구가 필수적이다. 또 하나의 문제는 시스템의 최적화 구성을 위한 파라미터중의 하나로 장축으로의 굽힘(bending)성을 극복하는 것이다. 이는 제조기술의 문제로 가까운 장래에 해결될 수 있다고 보며, Valeo社에서는 이미 이 문제를 해결한 것으로 알려지고 있다.

원관과 타원관에 대한 최초의 열전달 특성비교는 Brauer<sup>(11)</sup>에 의하여 이루어졌으며, 그는 여기서 타원관이 15% 정도의 열전달 향상, 25% 정도의 압력손실 감소를 가져온다고 하였다. 이후로 타원관에 대한 기본적인 열전달 특성 연구가 활발하게 이루어져 왔으며, 加茂信行<sup>(12)</sup>은 장단경비가 서로 다른 5종류의 타원관과 원관에 대한 풍동실험을 실시하여 Wilson plot법에 의한 열전달 및 압력강하 관계식을 도출하였고 이들에 대한 성능비교 자료를 제시하였다. 그는 이들 각각에 대한 가시화를 통하여 후류의 영향을 관찰하였으며, 장단축비가 3배일 경우가 후류의 영향이 가장 작음을 발견하였다. 銻谷克己 등<sup>(13)</sup>은 針狀모양의 환을 원관과 타원관에 각각 감은 전열관에 대하여 열전달 실험을 실시하여 실험식을 도출하였고, 타원관이 동일한 소요동력하에서 대략 15% 정도의 열전달 상승효과를 가져온다고 보고하였다. 이상의 연구들은 주로 타원관군 또는 타원관 자체에 대한 열전달 특성을 논의한 것이 대부분이며, 그림 6과 같은 타원관군 또는 타원관 열교환기에 대한 본격적인 평가작업은 1990년대에 들어서 본격화 되었다. Le Guayer<sup>(14)</sup>는 장단축비가 2인 기존 2모델의 타원관 radiator와 새로이 개발된 장단축비 4인 타원관용 radiator에 대한 열전달 성능을 비교한 결과 8% 이상의 향상을 가져온 것으로 보고하였으며, 이를 이용한 알루미늄 core가 기존 형상에 비해 가격과 무게 측면에서 유리하다는 점을 각각에 대한 성능비교곡선을 통하여 제시하였다. Parrino 등<sup>(15)</sup>은 조립된 core의 모습은 동일하지만 납작관과 타원관이라는 두 개의 다른 형상의 관이 장착된 radiator에 대한 특성을 고찰하였다. 그들은 납작관이 타원관에 비해 열전달 계수는 1.4~5% 더 증가하고, 냉매측 압력강하도 26% 정도 줄어들지만, 공기측 압력강하는 5~6% 더 증가하는 것으로 나타났다고 하였다. 따라서 이들 열교환기 사이에는 열전달특성과 압력강하특성이 서로 trade-off 된다는 사실이 최초로 밝혀졌다. Vestergarrd 등<sup>(16)</sup>은 편평 타원관을 자동차 에어컨의 응축기로 사용하기 위한 연구를 수행하였으며, 그 결과를 PF형 응축

기와 비교하였다. 편평 타원관은 기존의 원형관에 비해 1.5m/s의 낮은 속도에서 14% 정도의 성능향상을 보였으며, PF형 응축기에 대해서는 2m/s이하에서는 더 좋은 특성을 보이지만 그 이상에서는 더 낮은 열전달 특성을 갖는 것으로 나타났다. 실제로 1m/s에서 비교할 때 대략 20% 정도의 성능향상을 가져온 것으로 평가되었으며, 실제 가정용 에어컨이 2m/s이하에서 운전되므로 편평 타원관을 이용한 응축기가 PF형 응축기보다 더 고효율을 낼 수 있는 열교환기라 할 수 있을 것이다. Parrino 등<sup>(17)</sup>은 장단비가 3이고 헤더에 의해 조립된 타원관 열교환기를 자동차에어컨의 응축기에 적용하기 위한 시스템 최적화 실험을 실시하여, 기존에 널리 사용되고 있는 PF형 응축기와 버금가는 성능을 나타낸다는 것을 확인하였다. 이상의 연구들은 자동차 에어컨 또는 열교환기 관련업체들에 의하여 주도적으로 이루어져 왔으며, radiator로부터 응축기로 점점 그 적용을 확대해가고 있는 추세이다. 결과적으로 PF형 응축기에 대한 상대적인 고(高)가격과 초기 설비투자에 대한 부담감에 비추어볼 때, 이 열교환기는 자동차 또는 가정용 에어컨에 있어서 점차 사용이 확대될 것으로 전망된다.

타원관 열교환기를 가정용 에어컨에 적용하려면 자동차용 에어컨에 비해 상대적으로 냉매의 작동압이 높은 관계로 관과 환형상에 대한 최적화 작업이 요구된다. 국내에서도 최근 이욱용 등<sup>(18)</sup>

에 의해서 가정용에 적용하기 위한 가능성을 검토하는 연구를 수행하였다. 그들은 1:2와 1:3의 종횡비를 갖는 상사모형에 대한 공기측 열전달 특성 실험 결과, 1:2의 비를 현재의 시스템에 가장 적절한 형상으로 제시한 바 있다. 저자는 이를 이용하여 7mm 원형관과 1:2의 비를 갖는 타원관에 대한 동일성능, 동일 소요동력하에서의 면적, 체적 및 가격에 대한 비교 결과를 그림 7에 제시하였다. 타원관 열교환기는 원관에 비해 전면적을 35% 정도 줄일 수 있으며, 체적을 25% 정도 감소시킬 수 있다. 그 결과, 재료비도 20% 이상까지 절감할 수 있음을 알았다. 그러나 상기에서 언급하였듯이 가정용 에어컨에

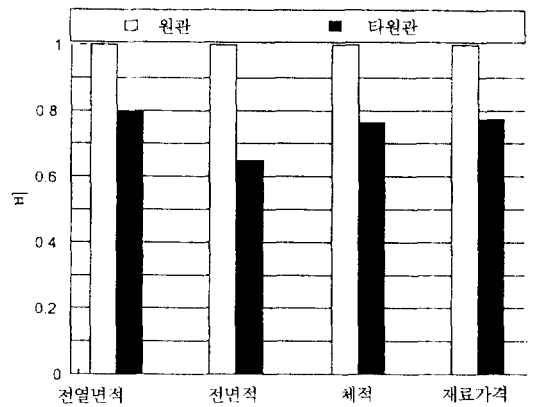


그림 7 원관 열교환기와 타원관 열교환기의 크기와 가격 비교

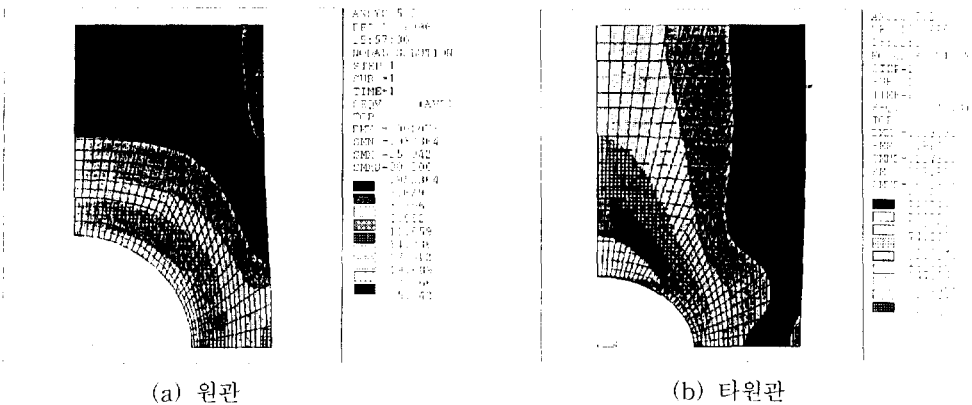


그림 8 원관 열교환기와 타원관 열교환기의 응력해석 비교



적용하려면 냉매 상용압력 상승에 따른 단축방향으로의 힘의 집중 때문에 생기는 휨의 좌굴(buckling) 현상을 방지하는 설계가 이루어져야 한다. 적정설계의 일환으로 원관과 타원관에 결합된 평판관에서의 응력분포를 ANSYS를 이용하여 해석한 결과를 그림 8에 제시하였다. 휨에 걸리는 최대응력이 원관에서는 주위를 따라 거의 동일하게 분포되어 있지만, 타원관에 대해서는 단축의 바로 윗지점에서 최대응력이 집중됨을 알 수 있고 최대 변형점 해석결과도 동일한 경향을 보였다. 이러한 연구결과로부터 휨의 두께, 관의 두께, 최적 장단비 등의 기하학적 파라미터를 이용한 휨의 좌굴 방지설계가 가능할 것으로 판단되며, 머지않아 가정용 에어컨으로의 적용이 실현될 수 있을 것으로 사료된다. 특히 타원관 열교환기는 기존의 환-관 열교환기 제조설비에 관의 제조공정과 환관공정만을 수정하면 되기 때문에 심도있는 연구가 이루어진다면 향후 열교환기 시장의 변혁이 가능할 것으로 예상된다.

#### 4. 플라스틱 열교환기

플라스틱 열교환기는 최근 미국의 Dupont사에서 자동차용 radiator로 개발을 완료했다고 발표함으로써 새로이 부상하고 있는 차세대 열교환기로 그림 9에 보이는 바와 같이 플라스틱 관군과 헤더로 구성되어 있다. 플라스틱 열교환기

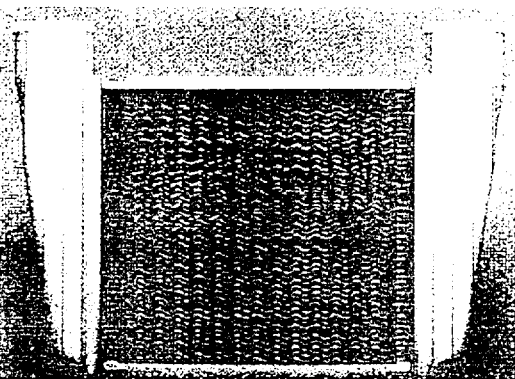


그림 9 플라스틱 열교환기(Dupont 자료)

가 가정용 에어컨의 차세대 열교환기로 분류되는 이유는 크게 5가지로 나눌 수 있다. 첫째, 가격이 지금의 환-관 열교환기의 절반수준으로 떨어질 수 있다는 점이다. 플라스틱을 사용하기 때문에 재료비 절감은 기본이며, 성형의 단순화로 인하여 가공비가 낮출 수가 있다. 더불어 환-관 열교환기가 생산에너지 비용이 막대하게 들어가는 반면에 플라스틱 열교환기는 이 비용까지 최소화시킬 수 있어 일석삼조의 효과가 있다. 둘째, 재료 자체가 갖고 있는 유연성(flexibility)으로 인하여 열교환기의 compact화가 가능하고, 다양한 형상의 제품구성이 가능하다는 점이다. 셋째, 금속에 비해 경량이므로 물류비 등의 2차 비용 절감이 가능하다. 넷째, 사용하고 난 부품에 대한 재사용이 가능하기 때문에 recycle성이 뛰어나며, 환경친화적인 특성을 갖는다. 마지막으로 내부식성이 있어서 수명이 반영구적이다. 지금까지 발표된 대부분의 특허와 기술논문들이 물 대 공기 열교환기와 공기 대 공기 열교환기에 집중되어 있어서 냉매용으로 적용할 수 있을지는 아직 미지수다. 그러나 Dupont의 발표대로라면 냉매용으로의 상용화도 머지 않은 것으로 판단된다. 지금까지 발표된 연구는 삼각형상의 채널을 가진 공기 대 가스 열교환기를 플라스틱으로 구성하여 열전달과 압력강하 특성을 파악한 Hetsroni 등<sup>(19)</sup>의 연구가 있으며, 그들은 플라스틱 열교환기가 내부에 pin-fin 형상을 갖는 열교환기와 동일한 소요동력하에서 동일한 열전달 증가를 가져온다고 보고하였다. 플라스틱을 이용한 공기 대 물 열교환기와 관련된 연구는 Brouwers 등<sup>(20)</sup>에 의하여 이루어졌으며, 그들은 플라스틱 열교환기에 있어서 응축이 일어나거나 일어나지 않을 때에 대한 해석 모델을 제시하였다. 플라스틱 열교환기에 관련된 연구는 최근에 대두되고 있는 관계로 그렇게 많이 발표되어 있지 않다. 관련된 특허 또한 전세계적으로 그렇게 많이 제시되어 있지 않다. 이들 가운데는 관군 형상과 이들의 제조방법에 대한 내용이 주류를 이루며, 냉매를 사용했을 경우의 문제점에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 예상된다.

## 5. 맺 음 말

지금까지 차세대를 위한 새로운 형상의 열교환 장치와 그 연구동향에 대하여 간략히 소개하였다. 현재의 추세에 비추어 볼 때 가정용 에어컨에 대해서는 전세계적으로 더욱 더 강화된 에너지 규제가 가해질 것이 확실하며, 작금의 국내 시장환경의 악화가 계속될 것으로 예상되고 있어서 가정용 에어컨도 수출시장으로의 판매망의 전환이 필요한 시점이다. 시장에서의 성공은 성능 또는 가격측면에서 월등한 우위를 선점해야만이 이루어질 수 있다. 따라서 이러한 시기에는 성능 또는 가격면에서 한단계 뛰어넘는 대변혁의 설계를 통한 열교환기 개발이 매우 필요하다. 전술한 바와 같이 이 글에서 제시하고 있는 3종류의 열교환기는 모든 면에서 만족스러운 연구개발 결과를 보유하고 있지는 않지만, 전세계적으로 시장을 주도하고 있는 회사들에 의해서 차세대 열교환기로서 활발하게 연구되고 있기 때문에 머지 않아 가시적인 결과를 가져올 수 있을 것으로 사료된다. 참고적으로 국내 시장의 열교환기 개발 수준은 일본 등 선진국에 비해 설계 및 제조기술 모든 면에서 상당히 낙후되어 있는 것이 사실이다. 이러한 현상을 해결하기 위해서는 선진국과 동시에 이러한 차세대 열교환기에 대한 연구 개발에 착수하여 선진국과의 기술적인 차이를 극복해야 하며, 그렇게 함으로써 미래의 어느 시점에서는 열교환기 설계 및 제조 기술에 있어서 그들과 동등한 기술 반열에 설 수 있을 것이다. 제시한 열교환기들이 차세대 열교환기 후보로서 거론되고 있지만, 각각의 열교환기들이 해결해야 할 많은 난제들을 갖고 있기 때문에 지금부터 이에 대한 보완적인 연구들을 게을리 하지 말아야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 飯田精一, 平川進次外, 1983, "로타리 압축기의 고효율화", 三菱重工技報, Vol. 20, No. 3, pp. 29~36.
2. Achaichia, A. and Cowell, T. A., 1988, "Heat transfer and pressure drop characteristics of flat tube and louvered plate fin surfaces", Exp. Thermal and Fluid Science, Vol. 1, pp. 147~157.
3. Chang, Y. and Wang, C., 1996, "Air side performance of brazed aluminum heat exchangers", J. of Heat Transfer, Vol. 3, No. 1, pp. 15~28.
4. Webb, R. L., and Jung, S. H., 1992, "Air side performance of enhanced brazed aluminum heat exchangers", ASHRAE Trans., Vol. 98, Part 2, pp. 391~401.
5. Showa Aluminum Corp., 1994, 내부자료.
6. 佐藤近義, 田村雄吉, 領内正勝, 1993, "PF형 공조용 열교환기의 응용", 27회 공조냉동연합강연회, pp. 21~24.
7. 伊藤正昭, 小暮博志, 吉永信也外, 1996, "Paralled flow형 열교환기의 Heat pump의 적용설계", 일본냉동협회학술강연회.
8. 배태식, 한창섭, 1996, "차량용 응축기의 룸에어컨 적용 가능성 연구", 공기조화 냉동공학회 하계학술대회 논문집, pp. 402~407.
9. 김만희, 김권진, 주의성, 배영돈, 박윤서, 1997, "평판관형 알루미늄 열교환기의 성능 평가", 공기조화 냉동공학회 하계학술대회 논문집, pp. 209~215.
10. 나병철, 진대현, 윤점열, 1997, "평행관류 열교환기에서의 최적냉매분배 구조", 공기조화 냉동공학회 하계학술대회 논문집, pp. 226~231.
11. Brauer, H., 1964, "Compact heat exchanger", Chem. Progress Eng., Vol. 45, pp. 451~460.
12. 加茂信行, 1978, "타원형 전열관의 성능 연구(제1보)", 공기조화 위생공학회논문집, No. 6, pp. 27~35.
13. 銚谷克己, 上村茂弘, 1984, "침상말이 원형 전열관의 성능", 일본냉동협회학술강연회, pp. 29~32.
14. Le Gauyer, P., 1993, "Compact aluminum radiator range mechanically assem-

- bled and brazed", SAE Paper 931100, pp. 243~248.
15. Parrino, M., Parola A., and Dentis L., 1994, "A high efficiency mechanically assembled aluminum radiator with real flat tubes", SAE 940495, pp. 1~8.
  16. Vestergaard B., Smith U., and Kauffeld M., 1995, "Status on flat oval tube condenser(FOTC)", SAE Paper 950111, pp. 51~55.
  17. Parrino, M., Parola A., and Dentis L., 1994, "New advanced condenser mechanically expanded type with oval-flat tubes", SAE 960370, pp. 95~101.
  18. 이옥용, 김현영, 윤점열, 1997, "확대모형실험을 이용한 타원형관 열교환기의 열전달 특성", 공기조화 냉동공학회 동계학술대회 논문집, pp. 183~188.
  19. Hetsroni G. and Mosyak A., 1994, "Heat transfer and pressure drop in a plastic heat exchanger with triangular channels", Chem. Eng. Processing, 33, pp. 91~100.
  20. Brouwers H. and Vandergeld C., 1996, "Heat transfer, condensation and fog formation in crossflow plastic heat exchangers", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 39, pp. 391~405.