

공조기용 열교환기

- 출처 : Refrigeration, Sep., 1999
- N. Shikazono, Hitachi Ltd.
(Japan Society of Refrigeration and Air Conditioning Engineers)



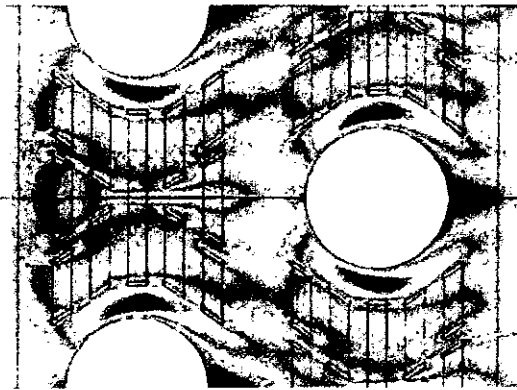
윤 정 인

최근 룸에어콘이나 패키지어콘의 에너지 절약, 쾌적성 등에 대한 사용자나 회사로부터의 요구는 더더욱 높아지고 있다. 공조기의 중요한 구성요소 중 하나인 열교환기도 이러한 요구에 대응하여 기술개발이 계속해서 진행되고 있다. 공조용 열교환기를 설계할 때 가장 중요한 과제는 비용이나 설치성 등의 제약조건을 만족하면서 필요한 교환열량을 달성하기 위해, 요구되는 열전달계수(K)와 전열면적(A)의 곱인 KA값을 얼마나 확보하는가 하는 점에 있다. 그러나 이 외의 과제, 예를 들어 팬입력, 소음을 억제하기 위한 공기측 통풍저항의 감소, 증발온도에 영향을 미치는 관내압력손실의 감소 등도 중요한 과제이다. KA값 증대와 통풍저항억제를 동시에 만족하기 위해 공조용 열교환기는 전열면적을 크게 하고 두께를 작게 하여 사용하는 것이 원칙이다. 또, 전열관의 관경도 관 둘레길이와 냉매분배성능 면에서 제약이 발생한다. 이와 같은 배경으로부터 공조용 열교환기는 관경 6~10 mm 정도의 전열관을 20~25mm 길이로 배치한 핀튜브형 열교환기가 주류로 되어있다. 여기에서는 공조기에 널리 사용하고 있는 핀튜브형 열교환기에 대한 최근의 기술개발 사례를 소개하고자 한다.

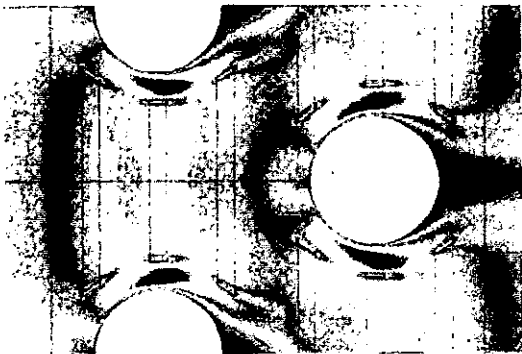
공기측 핀

공기측 열전달계수는 관내열전달계수의 약 1/100 정도이기 때문에 공기측과 관내측의 열전달 면적비를 비록 20배 정도로 크게 하여도 열저항은 공기측이 관내측의 약 5배로 지배적이다. 공기측 열전달계수 향상을 위해 종래부터 슬릿핀이나 루버핀을 이용한 열전달 촉진수단이 사용되어왔다. 원의 열전달 촉진은 동일 열전달 면적으로 사용할 경우 KA값 증대를 통해서 공조기의 성능향상에 공헌하며 동일 KA값으로 사용하는 경우는 열전달 면적을 삭감할 수 있어 콤팩트화나 자원절약 효과가 있다. 슬릿핀이나 루버핀에 의한 공기측 열전달 촉진에 관해서는 수많은 문헌들이 있기 때문에 여기서는 상

세하게 설명하지 않지만, 현재에는 슬릿핀이나 루버핀의 열전달계수 향상은 거의 정점에 도달되었다. 이것은 응축수의 떨어짐, 먼지나 기름에 의한 막힘문제나 슬릿의 절단이나 입상등과 같은 생산성의 문제에 의해 열전달 성능을 결정하는 슬릿폭, 또는 흰 피치 등의 치수를 1mm정도 이하로 작게 하는 것이 현실적으로는 곤란하기 때문이다. 특히 냉난방 겸용기의 실외기용 열교환기에서는 저온난방시에 착상이 문제이기 때문에 사용되는 핀은 상에 의해 막힘이 잘 발생되지 않는 파형핀이나 평판핀이 주류를 이룬다. 서리, 이슬, 먼지 등의 막힘에 강한 흰형상이나 표면처리기술의 눈부신 발전 및 흰 생산기술의 혁신이 기대된다.



(a) 슬릿수가 많은 경우



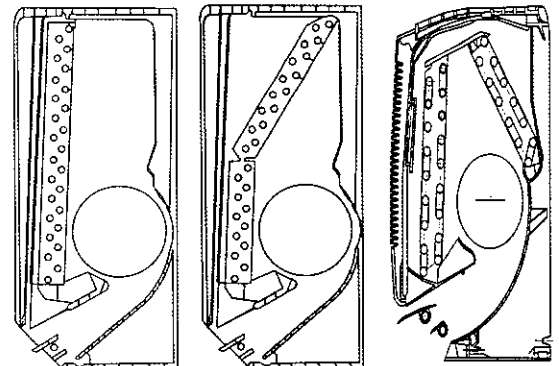
(b) 슬릿수가 적은 경우

〈그림 1〉 흰 부분을 흐르는 공기속도

강제대류 열전달에서는 열교환기와 흰은 밀접한 관계가 있다. 특히 대풍량화, 저소음화, 콤팩트화라는 요구에 응하기 위해서는 열교환기 단품으로서가 아니라 시스템 전체의 관점에서 최적설계를 하여야 한다. 예를 들면, 슬릿이나 루버 등의 전열촉진수단은 재료비용 삭감이나 콤팩트화에는 매우 유효하지만, 한편에서는 흰효율의 저하나 흐름의 국소적인 속도증가에 의한 압력손실증가를 초래하고, 열교환 성능과 통풍저항의 발란스에서 보면 평판핀보다도 약간 불리하다. 따라서 슬릿수를 종래보다도 줄여서 열전달계수와 통풍저항의 발란스를 개선하여 보다 큰 풍량에 사용하는 예도 있다. 〈그림 1〉은 CAE에 의해 얻어진 흰부의 공기속도 절대값을 나타낸 것이다. 슬릿수를 줄임에 따라 풍속분포가 균일화되어 있는 것을 알 수 있다.

〈그림 2〉에 룸에어콘 실내기의 열교환기 형상 변천을 나타내었다. 제한된 유니트 치수내에 열교환기를 접어 넣어 열교환기 전면면적을 증대시켜 온 것을 알 수 있다. 다만, 그 접은 부분에서는 공기 흐름이나 열전도의 분단 등에 의한 열전달 성능 저하가 생긴다.

이러한 것으로부터 접은 부분이 없는 원호형 열교환기도 개발되고 있다. 이는 종래의 굴곡형 열교환기에 비하여 열교환 능력을 향상시킬 수 있다. 이와 같이 실제 사용시에는 손실을 최대한



(a) 1985년 이전 (b) 1985년~1990년대 이전 (c) 현재

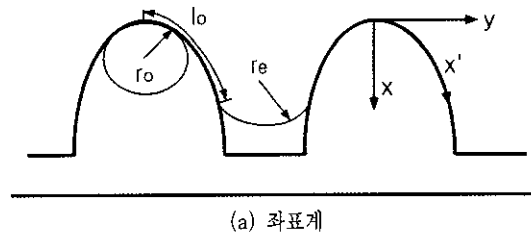
〈그림 2〉 룸에어콘 실내기의 열교환기 형상 변천

작게 하여 열교환기 본래의 성능을 충분히 발휘하도록 하고 있다. 간단하지만 실용상 대단히 중요한 기술이다.

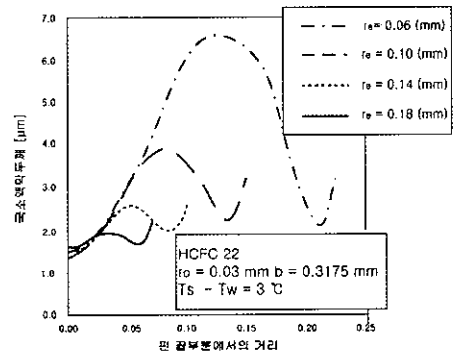
열전달관

공조용 원뿔브형 열교환기의 열전달관은 관내에 나선상의 홈이 있는 내면 나선 홈관이 넓게 이용되고 있다. 내면 나선 홈관은 평활관에 비해서 2배 이상의 대폭적인 증발, 응축 열전달계수 향상이 얻어지는 한편, 압력 손실은 10~40% 정도 밖에 증대하지 않기 때문에 매우 유효한 열전달촉진 수단이라 할 수 있다. 열전달 촉진 메카니즘 해명을 위해 이론적 접근이 충분히 이루어졌다고는 할 수 없다. 1992년에 개최된 제4회 몬트리올 의정서 조약국 회의에서 R22의 전폐가 결정되고 그 대체냉매에 대응한 열전달관 개발, 특히 비공비혼합냉매인 R407C의 열전달성능 저하를 어떻게 극복할 것인가가 큰 기술과제로 대두되었다. 공조기 회사를 중심으로 각종 내면 형상을 가진 열전달관의 실험적 검토가 활발히 이루어져, 특히 저유량, 저건도에서의 응축 성능 저하가 커서 그 향상이 곤란하다는 것을 알게되었다. 여기에서는 히타치에서 수행한 내면 나선 홈관의 응축성능향상에 관한 개발 사례 소개하고자 한다.

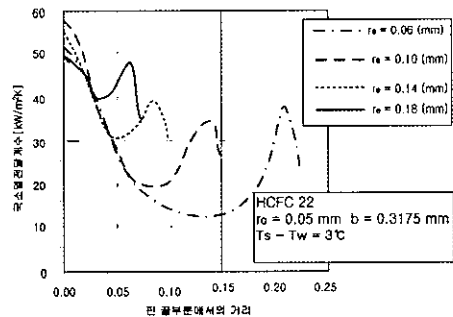
우선, 순수 냉매의 응축 촉진 메카니즘을 밝히기 위해 표면 장력과 중력의 발란스에 의한 매우 단순한 모델에 의해서 내면 홈관내 응축열전달률을 예측했다. 그 결과 이러한 제 1차 근사적 모델화에 의해서도 홈 개수의 최적값 등 지금까지 취급하지 못한 파라메타의 영향을 정성적으로 예측할 수 있었다. 또한 내면 나선단에서의 액막두께의 운동 방정식을 풀어 표면장력에 의한 액 배출 효과가 특히 저유량시 내면 홈관의 주요한 응축 촉진 메카니즘인 것을 확인하였다. <그림 3>에 내면 나선상의 액막두께와 국소열전달계수의 분포를 나타내었다. 내면 나선단에서



(a) 좌표계



(b) 액막두께 분포



(c) 국소열전달계수 분포

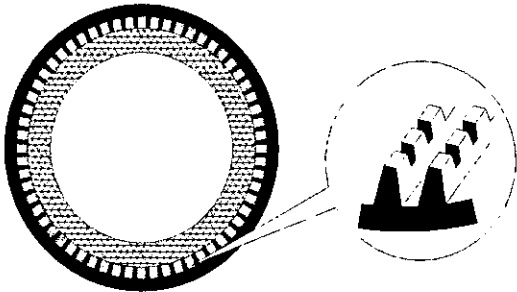
<그림 3> 내면 나선단부 해석결과

50kW/m²K를 넘는 매우 높은 국소열전달계수가 얻어진다는 것을 알 수 있다. 현재도 현상에서의 국소적인 표면장력이나 전단력에 의한 열전달촉진 효과를 고려한 해석에 의해 더욱 깊게 현상을 해명하기 위한 연구가 계속되어지고 있다.

한편, 비공비혼합냉매에 있어서는 액막의 열저항뿐만 아니라 물질확산에 의한 열저항이 생긴다. 효율적으로 고성능 열전달관을 개발하기 위해서는 그 어느쪽을 중점적으로 감소시킬 것인가

가 하는 방침을 명확하게 할 필요가 있다. 이러한 목적으로 기액계면에서 상평형을 가정한 비공비혼합냉매의 내면 흡관에 열전달계수를 예측해 보았다. 그 결과 물질확산 저항을 줄이는 데는 대폭적인 압력손실 증대를 동반한다는 것을 알았다. 이것은 공조기용으로서의 광범위한 사용 조건을 고려하면 비공비혼합냉매에 있어서도 순수냉매와 같이 액막 열저항을 줄이는 것을 중시해야 한다는 것을 의미한다.

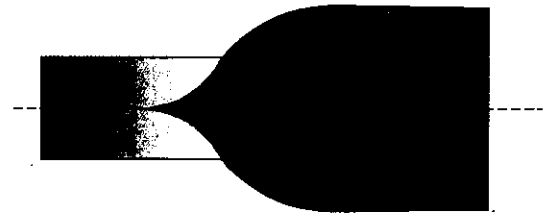
이러한 관점에서 내면 흰선단의 국소열전달계수를 더욱 증대시키는 것을 목적으로 <그림 4>에 나타난 것과 같은 약 30 μ m의 미세한 톱니(notch)를 설치한 미세 2차 흡관을 개발하였다. 이것은 관의응축열전달 촉진을 위해서 개발된 톱니상의 3차원 흰부관을 관내에 응용한 것이다.



<그림 4> 미세 2차흡관

다만, 그 선단 요철의 치수는 톱니형상 3차원 흰관 요철의 1/10 정도이다. 이처럼 매우 미세한 요철이지만 흰선단에서의 액막두께(그림 3(b)참조)에 비하면 충분한 크기를 가지고 있어 강한 액 배출 효과를 얻을 수 있다고 생각한다. 미세 2차 흡관은 종래의 나선 흡관에 비해 순수냉매에서 약 2배, 비공비혼합냉매에서 1.2~1.5배의 응축열전달계수 향상이 있었다. 더욱이 증발열전달계수에 대해서도 순수 냉매에서 1.5~2배, 비공비혼합냉매로 1.4~1.7배의 효과를 얻을 수 있었다. 한편 내면형상으로서 나선상이 아니라 <그림 5>에 나타난 것처럼 W자형에 흡을 구성한 헤링본 흡관(W흡관이라고도 불린다)이 최근 주목받

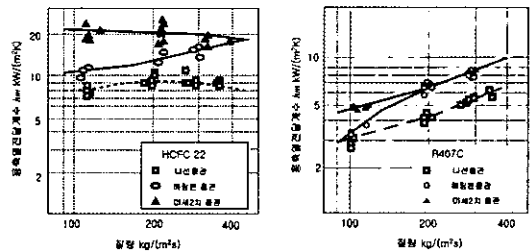
고 있다. 냉매유량이 크게되면 나선 흡관에 비해 대폭적인 열전달촉진이 예측되지만 압력손실이 큰 것과 유량 의존성이 큰 것이 과제이다. <그림 6>에 응축 열전달계수를 종래 흡관, 미세 2차 흡관과 함께 나타내었다. 헤링본 흡관에 있어서는 전단력에 의한 마이크로적인 액막두께의 불균일화와 표면장력에 의한 국소적인 얇은 액막화가 주된 열전달촉진 효과라고 생각된다. 현재 흡형상의 적정화와 나선 흡관의 종합적인 비교 평가가 진행되고 있다.



<그림 5> 헤링본 흡관

성능 예측수법의 고도화

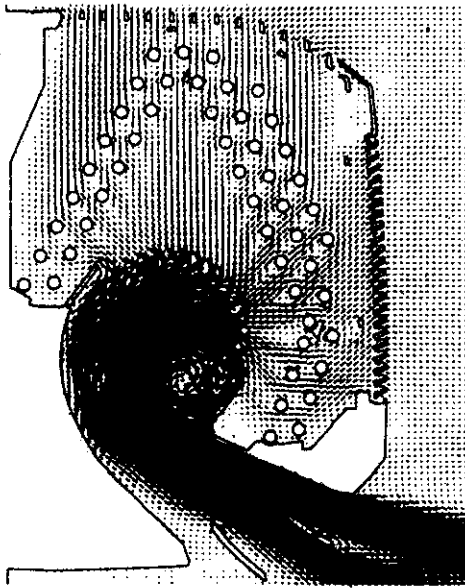
앞에서 서술한 것과 같이 공조기에 대한 에너지 절약, 공간절약, 저소음 등의 요구가 점차 강해지고 있어 열교환기도 공조기 탑재 시에 그 성능을 충분히 발휘해서 전체 시스템에 공헌하는 것이 중요하다. 그렇게 되기 위해서는 설계단계에서 열교환기의 성능예측에 기초한 최적설계를 충분히 하는 것이 중요하다.



(a) HCFC 22

(b) R407C

<그림 6> 각종 흡관의 응축열전달률



〈그림 7〉 실내기 유동해석 결과

즉, 응축시의 과열영역이나 과냉영역의 배치, 증발시의 냉매 압력손실 등의 영향을 냉방과 난방에서 역전하는 냉매 흐름 방향을 고려하면서 종합적인 평가를 하여야한다. 공조기 제조회사나 각 회사마다 이러한 목적의 성능 예측 툴을 가지고 있다. 열교환기를 복수의 요소로 분할해서 각 요소에서의 공기측과 냉매측 히트밸런스를 연립해서 푸는 것이다.

공기측 열전달계수에는 실험식을 사용하는 경우가 많지만 앞으로 CAE에 의한 유동해석 결과를 이용하는 케이스도 많아질 것이다. 실제로는 열전달계수의 정도뿐만 아니라 온도차가 나는 열전달관사이의 회를 통한 열전도의 영향이나 열교환기를 통과하는 풍속분포의 영향을 고려하

는 것도 중요한 과제이다. 풍속분포에 관해서는 CAE의 보급에 의해 〈그림 7〉에 나타난 것과 같이 유니트내 유동 계산을 이용한 열교환기 레이아웃의 적정화 등이 널리 행해지고 있다.

관내측에서는 흡관의 응축, 증발열전달계수나 압력 손실의 예측, 정밀도가 문제 되지만 지금까지 평활관에 비해서 나선흡관의 예측식 정비가 늦어지고 있었다. 이 때문에 계산으로는 평활관의 예측식을 정수배하여 주는 경우가 많았지만 나선 흡관의 특성은 냉매유량이나 건조도에 의해 변하기 때문에 이러한 수법으로 충분한 정밀도를 확보하는 것은 곤란하다. 현재 나선형 흡관에 대한 예측식이 활발하게 제안되고 있다. 앞으로 더욱 넓은 범위에서 적용가능한 예측식의 제안이 진행될 것이라 기대된다. 그리고 해링본 흡관에 대해서도 예측식이 제안되고 있지만 그 유량이나 건조도 의존성은 평활관이나 나선흡관과 크게 달라 대폭적인 모델 개조가 필요하리라 생각된다. 현상의 규명과 함께 대담한 모델화에 기초한 정밀도 높은 예측식의 제안이 기대된다.

맺음말

공조용 열교환기의 최근 동향에 대해서 간단하게 소개하였다. 최근의 중요한 과제는 R22 대체냉매에 대응하기 위한 기술개발이고 새로운 내면 흡형상의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 또 에너지 절약, 공간절약, 저소음 등이 강하게 요구되고 있는 공조기 설계에 공헌하기 위해 성능예측 기술의 고도화에 의한 정밀도 높은 최적 설계가 더욱더 중요시 되고 있다. (●)