

공랭식 열교환기의 최근 기술동향

김 내 현 / 영문논문집 편집장

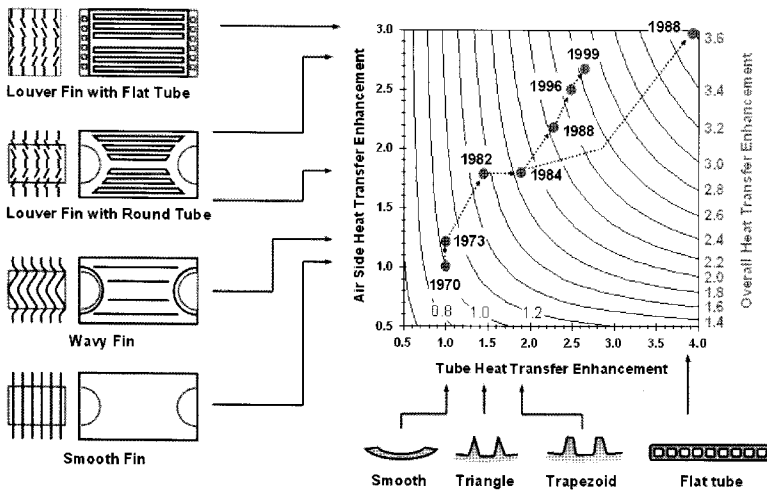
인천대학교 기계공학과(knh0001@incheon.ac.kr)

서론

열교환기는 공조기의 중요한 요소부품으로 열원의 종류에 따라 공랭식과 수냉식으로 구분할 수 있다. 공랭식의 경우 공기측 열저항이 관내측에 비하여 매우 크기 때문에 이를 줄이기 하여 고효율 환을 사용하거나, 세경관을 사용하거나 또는 평판관을 사용하는 등 여러방향으로 기술 개발이 시도되고 있다. 수냉식의 경우는 관내측과 외측의 열저항이 비슷하다. 본 고에는 소형공조기(차량 및 가정용 에어컨)에 널

리 사용되는 공랭식 열교환기를 중심으로 전열촉진 기술 개발 동향을 기술하였다.

그림 1에 공랭식 열교환기 형상의 시대적 변천도를 나타내었다. 그래프의 x 축은 관내측 형상의 변화를 나타내고 y 축은 환의 변화들 나타낸다. 관내측은 평환관에서 미세환관 그리고 평판관으로 변화하고 있고 환 형상은 평판 환에서 웨이브 환, 슬릿 환이나 루버 환으로 변화하고 있다. 이 그림은 평판관에 루버 환을 사용할 경우 전열 촉진률이 3배 이상됨을 보여준다.



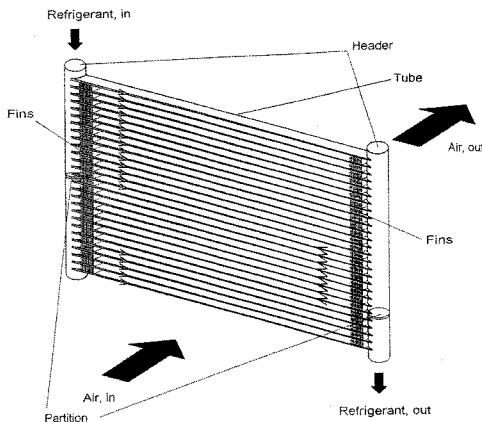
[그림 1] 환-관 열교환기의 시대적 변천도

평판관 및 오발 튜브 열교환기

평행류형 평판관 알루미늄 열교환기는 현재 자동차 에어컨의 응축기로 널리 사용되고 있다. 그림 2에 평판관 열교환기가 나타나 있다. 냉매는 평판관 내측으로 흐르고 공기는 루버 형사이를 흐른다. 평판관과 루버 형은 브레이징된다. 평판관은 알루미늄 스톱을 압출하여 제작하는데 두께는 1~2 mm 정도이고 폭은 16~20 mm 정도이다. 평판관 내측은 내압을 견디기 위하여 격막이 설치된 구조로 되어 있고 수력직경은 1.0 mm 정도이다. 평판관은 원관에 비하여 항력 손실이 적고 따라서 열교환기의 공기측 압력 손실이 감소하게 된다. 평판관 열교환기에서는 냉매의 압력손실을 고려하여 다수의 관을 하나의 패스로 형성한다. 한 패스를 통과한 냉매는 원형 헤더에서 모아져 다음 패스로 공급된다. 응축기의 경우 응축이 진행됨에 따라 단관의 유속이 감소하므로 이를 보상하기 위하여 패스당 평판관의 수를 점점 감소시킨다. 그림 3에는 자동차 응축기에 쓰이는 평판관의 단면 확대사진이 나타나 있다. 평판관의 내면에는 응축을 촉진시키기 위하여 높이 0.2 mm 정도의 미세 흰 주위에서는 표면장력이 액막을 얇게 유지시켜 응축이 촉진된다. 그림 3 c) 평판관의 수력직경은 0.44 mm 이고 관벽 두께는 0.3 mm 이다. 최근들어 평판관 열교환기를 공조기의 증발기로

적용하려는 연구가 진행되고 있다. 평판관 열교환기를 증발기로 적용하려면 두가지 문제를 선결하여야 한다. 하나는 공기측 결로에 의한 응축수 배출문제이고 다른 하나는 평판관내 냉매 분배에 관한 문제이다. 증발기의 흰 표면 온도가 공기의 노점온도 이하로 유지될 경우 흰에는 결로에 따른 응축수가 형성된다. 증발기의 성능을 유지하기 위해서는 이 응축수를 적절히 배출하여야 한다. 흰-관 열교환기의 경우는 응축수가 흰을 따라 흘러내려 열교환기 하부로 배출되므로 큰 문제는 없다. 또한 흰 표면을 친수 코팅 처리하여 응축수 배출을 돕는다. 평판관 열교환기가 응축기로 사용될 경우에는 관내의 냉매 응축액 흐름을 돕기 위하여 수평으로 평판관을 설치한다. 증발기로 사용될 경우에는 응축수를 용이하게 배출하기 위하여 평판관을 수직으로 설치한다. 하지만 이렇게 하더라도 여전히 루버형이 응축액 흐름을 방해하므로 응축액 배출이 용이하지 않다. 응축액 흐름을 돕기 위하여 골이 파인 평판관을 사용하는 것도 좋은 방법이 될 수 있을 것이다.

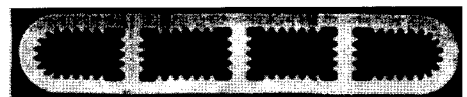
다른 한가지는 평판관내 냉매 분배 문제이다. 평판관 열교환기에서는 헤더를 사용하여 냉매를 각 채널(평판관)로 분배하므로 어떻게 균일하게 분배하느냐가 중요한 이슈가 된다. 최근 일리노이대학 공조연구센터(ACRC)의 보고서에 따르면 평판관 열교환기를 증발기로 사용할 경우 냉매 분배의 불균일에 따른 성능감소는 30%까지 된다고 한다. 냉매분배 문제



[그림 2] 평판관 열교환기 개략도



a) 평활 평판관

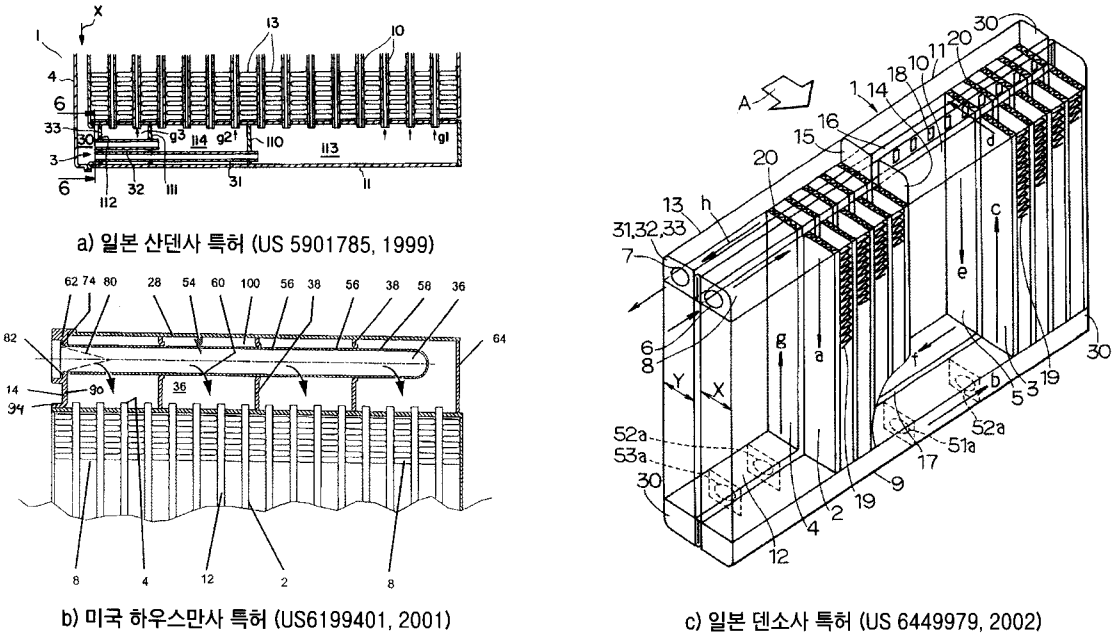


b) 미세흰 평판관



c) 소구경 평판관

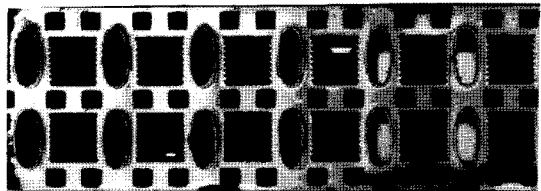
[그림 3] 평판관의 종류



[그림 4] 헤더내 냉매분배를 개선하기 위한 특허

는 특허 증발기에서 중요하게 된다. 응축기에서는 증기가 응축하기 때문에 채널마다 증기와 액체의 비율이 다를지라도 전열성능에 미치는 영향은 그렇게 심각하지는 않다. 하지만 증발기에서는 채널 벽면이 액막으로 덮여 있어야만 증발이 제대로 일어나게 되므로 채널마다 증기와 액체가 균일하게 분배되는 것이 중요하다. 그림 4에 평판관 열교환기내 냉매분배를 개선시키기 위한 방법에 대한 특허들을 나타내었다. 일본 산덴사에서서는 헤더 내에 헤더를 격막으로 구분하고 각 구간마다 길이가 다른 소구경관들을 삽입해서 채널간 냉매 분배를 개선하고자 하였다. 일본 덴소사에서서는 헤더 내에 구멍이 가공된 격판을 설치하여 구멍의 크기를 냉매 흐름방향으로 감소시켜 헤더 내 냉매분배를 개선하고자 하였다. 미국 하우스만사에서서는 헤더를 격막으로 구분하고 헤더 내에 미세한 구멍이 가공된 소구경 원관을 설치하여 냉매를 미세한 구멍으로부터 공급함으로써 냉매분배를 개선코자 하였다.

그림 5에 오발튜브 열교환기용 회를 나타내었다. 오발 튜브는 5 mm × 8 mm의 타원형이고 튜브 피



[그림 5] 오발튜브 열교환기 회

치는 16 mm이다. 오발튜브 열교환기의 압력손실은 둘레가 같은 원관 열교환기보다 작다. 오발튜브 열교환기는 자동차 방열기용으로 개발되었으므로 공조용 응축기로 적용하기 위해서는 내압에 따른 구조적 문제가 해결되어야 한다.

적층형 열교환기

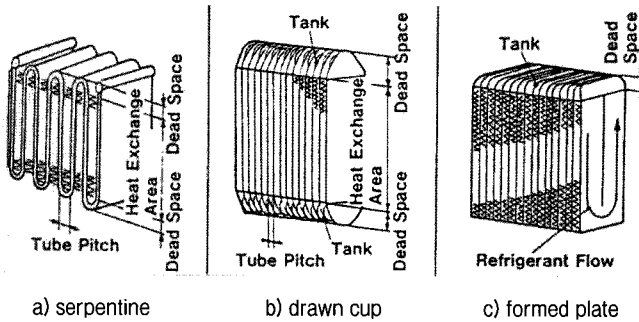
적층형 열교환기는 자동차 증발기로 널리 사용되고 있다. 그림 6에 적층형 증발기의 종류를 나타내었다. 이 열교환기들은 냉매측 회로 구성방식에 따라 serpentine형, drawn cup형, formed plate형으로

나뉘어진다. Serpentine형은 냉매유로가 하나의 채널로 구성되는 반면 다른 형태에서는 헤더(또는 탱크)에서 다수의 채널로 냉매가 분지된다. Drawn cup형에서는 헤더가 상부와 하부에 설치되어 냉매가 증발관 내부를 한 방향으로 흐르는 반면 formed plate형에서는 헤더가 상부에만 설치되어 냉매는 증발관 내에서 U - turn을 하게 된다. 그림 7 a)에 formed plate의 단면을 나타내었다. 자동차 증발기로 그림 2의 parallel flow 열교환기도 고려되고 있다. 이 경우 평판관의 폭 50 ~ 60 mm로 응축기용(16 ~ 20 mm) 보다 훨씬 넓다. 이는 증발기를 통과하는 공기의 습도를 적절히 조절하기 위함이다. 증발관 외측에는 루버핀이 장착되는데 응축수를 원활히 배출시키기 위하여 친수코팅이 되어 있다. 응축수는 증발관을 타고 흘러내리게 되는데 formed plate의 경우 V형상의 골(그림 7 a) 참조)이 있어 응축수 배출에 도움이 된다. 하지만 그 부분은 환과 접촉이 되지 않기 때문에 열전달 측면에서는 불리하

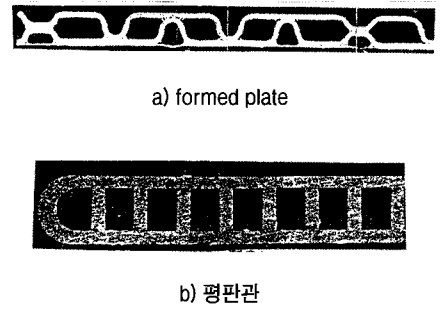
게 작용한다.

와류 발생기 장착 열교환기

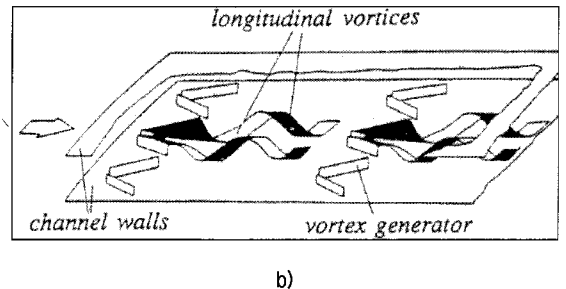
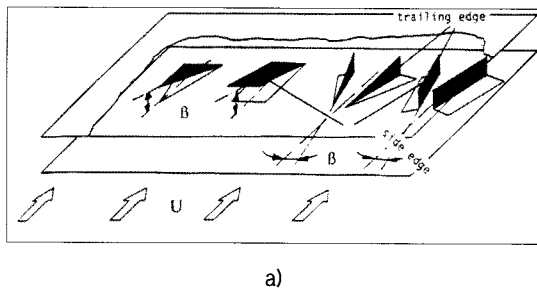
공랭식 열교환기의 경우 대부분의 열저항이 공기측에 있기 때문에 공기측 열성능을 개선하기 위하여 슬릿핀, 루버핀 등 고효율 핀이 사용되고 있다. 최근 들어 와류 발생기(vortex generator)를 열교환기에 응용하고자 하는 연구가 다수 수행되었다. 그림 8에 와류 발생기를 나타내었다. 와류 발생기는 핀 일부를 자른 후 위로 접어 올려 만들어진다. 그림 8에 나타나 있듯이 와류 발생기는 공기 흐름방향으로 와류를 형성하여 벽면 부근의 유동을 혼합시킴으로써 전열을 촉진하게 된다. 와류의 강도는 하부로 갈수록 감소하므로 적절한 간격을 두고 와류 발생기가 설치된다. 와류 발생기가 조밀하게 설치되면 전열성능은 향상되나 압력손실도 증가하므로 유동 조건에 따라 최적치가 존재하게 된다.



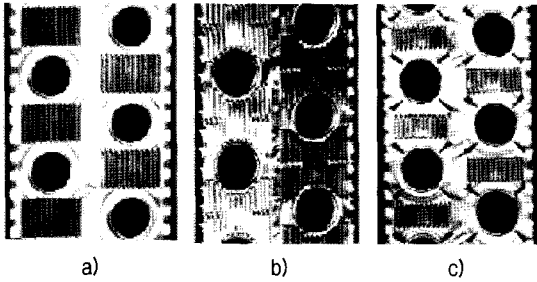
[그림 6] 적층형 열교환기 종류



[그림 7] 적층형 열교환기용 증발관



[그림 8] 와류 발생기의 종류(delta wing, rectangular wing, delta winglet, rectangular winglet) 및 와류 발생 메카니즘



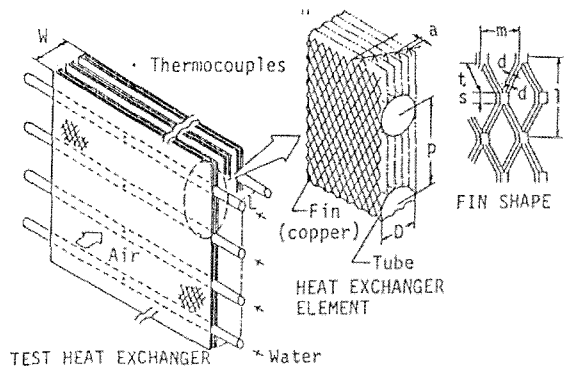
[그림 9] 루버핀 및 와류 발생기 부착 루버 핀 형상

그림 9에 2열 열교환기에서 와류발생기와 기존 고성능 핀이 나타나 있다. 그림 9 b) 루버 핀은 그림 9 a) 루버 핀보다 많은 부분이 루버로 가공되어 있다. 그림 9 c)는 루버 핀에 와류 발생기가 장착된 형상인데 와류 발생기는 winglet 으로 높이가 1.6 mm이다. 열교환기 시료의 핀 피치는 2.0 mm 이다. 문헌에 따르면 루버 핀에 와류발생기를 가공하기보다는 루버를 가공하는 것이 좀 더 효과적임을 알 수 있다. 원관을 사용하는 환-관 열교환기에서는 원관에서 이미 상당량의 와류가 발생하고 있기 때문에 부가적인 와류 발생기의 장착은 그다지 효과적이지 못한 반면 평판관이나 오발튜브 열교환기에서는 와류 발생기가 효과적일 수가 있다. 문헌 조사 결과 와류 발생기에 의한 열전달 촉진 효과는 기존 고성능 핀에 비하여 다소 작지만 압력손실을 현저하게 줄일 수 있는 장점이 있다.

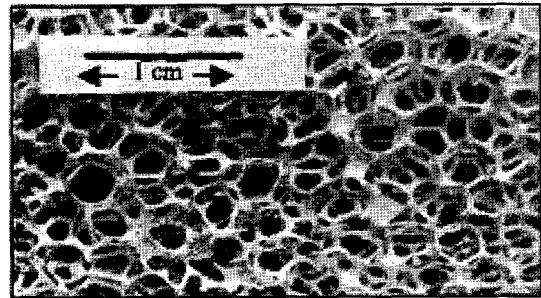
와이어 메쉬핀 열교환기

그림 10에 와이어 메쉬핀 열교환기를 나타내었다. 와이어 메쉬핀 열교환기는 동관에 슬릿을 낸 후 슬릿과 직각 방향으로 잡아당겨 슬릿들이 메쉬를 형성하도록 하여 제조된다. 문헌에 따르면 동일한 환동력에서 외경 4 mm 와이어 메쉬핀과 외경 9.5 mm 루버핀의 전열성능을 비교하였을 때 와이어 메쉬핀이 루버핀 보다 두배 가량의 전열성능을 얻을 수 있음이 보고되었다.

메탈 폼 (metal foam) 열교환기



[그림 10] 와이어 메쉬핀 열교환기



[그림 11] 5 PPI 메탈 폼

메탈 폼은 체적에 비해 전열면적이 넓고 구불구불한 유로로 인한 유동 혼합효과가 크다. 하지만 수력 직경이 작기 때문에 압력 손실도 매우 크다. 그림 11에 5.0 PPI(pores per inch)의 알루미늄 메탈 폼을 나타내었다. 문헌에 따르면 메탈 폼의 pore 밀도가 감소할수록, 또는 다공도가 증가할수록 열전달계수와 마찰계수는 증가함이 보고되었다. 또한 동일 환동력에서 메탈 폼과 루버핀의 성능을 비교하였을 때 루버 핀의 성능이 다소 우수하였다.

결론

본고에서는 공랭식 열교환기의 최신 기술 동향에 대해 기술하였다. 현재 평판관 열교환기는 자동차 에어컨의 응축기로 사용되고 있다. 이 열교환기가 가정용 에어컨의 증발기로 사용되기 위해서는 환에

서의 응축수 배출문제, 냉매 분배등이 해결되어야 한다. 현재 가정용 에어컨의 증발기로는 환-관 열교환기가 사용되고 있고 평판관 열교환기가 이를 대체하기 위해서는 가격 경쟁력이 확보되어야 한다. 적층형 열교환기는 자동차 증발기로 사용되고 있다. 열교환기에 와류 발생기를 적용하기 위해서 많은 연

구가 수행 되었으나 그 성능은 고성능 환에 못 미치는 것으로 나타났다. 메탈 폼 열교환기도 현재의 PPI로는 압력손실이 워낙 커서 현재로써는 그 성능이 고성능 환보다 못하다. 추후 PPI가 작은 메탈 폼 제조 기술이 개발되면 기존 환을 대체할 수 있을 것으로 기대된다. ●