

# 공조용 핀관 열교환기의 변천

공조용 핀관 열교환기의 변천과정을 열교환기의 외형, 핀 및 전열관의 형상, 열교환기 성능향상을 위한 사이클 개선으로 나누어 기술하고, 그 현황과 향후과제에 대해서 살펴본다.

오 후 규, 손 창 효

냉동 및 공기조화, 화학공정 등 여러 분야에서 기체와 액체(단상 혹은 2상)사이의 열전달 장치로 사용되는 열교환기는 작동유체의 유동형태, 사용재질, 열교환기의 구조 등에 따라 여러가지 형태로 구분할 수 있다. 이 중에서 공조용 열교환기는 일반주택에 보급되는 룸에어컨과 사무실, 상점, 빌딩 등에 설치되는 패키지 에어컨, 그리고 식품가공 및 의료 시설 등에 사용되는 공조 설비중의 구성품으로서 광범위하게 사용되어 왔다.

이러한 공조용 열교환기의 기술발전은 에너지 절약과 쾌적성, 소음억제를 위한 공기측 통풍저항의 감소, 증발온도에 영향을 미치는 관내압력손실의 감소, 비용절감 및 설치공간의 제약성, 팬의 소비전력 감소 등을 중심으로 이루어져 왔다. 이들 요소중에서 공조용 열교환기를 설계할 때 가장 중요한 과제는 비용이나 설치공간의 제약조건을 만족하면서 필요한 열량을 얻기 위해서 요구되는 열전달계수(K)와 전열면적(A)의 곱인 KA값을 얼마나 확보하는가 하는 점에 있다. KA값을 증대시키기 위해서는 열교환기의 전열면적을 크게 하고, 전열관의 관경을 작게 하여야 한다. 그렇다고 전열관경만 무작정 줄일 경우에는 공기측의 통풍저항이 증가되어 소음이 발생하고, 관 둘레길이와 냉매분배 성능면에서도 제약이 발생한다. 이와 같은 배경으로부터 개발된 현

재의 공조용 열교환기는 직경 6~9.4mm의 원형동관과 두께 0.1mm 정도의 알루미늄핀으로 구성된 핀관 열교환기(fined tube heat exchanger)가 주류를 이루고 있다. 최근에는 공기유로 및 냉매패스의 설계기술과 패키징 기술의 개발에 의해서 더욱더 우수한 상품들이 개발되고 있다.

따라서 본고에서는 과거 30년동안 사용되어 온 공조용 핀관 열교환기의 변천에 대해서 기술하고, 그 현황과 향후과제에 대해서 살펴보고자 한다.

## 열교환기 형상의 변천

과거 30년동안 공조용 핀관 열교환기의 형상변화에 대해서 살펴보면, 1970년대의 직선형 열교환기를 시작으로 열교환기의 일부분을 2단 및 3단으로 절개하여 크로스팬의 주위를 둘러싸는 형태인 절개형 열교환기로 발전되어 왔다. 이러한 절개형 열교환기는 유입되는 공기의 유속을 고르게 하여 전열성능을 향상시키고 소음을 감소시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한 일정한 공간내에서 더욱 큰 사이즈의 열교환기를 설치할 수 있는 장점이 있다. 가장 최근에는 열교환기를 절개하지 않는 원호형 열교환기에 대한 연구가 활발히 진행중이다.

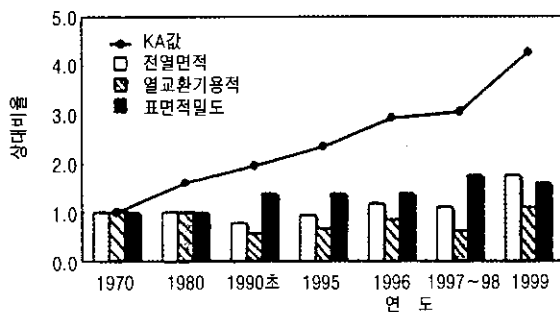
오 후 규 부경대학교 냉동공학과 (headam@mail.pknu.ac.kr)

손 창 효 부경대학교 냉동공학과 대학원 (sonch@mail1.pknu.ac.kr)

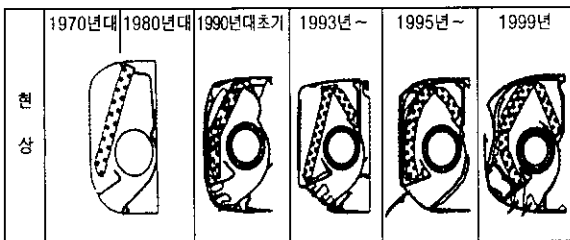
원호형 열교환기는 전단부가 없으므로 절개형 열교환기에 비해서 전열면적이 증가하고 응축수의 배출이 원활한 장점이 있다.

공조용 열교환기에서는 그림1에 나타난 것처럼 제한된 유니트내에 열교환기의 전열성능을 향상시키기 위해서 전열면적을 증대시켜 온 것을 알 수 있다. 전열면적을 증대시키기 위해서는 열교환기가 대형화될 수 밖에 없고, 또한 이것을 제한된 공간내에 설치하기 위해서는 열교환기를 접어 넣을 수 밖에 없게 된다. 그러나 일정한 공간내에서 열교환기의 대형화로 인해 유니트 내부의 빈공간이 감소하고, 공기유로 확보와 요소부품의 배치가 더욱더 곤란하게 되었다.

그림 1은 유니트내에 설치되는 열교환기의 KA값, 전열면적, 열교환기 용적, 표면적 밀도를 과거 30년간에 걸쳐서 비교한 것이다. 그림 중에 실선은 열통과율(K)과 전열면적(A)의 곱인 KA 값의 변화를



〈그림 1〉 연도에 따른 열교환기의 성능변화



〈그림 2〉 공조용 핀관 열교환기의 형상변화과정

나타낸 것으로 KA 값이 증가할수록 열교환기의 성능이 높아지고, 공조기의 에너지 절약에 대한 공헌도도 크게 된다. 그림 1에서 알 수 있듯이 최근의 KA값은 1970년에 비해 실제로 4배 이상까지 향상되는 등, 과거 30년간 열교환기 성능은 상당히 향상된 것을 알 수 있다.

다음으로 열교환기의 용적변화에 대해서 살펴보면, 1990년 초까지는 감소하다가 그 이후에는 증가하였고, 1999년에는 초기의 용적과 비슷한 수준으로 회복되었다. 이것은 1990년 초기까지 열교환기 개발은 전열관경의 세관화, 내면흡관의 채용 및 핀의 슬리트화에 의해서 고성능화가 진행되었고, 소형화에 의한 열교환기의 비용절감과 기기의 콤팩트화가 요구되었기 때문이다.

1995년 이후에는 에너지 절약에 대한 관심이 높았기 때문에 열교환기의 개발은 소형화에 의한 건물과의 친화성 향상과 재료 감소에 의한 비용절감을 위해서 열교환기의 용적증가에 의해서만 달성되어 왔다. 따라서 그림2에서 알 수 있는 것처럼 1990년대까지 실내 유니트내에 있는 열교환기를 구부려서 배치하는 새로운 구조가 고안되었기 때문에 종래에 비해서 열교환기의 규모는 증가하였지만 제품의 용적은 그다지 변하지 않았다. 또한 전열면적은 열교환기 용적과 동일한 변화를 나타내고 있지만 단위체적당의 전열면적인 표면적 밀도는 증가하였다. 이것으로 미루어 볼 때, 과거 30년동안 공조용 핀관 열교환기는 고밀도화가 진행되어 왔음을 알 수 있다.

### 핀형상의 변천

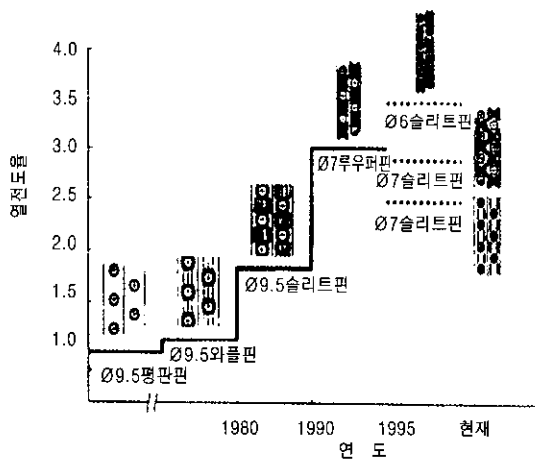
그림 3은 공조용 핀관 열교환기의 전열성능 향상을 위해서 사용되어 온 핀(fin)의 형상과 성능변화를 비교한 것이다. 1980년대까지는 평판핀(plate fin)과 파형핀(wavy fin)의 일종인 와플핀(waffle fin)이 개발되어 사용되었다.

이들 핀은 핀표면에 특별한 가공이 필요하지 않음

므로 가공비용이 저렴하며 고밀도화가 요구되지 않는 대형공조시스템에 많이 사용되었다. 그러나 평판핀과 와플핀은 핀사이를 유동하는 공기유동속도가 증가할수록 열교환기의 출구측에 유동소음이 발생하여 가정용 공조기 등에는 거의 사용되지 못하였다. 1980년대에는 플레이트관에 주로 사용되는 오프셋 스트립핀(offset strip fin)과 동일한 메카니즘을 가지는 슬릿(slit)핀의 개발에 의해서 평판핀보다 약 1.5배 정도의 전열성능이 향상되었고, 특히 1990년대에는 루우버핀이 개발되었다. 루우버핀 열교환기는 파형핀 및 딴플핀(dimple fin)과 같은 연속적인 표면을 가지는 열교환기보다 압력손실이 3~4배 정도 높지만 전열성능이 뛰어난 것은 물론 대량생산이 가능하고, 전열면의 조밀화를 통해 열교환기의 크기를 줄일 수 있는 장점 때문에 루우버핀에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 그림 3에 나타난 것처럼 1990년대에는 종래 전열관의 외경을 9.5 mm에서 7.0 mm로 줄임으로서 약 1.5배의 전열성능이 향상되었다. 또한 이러한 전열관경의 세관화와 핀피치의 최적화에 의한 핀효율의 향상, 유효전열면적의 증가, 그리고 전열관 공기저항의 감소로 인해서 핀피치를 2.0mm에서 1.5 mm 정도까지 축소할 수 있었다. 또한 슬릿의 폭을 2.0mm에

서 1.0 mm 정도까지 미세화함으로써 전열성능이 더욱 향상되었다.

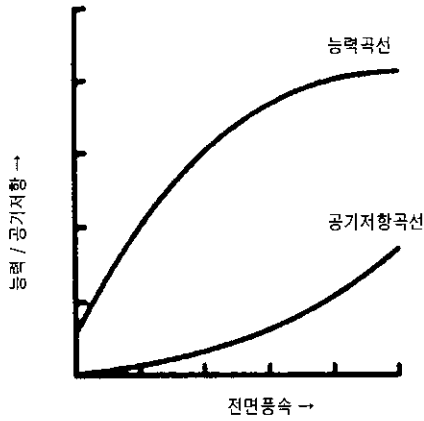
1990년대에 들어서면서 컴퓨터의 보급과 해석기술의 진보로 인해서 슬릿 패턴의 최적배치에 관한 연구가 활발히 진행되고, 이로 인해 새로운 핀패턴이 제안되고 있다. 그러나 슬릿과 루우버의 미세화에 의한 전열촉진은 먼지나 기름에 의한 핀의 막힘, 물의 비산, 서리발생 등의 실용상 문제와 통풍저항의 증가에 의한 소음문제가 발생하기 때문에 흐름해석으로부터 최적 핀패턴을 결정해도 상품화까지는 많은 해결과제가 남아 있다. 예를 들면 슬릿나 루우버 등에 의한 전열촉진수단은 재료비용절감이나 컴팩트화에는 유효하지만 핀효율의 저하나 흐름의 국소적인 속도증가에 의한 압력손실의 증가를 초래하고, 열교환 성능과 통풍저항의 밸런스면에서 보면 평판핀보다 약간 불리하다. 그림 4는 열교환기의 성능과 공기저항을 전면풍속에 따라 나타낸 것으로 열교환기의 능력 및 공기저항은 전면풍속에 비례하여 상승하지 않음을 알 수 있다. 그림과 같이 능력은 상승하다가 감소하지만 공기저항은 계속해서 상승한다. 따라서 룸에어컨의 전면풍속은 핀절단높이와 핀피치, 공기저항의 효율, 저소음을 고려해서 설계하여야 하는데, 설계치를 1 m/s 전후의 저풍속영역내에서 결정한다.



〈그림 3〉 핀형상과 성능의 변화

신개념의 열교환기 기술로, 공조용 핀관 열교환기의 핀성능을 향상시킬 목적으로 새로운 전열촉진기술의 개발이 검토되고 있다. 그림 5~7은 그것의 일부분을 나타낸 것이다. 그림 5는 메쉬(mesh)를 전열관에 2개 이상 설치한 메쉬핀 열교환기로 핀의 가장자리부분에서 온도 경계층이 박막화되는 효과를 최대한 이용한 것이다. 메쉬핀 열교환기의 공기측 열전달율은 동등한 크기의 핀피치 열교환기에 비해서 약 3배정도 높고, 전열성능도 향상된다. 그 반면에 전열면적이 적기 때문에 높은 열전달율을 얻을 수 있는 이점은 없다.

그림 6은 와류를 발생시키는 촉진체의 종류와 형

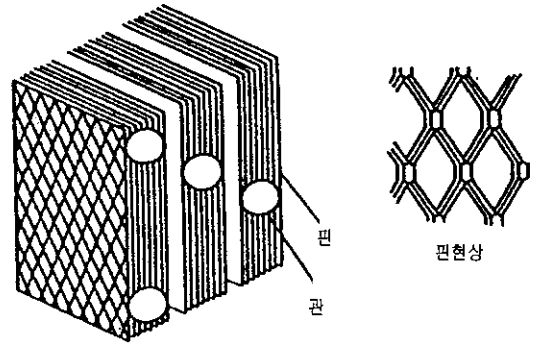


〈그림 4〉 전면풍속에 따른 열교환기의 능력과 공기저항 곡선

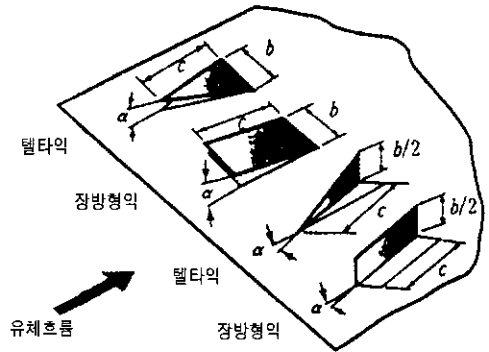
상을 나타낸 것이다. 외류 촉진체라는 비교적 단순한 형태를 가지는 판모양의 작은 조각(델타익과 장방형익)을 흐름 방향에 경사지게 설치하면 그림 7에 나타낸 것처럼 하류에 외류가 형성된다. 이 외류는 일종의 2차유동으로 벽면근처에서 가열된 유체가 벽면으로부터 멀어지는 방향으로 이동할 뿐만 아니라 벽면으로부터 멀어지는 경우에 다른 온도를 가진 빠른 유체가 벽면근처로 수송되기 때문에 열전달율이 촉진된다. 최근 외류 촉진체의 배치위치와 경사각도에 관한 연구는 많이 되고 있으며, 평행한 평판에 비해서 약 2배 정도의 전열촉진이 얻어진다고 보고되고 있다. 그러나 공조기의 사용범위인 낮은 레이놀즈수에서는 그 효과가 적기 때문에 슬리트나 루우버핀에 비해서는 전열성능이 낮다.

### 전열관의 변천

그림 8은 핀관 열교환기에 사용되는 전열관의 형상과 고성능화에 대한 변화과정을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 1970년대는 내면에 평활한 전열관(평활관)을 일반적으로 사용하였지만 그 내

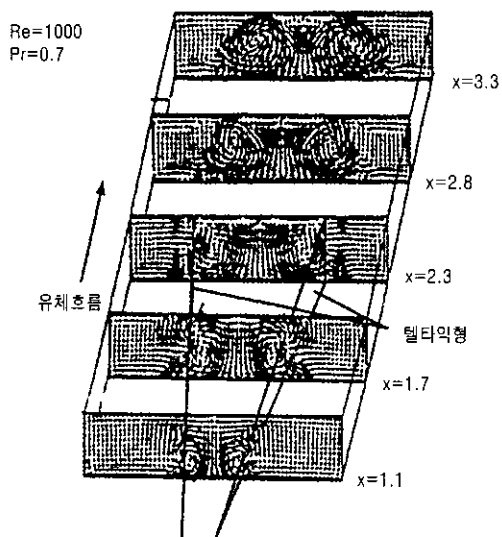


〈그림 5〉 메쉬핀 열교환기의 구조와 형태

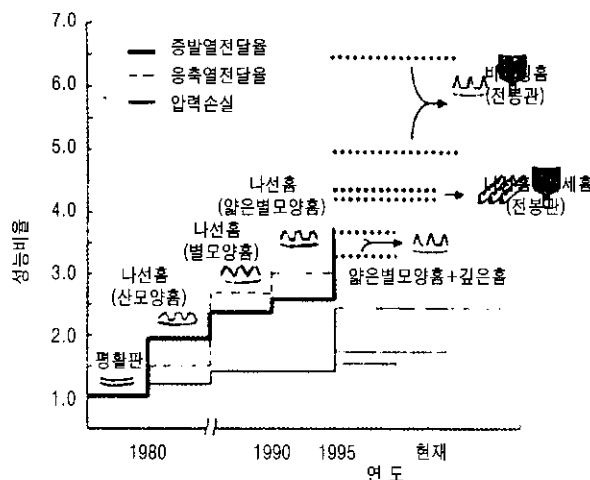


〈그림 6〉 외류 촉진체의 형태

부를 자세히 살펴보면 상당히 많은 변화가 있었다. 1970년 중반에는 관내에 비틀림 테이프(twisted tape)나 나선형 리브(rib)를 삽입한 관이 사용되었다. 이는 삽입체에 의해서 흐름이 난류로 되어 전열촉진율은 1.1~1.8배인데 반면에 압력손실은 2~5배로 상당히 높았다. 따라서 이 방법은 압력손실의 문제로 인하여 공조용 열교환기에는 거의 사용되지 않았다. 1970년 후반에는 내면에 1~2mm 정도의 핀을 부착한 관이 개발되었지만 열전달율에 비해서 압력손실이 커서 공조용 열교환기의 전열관으로서 실용화되지 못하였다. 1980년경에는 나선홈관이 개발되어 열전달율은 평활관에 비해 약 2배 정도까지 향상되었고, 압력손실은 1.4배 정도였다.



〈그림 7〉 델타핀에 의한 와류발생 매커니즘



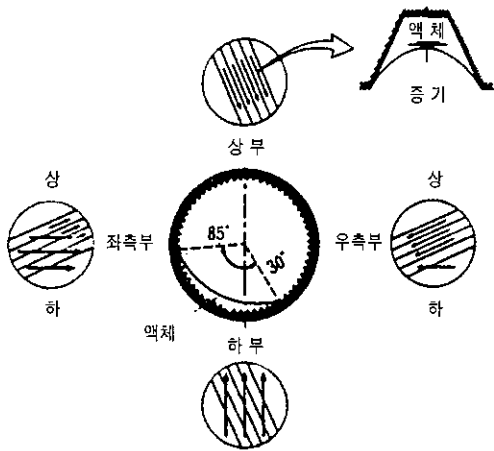
〈그림 8〉 전열관의 형상과 성능변화

나선홈관의 전열 매커니즘은 그림 9에 나타난 것처럼 저건도인 성층류나 과상류의 경우에는 증기의 전단력과 홈의 모세관 작용에 의해서 관하부의 액체일부가 관내를 상승하고, 액막내에서는 얇은 메니스커스 액막을 형성하기 때문에 전열이 상당히 향상된다. 그러나 관내면에 환상류가 형성되는 고건도에서는 핀이 완전히 액막에 잠기게 되므로 전열 성능이 낮게 된다. 나선홈의 형상은 개발당시 둥근 산모양이었지만 그 후, 별(台)모양의 홈과 얇은 별모양의 홈으로 개선되었다. 즉, 핀정상부는 응축액의 배출을 위해서 뾰족하게, 핀하단부는 평평하게 변형되었다. 이러한 홈을 가진 관은 표면장력효과와 지배적인 작용에 의해서 전열촉진율이 2.5배 정도까지 향상된다. 또한 최근에는 핀높이 0.25mm 정도, 정상각(핀각) 15° 정도의 하이핀(high-fin)관이 개발되어 평활관에 비해서 3배 정도의 전열촉진을 얻을 수 있었다. 이러한 기술혁신은 1990년대에 들어서면서 프레온 냉매의 규제에 따른 기술개발에 의해서 한층 가속화되었다. 1995년경에는 나선

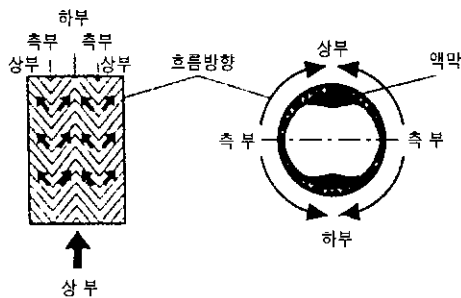
형 홈관의 핀부분에 2차원으로 홈을 가공한 크로스(cross) 홈관이 개발되었는데, 이는 전열면적증대, 액막의 교반, 표면장력의 효과 등에 의해서 전열촉진율은 약 3.5 정도였다. 그러나 크로스(cross) 홈관은 액막의 교반에 의한 압력손실의 증가가 문제로 되었다.

1997년경에는 그림 10에 나타난 것처럼 헤링본 홈관(혹은 W 홈관)이 개발됨으로서 종래의 나선홈관에 비해서 증발은 약 1.7배, 응축은 약 2.3배의 전열촉진율을 얻을 수 있었다. 헤링본 홈관의 전열촉진 매커니즘을 그림 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 저건도의 경우에는 홈내에서 액체의 상승과 메니스커스 액막이 형성되는 나선홈관에는 미치지 못하지만 고건도의 경우 증기 전단력에 의해서 관측면으로 액막이 얇게 분포하기 때문에 나선홈관보다도 전열이 향상된다.

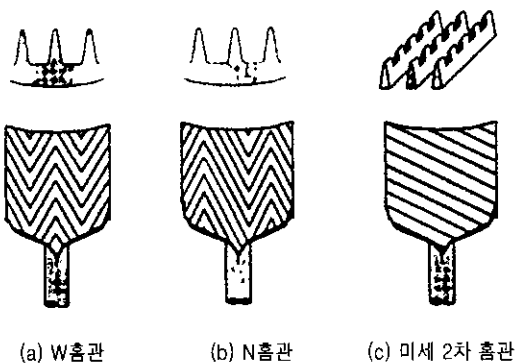
따라서 헤링본 홈관은 높은 열전달율이 얻어지는 반면, 나선홈관에 비해서 압력손실이 크고, 저건도 영역에서 열전달율이 저하하는 결점이 있기 때문



〈그림 9〉 나선흡관내 냉매액의 분포와 전열촉진 매카니즘



〈그림 10〉 헤링본 흡관의 액막분포와 전열촉진 매카니즘

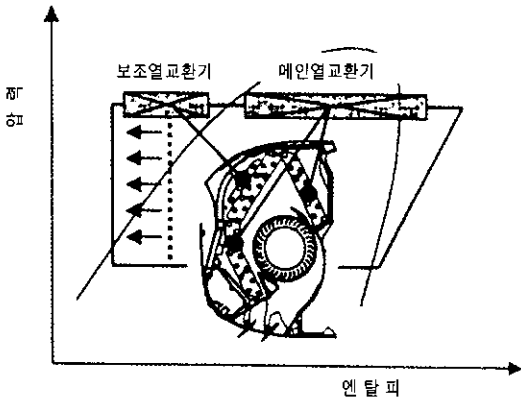


〈그림 11〉 전열관내 나선흡의 형상

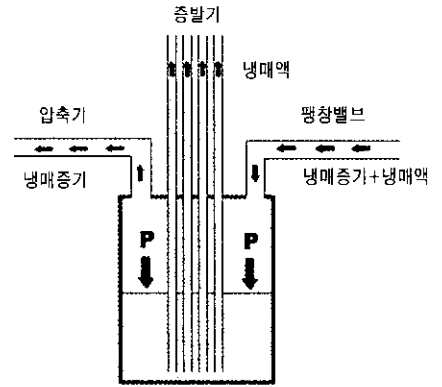
에 제품전체에서 성능이 향상되도록 하는 것이 바람직하다. 최근에는 V자형흡의 최적화에 의한 압력손실의 저감과 저진도 영역에서의 전열특성 개선에 의한 고성능화가 기대된다. 또한 종래의 나선흡관도 인발관 제조기술의 발전으로 인해서 흡의 슬림(slim)화와 하이핀(high)화에 의한 개선이 급속히 진행되고, 압력손실이 낮은 특징을 가지면서 헤링본 흡관과 비슷한 전열성능을 가지는 전열관을 개발하고 있다. 예를 들면 그림 11(c)에 표시한 것처럼 나선 흡모양과 전봉관(電縫管) 기술의 융합에 의해서 흡정상부분에 미세한 요철이 있는 미세 2차 흡관이 개발되었다. 미세 2차 흡관의 열전달율은 고유량영역에서는 헤링본 흡관에 비해 약간 낮은 반면 중저유량영역에서는 우수하다고 알려져 있다. 이와 같이 최근에는 전열관의 열전달율 및 압력손실에 대한 질량유량의 의존성이 다양화되고, 기기설계에 있어서는 사용조건에 맞는 전열특성을 가지는 흡모양의 선택이 중요하다. 예를 들면 열교환기 성능 시뮬레이션과 실험을 통해서 국소적인 열전달율과 압력강하분포가 열교환량에 어떤 영향을 미치는지를 정확하게 파악할 필요가 있다.

위에서 언급한 것처럼 전열관의 고성능화를 위해서 단순히 새로운 흡형상의 개발은 제작비용의 증가, 운환유의 정체, 내압성의 감소 등에 문제가 발생하게 된다. 따라서 관밀도를 향상시키면서 제작비용을 감소시키기 위해서는 열교환기를 세관화할 필요가 있다. 이처럼 열교환기를 세관화할 경우에 열교환기의 소형·경량화뿐만 아니라 비용감소, 환경문제, 내압성의 향상에도 유효한 수단이 된다. 하지만 열교환기의 세관화를 위해서는 부과적인 요소 기술의 개발이 필요하다. 예를 들면 관경을 7mm에서 4mm로 세관화하는 경우 관내 단면적은 감소하지만 관내압력손실은 상승하므로 냉매회로를 다패스화(multi-pass)할 필요가 있다. 또한 각각의 유로에 균일하고 안정된 냉매를 분배하는 분배기술이 동반되어야 한다.

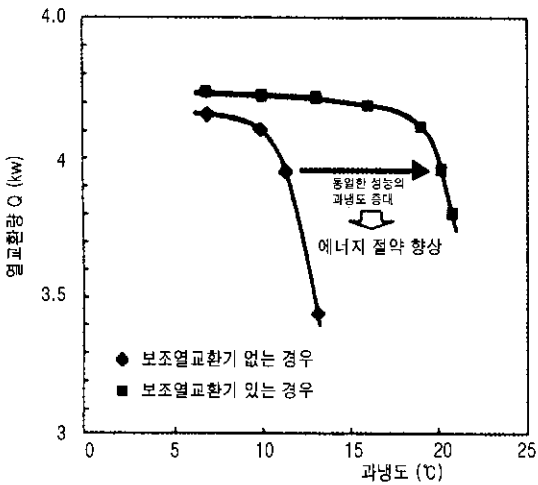
## 시스템의 변천



〈그림 12〉 보조 열교환기의 설치유무에 따른 사이클의 성능변화



〈그림 14〉 액분배기의 구조

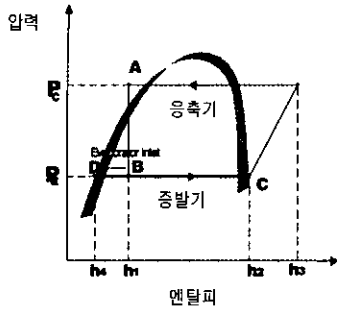


〈그림 13〉 보조 열교환기의 설치유무에 따른 전열 성능비교

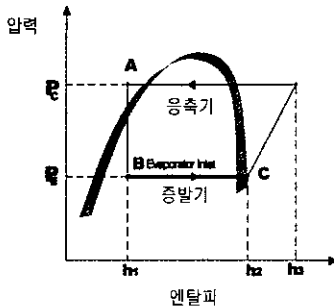
낸 것이다. R410A와 같은 공비혼합냉매는 R22에 비해서 포화액선의 기울기가 크고, 응축기 출구의 과냉도가 사이클 효율에 상당한 영향을 미친다. 따라서 그림 13에서 알 수 있듯이 혼합냉매를 사용하는 시스템에 보조열교환기를 설치함으로써 과냉각도를 증대시킬 수 있으므로 냉동능력을 향상시킬 수 있고, 열교환기의 전체용적이 증가되는 경우보다도 성적계수(COP)가 향상된다.

그림 14는 증발기로 균등한 유량을 분배하기 위해서 오후규 등이 개발한 액분배기 시스템의 개념도를 나타낸 것이다. 액분배기의 구조에 대해서 알아보면, 팽창밸브에서 냉매증기와 액이 들어오는 관, 증발기로 냉매액만을 공급하는 관, 그리고 압축기 입구측으로 냉매증기만을 보내는 관으로 구성되어 있다. 그림 14에서와 같이 팽창밸브를 통과한 기·액 상태의 냉매가 액분배기내로 유입되고, 유입된 냉매는 밀도차에 의해서 액분배기의 상부는 냉매증기가 차지하고, 하부는 액상의 냉매가 차지하게 된다. 이때 액분배기내에서는 기상의 냉매와 액상의 냉매를 구분하는 기·액 경계면이 생긴다. 기·액 경계면으로 인해서 기상의 냉매가 증발기 전열관으로 흡입되는 것을 막을 수 있게 된다. 그리고, 팽창밸브에서 계속적으로 유입되는 기상의 냉매로 인해서 기·액 경계면이 하강하게 되는데, 일정 높이로 하강하게 되면 기상의 냉매는 기상 배출관을 통해서

지금까지 공조용 열교환기의 고성능화는 전열면 적증대, 열전달 촉진핀 혹은 관의 사용, 풍량의 증가 등의 방법을 통해서 이루어 왔지만, 최근에는 냉동 사이클의 특성을 활용하는 방법에 의해서 에너지 절감효과를 높이는 기술이 공조용 열교환기 등에 실용화되고 있다. 그림 12~15는 그 예를 나타낸 것이다. 그림 12는 응축기 출구와 팽창밸브사이에 소형의 보조열교환기를 설치하여 냉매액의 과냉도를 낮추어서 에너지 절감효과를 높이는 시스템을 나타



(a) 액분배기 냉동 시스템



(b) 기존 냉동 시스템

〈그림 15〉 액분배기의 설치유무에 따른 냉동 사이클의 성능비교

바로 압축기 흡입부로 흘러카게 되고, 액상의 냉매액은 증발기 입구측으로 유입되게 된다. 따라서 그림 15에서 알 수 있듯이 액분배기를 기존의 냉동시스템에 설치할 경우에는 증발관으로 액상의 냉매만이 유입되기 때문에  $h_1-h_4$  만큼 냉동능력이 증가

되고, 성적계수도 향상된다.

## 향후 전망

지금까지 공조용 핀관 열교환기를 대상으로, 전열관의 형상 및 열교환 시스템의 변천과정에 대해 기술하였다. 상술한 바와 같이 근년까지의 열교환기 고성능화는 핀의 슬리트화와 세관화 기술이 주류를 이루었다. 그러나 최근 이러한 전열촉진 기술보다는 공조기의 패키징 기술이 부각되는 등 열교환기의 형상개선 이외의 신기술이 소개되고 있다. 따라서 향후 열교환기의 고성능화를 위해서는 공조기의 가공 기술, 핀표면의 부식방지를 위한 친수처리기술 등 적상응축 촉진기술, 팬에 의한 저소음기술 등도 병행될 전망이다. 사실, 열교환기 자체의 전열면적 고밀도화에 의한 성능향상(컴팩트화)은 핀의 제조단가 상승은 물론 여러 가지 현실적 제약, 비산, 소음 발생 등의 문제점으로 인해서 점차 그 실용한계에 이르고 있다. 따라서 향후에는 CAE기술을 활용한 최적설계뿐만 아니라 신뢰성, 비용, 환경 친화성, 기기내에서의 유효이용도 등의 요소가 고려된 열교환기의 최적설계기술과 더불어 새로운 차원의 전열촉진기술 개발이 요망된다. 그리고 지금까지 등한시 되어 왔던 열교환기의 시스템 개량기술, 예를 들면 냉매액 과냉각 기술이나 냉매액 분배 기술의 개발 등에 대해 신기술분야를 간단히 소개하였으나, 향후 이 분야의 관심과 기술개발이 요망된다. (4)