

냉동공조용 열교환기

오 후 규

Heat Exchangers for Refrigeration and Air Conditioning Equipment

Hoo-Kyu Oh



- 오후규(부산수산대 냉동공학과)
- 1947년생
- 열공학(냉동공학)을 전공하였으며, 응축기, 증발기 등 고성능 열교환기의 개발에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

국민소득 수준이 상승됨에 따라 식생활의 향상과 쾌적한 주거환경을 위한 냉동공조기기의 보급이 해마다 증가하고 있다. 냉동공장의 1984년에 냉동능력은 약 5,000 M/T, 냉장능력은 350,000 M/T였던 것이 1994년 현재 냉동능력은 10,000 M/T로 2배, 냉장능력은 1,100,000 M/T로 약 3배 증가하였다.⁽¹⁾ 냉동공조기에 대해서도 표 1⁽²⁾에서 보는 바와 같이 과거 10년 동안 평균 5배 이상 증가하였음을 알 수 있다. 이러한 사실은 냉동공조기기의 중요 구성요소인 냉동공조용 열교환기의 발전상황이라고 생각하여도 될 것이다. 특히 최근 냉동공조기기의 급속한 보급으로 인해 하절기 전력수급이 문제점으로 대두된 이후 냉동공조용 열교환기에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 사실 1972년 제 1차 오일 쇼크 이후 에너지 절약형 기기의 제조가 확산됨에 따라 냉동공조용 열교환기

에 대해서도 성능향상, 효율향상이 중요과제로 되었다. 열교환기의 열교환 성능향상을 위한 방법으로는, 먼저 전열면적의 증대를 생각할 수 있으나, 이것만으로는 자원의 낭비, 효율적인 공간관리 등의 문제에 대해서는 만족을 하지 못하게 된다. 이의 해결을 위해서는 열교환기의 열통과율을 대폭적으로 향상시키는 고성능 열교환기의 개발이 필요하게 되었다.

냉동공조용 열교환기에서, 냉동공조용 열교환기는 그 역할에 따라서 응축기, 증발기 등으로 구분하여 부르고 있으나, 열펌프나 공조용 열교환기는 응축기를 옥외기(옥외 열교환기), 증발기를 실내기(실내 열교환기)로 부르는 경향이 있다. 이 글에서는 주로 냉동장치에 사용되는 열교환기에 대해서는 응축기, 증발기 등으로 구분하였으며, 열펌프나 공조에 대해서는 구분하지 않았다. 그리고 근본적으로 냉동장치용 열교환기와 공조용 열교환기를 구분할 필요는 없으나 냉동공장에 적용되고 있는 것이 있으므로 이 부분에

표 1 냉동공조기 출하량(1985~1994)

(단위 : 대)

연도	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
냉동기(냉매압축기)	-	-	-	424,416	926,105	1,136,033	1,767,348	3,082,303	3,674,426	5,312,652
공기조화관련기기	274,614	355,772	349,148	760,128	980,720	1,005,378	1,533,670	1,636,684	1,928,600	2,238,977
냉동냉장관련기기	28,771	27,875	26,250	65,544	50,974	66,375	63,043	64,274	85,249	195,050
냉각탑	8,294	8,839	10,077	1,914	1,665	1,790	1,815	2,275	5,021	2,341
기타관련제품	1,314,420	1,458,500	1,537,150	1,850,197	1,751,104	1,807,796	1,748,537	2,066,420	1,850,230	2,091,807
총계	1,626,099	1,850,986	1,922,625	3,102,199	3,710,568	4,017,372	5,090,413	6,851,956	7,543,526	9,840,827
전년대비(%)	-	14	4	61	20	8	27	35	10	30
기준연도대비(%)	-	14	18	91	128	147	213	321	364	505

대해서는 구분하여 냉동공조용 열교환기의 종류, 특징, 그리고 기술개발 동향과 전망 등에 대해 중점적으로 살펴보고자 한다.

2. 냉동공조용 열교환기의

종류 및 특징

2.1 냉동장치용 열교환기

2.1.1 응축기

응축기는 압축기에서 고압 증기로 압축된 냉매증기를 다시 액화시키기 위한 기기이다. 응축기 방출 열량, 즉 응축부하는 증발기에서 냉매가 얻은 열량과 압축기에서 가해진 열량의 합으로서, 응축기에서 단위시간당 냉매로부터 제거하는 열량을 말한다. 동일 냉동부하에 대해서 압축일은 흡입증기의 포화온도가 낮을수록, 응축온도는 높을수록 증가하게 된다.

1) 응축기의 전열

응축기내에서 냉매가 방출하는 열량 Q_c 는 냉동 열량 Q_e 와 이론 압축일에 상당하는 열량 Q_w 의 합이다. 즉, 식 (1)과 같다.

$$Q_c = Q_e + Q_w \quad (1)$$

따라서, 응축기에서는 Q_c 에 해당하는 열량이 냉매와 냉각수(또는 공기) 사이에서 열교

환된다. 냉각수 혹은 공기의 입구 및 출구의 온도를 $t_1(^\circ\text{C})$, $t_2(^\circ\text{C})$ 라 하고, 그 유량 및 비열을 각각 $G_c[\text{kg/h}]$, $c_p[\text{kcal/kg}^\circ\text{C}]$ 라 하면 다음 식이 성립한다.

$$Q_c = c_p G_c (t_2 - t_1) [\text{kcal/h}] \quad (2)$$

또한, 냉각관 속의 냉매가 잃은 열량 Q_c 는 냉각수 혹은 주위의 공기로 방출된 열량과 같아야 하므로 다음 식이 성립한다.

여기서,

$$Q_c = KA\Delta t_m \quad (3)$$

여기서 K 는 냉각관의 열통과율 $[\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}]$, A 는 냉각관의 전열면적 $[\text{m}^2]$, Δt_m 는 냉매와 냉각수와의 평균 온도차 $[\text{C}]$ 를 나타낸다.

따라서, 응축기의 전열 면적 $A[\text{m}^2]$ 는 위 식으로부터 계산할 수 있다. 즉, 식 (4)와 같다.

$$A = \frac{Q_c}{K \times \Delta t_m} \quad (4)$$

압축기에서 토출된 냉매증기는 과열 증기인데, 이 과열 증기가 응축기내에서 냉각될 때는 그림 1과 같이 과열 증기에서 건포화 증기, 습증기, 포화액, 과냉각액으로 된다. 따라서 응축기내에서의 냉매 상태는 과열 영

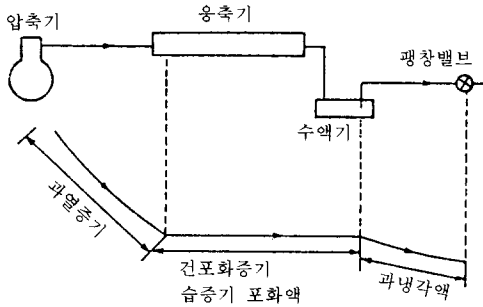


그림 1 응축기 주위의 냉매 상태

역, 포화 영역, 액체 영역 등 세 가지의 상태로 구분할 수 있다. 이 세 영역에서의 냉매 전열 작용은 각기 다르기 때문에 열전달율도 역시 다르다. 그러나 과열 영역에 있어서의 열전달률은 포화 영역의 열전달률보다 작지만 일반적으로 냉각관과 냉매의 온도차가 포화 영역에서 보다 크게 되기 때문에, 결국 단위 면적당의 전열량은 포화 영역과 과열 영역에서는 큰 차이가 없다. 따라서, 공학적 계산에서 응축기의 전열 계산에는 세 가지의 영역으로 구분해서 계산할 필요가 없이 전 영역을 응축의 포화 영역으로 취급해서 계산할 수 있다.

2) 응축기의 종류

현재 일반적으로 이용되고 있는 응축기에는 표 2와 같이 냉각 열원의 차이에 따라 수냉식, 증발식, 공냉식 세 가지로 크게 나눌 수 있다.⁽³⁾

냉동용 응축기에는 Freon계 냉매용과 주로 산업용에 적용되는 암모니아용이 있다. 암모니아용 응축기는 50~60년대를 정점으로 여러 가지의 종류가 사용되었으나 현재는 몇 가지의 종류가 적용되는 것은 있으나 거의 실물이 보이지 않으며, 문헌상에만 보이는 것도 있다. 그러나 이와 같은 응축기에 대해서도 증거 보존의 입장에서 간략하게 기술해 두고자 하며, 최근 자연냉매로서 각광을 받기 시작하는 암모니아용 응축기에 대해서도

언급 하고자 한다. 표 2에 있는 주요 응축기의 특징은 다음과 같다.

(1) 입형 셀 튜브 응축기

표 2에 나타난 것과 같이 셀 앤드 튜브 열교환기를 콘크리트로 만든 수조 위에 세로로 설치한다. 상부로부터 물을 냉각관으로 흘러 하부의 콘크리트 수조에 냉각수가 낙하하도록 한 구조이다. 상부의 수조는 대기에 개방되어 있으며, 냉동능력은 주로 25냉동톤에서 100냉동톤 정도에 많이 사용되고, 1RT당 소요전열면적은 NH₃의 경우 1.2m² 정도이다. 입형 응축기는 설치장소가 적기 때문에 현재에도 적용되고 있다.

(2) 횡형 셀 튜브 응축기

이 응축기의 능력은 1.2RT에서 40RT 정도에 적합하며, 1RT당 전열면적은 0.9m² 정도로 된다. 설치면적이 크기 때문에 신설의 경우 잘 사용되지 않는다. 그러나 최근 암모니아 냉동장치도 횡튜브 강관을 사용하는 소형 유닛으로 만드는 경향이 있다.

(3) 2중관형 응축기

이 형식은 가장 간단한 응축기 형식으로, 외관에는 냉매, 내관에는 냉각수를 흘린다. 능력에 따라 상하 몇 단으로 중첩시켜 사용한다. 이 형식은 좁은 장소에 사용하기 적합하며, 최근에도 용도에 따라 적용되고 있다.

(4) 증발식 응축기

가장 일반적으로 적용되고 있는 응축기 형식이다. 냉매가 흐르는 냉각관 위에 물을 살포하고, 여기에 공기의 흐름을 만들어 물을 증발시킬 때 물의 증발잠열로 냉매로 액화하는 원리이다. 공기의 흐름과 송풍기의 위치에 따라서 흡입형과 흡출형이 있다. 이 형식은 암모니아의 경우 중규모 정도인 18RT에서 150RT의 대규모까지 적용되고 있다.

(5) 대기형 응축기

여러 단으로 되어 있는 냉각관의 상부에서 수조로부터 연결된 물을 뿌려 물의 증발잠열로 냉각하는 형식이다. 이 형식은 냉각관의 청소가 용이하기 때문에 해수나 오염이 심한

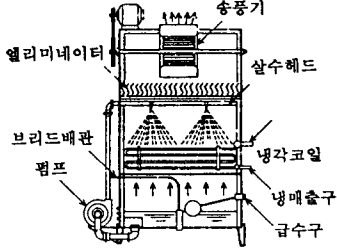
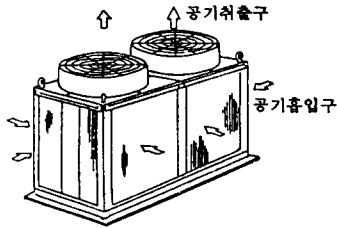
표 2 응축기의 종류

종 류	수 령 식			
	입형 셀렌드류브형 응축기	횡형 셀렌드류브형 응축기	2중관형 응축기	
구 조				
용 도	중형, 대형 암모니아 냉동장치	소형에서 대형까지의 암모니아, 프레온 등 각종 냉매의 냉동장치	프레온 소형, 중형 냉동장치로서 유니트화된 장치	
용 량	10~150 RT	0.5~50 RT	1~50 RT	
양호한 적용예	양질의 냉각수가 풍부하게 얻어지는 곳, 보통 옥외 설치	우물물, 하천수, 해수, 냉각탑 냉각수 등 어느 것이나 사용	비교적 양질의 냉각수나 냉각탑 냉각수 등 사용	
설 계 상 의 표 준 치	열 통 과 율 (kcal/m ² · h · °C)	750	600~900	900
	냉 각 면 적 (m ² /RT)	1.2	0.7~0.9	0.8~1.0
	냉 각 수 량 (ℓ/m · h · RT)	20	12	10~12
특 징	장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 옥외 설치가능 · 설치 면적이 적음 · 운전중 청소가능 · 과부하에 잘 견딤 · 가격이 비교적 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> · 전열 성능이 양호 · 소형 · 경량 가능 · 설치 면적이 적음 · 수량이 적어도 됨 · 수배관이 용이 · 설치비용 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> · 구조가 간단하고, 열가 · 냉각수와 냉매의 흐름이 역방향으로 과냉각도가 큼 · 고압에 잘 견딤 · 수량이 적어도 됨
	단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 수량이 비교적 많이 필요 · 냉각관이 부식되기 쉬움 · 냉매액의 과냉각도가 적음 · 증량이 무거움 	<ul style="list-style-type: none"> · 과부하에 곤란 · 냉각수의 통과저항이 약간 큼 · 냉각관의 청소는 운전중 불가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 냉각관 청소시 화학세제 사용 · 냉각관의 부식발견 곤란 · 냉각관의 교환 불가능

냉각수를 사용할 때 적용되었으나 현재에는 거의 적용되지 않는 형식이다.

(6) 공랭식 응축기(플레이트 핀코일식 응축기)

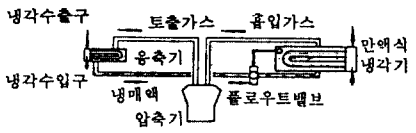
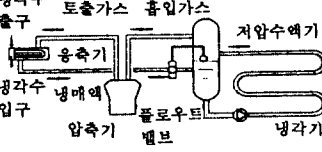
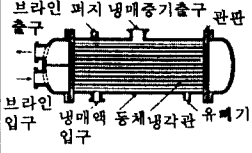
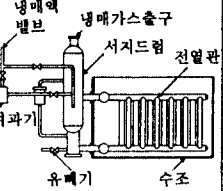
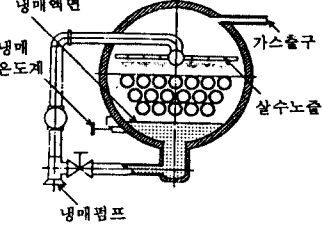
공랭식 플레이트 핀코일식 응축기는 프레온계 냉매에 적용되어 왔으나 최근에는 재질과 핀의 개량에 의해 NH₃냉매에 대해서도 미국, 독일 등에서 적용되고 있다.

종 류	증 발 식	공 령 식	
	증발식 응축기	공랭식 응축기	
구 조			
용 도	주로 암모니아 냉동장치	소형, 중형 냉동장치	
용 량	10~100 RT	0.5~50 RT	
양호한 적용예	냉각수가 부족한 곳, 보통 육의 설치	냉각수가 부족한 곳이나 냉각탑을 사용할 수 없는 곳, 보통 육의 설치	
설 계 상 의 표 준 치	열통과율 ($kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)	350~400 (나관)	23~35 (강제통풍식) 6~9 (자연통풍식)
	냉각면적 (m^2/RT)	2.0~2.4	10~15 (강제통풍식) 30~40 (자연통풍식)
	냉각수량 ($l/m \cdot h \cdot RT$)	풍량 3~18 $m^3/min \cdot RT$	풍량 35~45 $m^3/min \cdot RT$ 풍속 2~2.5 m/sec
특 징	장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 냉각수의 소비량이 수랭식에 비해 1.5~3 % 절감 · 냉각탑을 사용하는 것보다 응축온도가 내려감 · 실내·실외 설치가능 · 공냉식으로도 사용가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 냉각수, 냉각수배관, 배수 설비 불필요 · 실외 설치가능 · 냉각관의 부식이 적음 · 가정용 등의 소용량 냉방기에 사용가능
	단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 수랭식보다 전열작용 불량 · 송풍기, 순환펌프의 동력 필요 · 냉각관의 부식 용이 · 냉매배관 시공 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 응축온도가 높아짐 · 냉매배관 시공 필요 · 동계 사용시 응축온도 조절 필요 · 공기측에 큰 전열면적 필요

(7) 플레이트 열교환기식 응축기 이외에 그림 2와 같은 플레이트식 열교환기가 프레온 냉매용으로 사용되기 시작하여, 최근에는 암모니아용으로도 사용되고 있다.

플레이트와 플레이트의 연결도 가스게이트식에서 금속용착(brazed)법에 의해 제작되고 있다.

냉동공조용 열교환기

분 류	만 액 식		액 순 환 식
호 록 도			
종 류	셀렌드류브형 증발기	탱크형 냉각기	냉매산포형 냉각기
구 조			
용 도	냉장·제빙, 화학공업용 브라인 냉각기, 공기조화용 수냉각기의 프레온, 암모니아 냉동장치	제빙, 수냉 작용용 암모니아 냉동장치	특수용도(극저온, 저압냉매용)의 프레온, 암모니아 냉동장치
열통과율 (kcal/m ² ·h·℃)	600 (수속 1.5 m/s) 450 (브라인 속도 1.5 m/s)	400 (브라인속도 0.5 m/s)	최소 750 (냉매살포식)
특 징	장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 냉매액의 순환이 좋고 전열이 양호 · 동결에 의한 관의 파손 우려성 없음 	<ul style="list-style-type: none"> · 냉매량이 만액식보다도 적음 · 냉매축의 열전달이 향상 · 부하변동에 의한 영향이 적음.
	단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 물 또는 브라인에 의한 동결 우려 · 윤활유 회수 장치의 필요 · 대량의 냉매량 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 냉매펌프 또는 저압수액기 등이 필요 · 비용이 비쌈

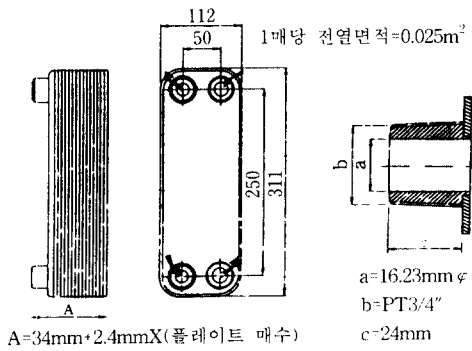


그림 2 플레이트 열교환기식 응축기

2.1.2 증발기

증발기는 냉동장치에서 냉각작용을 하는 열교환기로 증발관 속에 공급된 냉매액이 저압에서 냉각 대상물인 공기, 물 또는 브라인으로부터 열을 뽑아내는 기기이다.

1) 증발기의 전열

증발기에서 냉매가 피냉각물로부터 빼앗는 열량(냉동능력)은 식 (3)으로 계산할 수 있다.

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta t_m \quad (5)$$

증발기는 냉매의 증발온도, 피냉각물의 출입구 온도와 유량이 같은 조건이라면 식 (3)에서 열통과율 값의 대소가 증발기 성능을 좌우하게 된다. 열통과율의 크기에 미치는 가장 중요한 요소는 냉각관에 접촉하는 피냉각물(공기나 물 등)의 속도이다. (일반적으로 피냉각물의 속도가 클수록 열통과율의 값은 높아진다.)

증발기의 전열에 영향을 미치는 인자로서 열통과율, 오염계수 등 외에도 냉각관의 표면 열전달률이 있다. 냉각관에 접촉하는 피냉각물 또는 냉매 상태에 따라 냉각관 표면에서의 열전달률은 현저하게 다르다. 즉, 기체 상태보다도 액체상태가 같은 온도라도 2~4배의 전열효과가 있다. 따라서 증발기는 건식보다는 냉각관내에서 증발하는 냉매의 표면 열전달을 좋게 하도록 한 만액식이 열

표 3 증발기의 종류

분 류	건 식		
호 롬 도	<p>냉각수출구, 토출가스, 흡입가스, 용축기, 냉매액 압축기, 냉각수입구, 팽창밸브, 건식냉각기</p>		
종 류	셀엔드튜브형 냉각기	셀엔드코일형 냉각기	이중관형 냉각기
구 조	<p>냉매중기출구, 수출구, 냉매액입구, 수입구</p>	<p>냉매가스출구, 수출구, 수입구, 냉매액입구, 배수</p>	이중관형 용축기와 동일
용 도	일반화학공업이나 공기조화용 수냉각기의 프레온, 암모니아 냉동장치	축열용 냉각기의 프레온 냉동장치	냉동·냉장고용 프레온, 암모니아 냉동장치
열통과율 (kcal/m ² ·h·℃)	400~500	50~120	50~80
특 징	장 점	<ul style="list-style-type: none"> 유속이 크므로 전열이 양호 유효수가 용이 수냉각기의 경우 동결해도 관의 파손이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 열전달률 양호 소용량 기종에 사용
	단 점	<ul style="list-style-type: none"> 냉매축의 압력손실이 크므로 원심압축기를 사용한 장치에서 사용불가 유속이 증대하므로 관의 침식 	<ul style="list-style-type: none"> 동결에 의한 파손 우려 청소 곤란

통과율이 좋다.

2) 증발기의 종류

냉동공조용 증발기는 냉매액의 공급형태에 의한 분류, 증발기의 형태에 의한 분류 등에 따라 표 3과 같이 분류할 수가 있다. 표 3에 있는 중요 증발기의 특징은 다음과 같다.

(1) 만액식 증발기

셀측에 있는 저온 저압의 액과 증기의 혼합상태인 냉매가 관내의 피냉각 매체와의 열교환에 의해 증발되는 방식이다. 이 방식은 관내에 냉매를 흘려 관외의 셀측 피냉각물과의 열교환 형태인 것도 있다. 이러한 형식은 냉매측의 열전달률이 크기 때문에 대용량의 열교환기에 적합하다. 그러나 증발온도의 저하에 의해 피냉각 매체가 동결하면 전열관이 파열될 위험성이 있으며, 셀측이 냉매인 경우 셀측에 냉매액을 수용하기 때문에 많은 냉매량이 필요한 단점도 있다.

(2) 액 순환식 증발기

이 형식은 저압수액기에 냉매액을 저장하고, 액펌프로써 냉매액을 증발기로 공급하는 방식이다. 증발기의 냉매측 열전달률은 현열 매체에 의한 간접식 냉각기의 열전달률보다 나쁘다. 그리고 액펌프로 냉매액을 증발기로 보내기 때문에 냉매량이 가장 많이 필요하다. 따라서, 이 형식의 증발기는 냉매가 누설되었을 경우의 대책이 필요하다.

(3) 건식 증발기

이 형식의 증발기는 냉동용, 열펌프용, 그리고 공조용 등 각종 냉동장치에 널리 사용되는 형식이다. 셀앤드튜브식 열교환기를 사용하는 건식 증발기는 피냉각매체와의 열교환에 의해 냉매액이 전열관내에서 기화되는 방식이다. 이 증발기는 피냉각매체가 셀측을 통과하기 때문에 유로 저항이 적다. 또한 피냉각매체가 동결하여도 관외이기 때문에 전열관이 파열될 위험성이 적으며, 냉매액이 전열관 내부에서 전부 증발하기 때문에 냉매량이 적어도 된다.

건식증발기에 사용되는 열교환기는 응축기

에서와 마찬가지로 플레이트식 증발기가 있다. 이 형식은 셀앤드튜브 건식증발기 보다 냉매보유량이 더욱 적어도 되며, 전열성능도 좋다. 옛날에는 프레온계 냉매용 증발기에만 적용되었으나 최근에는 냉매누설을 방지하기 위한 레이저용접식 플레이트나 부식성이 별로 없는 재질이 개발됨에 따라 암모니아용 플레이트식 증발기가 적용되고 있다. 대형장치의 액순환식이나 건식에 사용되는 증발기에는 천정냉각기와 관코일식 냉각기, 그리고 유닛 콜러가 있다.

그림 3과 같은 천정코일 형식은 냉장실을 고습도로 유지할 수 있기 때문에 냉장품의 건조를 방지하고자 할 때 유리하다. 강관제 천정코일식과, 알루미늄 합금제 천정코일식이 있다. 강관제의 냉각관은 그림 3에서와 같이 40A~50A의 강관을 사용하여 관 피치 200 mm 정도, 1~3단으로 설치한다. 냉각방식은 관내에 냉매, 관외는 공기의 자연대류를 이용한다. 최근에는 열전달 향상을 위해서 NH₃의 경우라도 강관은 별로 사용하지 않으며 알루미늄 합금제가 사용된다. 알루미늄 합금제품은 그림 4에서와 같이 관외에 역 Y자형 핀관을 사용한다. 이 경우의 냉각관 피치는 150~300 mm 정도이며 세상은 고압 가스 방식이나 자동제상기로 한다. 냉장고의 벽면에 32A 또는 40A의 강관을 그림과 같은 구조로 배열하여 통풍냉각하는 방식이다.

유닛 콜러는 그림 5와 같은 형식의 것으로, 증발관은 에로핀관을 사용한 것과 강관 강판핀을 사용한 것이 있다. 에로핀관은 관

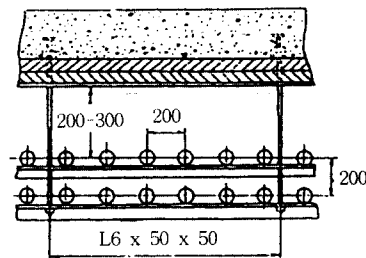


그림 3 강관제 천정형 증발기

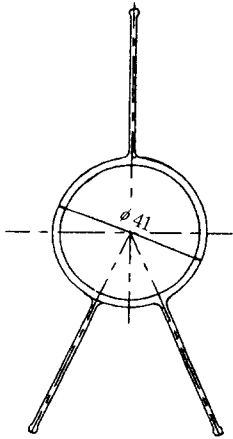
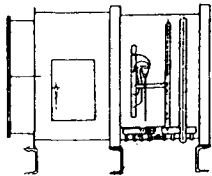
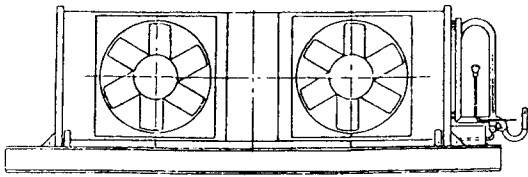


그림 4 알루미늄 합금재 천정냉각관(단면)



(a) 측면도



(b) 정면도

그림 5 유닛 쿨러

경 20A, 핀 높이 16~20 mm, 핀피치 9~12 mm 전후를 사용한다. 강관 강판핀은 강관 16~19 mm, 강판핀은 이연 접착을 한다. 핀 피치는 착상을 고려하여 6~12 mm가 일반적이다.⁽⁴⁾

3. 열교환기의 기술동향 및 전망

3.1 기술개발 동향

냉동공조용 열교환기의 전열 성능 향상을

위한 기술은 당연히 열교환기의 고효율화, 소형화와 직결되는 것으로 이를 위해 각국의 각 기업에서 적극적으로 개발한 결과 좋은 성과가 보고되어 있다. 최근의 개발결과는 그림 6과 같이 열교환기의 핀 및 스트리프형상의 최적화와 전열관경의 소형화 추세라고 할 수 있다. 즉 핀의 열전달률 증대를 스트리프에 의해 상류측 루버의 온도경계층이 하류측 루버에 영향을 미치지 않도록 하는 것을 나타낸 것이며, 이 형식은 스트리프 형상에서 전열관 후류의 사수역을 감소시켜 유효전열 면적의 증대효과를 나타낸다.

따라서 이 형식은 전열촉진뿐만 아니라 핀 면상의 응축수의 이탈성을 향상시키며, 저소음화를 위한 구조이기도 하다. 또한 관경에 대해서도 종래의 일반형인 9.5 mm에 비교하여 7 mm로 감소하고 있으며, 앞으로는 관경이 5 mm 정도까지 적어질 전망이다.⁽⁵⁾ 이와 같이 관경이 적어지면 통풍저항이 감소하며, 이것은 동일한 통풍조건에 대해서 열전달향상효과를 나타낸다.

핀·스트리프 형상의 최적화와 관경의 축소로 이룩한 최근의 열교환기 전열특성은 상당

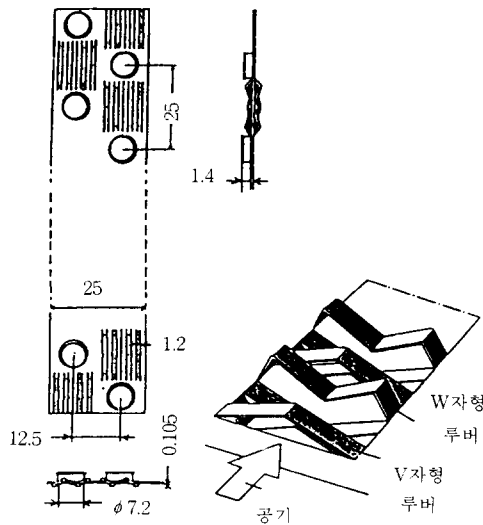


그림 6 핀 및 관경의 개선

히 향상되었다. 또한 최근의 공조기용 실내 기 열교환기의 경우 그림 7과 같이 각형 열교환기를 사용함으로써 콤팩트화를 보다 더 시도하고 있다.⁽⁶⁾ 핀의 전열 촉진 기술개발에 대해 전열관의 전열성능향상을 위한 최적 단면 형상(내면형상)에 관한 연구가 이루어지고 있다.

이와 같은 최신기술 개발에 대해서는 7mm관경의 사용과 전열성능을 최대로 하는 판피치 및 핀 스트리프 형상의 최적화에 의한 고성능화가 이루어지고 있다. 앞으로도 열교환기의 성능향상에 관한 연구는 계속될 것으로 예상되는데 지금의 상식으로는 핀, 관경을 파라미터로 하는 냉동공조용 열교환기의 성능향상기술은, 비록 기술의 한계까지 왔다고는 할 수 없지만 수치해석에 의한 이론적 근거를 기다려야 하나 더 이상의 큰 발전은 기대하기 어려운 실정이다.

혼합냉매, 특히 비공비 혼합냉매를 사용하는 열교환기의 경우는 기존의 열교환기 형태로는 전열성능이 감소하게 된다. 이를 개선하기 위해 매쉬 핀형 열교환기가 연구되고 있다.⁽⁷⁾ 이 매쉬 핀형 열교환기는 기존의 크로스 핀형 열교환기보다 전열성능이 뛰어나다는 보고는 있으나 냉매의 다관분류기술, 핀과 관과의 접합기술, 경제성 등의 문제점이 있다.

이외의 문제점으로 실내 열교환기의 경우

저소음 대책이 대두되고 있으며, 이 문제에 대해서는 인간의 쾌적성을 확보하기 위해서 해마다 강조되리라 생각된다. 이의 해결에는 여러가지 방법이 있겠으나 우선 해결해야 할 과제로는 열교환기 출구의 속도 분포를 일정하게 하는 기술인데 이를 위한 한 가지 방법으로 핀 및 스트리프형상의 개량을 생각할 수 있으며, 이 분야의 연구가 요망된다.

히트펌프용 열교환기의 경우는 착상에 대비한 열교환기의 개발이 필요하다. 열교환기에 착상이 일어나면 성능을 저하시키는 물론 효율을 저하시키며 쾌적성을 감소시키게 된다. 이에 대한 대책으로 제상시간의 단축, 핀 크기 및 피치의 조절 등 여러가지 방안들이 제안되고 있으며, 최근에는 핀의 표면처리 기술에 의한 무착상형 열교환기의 실현을 위한 연구도 시도되고 있는가 하면 유동층, MHD기술 등을 이용한 능동적인 방법으로 해결하고자 하는 새로운 연구도 있다.

냉동공조용 열교환기의 경우는 위에서 이야기한 것 외에 고려하여야 할 문제는 냉동기유에 관한 문제이다. 냉동기유는 냉동사이클을 형성시키기 위해서는 필요한 것이나 열교환기 내에서는 필요없는 것이다. 그러나 냉동기유는 실내외기를 막론하고 냉동기유가 존재하게 된다. CFC계냉매에 대해서는 그동안 장기간의 기술축적에 의해 냉동기유에 대한 대책이 확립되어 있으나 CFC계 대체냉매에 대한 냉동기유의 대책은 지금부터의 연구 과제라고 해도 과언이 아니다. 아직 각종 CFC계 냉매들에 대한 대체냉매가 완전히 개발되지 않았으며, 이들 냉매에 대한 냉동기유의 특성에 대해서는 알려지지 않은 점이 많기 때문이다. R-12의 대체냉매인 R-134a에 관해서는 냉동유의 영향에 대해 비교적 잘 알려져 있으나, R-502, R-22 등의 대체냉매에 관해서는 여러가지 기초연구가 이루어지고 있지만 아직 부족하며, 냉동공조용 열교환기의 최적설계를 위해서 향후 이 분야의 상세한 연구가 요망되는 분야이다.

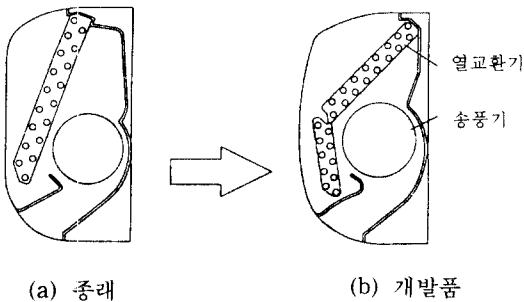


그림 7 열교환기의 형태 변화

3.2 현상과 전망

암모니아 냉매의 여러가지 뛰어난 냉매특성에도 불구하고 독성, 가연성 등의 결점에 의해 1970년대부터 프레온 냉매가 각광을 받기 시작했다. 그러나 최근 프레온계 냉매에 의한 오존층파괴 문제로 다시 자연냉매인 암모니아가 재평가받게 되었다. 이에 따라 냉동공장용 증발기에 대해서는 여기에 적합한 새로운 기술이 개발되고 있다. 즉 건식 직접 팽창식을 적용하여 냉매충전량을 삭감하고, 암모니아와 상용성이 있는 냉동기유의 개발, 전자식 팽창밸브의 개발에 의한 전자동운전 기술 등이 개발되고 있다.

알루미늄관 알루미늄핀 증발기는 최근 암모니아 냉매에 적용되고 있다. 이것은 암모니아 냉매에서도 프레온 냉매와 마찬가지로 소형, 분사식, 자동운전, 직팽전식, 고압 가스 제상 등의 기술은 알루미늄관 알루미늄핀 증발기를 개발하였기 때문이다. 이 증발기는 동관 알루미늄핀 증발기와 마찬가지로 구조이다. 증발기 측면에 액분배기를 설치하여 각 분지관으로 냉매를 분배하도록 한 것이다. 헤드의 배열은 냉매가 수평 혹은 기울기를 주어서 냉동기유가 냉각관 내에서 정체하지 않도록 하고 있다. 보통 알루미늄관은 관경 16 mm, 벤드피치 50~60 mm 정도이다.

또한, 최근 냉동 열펌프나 공조용 열교환기는, 기기의 급격한 수요증대는 열교환기를 포함한 각종 기기와 시스템의 기술이 대폭 향상되었기 때문이다. 지금까지 업계에서의 개발목표는 주로 거주 공간의 쾌적성 확보와 기기의 에너지효율향상이 바로 기술 고도화의 목표였다. 이를 위해 냉동공조기기를 구성하는 압축기, 열교환기, 송풍기 등의 효율 향상과 더불어 소음, 제어, 기기류 등 각종 새로운 소프트웨어적인 요소기술 확립에 주력하였다.

그러나 생활의 고도화에 따라 냉동공조기기의 현저한 수요증대는 전력공급능력의 한계성을 포함한 심각한 에너지 사정 등으로

냉동공조기기에 대한 더욱 고도기술에 의한 에너지 절약기기의 제조가 요망되고 있으며, 이 기술은 냉동공조용 열교환기의 기술 개발에 의할 수밖에 없는 실정이다.

사실 1970년대 정도의 냉동공조용 열교환기는 사이클 형성을 위한 냉각, 혹은 방열을 위한 것이었으나, 1980년대 접어들면서 오일쇼크의 영향을 받아 에너지 절약을 위한 열교환기의 고성능화가 이루어지기 시작한 결과 과거에 비해 대폭적인 소형화가 이루어졌으며, 1990년에 접어들면서는 쾌적성을 위한 여러가지 보조 기술들이 해마다 개발되고 있다. 그러나 최근에는 여러가지 냉동공조기 보급확대에 의한 심각한 전력 공급위기에 대비하기 위해 더욱 새로운 기술 개발이 요청되게 되었다. 또한 주거공간의 확보를 위해 기기의 보다 소형화, 무소음화가 요구되며, 냉동공조기기는 열교환기가 그 대부분(용적, 소음)을 차지하므로 이 분야의 기술 개발이 요구된다.

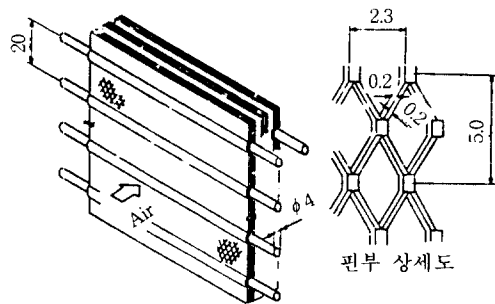
즉, 냉동공조용 열교환기에 대해 보다 에너지 절약화, 소형화를 위한 전열성능 향상이 이루어진 열교환기, 소음이 적은 열교환기, 비CFC계 냉매의 사용에 적합한 열교환기 등의 요구조건 등이 기술개발 과제라고 할 수 있다.

냉동공조용 열교환기 형상은 평판 혹은 파형인 핀과 평활 전열관으로 구성된 열교환기가 사용되어 왔는데, 이런 열교환기의 전열저항에 미치는 각 요소의 열저항 비율은 공기측이 75%, 냉매측이 20%, 접촉열저항이 5% 정도의 비율이다. 따라서, 열교환기의 고성능화를 위해서는 공기측 열전달률의 향상이 가장 중요함을 알 수 있다.

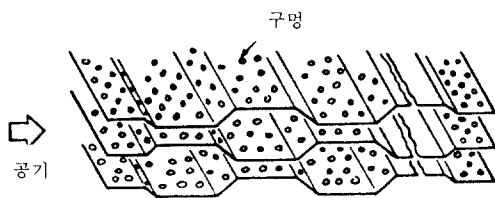
공기측의 열전달률을 향상시키기 위해서는 온도경계층이 얇을 수록 열전달률이 크게 되는 효과를 이용한 읍셋 핀이 개발되었고, 스트립 상류 공기의 온도, 속도경계층이 하류 스트립에 미치는 영향이 밝혀져 적절한 스트립 배치를 할 수 있게 되었다. 나아가

설계 및 가공기술 발전에 힘입어 더욱 세밀한 스트립 가공이 가능하게 되어 그림 8과 같은 여러가지 영향을 고려한 다양한 형상의 냉동공조용 열교환기가 개발되고 있다.

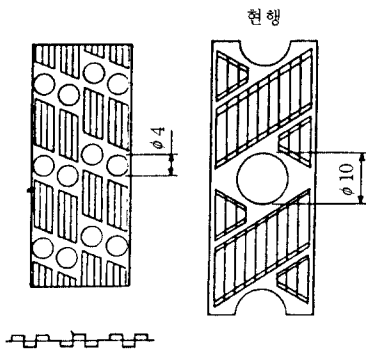
냉매측의 열전달률은 공기측에 비해 1/3 이하로 적기 때문에 열전달 향상을 위한 연구는 부족하였으나 최근 공기측이 대폭적으로 향상되었으므로 냉매측의 열전달 향상은 곧 열교환기의 고성능화와 직결되게 되었다.



(a) 관경의 영향



(b) 온도 경계층의 영향



(c) 핀과 관경의 영향

그림 8 열교환기의 열전달 향상 방안

냉매측의 열전달 향상 방법은 여러 가지로 생각할 수 있다. 종래부터 전열관 내면에 미세한 나선 홈을 만든 전열관이 사용되었고, 더욱 고성능화 하기 위해서 나선 각도와 내면 형상에 관한 기술이 개발된 결과 고성능 내면가공 전열관이 개발되었다.

냉동 공조용 열교환기에 대해서는 이상에서와 같이 주변 기계 기술의 발전에 힘입어 과거에 비해 비약적인 성능향상을 이룩하였으며, 앞으로도 이 분야의 기술 개발에 관한 사회적, 국가적 요구는 증대할 것이고, 또한 주변 관련기술을 흡수하여 그 요구에 호응할 수 있으리라 전망된다.

그러나 산업용 대형 냉동공장을 중심으로 한 열교환기, 즉 응축기와 증발기에 대해서는 사용자의 세밀한 요구도 없었으며, 또 일반 국민 개개인은 공조용 열교환기와는 달리 간접적 관계에 있었기도 하여, 열교환기의 성능향상, 자원절약, 공간절약 등에 관한 기술개발이 대단히 부족하였다. 그러나 향후 이 분야에 대해서도 사이클 개선, 냉매관리 등과 같은 기본적인 문제에서부터 개선이 이루어질 것으로 전망하며 열교환기 자체에 대해서는 공조용 실내의 열교환기의 여러 가지 기술들이 적용될 것으로 전망된다. 특히 최근 암모니아 냉매에 대해서도 건식, 자동화, 고성능화, 콤팩트화 하는 경향이 있으며, 이 경향은 공조기의 기술 수준을 목표로 발전하리라 전망된다.

4. 맺음말

이상으로 냉동공조용 열교환기의 종류, 특징, 기술개발 동향, 전망 등에 대해 요약한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 암모니아 냉매가 다시 각광을 받음에 따라 응축기의 형식도 크게 변하고 있다. 이러한 변화로 핀 튜브를 사용한 횡형, 금속용착형 플레이트 식, 플레이트 핀 식의 응축기들이 암모니아 용으로 적용되기 시작하고

있다.

(2) 암모니아 냉동장치는 현재에도 많이 적용되고 있으나 대부분 중앙 집중식 천정 증발기나 강관제 유닛 쿨러를 사용하고 있다. 그러나 최근 기술의 발전과 더불어 알루미늄 관 알루미늄 핀 증발기가 개발됨에 따라 암모니아 냉매도 프레온 냉매와 마찬가지로 건식, 분산식으로 적용되게 되었으며 이 분야의 기술개발이 요청된다.

(3) 열교환기의 연구 방향은 에너지 절약, 공간 절약에 기여하면서도 성능향상을 이룩할 수 있는 기술개발, 그리고 소음이 적은 기기 제조 기술이 요망된다. 또한, 착상에 대한 기술적 대책, 근본적 대책에 대한 대비가 요망되며, 기존 냉매에 대한 대체 냉매용 최적 열교환기에 대한 적극적 연구가 요망된다.

(4) 제한된 에너지 자원, 지구환경, 열악한 우리나라의 에너지 사정 등을 고려할 때 냉동공조용 열교환기의 성능 향상에 대한 국가와 일반 소비자들의 기대는 더욱 증가하리라 예상된다. 이들 요구를 만족시키기 위해

서는 냉동공조용 열교환기의 성능 향상, 열교환기의 제작에 필요한 자원의 절약, 생산성 향상, 설치장소와 관련한 효율적인 공간 활용, 열교환기 자체 소음의 최소화 등의 방면에 착실한 연구 개발이 있어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 냉동냉장업 시설 현황, 냉동업제조 수산업 협동조합, 1995년 판.
- (2) 냉동·공조·공기기기 통계자료, 한국 냉동공조 공업협회, 1995년 판.
- (3) 오후규, 1992, 냉동공학, 도서출판 한미.
- (4) 太田育秀, 1995, "冷凍," 70卷, 812號, pp. 13~26.
- (5) 鳥越 외 3名, 1992, "冷凍," 67卷, 782號, pp. 1~11.
- (6) 小井戸 외 4名, 1992, 第26回 空氣調和 冷凍連合講演會講演論文集, pp. 165~169.
- (7) 鳥越 외 3名, 第 29回 傳熱シンポジウム 講演論文集, 1992, pp. 539~543. 