

흡착식 냉동기 기술 개발 동향

흡착식 냉동기의 기술 개발 동향, 구조와 냉동사이클, 성능과 특징, 효율 향상 방안 및 적용사례에 대해서 알아보려고 한다.

권 오 경

한국생산기술연구원 (kwonok@kitech.re.kr)

윤 재 호 / 사업이사

한국생산기술연구원 (jhyun@kitech.re.kr)

머리말

생활수준이 향상되어 쾌적한 주거환경 및 근무환경을 추구하는 경향이 뚜렷해짐에 따라 냉방수요가 급격히 증대되고 있으며, 에너지 소비도 대폭 증가하고 있다. 특히 대부분의 에너지원을 수입에 의존하고 있는 우리나라에서는 에너지의 효율적 활용에 대한 연구가 더욱 시급하다고 할 수 있다. 산업현장에서 발생하는 산업폐열에 대한 조사에 따르면 산업폐열의 형태는 중저온수, 포화수증기 등으로 다양하고 국내 폐열원의 종류 및 온도범위를 살펴보면 온도별로는 70~90℃의 폐열이 가장 많지만 대부분 폐기하고 있는 실정이다.

이들 열에너지를 유효하게 이용하는 것을 목적으로 최근 흡착식 냉동기가 주목을 받고 있다. 흡착식 냉동시스템은 각 공정에서 버려지는 폐열을 구동원으로 사용할 수가 있어 에너지를 유효하게 재활용할 수가 있으며(energy cascading), 냉매로서 물을 사용함으로써 오존층 파괴와 관계없는 친환경적인 시스템이다. 상용화되고 있는 흡착식 냉동기에는 흡착제로 실리카겔 혹은 제오라이트가, 냉매로는 물이 일반적으로 사용된다.

흡착식 냉동기는 흡수식 냉동기와 거의 비슷한 사이클로 운전되며, 다만 흡수기 대신 흡착탑에서 냉매를 흡착한다는 점이 다르다. 흡수식의 경우 흡수용액이 냉매를 흡수하여 시스템 내를 같이 순환하나

흡착식의 경우 흡착탑에 고정되어 있는 고체상태의 흡착제에 냉매가 흡·탈착되어 시스템내에서는 냉매만 순환하게 된다. 특히 흡착제로 실리카겔/물계를 사용하는 흡착식 냉동기는 기존의 흡수식 냉동기보다도 저온의 구동열원으로 운전이 가능하므로 열의 다단계 이용의 마지막 단계에 사용가능하다는 큰 장점이 있다.

흡착식 냉동기는 Faraday가 1848년에 그 원리를 최초로 제안한 이후 1920년대에 실리카겔을 사용한 흡착식 냉동기가 개발되어 기차와 빌딩에 적용되었으나, 이후 전기압축기 냉동기의 개발로 연구개발 및 생산이 중단되었다.

국내의 경우 일부 연구소에서 기초 연구를 수행한 정도이며, 국외의 경우 약 10여년 전부터 연구개발이 본격적으로 추진되어 초기의 냉방 COP 0.3 수준에서 현재는 0.7 정도의 수준까지 효율이 향상되었다. 특히 일본의 Nishiyodo사와 Mayekawa사는 세계 최고수준의 기술력을 가지고 있으며 상품화에 성공한 유일한 회사이다. 그러나 연구개발 기간이 짧아 아직은 상품화 제품의 내구성, 성능의 신뢰성 등이 아직 입증되지 않아 생산 및 보급은 그다지 활성화되지 않은 상태이다. 하지만 다른 냉방시스템과 비교했을 때 나뉠대로의 장점(저온폐열 이용가능, 진동·소음이 적음, 용액결정 위험이 없음, 추가 불필요 등)을 가지고 있으므로 기술개발 및 보급의 확대가 가능하리라 생각된다.



본 고에서는 흡착식 냉동기의 기술 개발 동향, 구조와 냉동사이클, 성능과 특징, 효율 향상 방안 및 적용사례에 대해서 알아보려고 한다.

국내외 기술개발 동향

국내 기술 동향

국내의 경우 한국에너지기술연구원에서 1990.4~1992.3(2년간) 작동매체로 실리카겔/물계를 사용하여 85℃ 열원으로 4~7℃의 냉수를 얻기 위하여 1.2 RT를 제작하여 운전이 가능함을 확인하는 기초실험을 수행하였으며, 사이클 시뮬레이션을 통하여 운전결과와 비교하였다. 또한 1993.1~1996.12(4년간) 실리카겔/물계 저온구동(60~90℃) 흡착식 냉동기를 개발하기 위하여, 0.2 RT급 흡착식 시스템 설계, 제작, 평가, 흡착식 냉동기 사이클 시뮬레이션, 흡착제(팽창흡연과 실리카겔의 복합체) 제조, Pilot Plant(2 RT급) 흡착식 시스템 설계, 제작, 평가 및 흡착식 냉동기 경제성 평가를 연구하였으며, Pilot Plant의 성능은 온수온도 75℃, 냉각수 온도 26℃에서 냉수를 12℃에서 8.9℃로 생산할 때 냉동능력 1.67 RT, COP 0.38 정도가 얻어졌으며, 1/2 사이클 시간은 10분이었고 SCP(specific coolig power)는 55 W/kg 정도 얻었다.

한편 제오라이트/물계를 흡착제 및 냉매로 사용하는 흡착식 히트펌프에 대한 연구를 1993.12~1995.11(2년간) 수행하였으며, 1 RT급 용량의 흡착식 히트펌프를 제작하여 성능을 측정하였으며, 냉방 COP는 0.27~0.32, 주기는 2~3시간 정도로 길게 나타났다.

포항공대에서는 흡착제의 열전도도를 향상시켜 흡착기 내부에서의 열전달을 향상시키기 위하여 실리카겔 분말과 흑연 분말을 혼합하여 혼합비와 열처리 조건에 따른 흡착제의 특성에 대한 연구를 통해 흡착제의 열전도도를 10~20 W/m·K까지 증가시킬 수 있음을 실험을 통하여 보여주었고, 이는 통상 입상 형태의 실리카겔의 열전도도는 0.17 W/m·K인데 반해 매우 높은 열전도도를 나타낸 것이다.

한국생산기술연구원에서는 2004.5~2006.4(2년간) 실리카겔 흡착제의 유효열전도율 측정, 핀-튜브 열교환기 흡착탑 내부의 열유동장 해석, 흡착식 냉동기 사이클 시뮬레이션, Batch 시스템을 통한 흡착률 및 열물질 전달계수를 실험적으로 측정하였으며, 최근에는 흡착식 냉동기의 Heat Recovery Cycle, Mass Recovery Cycle 사이클 실험을 수행하여 냉각수 온도 25℃, 온수 온도 80℃, 냉수 온도 14℃, 사이클 시간 420초에서 냉동능력은 1.14 kW, COP는 0.55를 나타내었다.

<표 1> 국외 흡착식 냉동기 상용화 연구

냉매	흡착제	국가	업체	목적	비고
물	Zeolite	미국	- Zeopower	상업용 20 kW	가스직화 냉난방, COPc=1.0, COPh=1.8
		프랑스	- CNRS	시제품	태양열 열펌프
			- BLM	상업용	직화식냉난방, COPh=1.45
		- Citergaz	Demo.용	냉동시스템	
	독일	- ZeoTech GmbH	상업용	가스직화 냉방, 기차냉방	
	- Univ. Munchen	Demo.용 2 kW	열펌프응용, COPh=1.4		
실리카겔	일본	- Nishiyodo A.C	상업용, 15~350 kW	폐열회수, COPc=0.65	
		- Mayekawa Co.	상업용 70 kW	폐열회수, COPc=0.65	
	미국	- IGT	Demo.용	태양열 냉장고	
메탄올	활성탄	프랑스	- BLM	시제품	태양열, 냉동(-10℃)
			- CNRS		폐열회수 냉동, COPc=0.5
암모니아	활성탄	미국	- W.A.C	Demo.용	가스직화 냉방
			- GRI	상업용 10 kW	COPc>0.7

국의 기술 동향

흡착식 냉동기는 1848년 미국 Faraday가 그 원리를 최초로 제안한 이후 1920년대에 가스연료를 가열하여 흡착제로 실리카겔을 사용한 흡착식 냉동기가 개발되어 기차와 빌딩에 적용되었으나 이후 전기 압축식 냉방기의 개발로 연구개발 및 생산이 중단되었다. 이후 일본, 프랑스, 미국 등에서 활발한 연구개발을 추진하고 있다. 표 1은 국외 흡착식 냉동기 상용화 연구를 나타낸 것이며, 표 2는 일본 Nishiyodo사에서 판매되고 있는 흡착식 냉동기의 표준사양을 나타낸 것이다.

일본은 세계최초로 유일하게 흡착식 냉동기를 상품화하였으며, 세계 최고의 기술을 보유하고 있다. Nishiyodo사에서는 1988년 세계최초 실리카겔/물계 20~1,050 USRT의 단단형 흡착식 냉동기를 상품화하여 판매하고 있으며, 알려지고 있는 단단형 흡착식 냉동기의 COP는 0.65 정도이다. Mayekawa(Mycom) MFG Co.,는 1993년 50~300 USRT 저온배열이용 흡착식 냉동기를 개발하여 판매 중이며 최근에는 단단 흡착식 냉동기, 멀티헤드형 흡착식 냉동기, 하이브리드 흡착식 냉동기 등 가장 활발한 연구개발을 추

진하고 있다.

프랑스는 BLM Brissonnean & Lotz Marine Co.와 CNRS의 Meunier 등은 1976년 이래 활성탄/메탄올계를 이용하여 태양열 냉장고 상품화를 연구 수행중이며, 최근에는 200℃ 이상의 고온 열원을 사용하여 난방 및 냉방을 겸용하는 시스템으로 제올라이트/물 사이클(COP 0.5)과 활성탄/메탄올 사이클을 결합한 cascade 시스템(COP 1.06)을 연구 중이다.

미국에서는 Zeopower사와 IGT사에서 제올라이트/물계 태양열 이용 냉장고, 가스열원 20 kW 냉동기 상품화 연구와 다양한 흡착제의 개발을 위해서 열전도율을 높이기 위한 연구를 수행하고 있으며, 그밖에 태양열을 이용한 얼음제조, 심야전력 저장, 냉장차의 냉동기 등에 응용되는 흡착식 냉동기에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

흡착식 냉동기의 구조와 냉동사이클

흡착식 냉동기의 구조

흡착식 냉동기의 구조는 그림 1과 같다. 흡착식 냉동기는 하부에서부터 증발기, 흡착탑(2개), 증발

<표 2> 일본 Nishiyodo사 흡착식 냉동기 사양

항목		NADAC 050 Standard Type		NADAC 080 Standard Type		NADAC 100 Standard Type		
냉동능력	USRT	71	50	113	80	142	100	
COP	-	0.68	0.60	0.68	0.60	0.68	0.60	
냉수	출입구온도	℃	14→9	6→3	14→9	6→3	14→9	6→3
	순환량	m ³ /min	0.72	0.84	1.14	1.34	1.44	1.68
	압력손실	kPa	59	69	59	69	59	69
냉각수	출입구온도	℃	31→35.4	31→34.4	31→35.4	31→34.4	31→35.4	31→34.4
	순환량	m ³ /min	2.00		3.20		4.00	
	압력손실	kPa	93		98		98	
온수	출입구온도	℃	88→83.2	88→84.2	88→83.2	88→84.2	88→83.2	88→84.2
	순환량	m ³ /min	1.10		1.75		2.20	
	압력손실	kPa	23		29		29	
제어반	전압	V	3상 200V					
	주파수	Hz	50/60					
기계중량	ton	9.2		12.1		15.0		
길이	W×H×L mm	2010×3155×3300		2255×3150×3880		2255×3150×4580		

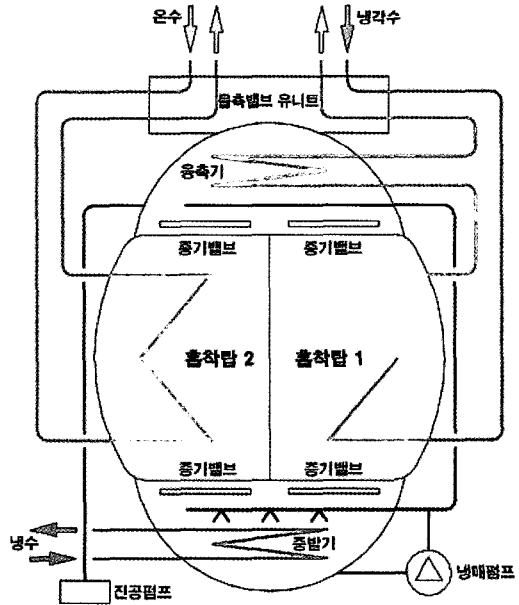


기, 응축기, 물측 밸브 유닛 순으로 되어 있고, 흡착탑 및 응축기에는 냉매증기밸브가 내장되어 있다. 상용화되어 있는 각 열교환기는 전열관의 열팽창, 수축을 고려하여 흡착 및 탈착이 용이하도록 Shell & Tube 형태로 구성되어 있다. 또한 계 내의 진공도를 유지하기 위해 진공펌프가 구비되어 있고 운전은 자동으로 행해진다.

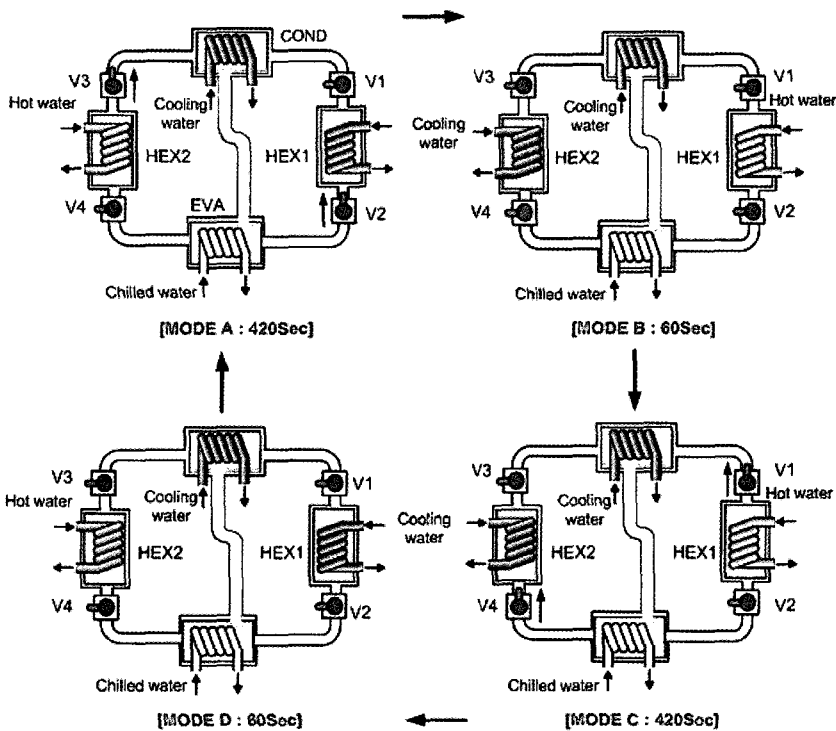
흡착식 냉동사이클

흡착식 냉동기는 진공상태에서 운전이 되며 2개의 열교환기를 1조로 하고 한쪽이 흡착과정일 때 다른 한쪽은 탈착과정의 2개의 과정을 주기적으로 변화시키는 것이 가능하므로 연속적으로 냉수를 얻는 것이 가능하다. 여기서는 실리카겔/물계 흡착식 냉동 사이클에 대해서 설명하고자 한다.

1단형(2Bed) 흡착식 냉동기는 그림 2에 나타난 것과 같이 증발기, 열교환기1·2(흡·탈착탑), 응축기 및 4개의 증기밸브로 구성되어 있다. 흡착제로서 실



[그림 1] 흡착식 냉동기의 구조



[그림 2] 1단형(2Bed) 흡착식 냉동사이클

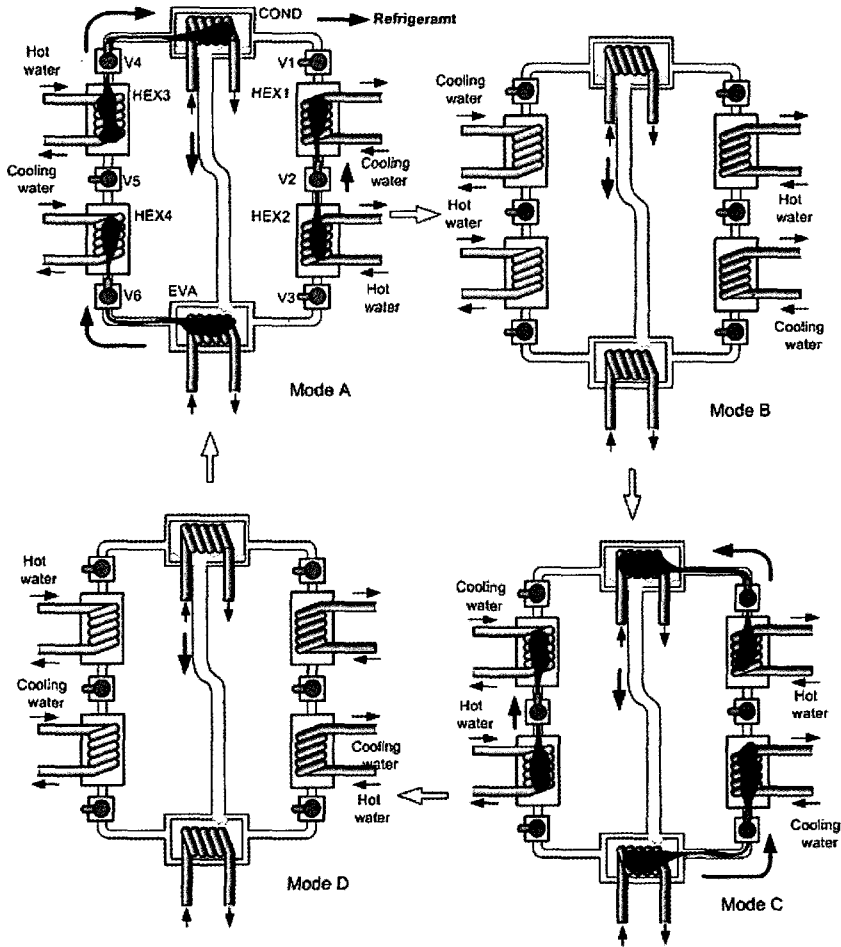
리카겔을 충전한 열교환기를 흡·탈착탑이라 하고 냉매로는 물을 사용한다. 4개의 밸브의 개폐 및 2개의 열교환기에 흐르는 온수, 냉각수의 선택은 표 3의 운전모드에 따라 시간 제어를 한다.

한 사이클을 크게 4가지로 나누어 각각의 과정을 A, B, C, D라 하면, 과정 A는 밸브 2, 3을 열고, 열교환기 1에 냉각수를 흘려 충전되어 있는 실리카겔의 온도를 내려 흡착과정을 진행한다. 또한 열교환기 2에는 구동열원인 온수를 흘려 충전되어 있는 실리카겔을 가열하여 탈착과정을 진행한다. 사이클 B는 열교환기 1이 흡착과정에서 탈착과정으로, 열교환기 2가 탈착과정에서 흡착과정으로 이동하기 위한 준비

<표 3> 1단형 흡착식 냉동기의 운전모드

Cycle	A	B	C	D	
Time(Sec)	420	30	420	30	
Valve	1	×	×	○	×
	2	○	×	×	×
	3	○	×	×	×
	4	×	×	○	×
Heat exchanger	1	Cw	Hw	Hw	Cw
	2	Hw	Cw	Cw	Hw

○ : Open, × : Closed
Cw : Cooling water, Hw : Hot water



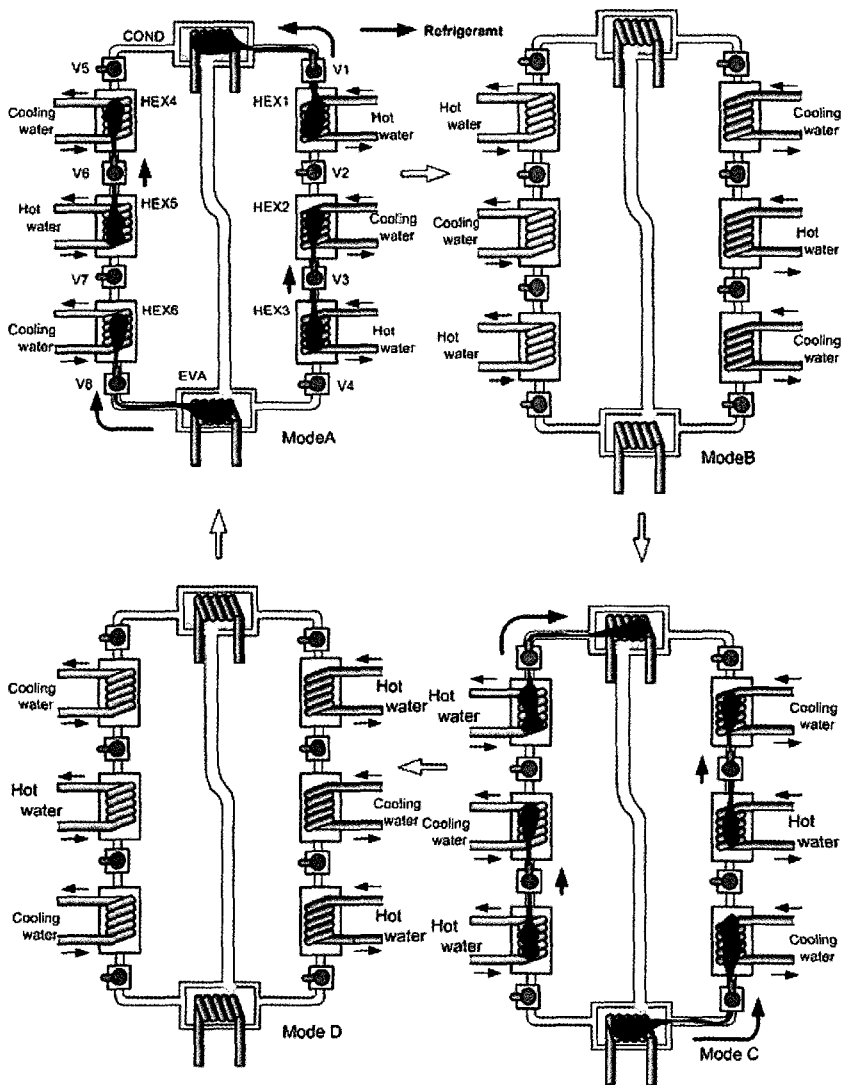
[그림 3] 2단형(4Bed) 흡착식 냉동사이클



과정이다. 모든 밸브를 닫아 흡·탈착에 의한 열 및 물질의 이동을 정지시킨 다음 열교환기 1에는 온수를 흘려 내부를 가열하고 열교환기 2에는 냉각수를 흘려 내부온도를 낮춘다. 따라서 과정 C로 이동하기 전에 실리카겔의 온도를 약간 조절할 수 있게 되어 다음 과정으로의 시작이 부드럽게 된다. 과정 A, B는 각각 과정 C, D의 역과정이다.

과정 C에서는 밸브 1, 4를 열고 열교환기 1에 온수

를 흘려 탈착과정을 진행한다. 이 과정에서 탈착된 증기가 응축기에서 응축하여 냉각수에 응축열을 주게 된다. 또한 열교환기 2에는 냉각수를 흘려 흡착과정을 진행한다. 이 과정에서 증발기내의 물이 기화하여 냉수를 얻는다. 그리고 흡착이 진행됨에 따라 냉각수가 열량을 얻는다. 과정 D에서는 열교환기 1이 탈착과정에서 흡착과정으로, 열교환기 2가 흡착과정에서 탈착과정으로 이행하는 준비과정이며, 과

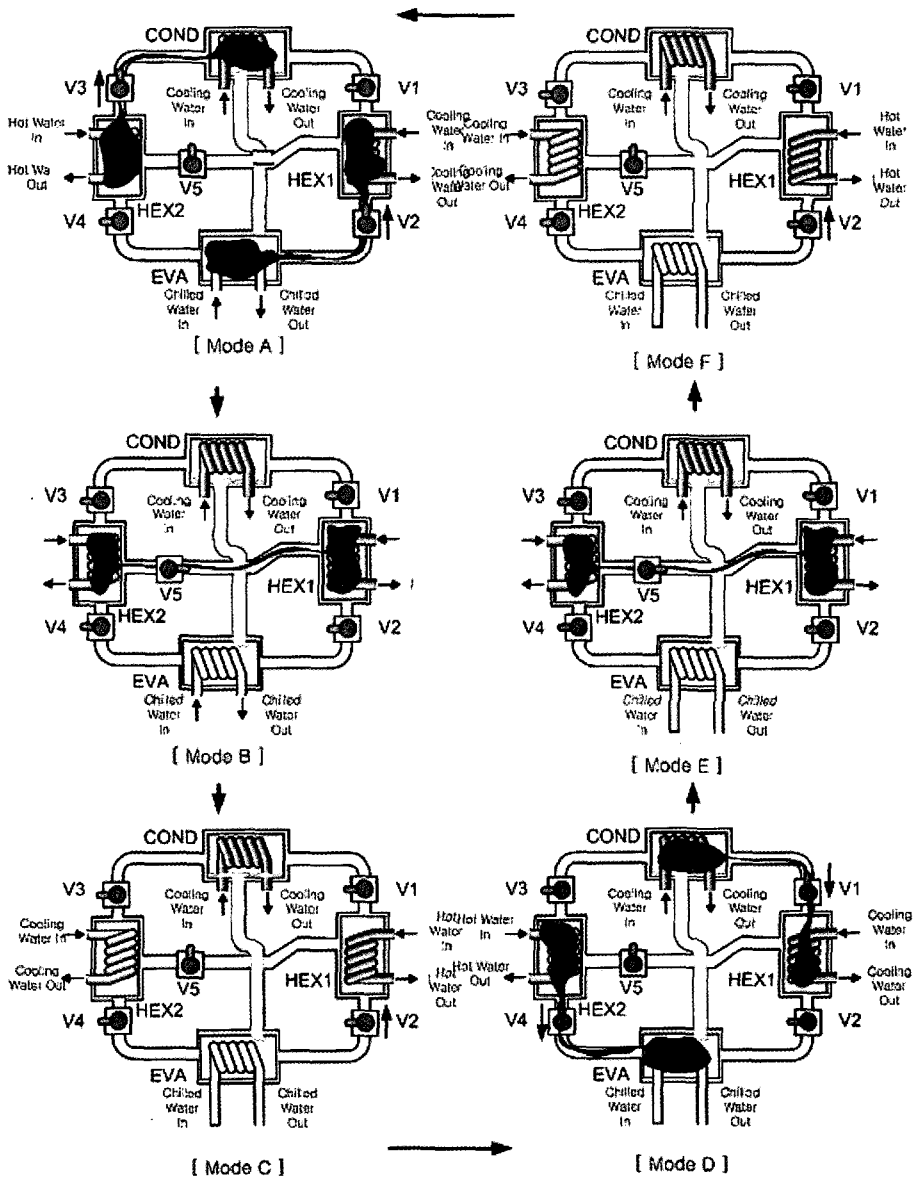


[그림 4] 3단형(6Bed) 흡착식 냉동사이클

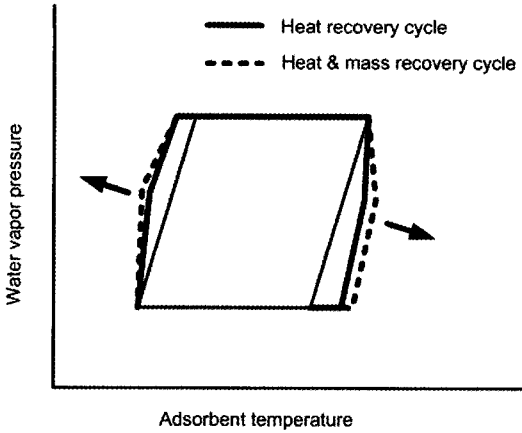
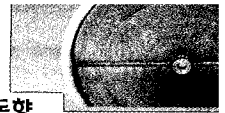
정 D의 종료후는 다시 과정 A가 이루어진다.

이러한 흡착식 냉동기의 기본사이클 외에도 최근에는 일본의 Mycom사에는 흡착탑을 2단(4Bed)으로 하면 구동 열원온도를 50℃로 낮출 수 있고, 3단(6Bed)으로 하면 40℃의 폐열을 사용하여 냉수를 제조할 수 있다는 장점으로 인해 그림 3~4와 같

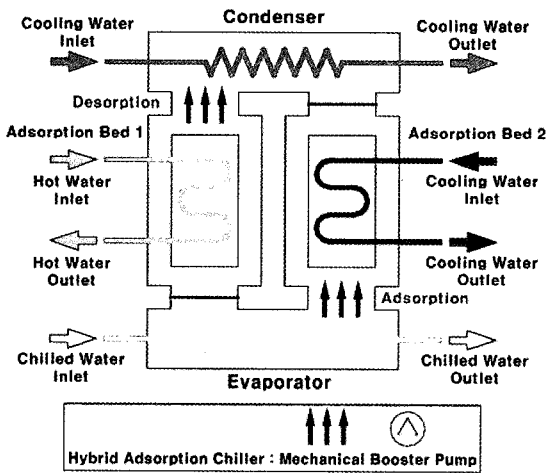
은 2단, 3단형 시스템을 구성하여 상용화에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 이러한 시스템은 시스템이 복잡해지고, 장비의 체적은 커지지만 가능하면 구동열원의 온도를 저온화시켜 풍부하게 버려지고 있는 저온폐열을 회수하여 사용하기 위한 것으로 받아들여진다.



[그림 5] 1단형(2Bed) Heat & Mass recovery 사이클

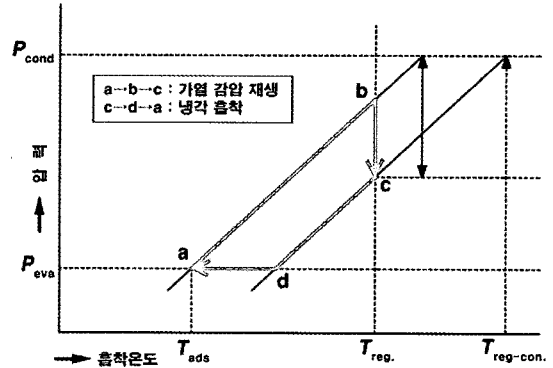


[그림 6] 1단형(2Bed) Heat & Mass recovery 듀링선도



[그림 7] 하이브리드 흡착식 냉동사이클

그림 5는 1단형(2Bed) 흡착식 냉동사이클(그림 2)에 2개의 과정이 추가된 Heat & Mass recovery 사이클로서 이 사이클은 흡착탑과 탈착탑내의 압력차를 이용하여 냉동능력의 향상을 꾀한 것으로 흡착탑과 탈착탑을 접속하기 위한 추가 배관과 밸브가 필요하며 사이클 시간이 길어진다는 특징이 있다. 이러한 Heat & Mass recovery 사이클은 흡착탑과 탈착탑 사이의 밸브제어를 통해 냉매증기의 잠열을 열교환시키면서 흡·탈착량의 증가가 이루어지게 되므로 그림 6의 듀링선도에서와 같이 1단형(2Bed) 흡착



[그림 8] 하이브리드 냉동사이클 듀링선도

식 냉동사이클에 비해 흡·탈착시에 농도차가 증가하게 되어 냉동능력이 증가한다는 특징이 있다.

그림 7은 일본 Mycom사에서 연구개발이 진행되고 있는 부스터펌프(Mechanical booster pump)를 감압재생에 적용한 하이브리드 흡착식 냉동기를 나타낸 것이다. 이 사이클은 흡·탈착탑과 응축기 사이에 부스터펌프나 압축기를 설치하는 것이 특징이며, 2단형(4Bed)이나 3단형(6Bed) 흡착식 사이클에서 구동열원을 40~60℃로 가열하는 경우 탈착탑에서 발생한 냉매증기를 응축시키기 위하여 냉각수가 필요하게 되나, 이 증기를 고압으로 압축하면 보통의 환경온도로도 응축이 가능하다는 장점이 있다. COP는 10(냉동능력/부스터펌프 동력)이 된다고 알려져 있다. 그림 8은 하이브리드 흡착식 냉동기의 듀링선도를 나타낸 것이다.

흡착식 냉동기의 성능과 특징

표 4에서와 같이 흡착식 냉동기의 장단점을 비교해보면 장점으로는 구동부분이 적기 때문에 진동·소음이 적고, 물, 메탄올, 암모니아 등을 냉매로 사용하기 때문에 프레온계 냉매에 의한 오존층파괴문제가 없으며, 흡수식에서와 같은 흡수용액 결정화의 위험이 없으므로 각 요소의 온도, 압력 등의 운전조건 결정에 유연성이 있다. 또한 흡수식에 비해 불응축가스(수소 등)의 발생이 적기 때문에 진공유지를 위한 추기조작이 필요없다.

한편 단점을 살펴보면, 흡착탑은 주기적으로 흡·

탈착 전환이 이루어지므로 열팽창·수축이 일어나 타요소기와 흡착탑과의 연결부위 등에서 리크가 발생할 위험이 있으며, 시스템 콤팩트화 및 고효율화를 위해서는 현재보다 흡착성능이 뛰어난 고효율 흡착제 개발과 흡착탑 및 흡착제간의 열 및 물질전달 향상을 위한 연구개발이 필요하다.

흡착식 냉동기는 사용하는 흡착제와 냉매의 종류에 따라 몇 가지로 분류할 수 있는데 표 5에 각각의 흡착식 냉동기를 비교하였다. 제올라이트-물계 시스템은 냉매로 물을 사용하기 때문에 독성, 가연성이 없으며, 탈착온도가 250℃ 정도이므로 천연가스 등을 연료로 하는 직화식으로 운전되며 가정 및 건물 냉난방에 적합한 시스템이다.

활성탄-메탄올계의 경우 메탄올을 냉매로 사용하므로 리크가 발생할 경우 독성, 가연성의 위험이 있으나, 저온생산이 가능하여 냉방뿐만 아니라 냉동 시스템으로도 활용이 가능하다. 실리카겔-물계 시스템의 특징은 80℃ 정도의 열원만 있으면 탈착이 가능하므로 저온폐열을 회수하여 사용할 수 있어 운전

비 절감에 효과적이다.

그림 9~10은 흡착식 냉동기의 성능특성의 한 예를 나타낸 것이다. 그림에서 O는 흡착식 냉동기의 표준사양점을 나타낸 것이다. 그림 9는 온수온도와 냉동능력의 관계를 각 냉각수 입구별로 나타낸 그림이며, 그림 10은 온수온도와 COP의 관계를 각 냉각수 입구별로 나타낸 그림이다. 그림 9에서 온수온도가 높고 냉각수 온도가 낮을수록 냉동능력이 상승함을 알 수 있다. 이러한 경향은 중온수 구동 흡수식 냉동기에서도 동일한 경향이 나타나지만 흡착식 냉동기에서는 온수온도가 65℃ 이하에서도 경제적인 냉방운전이 가능하며 온수온도 변동에 의한 냉동 출력 비율이 작다는 특징이 있음을 알 수 있다.

또한 그림 10에서 표준사양점에서 COP는 0.68로 흡수식 냉동기와 동등의 효율로 운전가능하며 온수온도가 75℃로 낮아져도 0.64의 COP를 유지하여 COP의 변동이 작음을 알 수 있다. 이것은 온수온도 변동이 심한 폐열이용에 대단히 유리한 특징이라고 생각된다.

<표 4> 흡착식 냉동기 장단점 비교

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> - 구동부분이 적음 - 진동·소음이 적음 - 독성·부식성·가연성이 없음(물을 냉매로 사용할 경우) - 흡수식과 같은 응액결정화 위험이 없음 - 불응축가스(수소등) 발생이 적음(추기조작 불필요, 진공유지 유리) 	<ul style="list-style-type: none"> - 주기적 흡·탈착 전환에 의한 흡착탑 열팽창·수축으로 Leak 위험 - 흡착탑 및 흡착제 간의 열 및 물질전달 향상 필요 - 내구성있고 열화가 적으며 흡착성능이 뛰어난 흡착제 개발 필요

<표 5> 흡착제의 종류 및 특징

특성 \ 흡착제	실리카겔	제올라이트	활성탄
냉 매	물	물	메탄올
냉매특성	무독성	무독성	독성, 가연성
세공크기	20~50 Å	4~15 Å	10~30 Å
흡착량	0.06~0.4 kg/kg	0.2~0.25kg/kg	0.25kg/kg
탈착온도	80℃	250℃	120℃
냉수온도	0℃ 이상	0℃ 이상	-10℃ 이상
활용분야	냉방	냉난방	냉방, 냉동
특 징	저온폐열회수에 적합	천연가스 직화식	냉동시스템에 적합

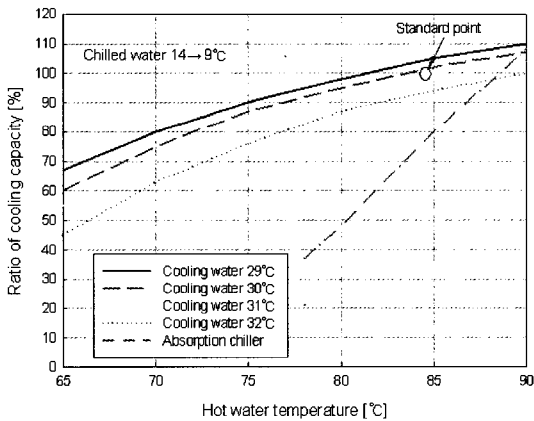


표 6은 그림 9~10의 성능특성 데이터를 토대로 흡착식 냉동기와 증온수 흡수식 냉동기의 특징을 비교하여 나타낸 것이다.

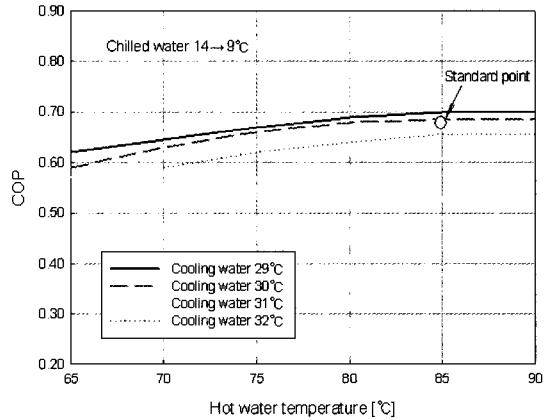
흡착탑 효율향상 방안

흡착식 냉동기 개발에 있어서 가장 중요한 현안 문

제는 고효율 흡착탑의 개발이다. 근래 다양한 사이클 개발로 효율은 많이 향상 되었으나 보다 콤팩트하고 신뢰성을 높이기 위해서는 각 요소기기, 특히 흡착탑의 고효율화가 필요하다. 흡착탑의 효율향상 방안으로는 1) 흡착탑의 열교환기 형상개선(그림 11, 12), 2) 흡착탑의 표면처리를 통한 열전달 향상(그림 13), 3) 흡착제에 특정한 결합재(다공성 금



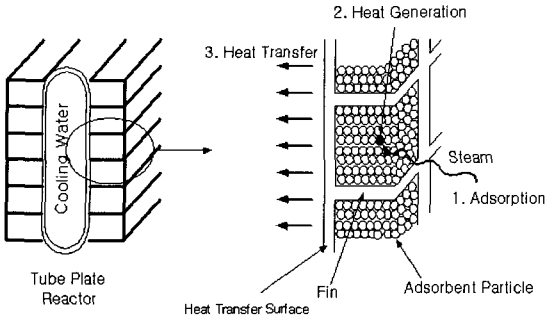
[그림 9] 온수온도와 냉동능력의 관계



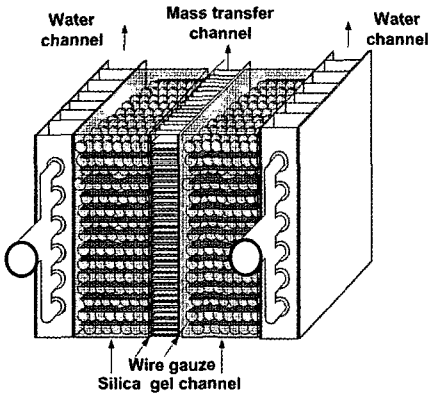
[그림 10] 온수온도와 COP의 관계

<표 6> 흡착식 냉동기와 증온수 흡수식 냉동기 특징 비교

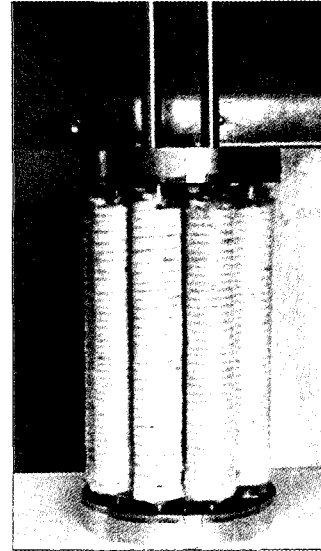
	흡착식 냉동기	증온수 흡수식 냉동기
COP	0.6~0.68(냉수온도 7~9°C 취출시) 0.6(냉수온도 3°C 취출시)	0.6~0.75(냉수온도 7~9°C 취출시)
가격	흡수식과 거의 동등	
취출온도	냉수온도 3°C 이상(Min 3°C)	냉수온도 7°C 이상(Min 7°C)
정격온수온도	85°C(3단의 경우 40°C 이상에서 구동가능)	88°C
폐열온도 (50%능력 이상)	80°C 이상(정격능력의 90% 이상 출력가능) 70°C 이상(정격능력의 70% 이상 출력가능) 50°C 이상에서는 구동가능	80°C 이상(정격능력의 50% 이상 출력가능) 70°C에서는 사이클 출력이 0
온수유량 변화	표준사양 ±50%	표준사양 ±30%
폐열입구-출구 온도차	5~20°C(온수조를 설치하면 최대 20°C까지 가능)	5~10°C
냉각수온도	제한없음. 삼방밸브 불필요	22°C(삼방밸브 필요)
운전개시, 종료	7분만에 냉동능력발생 즉시 정지가능	일반적인 기동시간 20분 운전정지 15분
유지관리	흡착제는 고체이므로 결정화가 없고 유지관리가 거의 필요없음	정기적인 흡수액관리가 필요 장치내 결정화, 부식문제 심각



[그림 11] 흡착탑의 구조



[그림 12] 흡착탑 효율향상을 위한 구조 예



[그림 13] 제올라이트로 코팅된 흰-튜브형 열교환기

속, 금속 foam, expanded graphite 등)를 이용한 복합체의 구성을 통하여 열전도를 향상하는 기술로 대별할 수 있다. 그림 11은 외국에서 개발중인 흡착탑의 한 형태이다. 중심으로 냉각수가 흐르고 냉각수튜브 주위에 전열면적을 넓히기 위한 냉각핀이 부착되어 있으며, 각각의 핀 사이에 흡착제가 충전되어 있는 일반적인 흡착탑의 형태이다. 오른쪽 그림에서 보는 바와 같이 증발된 냉매가 흡착제에 흡착되며, 이때 발생하는 흡착열은 전열면을 통해 냉각수로 전달된다.

흡착성능을 향상시키기 위해서는 흡착제에서 냉매의 물질전달이 좋아야 하고, 흡착제 내부, 흡착제 간 및 흡착제와 전열 핀 간의 열전달이 뛰어나야 한다. 흡착제의 열전달 성능을 향상시키기 위하여 프랑스 CNRS에서는 기존 흡착제에 열전달 촉진 물질(graphite등)을 적당한 비율로 혼합하여 제조한 흡착

제를 테스트한 결과 기존에 비해 열전달 성능이 약 100배 가량 향상되었다고 보고하고 있다. 그러나 그와 동시에 물질전달 성능은 떨어지므로 이에 대한 보완이 필요하다. 이 혼합 흡착제로 흡착탑을 구성할 경우 부피는 1/3, 무게는 1/5로 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

국내의 경우에도 흡착식 냉동기의 실용화를 위해서는 흡착제 자체에 대한 연구개발은 물론이고, 흡착탑의 구성, 흡착제 충전 방법, 흡착제와 전열면과의 접촉 등 흡착탑 고효율화 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

흡착식 냉동기의 적용사례

여기서는 주로 일본에서의 흡착식 냉동기의 적용 사례를 살펴보고자 한다. 이는 흡착식 냉동기를 도입 검토할 때 참고 자료가 되리라 생각한다.

엔진 폐열의 적용사례

일반적인 코제네레이션 시스템에서 나오는 온수는 가스엔진에서 85~88℃, 디젤엔진에서 75~80℃이며 이 온도는 전력부하변동에 의해서 변화한다. 그림 14는 이 온수를 이용해서 공장의 프로세



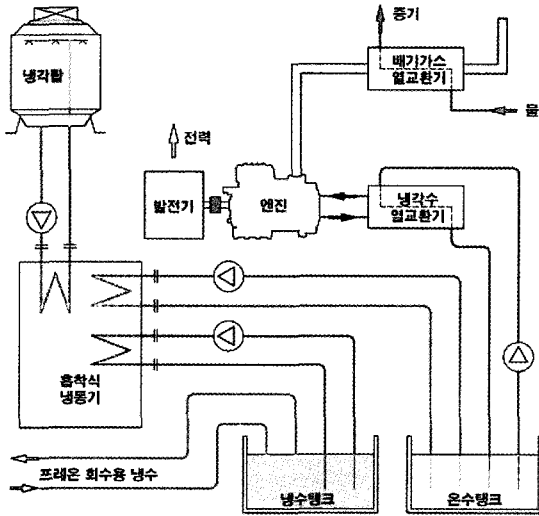
스용 냉수(제품의 냉각, 프레온의 회수)에 24시간 풀로 공급하는 경우이다.

공장폐열의 적용사례

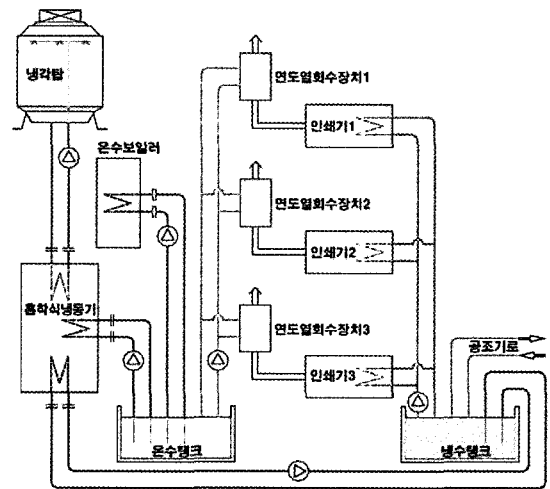
공장 생산 공정에서의 냉각수나 기기로부터 배출되는 열을 회수해서 냉수를 얻는 시스템에도 얼마간의 납입실적이 있다. 여기서는 인쇄회사의 예를

보여주고자 한다. 그림 15는 인쇄기의 드라이어 연도의 열을 회수하여 인쇄물의 냉각공정이나 냉방에 이용된 예이다. 이 경우는 연도에서 배출되는 열을 60~70℃로 회수하고 24시간 가동하여 냉수를 공급한다. 가동시간이 길어서 단기간에 투자비를 회수할 수 있는 장점이 있다.

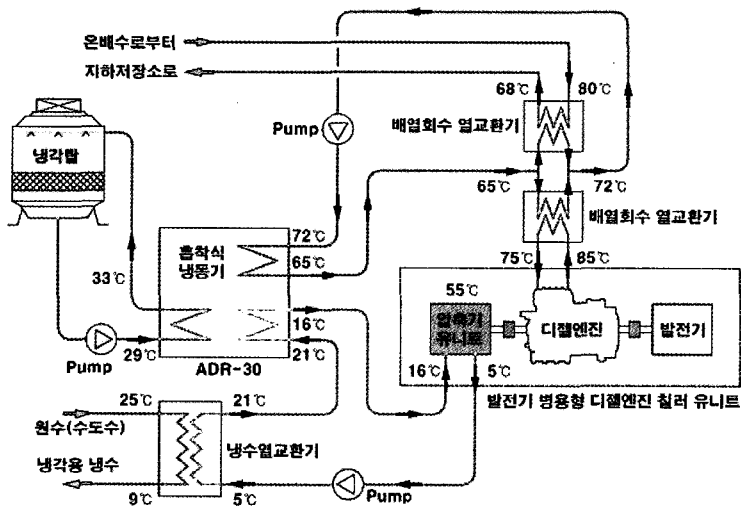
식품공장의 적용사례



[그림 14] 엔진폐열의 적용사례



[그림 15] 공장폐열의 적용사례



[그림 16] 식품공장의 적용사례

식품공장의 대부분은 하나의 제품을 만드는 과정에서 몇 번씩이나 가열과 냉각을 반복하는 예가 많다. 이때 냉각에 필요한 냉동기의 전력량은 상당한 것이 현실이다. 흡착식 냉동기는 이와 같은 식품공장에 최적인 기기로서 일본에서는 몇몇 시스템이 설치 운전되고 있다. 이 시스템은 배열과 디젤엔진의 재킷에서 배출된 배열을 구동원으로 하여 식품 냉각용의 예냉을 하는 시스템이다. 예냉된 냉수는 디젤엔진 구동의 냉동기에 의해 소정의 온도까지 냉각된다. 또, 냉동기의 반대측에는 발전기를 부착하여 기기에 필요한 전력량도 조달할 수 있는 시스템이다. 이 시스템의 큰 장점은 자체 전력으로 냉수제조 시스템을 구축할 수 있는 것과 소비연료의 삭감에 공헌할 수 있는 것을 들 수 있다. 식품공장의 적용사례 개념도는 그림 16과 같다.

엔진 시운전장에서 적용사례

이 시스템은 각 엔진의 자켓에서 발생한 배열을 회수하여 엔진 시운전장의 스팟 공조(국소 공조)를 하는 시스템이다. 이 시스템의 큰 특징은 냉수의 온도조건을 약간 완만하게 할 수 있는 점과 온배열 온도가 50~60℃에도 구애받지 않고 운전이 가능한 점이다. 이 때의 냉풍 취출온도는 약 22℃로 보통의 공조조건보다 높지만 엔진 시운전장(여름의 실내온도 35℃ 전후)이라는 점에서 별로 문제되지 않는다. 엔진 시운전장에서의 적용사례 개념도는

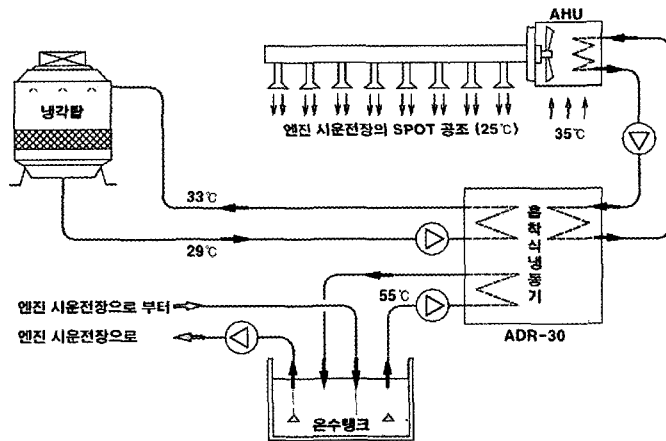
그림 17과 같다.

선박에서의 적용사례

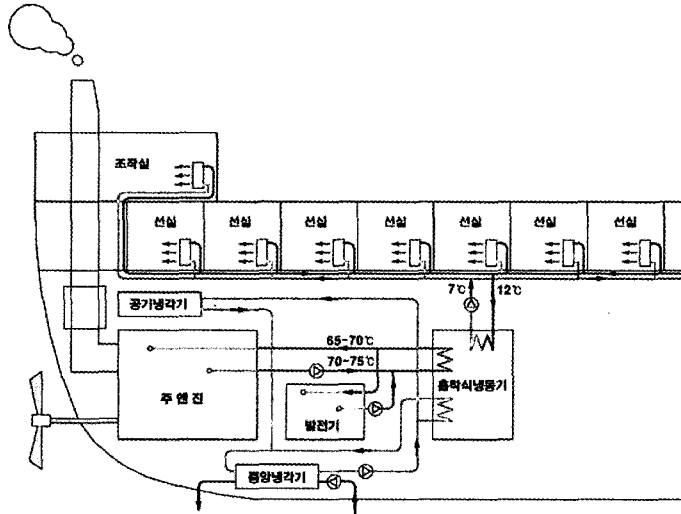
선박에서는 엔진이나 발전기 등의 보조기에서 대량의 온배열이 발생하지만, 현재 대부분이 바다로 버려지고 있다. 또한 공조기용 동력을 얻기 위해 발전기를 필요로 하는 것이 현재의 상황이다. 이 시스템은 엔진이나 보조기(발전기)류에서 발생하는 저온배열(75~80℃)를 회수하여 이를 구동열원하는 냉열을 공조 등에 이용하는 것이다. 이 시스템을 적용함으로써 공조용 발전량이 불필요하게 되고, 연료 감소에 따라 에너지가 절약될 뿐만 아니라 탄산가스의 배출량도 감소시킬 수 있다. 또 냉열량의 이용은 공조분야 뿐만 아니라 수요가 신장되고 있는 곡물 등의 운반선에도 적용할 수 있으리라 생각된다. 선박의 적용사례 개념도는 그림 18과 같다.

맺음말

최근의 흡수식 냉난방시스템 기술향상과 보급은 하절기 가스수요 확대 및 전력 부하 완화, 국가적인 에너지 수급 균형, 전기냉방과 가스냉방의 균형적 발전 등을 가져왔지만 대부분의 에너지원을 수입에 의존하고 있는 우리나라로서는 다양한 산업체의 공정에서 버려지는 폐열 등을 효과적으로 활용할 수 있는 흡착식 냉동기의 개발이 절실히 요구되고 있는



[그림 17] 엔진 시운전장의 적용 사례



[그림 18] 선박의 적용사례

실정이다.

흡착식 냉동기의 경우 일본, 프랑스, 미국 등 선진국을 중심으로 본격적인 연구가 수행된 기간이 흡수식 냉난방기 등 타 냉난방시스템에 비해 짧음에도 불구하고 성능면에서 대등한 수준까지 달성되었고 사용열원의 다양성, 환경친화성, 시스템 안정성 등 나름대로의 장점을 가지고 있으므로 우리나라에서도 이에 대한 연구개발 확대가 필요하다고 사료된다.

흡착식 냉동기가 실용화되기 위해서 가장 중점적으로 연구개발해야 할 분야는 흡착탑의 고효율화 및 컴팩트화로 판단되며, 흡착탑의 고효율화를 위해서는 열 및 물질전달이 뛰어난 흡착제 개발, 고효율 흡착탑 설계, 고성능 사이클 개발 등이 필수적이다. 이러한 부분만 개선이 된다면 현재의 국내기술로도 빠른 시일 내에 실용화가 가능하리라 사료된다. (※)