

폐열이용 흡수·흡착식 열펌프의 기술개발 동향

Trend of Development of Waste-Heat Driven Absorption · Adsorption Heat Pumps

윤 정 인

J. I. Yoon

부산수산대학교 냉동공학과



· 1962년생

· 흡수·흡착식 등 열원구동 열펌프시스템의 성능향상 및 응용열전달, 열교환기 등에 관심을 가지고 있다.

1. 서론

경제사회의 발전과 생활수준의 향상에 따라, 에너지 수요는 더욱 더 증대될 것으로 예상된다. 특히 냉난방의 열수요는 쾌적한 주거 환경이나 직장 환경의 추구 등 생활의 쾌적성 지향과 함께 큰 증대를 보이고 있다. 이와 같은 에너지 소비 추세 및 최근 지구 환경 문제의 심각성 등을 고려해 볼 때 화석 연료의 소비를 최소화하지 않으면 안된다.

이러한 「냉난방 에너지의 급격한 수요 확대」와 「지구 환경 문제」라고 하는 상반된 관계에 있는 문제를 해결하기 위한 대응책으로 미이용 에너지의 유효 활용이 적극 고려되고 있다. 미이용 에너지는 해수, 하천수, 하수 처리 등의 「온도차 에너지」(여름은 대기보다 차갑고, 겨울은 대기보다 따뜻한 물)나 발전소 등에서의 「폐열」, 소위 현재 이용되지 않고 버려지는 에너지를 총칭한 것이다. 냉난방 열수요는 대부분 100℃ 미만의 비교적 저온의 열이기 때문에, 질 높은 에너지를 투입할 필요가 없고, 낮은 수준의 미이용 에너지라도 충분히 대응할 수 있다. 또,

에너지 유효 활용의 관점에서 미이용 에너지의 적극적인 활용을 위한 방법의 검토가 필요하다. 앞으로 에너지 수요의 증가를 완화하고, CO₂의 발생량을 삭감하기 위해서는 미이용 에너지를 유효하게 활용한 냉방의 촉진이 매우 유효한 방법이다. 도시 규모의 폐열은 일반적으로 지역 냉방용 열원으로서 사용되는 경우가 많으며, 일부는 이미 실시되고 있다. 이러한 폐열을 열원으로 한 폐열회수 열펌프는 에너지의 유효이용과 환경 안전의 관점에서 앞으로 더욱더 보급될 것으로 생각된다. 그러나, 폐열은 그 종류가 다양하고, 그 형태나 특성, 더욱이 물리적 화학적 성질이 각각 다르기 때문에, 계획·설계의 시점에서 충분한 검토가 필요하다. 따라서, 사용하고자 하는 폐열 회수 열펌프의 특성에 대해서도 파악하는 것이 중요하다.

이 글에서는 폐열이용 흡수·흡착식 열펌프의 기술 개발 현황을 알아보고, 앞으로 실용화를 위한 연구개발 요점 등에 대하여 기술하고자 한다.

2. 폐열이용 흡수식 열펌프의 개발동향

효율이 높은 이중효용 흡수식 시스템은 냉방용의 냉수와 난방용의 온수를 한 대로 공급할 수 있기 때문에 중·대형건물 등의 공조용에 널리 사용되고 있다. 특히, 냉동기의 내부압력이 대기압보다 낮아서 운전자의 자격이 필요없으며, 취급이 용이하고, 운전 시 소음, 진동이 적은 등 여러 가지의 이점이 있어 급속히 보급되게 되었다. 한편, 에너지 절약화 기술의 진보와 함께 비교적 저온의 열원을 이용할 수 있는 이점도 있으며, 또한 폐열원의 온도보다도 높은 온도의 열원으로 변환시켜 이용할 수 있는 열펌프로서의 이용이 가능하여 폐열 이용면에서도 흡수식 냉동기의 기술이 급속히 확대되고 있어, 이에 대한 연구 개발도 최근 활발히 이루어지고 있다^(1~6). 여기서는 최근 폐열이용 흡수 사이클의 개발 동향에 대해 2가지 예를 들어 기술하고자 한다.

2.1 폐열투입형 이중효용 흡수식 냉동기

엔진·터빈 등을 이용하여 발전을 함과, 동시에 폐열을 이용하는 코제너레이션 시스템은 총합효율이 높기 때문에 자원이 빈약한 우리 나라나 일본에서는 이상적인 에너지 시스템으로 그 보급이 기대되고 있다. 엔진에서 얻어진 폐열의 온도 범위는 통상 90℃ 정도이기 때문에 급탕·난방용에는 문제가 없지만, 이것을 냉방용으로 이용할 경우에는 온수 구동 흡수식 냉동기를 사용할 필요가 있다. 그러나 이 경우에는 초기 비용이 높고, 설치 공간이 크며, 냉방 변환효율이 낮다는 결점이 있어 엔진을 사용한 코제너레이션의 설치 중래에는 주로 급탕 수요가 많은 호텔이나 병원 등에 한정되어 있었다. 최근 일본의 도쿄가스에서는 오피스텔 등 열수요가 적은 곳의 코제너레이션 시스템의 개선책으로 「폐열 투입형 흡수 냉동기」를 개발중이다⁽⁷⁾. 이중효용 흡수 냉동기의 고온 및 저온 용액 열교환기 사이에 또

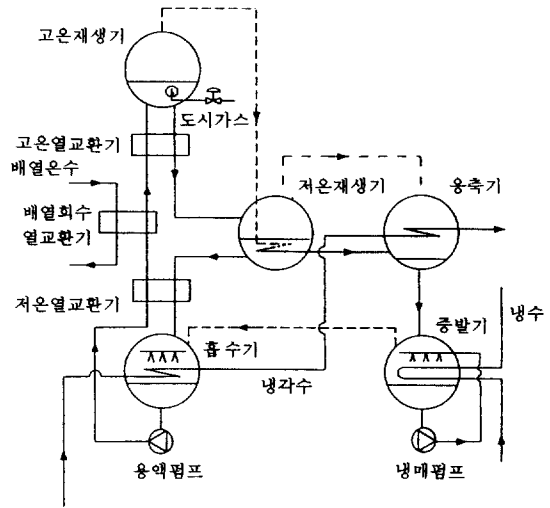


그림 1 폐열 투입형 이중효용 흡수사이클

하나의 열교환기를 부착하고, 외부에서 90℃ 정도의 폐열을 투입하는 것이 폐열투입형 흡수 냉온수기이다.

이 시스템은 그림 1에서와 같이 극히 단순하여, 외부에서의 폐열을 고온재생기에 되돌려 흡수용액의 예열에 이용함으로써, 연료인 도시가스의 소비량을 감소시킬 수 있는 것이다. 이 시스템은 설치공간의 대폭적인 감소가 가능하며, 배관이 단순하다는 장점이 있고, 배열의 냉방변환 효율이 높으며 부분부하시에는 폐열을 우선적으로 이용할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 한편 이 시스템의 약점은 폐열이 다량으로 존재해도 흡수 냉온수기에 투입할 수 있는 열량에는 한계가 있다는 것이다. 투입 가능한 폐열량은 흡수 냉온수기의 부하와 폐열의 온도에 따라 변화하며, 부하가 낮거나 또는 폐열온도가 높은 만큼 크게된다. 예를 들면, 현재 엔진에서 얻어지는 전형적인 폐열온도인 88℃의 경우, 100%부하시에는 필요한 가스량의 약 21%에 해당하는 폐열을 이용할 수 있다. 따라서, 보통의 경우에는 충분한 폐열을 사용할 수 있지만, 만약 93℃의 배열이 얻어지면 이것은 각각 16%, 27%로 되어,

코제너레이션 시스템의 탄력성은 그만큼 크게 된다. 이 시스템의 또 한가지 약점은 흡수식냉온수기가 ON-OFF 운전시와 같이 저부하(약 30%) 조건에서는 폐열을 투입하는 것이 불가능하다는 점이다.

2.2 연료전지의 폐열 투입형 흡수식 냉동기

연료전지는 천연가스를 연료로 투입하여 전력을 생산하고, 고온의 수증기와 저온의 온수가 배열로서 출력되어 이를 냉수제조에 이용할 수 있기 때문에 열전병합이 가능한 청정한 에너지 시스템으로서 각광을 받고 있다. 그러나 폐열의 이용방법에 대한 상세한 검토는 아직 충분히 이루어지지 않고 있다. 전력과 열을 유효하게 이용할 수 없으면, 효율적인 에너지 시스템의 구축은 불가능하다. 따라서, 최근 연료전지의 폐열을 이용하는 시스템으로서 고온폐열인 수증기로 이중효용 흡수식 사이클을 구동하고, 저온 폐열인 온수를 단효용 흡수식 사이클의 구동열원으로 사용하므로써 전력, 수증기, 온수의 다용적 에너지 이용이 가능한 시스템에 대한 검토가 이루어지고 있다. 그러나, 연료전지는 전력수요에 따라 용량을 제어할 필요가 있게 되는데, 이 때 동시에 흡수식 사이클의 용량 제어도 이루어져야 하기 때문에 연료전지 용량제어시의 흡수식 사이클의 용량제어 특성, 시스템의 효율변화 등에 대한 연구가 선행되어야 한다.

단효용 흡수식 사이클은 이중효용에 비해 효율이 낮기는 하지만, 공장폐열이나 코제너레이션 시스템의 폐열 등과 같은 비교적 저온(70~90℃의 폐온수)의 열원을 직접 구동원으로 이용하기 때문에 최근 다시 각광을 받고 있다.

연료전지의 폐열을 흡수식에 이용한 시스템은 연료전지에 의한 발전과 흡수식에 의한 냉수제조를 목적으로 하고 있다. 연료전지를 운전할 때 중요한 것은 기동에 필요한 시간이 3시간 이상이기 때문에 한 번 운전을 시작하면 멈추기가 힘들다. 즉, 전력요구

에 따라서 연료전지의 용량제어를 할 필요가 있을 때, 동시에 흡수 사이클의 용량제어도 하지 않으면 안된다. 연료전지 흡수사이클의 이용시스템 구성도를 그림 2에 나타내었다. 연료전지는 천연가스를 연료로 투입하여 전력을 생산하고, 고위폐열인 수증기와 저위폐열인 온수를 배출한다. 수증기를 사용하여 이중효용 흡수사이클을 구동하고, 온수로 단효용 흡수사이클을 구동하여 냉수를 제조한다. 이 시스템은 전력, 수증기, 온수를 에너지 캐스캐이드로 이용할 수 있는 구조로 되어 있다.

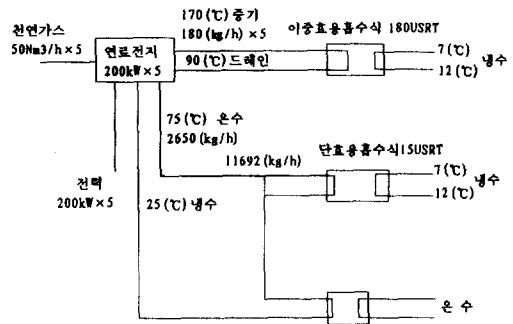
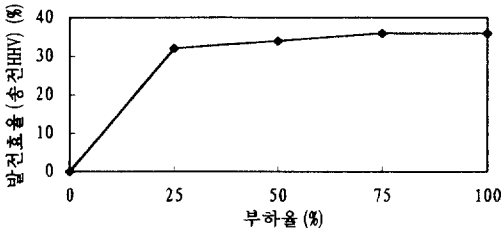


그림 2 연료전지 폐열이용 흡수사이클의 이용시스템 구성도

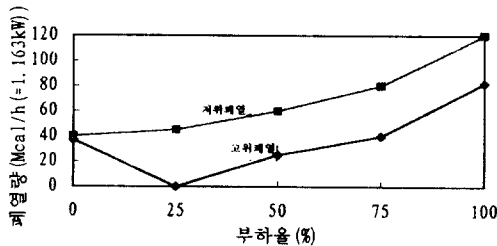
표 1 200 kW급 연료전지 사양

항 목	사 양
발전출력	200hkW
도시가스, 천연가스	50N ³ /h
고위폐열	170℃ 증가, 180kg/h 90℃ 드레인 75℃ 온수
저위폐열	75℃ 온수, 2650kg/h
발전효율	36% (HHV)
폐열 회수 효율	44% (HHV)
종합효율	80.2% (HHV)

표 1은 일본 M사의 200kW급 연료전지의 사양을 나타낸 것이다. 그림 3은 연료전지의 발전효율과 폐열량의 부하특성을 나타낸 것이다. 발전효율은 연료전지의 부하가 25%까지 떨어져도 거의 변화하지 않으나, 폐열은 연료전지 부하 75%일 때, 고위폐열 50%, 저위폐열 66%까지 저하해 버린다. 만약 연료전지부하가 25%라면 고위폐열은 0%로 되어 이중효용 흡수식을 구동하기 어렵게 된다. 연료 전지 운전 용량 100%일 때의 에너지 흐름을 그림 4에, 75% 일 때의 에너지 흐름을 그림 5에 나타내었다. 연료 전지 75% 운전시에는 이중효용, 단효용 모두 COP가 저하하여 냉수제조 효율을 저하시키는 원인이 된다. 흡수식 사이클을 원활하게 운전하기 위해서는 보일러를 설치하여 연료 전지 용량제어 때는 보일러에 의한 보조 열 공급이 필요하다. 즉, 흡수식 사이클의 용량제어는 외기온도, 부하변동에 따른 제어범위에 머물 수 밖에 없다.



(a) 발전효율의 부하특성



(b) 폐열량의 부하특성

그림 3 연료전지의 발전효율과 폐열량의 부하특성

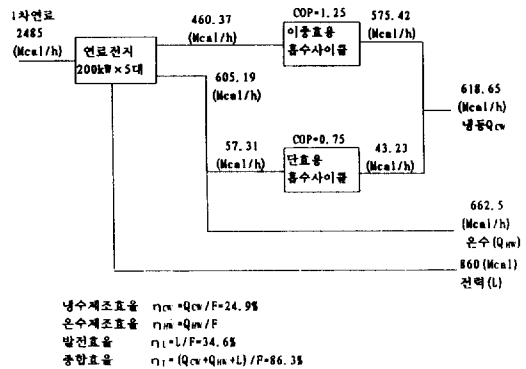


그림 4 에너지 흐름도(연료전지 100% 용량 운전)

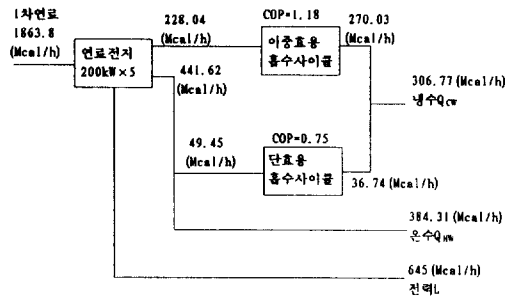


그림 5 에너지 흐름도(연료전지 75% 용량 운전)

3. 폐열이용 흡착식 열펌프의 개발동향

흡착식 열펌프는 흡착제와 흡착질을 사용한 열기관으로 비프레온화와 폐열이용이라는 관점에서 주목받고 있다. 또, 흡착식 열펌프는 저온 열원으로 구동할 수 있으므로 엑서지 효과가 크다. 흡착계의 선택은 냉동기의 본질적인 성능을 결정하기 때문에 사용하는 열교환기의 전열특성, 시스템의 구성 등과 함께 중요한 위치를 차지하고 있다. 따라서 사용 목적에 맞는 흡착계의 선택이 중요하다. 여기서는 흡착식 열펌프의 기본 이론과 작동원리, 성능특성 및 경제성과 실시예 및 실용화를 위한 연구 개발 요점 등을

기술하고자 한다.

3.1 흡착식 냉동기·열펌프의 개요

1848년 패러데이는 처음으로 고체·기체의 흡착을 통해 계내의 증기압 상승 및 흡착제(실리카겔, 활성탄, 활성 알루미늄 등)의 온도 저하에 따라 흡착제의 증기 흡착량이 증가하는 것을 밝혔다. 그리고, 흡착층과 증발기·응축기를 조합함으로써, 흡·탈착에 동반되는 증발·응축 잠열을 이용한 냉동기나 열펌프로의 응용이 가능하게 되었다.

1920~1940년대에 개발된 초기의 흡착 냉동·열펌프의 기본 사이클은 구조적으로 간단했던 반면 효율이 낮았다. 1930년대에 전차의 냉방 등을 목적으로 실리카겔-SO₂ 또는 활성탄-메탄올계 시스템이 개발되었으나, 이 후 전력 공급이나 압축기 이용의 보급에 의해 흡착 냉동 사이클은 그 모습을 감추었다.

1970년대의 제 1차 석유 위기에 따라 태양 에너지만으로 구동할 수 있는 시스템으로 흡착 냉동 사이클이 재발견되어 제오라이트, 활성탄, 실리카겔 등의 흡착제와 암모니아, 알콜이나 물계 등의 냉매를 조합한 냉동기·열펌프의 연구개발이 재개되었다. 현재도 비프레온화, 온난화 방지, 에너지 절약 등을 근거로 하여, 흡착 냉동·열펌프 사이클이 주목받고 있다. 그 중에서, 실리카겔-물이나 염화칼슘-메칠아민 등의 계는 현재까지 미이용 되고 있는 80℃이하의 열을 직접 구동 열원으로 이용할 수 있다. 특히 실리카겔-물계는 일본 등에서 상용 냉동기가 생산되고 있으며, 가스 엔진 열병합 시스템 등에 응용되고 있다. 통상의 흡착 사이클에서는 흡·탈착 공정 교체시의 열손실이 현저하여 효율이 저하한다. 그리고, 흡착층의 내부·표면 열전달과 함께, 흡착 냉동·열펌프 사이클의 방식(즉, 공정 시간, 작동 온도 레벨, 열회수 양식 등)도 중요한 역할을 한다.

3.1.1 흡착계의 선택

축열을 목적으로 하는 흡착계의 조합은 친화력, 흡착등온선도, 흡착열 이외에도 재생 온도가 고온인 경우(약 200℃)와 저온인 경우로 크게 나눌 수 있다. 고온에서 재생하는 경우는 제오라이트-물에 거의 한정된다. 또, 저온에서 재생하는 경우에는 실리카겔-물, 실리카겔-메탄올, 활성탄-메탄올 등의 조합이 가능한 것을 알 수 있다. 그러나 실리카겔에 대해서는 물이 적당하며, 활성탄-메탄올계는 물이 동결하는 0℃ 이하의 경우 적합하다. 흡착제·냉매의 특성이나 한계에 대해서, 문헌^(7~11)을 참고하여 종합한 것을 표 2에 나타내었다.

흡착제에서의 작동 온도 레벨이나 온도 상승을 고려하면 제오라이트는 고온 재생(300℃정도까지)과 고온도 상승(70℃까지), 활성탄은 중온 재생(150℃정도까지)과 중온도 상승(40~50℃정도), 실리카겔은 비교적 저온 재생(90℃이하)에 적합하다.

냉매인 물은 저렴하고 또 무독성의 장점을 가지고 있지만, 대기압 부근에서 0℃이하의 사용은 동결이 우려되기 때문에 불가능하다. 또, 감압 운전에 의한 동결 방지에 있어서는 진공도 유지 등의 문제가 발생하는 경우도 있어, 물을 냉매로 사용하는 시스템에서는 0℃이상의 증발 온도가 바람직하다. 메탄올의 경우는 0℃이하에서의 증발은 가능하지만, 탈착 온도가 높게 되어 화학 분해의 우려가 있기 때문에, 탈착 온도에 상한이 있다. 문헌⁽⁸⁾에 의하면, 암모니아는 -30℃ 정도의 증발 온도에서의 작동이 가능하지만, 실제 사용에 있어서는 고압력(2~20기압), 독성, 부식, 범규 등의 문제에 대한 대책을 고려할 필요가 있다. 또, 염화 리튬·메틸 아민 사이클에 관해서는 온도 80℃의 태양열(응축 온도 35℃의 경우)을 구동원으로 사용하는 것이 보고되고 있다.⁽¹²⁾

여기서 정리한 것은 어디까지나 기존의 흡착제를 사용하고 있는 최근의 연구 예로부터 정리한 것이다. 흡착제의 평가에 있어서는 흡착질과의 흡착평형 관계나 안정성이

표 2 흡착제 및 냉매의 적용범위

작동온도 하한(℃)	작동온도 상한(℃)	구동열원 온도범위(℃)	온도상승 (℃)	응 용 성			냉 매	흡착제
				냉각 (0℃ 이하)	냉각 (0℃ 이상)	가열		
0℃		120~300℃	70℃	X*	○	○	물	제오라이트
	80℃			X**		X**	메탄올	
	316℃					○	암모니아	
-10℃	150℃	100~150℃	<40℃	○	○	○	메탄올	활성탄
-30℃	>300℃***		>50℃	△***		△***	암모니아	
0℃				X*	○		물	실리카겔
-25℃		100~120℃		○			암모니아	염화칼슘
		<80℃		○			메틸아민	염화칼슘

* 동결로 인한 부적합 ** 85℃에서 분해로 인한 부적합 *** 점도의 필요성

중요한 것은 말할 필요도 없지만, 이외에도 열용량과 열전도율, 기계적 강도 등이 중요한 인자가 될 경우가 많다. 이와 같은 열펌프 전용 흡착제의 개발이 앞으로의 흡착식 개발 방향의 하나가 되리라 생각한다.

3.1.2 흡착 사이클의 열역학적 개요

그림 6은 포화 증기 선도(Duhring 선도) 상에 흡착 사이클을 나타낸 것이다. 좌측의 가는 실선은 냉매, 우측의 굵은 2개의 선은 각각 흡착제 중의 냉매 농도 X_{conc} , X_{dil} 의 평행 선도이다. 증발기내의 작동 온도 T_{eva} 에서 열량 Q_{eva} 를 퍼 올려 증발한 냉매는 흡착기내로 유도되고, 농도 X_{dil} 의 흡착제에 의해 결정되는 농도 X_{conc} 에 이르기까지 흡착이 계속되며, 이때, 냉각수는 Q_{ads} 의 열량을 빼앗는다. 흡착 능력이 저하한 흡착제는 다음 사이클에서 흡착 공정에 의해, 온도 T_{des} 의 구동 열원에서 열량 Q_{des} 를 퍼 올려 농도 X_{dil} 까지 탈착된다. 발생한 냉매 증기는 온도 $T_{cond}(=T_{ads})$ 의 냉각수에 의해 응축기내에서 액화된다. 2조의 열교환기는 이들 흡착,

탈착의 간헐 사이클을 병행하여 행하므로써, 연속적으로 냉수를 얻을 수 있다.

흡착·흡수 사이클의 열구동 냉동기의 이론 효율(COP_{Carnot})에 대해서 T-S선도를 이용하여 고려해 보면, 그림 7에 나타낸 것과 같다. 크게 보면, 탈착 사이클은 열기관에 해당하며, 냉동 사이클인 흡착 사이클에 구동원(그림 중의 W)을 공급하는 것이 된다. 이때문에, 열구동 냉동기의 이론 효율은 작동 온도 레벨에 의해 다음식으로 표현된다.

$$COP_{Carnot} = \frac{Q_{eva}}{Q_{des}} = \frac{T_{des} - T_{cond}}{T_{des}} \times \frac{T_{eva}}{T_{ads} - T_{eva}}$$

미이용 에너지의 유효 이용 관점에서 위 식을 고려해 보면, 구동용 미이용 열원 온도 T_{des} 가 높을수록, 환경 온도에 가까운 냉각원 온도가 낮을수록 높게 되는 것이 명확하다. 그러나, 간헐식의 특성인 열교환 과정을 고려하면, 구동 열원과 냉각원의 온도차가 클수록, 간헐 운전에 의한 비가역 열손실이

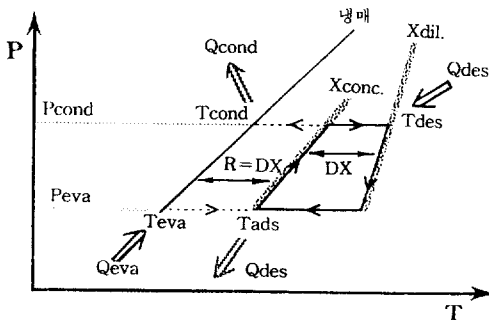


그림 6 포화증기 선도상의 흡착사이클

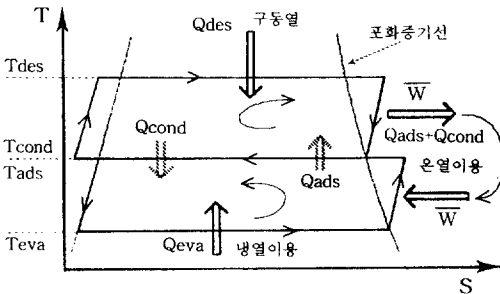


그림 7 T-s 선도상의 흡착사이클

증가하기 때문에, 구동 열원의 소비량이 증가하고, 실제기기의 COP가 저하하게 된다. 따라서, 환경 온도의 냉각원을 사용하는 사이클에서의 구동 열원 저온화는 실제 기기의 COP를 COP_{Carnot} 에 접근시킬 수 있는 가능성을 나타내기 때문에, 환경 온도에 가까운 미이용열의 활용에 흡착식 냉동기가 공헌할 수 있다고 생각된다.

3.1.3 삼단형 흡착사이클의 특성 및 유용성

삼단형 흡착사이클의 구조는 그림 8에 나타낸 것처럼 응축기·증발기·열교환기 1~6 및 8개의 밸브로 구성되어 있다. 작동공정은 표 3의 타임차트에 따라서 시간제어를 하며, 그림 8은 사이클 A의 상태이다. 우선 밸브 1·3·6·8을 열고 열교환기 2·4·6에는 냉각수를 흘려서 흡착공정으로, 그리고, 열교환기 1·3·5에는 온수를 흘려 탈착공정으로 한다. 증발기내의 흡착질은 내부

를 흐르고 있는 냉수에서 잠열을 얻어 증발하고, 열교환기 6에 흡착된다. 열교환기 3·5의 흡착질은 탈착되어 각각 열교환기 2·4에서 흡착된다. 열교환기 1의 냉매는 탈착되어 응축기로 들어가서 내부를 흐르고 있는 냉각수에 잠열을 주고 물로 되돌아 온다. 그리고, 흡착질은 팽창밸브를 거쳐 증발기에 분무된다. 사이클에서는 열교환기 2·4·6이 탈착공정, 열교환기 1·3·5가 흡착공정으로 이행하기 위한 준비공정으로 모든 밸브를 닫아 흡탈착은 하지 않는다. 사이클 C·D는 각각 사이클 A·B의 역 공정이며, 사이클 D가 종료하면 다시 사이클 A가 반복된다.

단단형 및 삼단형 흡착식 히터펌프의 기본 사이클을 그림 9에 나타내었다.⁽⁷⁾ 단단형으로 하는 경우 ①→②에서는 흡착공정, ②→③에서는 흡착에서 탈착으로의 준비공정, ③→④에서는 탈착공정, ④→①에서는 탈착에서 흡착으로의 준비공정이다. 삼단형에서는 사이클 I·II·III이 각각 그림 8에서 상단(열교환기 1·4), 중단(열교환기 2·5), 하단(열교환기 3·6)에 나타내고 있다. 하나하나 단단형과 같이 흡착공정, 탈착공정, 준비공정으로 구성되어 있다. 또, 탈착공정과 흡착공정과 흡착량의 차는 사이클 I·II·III 모두 같지만, 온도가 높게 되는 만큼, 압력이 낮게 되는 만큼 흡착력은 작게

표 3 삼단형 열펌프의 타임차트

Cycle		A	B	C	D
Time(sec)		300	30	300	30
Valve	1,3,6,8	○	×	×	×
	2,4,5,7	×	×	○	×
Heat Exchang	1,3,5	Hw	Cw	Cw	Hw
	2,4,6	Cw	Hw	Hw	Cw

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

되기 때문에 사이클은 상단일수록 길게된다. 냉각수 입구온도를 T_2 로 설정하면, 단단형에서는 하나의 열교환기가 압력 P_1 에서 P_2 까지 변화하기 때문에 T_3 의 온수입구온도가 필요한 반면, 삼단형에서는 그것을 삼단계로 나누고 있으므로 온수입구온도는 T_3 까지 저하시킬 수 있다. 따라서, 삼단형은 단단형보다 저온열원으로 구동할 수 있는 가능성이 있게된다.

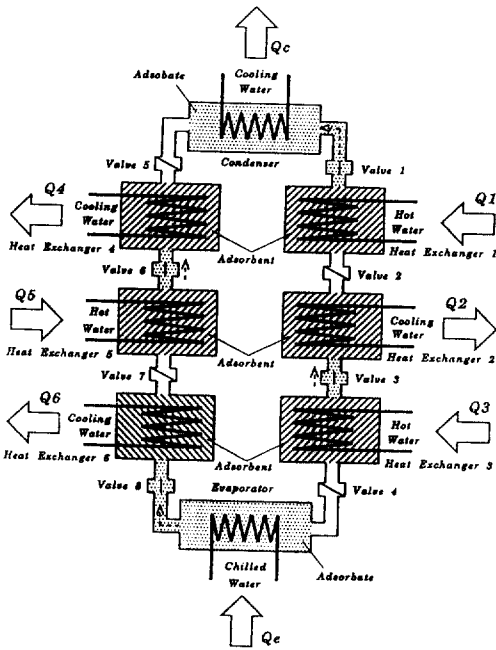


그림 8 삼단형 흡착식 열펌프의 구조

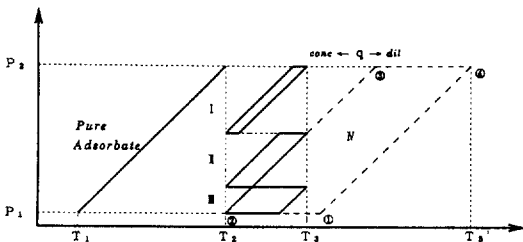


그림 9 삼단형 흡착식 열펌프의 기본사이클

3.2 사용용도 및 실제 이용 사례

흡착식 냉동기의 도입을 검토할 때 참고자료가 될 수 있는 흡착식 냉동기의 이용 예는 다음과 같다.

3.2.1 엔진 폐열의 이용

일반적인 코제네레이션 시스템에서는 엔진 폐가스 및 잭ет 냉각수를 열원으로하여 냉방용 냉수를 제조한다. 흡착식 냉동기는 독자적인 특징을 살려 잭ет 냉각수만의 저온열원(60~70℃)을 회수하여 냉방+공장의 프로세스 냉수(제품의 냉각·기기의 냉각)로 년중 풀 운전하는 경우가 많다.

3.2.2 공장폐열의 이용

공장의 공정에서의 냉각수나 기기에서 배출되는 열을 이용하여 프로세스 냉수를 얻는 시스템에도 실시 예가 있지만, 이 경우는 비정상적으로 배출되는 열을 60~70℃로 회수하여 년중 풀로 냉수를 공급하기 때문에 가동시간이 길어 약 1~2년으로 생각할 수 있다.

3.2.3 식품공장의 적용사례

식품공장의 대부분은 하나의 제품을 만드는 과정에 있어서 몇 번씩이나 가열냉각을 반복하는 예가 많다. 이 중에서 냉각에 필요한 냉동기의 전력량은 상당한 것이 현실이다. 흡착식 냉동기는 이러한 식품공장에 최적의 기기로서 인정받아 일본에서는 몇몇 시스템이 설치 운전되고 있다. 이 시스템은 배열과 디젤엔진의 잭ет에서 배출된 배열을 구동원으로 하여 식품 냉각용의 냉수의 예냉을 하는 시스템이다. 예냉된 냉수는 디젤엔진 구동의 냉동기에 의해서 소정의 온도까지 냉각된다. 또, 냉동기의 반대측에는 발전기를 부착하여 기기에 필요한 전력량을 조달하는 시스템이다. 이 시스템의 큰 장점은 자체 전력으로 냉수제조 시스템을 구축할 수 있는 것과 소비연료의 삭감에 공헌할 수 있는 것을 들 수 있다.⁽¹³⁾

3.2.4 엔진 시운전장에서 적용사례

이 시스템은 각 엔진의 잭ет에서 발생한 배열을 회수하여 구동원으로서 엔진 시운전

장의 스폿트 공조를 하는 시스템이다. 이 시스템의 큰 특징은 냉수의 온도조건을 약간 완만하게 할 수 있는 것과 온배열 온도가 50~60℃에도 구애받지 않고 운전이 가능한 점이다. 이 때의 냉풍 취출 온도는 약 22℃로 보통의 공조조건보다 높지만, 엔진의 시운전장(여름의 실내온도 35℃전후)이라는 점에서 별로 문제되지 않는다⁽¹³⁾.

3.2.5 그 외의 적용사례

흡착식 냉동기는 기본적으로 「75℃ 전후의 온폐수가 얻어진다」, 「발생하는 냉열을 유효 이용할 수 있다」의 두가지 점을 만족시킬 수 있다면, 어느 정도 적용 가능하다. 예를 들면, 코제네레이션 시스템이나 공장배열을 구동원으로 한 공조나 제품냉각 등에 이용하는 것은 일반적으로 생각할 수 있는 시스템이다.

이 외에 동결이나 제빙 등 0℃ 이상의 냉각을 필요로 하지 않는 업종에서도 온폐열을 대량으로 버리고 있는 곳 등에서는 이 시스템을 채용하고 있는 곳이 있다. 이것은 여기서 발생하는 냉열에 의해 제품을 일단 예냉하여 거기부터 냉동기로 소정의 온도까지 냉각하는 시스템으로 에너지 절약을 도모할 수 있기 때문이다. 앞으로 실용화가 기대되고 있는 연료전지의 온폐수도 이용할 수 있

는 온도범위가 있어, 이 분야에서의 이용도 크게 기대된다.

이와같이 흡착식 시스템은 이용하는 냉수 온도가 높은 경우, 또는 저온의 냉각수가 얻어지는 경우는 50℃ 정도의 온폐열의 이용이 가능하게 되어, 저온수 흡수식 냉동기에서는 이용이 곤란한 50~80℃ 정도의 넓은 온도범위에서 효율 좋게 이용할 수 있다. 표 4는 온폐열을 이용하여 흡착식 냉동기를 작동시킨 경우의 운전비를 다른 냉동시스템과 비교한 예를 나타낸 것이다.

4. 결론

에너지 절약, 폐열이용은 최근 수년 동안 현저하게 성과를 거두고 있지만, 흡수·흡착식 냉동기 혹은 히트펌프로의 폐열이용은 아직도 미흡한 실정이다. 폐열이용을 유리하게 하기 위해서는 장시간 운전하는 시스템으로서, 폐열온도가 높은 것을 선택하고, 냉각수 온도를 낮게 하는 등의 배려가 중요하다. 이러한 조건 선정과 함께 시스템의 설비기술 향상에 의해 흡수·흡착식 냉동기를 이용한 폐열 이용은 앞으로 유망하리라 생각한다.

간헐식 흡착 사이클에서는 흡·탈착공정

표 4 운전비 비교(100RT 기준)⁽¹⁴⁾

	흡착식 냉동기	가스 흡수식 냉동기		등유 흡수식 냉동기		수냉각기	공기냉각기
	전력 kW	전력 kW	도시가스 NM ³ /h	전력 kW	등유 kg/h	전력 kW	전력 kW
냉동기 본체	0.2	7.7	27.3	7.7	26.2	91.8	129.4
냉각탑(팬)	3.6	3.3	-	3.3	-	3.3	-
냉각수펌프	7.5	3.7	-	3.7	-	2.2	-
온수펌프	3.7	-	-	-	-	-	-
냉수펌프	2.2	2.2	-	2.2	-	2.2	2.2
합 계	17.2	16.9	27.3	16.9	26.2	99.5	131.6

의 반응기 사이에서 열교환을 수행하기 때문에 구동열원과 냉각원의 온도차가 크게되는 과정과 비가역 열손실에 따른 구동열원의 소비량이 증대하고, COP가 저하되며, 또한 냉동기가 대형화되는 경향이다. 반응기 사이의 열교환 직후 흡탈착 공정 초기에 있어서의 열손실을 감소시키기 위해서는 소온도차 운전이 좋고, 또한 냉방능력이나 운전 효율을 향상시키기 위해서는 고효율 흡착식 열교환기의 개발이나 증발기의 개선이 필요하다. 간헐식 흡착 냉동기는 소온도차 운전이 적용되지만, 단단 흡착 사이클의 경우, 구동열원의 온도가 저하하면 냉각원 온도가 낮아지기 때문에 흡착 사이클의 성립이 불가능하다. 예를 들면, 온수 입구온도를 50℃로 할 경우, 냉각수 입구 입구온도를 30℃까지 상승시키면 흡착 종료시에 있어서 실리카겔의 수분 함유율은 탈착 종료시의 수분 함유율보다 낮아지므로 사이클이 성립되지 않는다. 따라서, 시스템 요소를 변경시키지 않으면서 단단형 흡착 사이클을 50℃의 열원으로 구동시킬 때에는 25℃이하의 냉각원이 필요하다. 온수 50℃와 냉각수 30℃의 형태로 구동열원과 냉각원 온도차가 비교적 작은 조건에 있어서 사이클의 성립을 실현시키기 위해서는 흡착종료와 탈착종료의 온도차가 작은 조건에 있어서도 사이클의 성립을 가능하게 하는 흡착제의 개발이나 소온도차에 적용할 진보된 사이클(advanced cycle, 예를 들면 2단형이나 3단형)의 개발이 필요하다.

흡착식 냉동기가 개발되어 상품화된 배경에는, CFC 규제나 탄산가스 배출억감 등의 지구환경문제 뿐만 아니라 지금까지는 버리기만 한 75℃ 이하의 저온수를 효율 좋게 냉열로 변환할 수 있는 기술이 확립된 점이다. 이 시스템에 의해서 저온수 흡수식 냉동기의 운전이 곤란하게 되는 80℃ 이하의 온폐열 시장(저온폐열시장)이 새롭게 열리고, 이 시장에서 새로운 용도개발이 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 저온 폐열구

동이라는 특징을 크게 발휘할 수 있도록 개량개선에 노력해야 할 것이다. 그리고, 고성능 흡착제의 개발이나 열적 성능의 향상을 통해 콤팩트화·경량화를 추구해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 히트펌프技術開發센터, 新世代吸收ヒートポンプ研究會, 1988, “新世代吸收ヒートポンプ研究概要報告書”, HPTC-14.
2. 高田秋一, 1989, “吸收冷凍機とヒートポンプ”, 日本冷凍協會, 東京.
3. 尹政仁, 柏木孝夫, 1995, “排熱利用吸收サイクルの特性ツミユレーション”, 日本冷凍協會論文集, Vol. 12, No. 1, pp.43~52.
4. 尹政仁, 柏木孝夫, 1994, “トリプル吸收サイクルの特性に関する研究-NH₃/LiNO₃係, NH₃/LiNO₃+H₂O/LiBr係吸收サイクル”, 日本機械學會論文集(B編), Vol. 60, No. 578, pp.304~309.
5. Jung, S.Y., B.H. Kang, C.S.Lee, and S.W.Karng, 1993, “Computer Simulation on Dynamic Behavior of a Hot Water Driven Absorption Chiller”, Proceedings of the International Absorption Heat Pump conference, New Orleans, U.S.A., 333.
6. Phillips, B.A., 1990, “Development of a High-Efficiency, Gas-Fired., Absorption Heat Pump for Residential and Small-Commercial Applications, Phase I Report Analysis of Advanced Cycles and Selection of the Preferred Cycle”, ORNL/Sub/86-24610/1, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, September.
7. 윤정인, 1994, “흡착식 열펌프의 성능특성(A Performance Characteristics of a Solid Adsorption Heat Pump)”, 대한기

- 계학회지, Vol. 34, No. 11, pp.877~886.
8. Meunier, F., 1988, "Les pompes a chaleur a adsorption : etat de l'art et developpement, Text presented at the interastional pompes & chaleur chimiques de hautes Performances", Perpignan, France, pp.136~144.
 9. Critoph, R. E., Vogel, R., 1986, "Possible adsorption pairs for use in solar cooling", Int. J. of Ambient Energy, Vol. 7, No. 4, pp.183~190.
 10. Worsoe-schmidt, P., "Solar refrigeration for developing countries using a solid-absorption cycle", International Journal of Ambient Energy, Vol. 4, No. pp.3115~3124.
 11. Miles, D. J., Shelton, S. V., 1986, "Analysis of a solid adsorbent heat driven heat pump ASME HTD, American Society of Mechanical Engineers heat transfer division, Vol. 65, pp.55~59.
 12. Balat, M. and Crozat, G., 1988, "Refrigeration solaire per reaction solide-gaz : faisabilite physico-chimique sur une maquette de laboratoire", Rev. Int. Froid, Vol. 11, pp.33~40.
 13. 小松富士夫, 1995, "吸着式冷凍機", 冷凍, Vol. 70, No., 810, pp.423~427.
 14. 柏木孝夫 外, 1991, "高性能ケミカルヒートポンプ應用事例集", Science Forum, 東京.