

건물공조용 CHP시스템의 흡착식 냉동기 적용

최근에 보급이 활성화되고 있는 CHP시스템을 건물공조용으로 이용할 경우에 필수적인 증기압축식 냉동기를 대체할 열구동 냉동기로서 흡착식 냉동기 기술을 언급하였다.

박 윤 철

제주대학교 기계에너지시스템공학부 (ycpark@cheju.ac.kr)

머리말

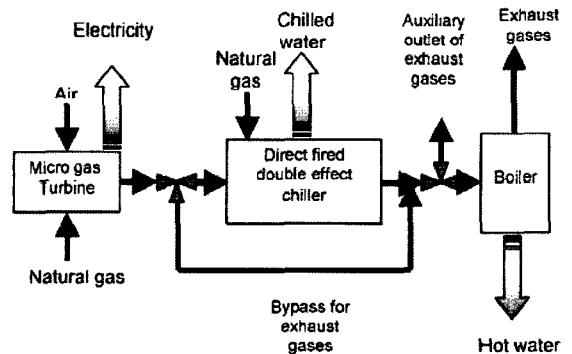
최근의 개발되고 있는 CHP(cooling, heating and power generation)기술에 있어서 연료전지 혹은 마이크로터빈발전 기술은 기술의 정의에서 나온바와 같이 전력생산과 더불어 난방 및 냉방운전을 통하여 에너지이용 효율을 높이는 기술이다. CHP기술에 있어서 난방의 경우에는 발전과정에서 발생하는 열을 직접 이용할 수 있으나, 냉방의 경우에는 열구동 방식의 냉동기술이 접목되어야 한다. 하지만 현재 기술개발은 발전기 등의 개발에 초점이 맞추어져 있으며, 열이용 부에 대하여는 큰 노력을 기울이고 있지 않은 실정이다. CHP시스템에서 발생하는 열을 이용하여 냉방과 난방을 하기 위한 열구동 방식의 냉동 기술은 흡수식과 흡착식 냉동기를 이용하는 방법이 개발되어 있으며, 최근에는 에너지의 효율적인 이용의 관점에서 다시 관심이 증대되고 있는 기술 중의 하나이다.

CHP기술

국내에서 건물공조에 소비되는 에너지는 막대한 양이며, 국가에너지 수급에 큰 영향을 미친다. 이러한 건물공조에 사용되는 에너지는 대형발전소에서 화석연료의 연소열을 이용하여 발전되는 전력을 사용하는데, 발전소의 전력생산은 효율이 좋지 않아서

연소열의 대부분은 열의 형태로 나타나며, 생산된 전력은 전력계통선을 통하여 공장이나 가정으로 송전된다. 발전과정에서 발생한 열은 장거리 이송이 어렵기 때문에 이용효율이 대단히 낮으며, 대부분은 냉각과정을 거쳐 대기중으로 방출된다. 뿐만 아니라 화석연료의 연소과정에서 대규모의 환경오염물질을 배출한다.

건물공조의 개념에서 살펴보면 건물에서 운전되는 대부분의 설비는 전력을 동력으로 사용하고 있으나, 실제적으로 건물공조를 위하여 필요한 에너지는 전기에너지의 형태가 아닌 열에너지의 형태이다. 따라서 건물공조를 위한 열에너지를 발전소에서 전력으로 에너지를 변환하는 과정을 거치지 않고 직접 화석연료의 연소에 의한 열에너지의 형태로 이용하



[그림 1] CHP 시스템의 개략도



가 위한 기술개발이 꾸준히 이루어 졌으며, 최근에는 소형열병합 발전기술인 CHP(cooling, heating and power generation)기술을 이용한 설비가 급속히 시장에 보급되고 있다. 2001년도에 Finland의 경우에 약 40%의 전기를 CHP기술을 이용하여 생산하고 있다는 것은 이러한 기술이 향후 국가 에너지수급 체계에 큰 근간을 이룰 수 있음을 보여주는 고무할 만한 성장이다.

CHP기술은 발전소를 개별건물에 설치하는 방식으로 건물공조의 관점에서 살펴보면 발전과정에서 배기가스 혹은 재킷냉각열량으로 버려지는 폐열을 냉방과 난방에 직접 이용할 수 있으므로 에너지 이용효율이 대단히 높은 기술이라고 할 수 있다. 일반적으로 CHP시스템의 효율은 약 85~90%인 반면에 일반 발전기의 효율은 40~45%에 그치고 있다고 알려져 있다.

건물공조용 CHP기술

CHP기술에 있어서 적용가능한 발전기는 표 1에 나타낸 바와 같이 Stirling엔진, 내연기관, 마이크로터빈 및 연료전지 등이 이용될 수 있다. 이중에서 소형의 경우에는 연료전지나 Stirling엔진이 적당하며,

건물 공조용으로 적합한 발전기술은 100~200 kW용량의 마이크로 터빈을 사용하는 것이다.

현재에 시중에서 양산되어 판매되고 있는 마이크로터빈은 200 kW 이하의 소형의 고속터빈으로써, 원심압축기와 터빈 및 교류발전기 등으로 구성되어 있으며, 고속의 교류발전기는 터빈에 직결되어 있어 기존에 사용하던 기어박스 등의 동력전달부분이 생략되어 효율이 매우 높다(표 2참조).

건물공조용 CHP기술의 고려사항

CHP시스템을 건물에 적용하기 위하여 가장 크게 고려하여야 할 부분은 건물의 전력부하와 열부하이다. 왜냐하면 시스템의 가동 중에 전력생산과 열생산량을 제어할 수 없기 때문이다. 또한 CHP시스템의 출구유체의 온도가 건물공조에 적합한 온도이어야 한다. 건물난방의 관점에서 상난방의 경우에는 40℃ 정도의 온도가 필요하며 복사난방을 위해서는 80℃ 수준의 온도가 적당한 것으로 알려져 있다. 따라서 약 100℃ 정도의 출구온도는 건물공조에 적당한 온도로 볼 수 있다. 문헌상에 살펴보면 건물공조에 사용되기 위해서는 다음과 같은 부분에 검토가 필요하다고 하고 있다.

<표 1> CHP 시스템 발전기술분류

	내연기관	소형터빈	Stirling엔진	연료전지
발전량(kW)	10 ~ 200	25 ~ 250	2 ~ 50	2 ~ 200
발전효율(%)	25 ~ 45	25 ~ 30	15 ~ 35	40
냉각수 출구온도(℃)	85 ~ 100	85 ~ 100	60 ~ 80	60 ~ 80
연료	LNG, Biogas, 디젤, 가솔린, 알콜	LNG, biogas, 디젤, 가솔린, 알콜	LNG, biogas, LPG, 액체 혹은 고체연료	수소, 메탄올

<표 2> 마이크로 터빈의 제조업체(200 kW 이하)

제조사	용량범위(kWe)
Capstone Turbine Corporation	30, 60
Elliot Energy System Inc.	80
Turbec AB	100
Bowman Power Ltd.	50, 80
Ingersoll-Rand Energy Systems	70

- 효율
- 기술의 life cycle
- 건물에 적용기술을 설치하기 위한 공간
- 배기오염물질
- 제어의 용이성
- 단기적인 연료의 수급
- 소음
- 가격

흡수식 냉동기술

마이크로터빈과 같이 사용할 수 있는 열구동 냉동 시스템 중에서 현재 상용화되어 있고 가장 널리 사용할 수 있는 시스템이 흡수식 냉동기이다. 흡수식 냉동기는 가스터빈의 입구공기의 온도를 감소시켜 터빈의 효율을 증가시킬 수도 있으며, 하절기에는 냉방부하를 담당함으로써 CHP시스템에 가장 적합한 기술로 볼 수 있다. 본 고에서는 흡수식 냉동기술은 널리 알려져 있고 현재 상용화되어 많이 이용되고 있으므로 자세한 검토를 생략하였다.

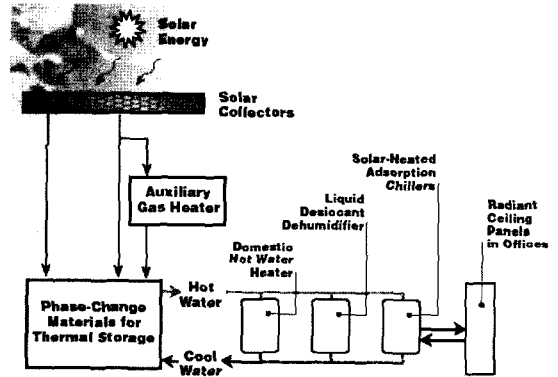
흡착식 냉동기술

흡착식 열펌프 혹은 냉동기는 첫째 소음이 없다는 것이 장점이나, 이것은 CHP시스템의 일부인 냉열설비라는 관점에서는 발전장치의 소음에 묻히기 때문에 장점으로 부각하기에는 다소 어려운 점이 있다.

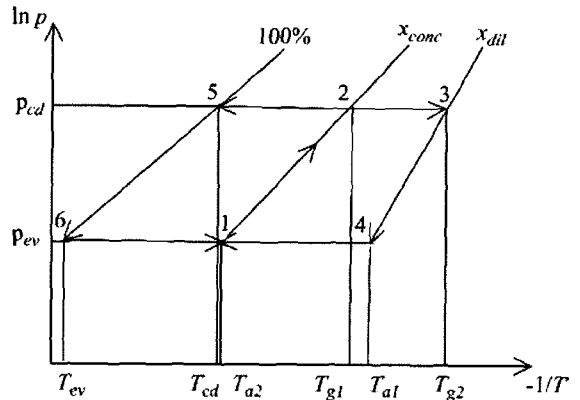
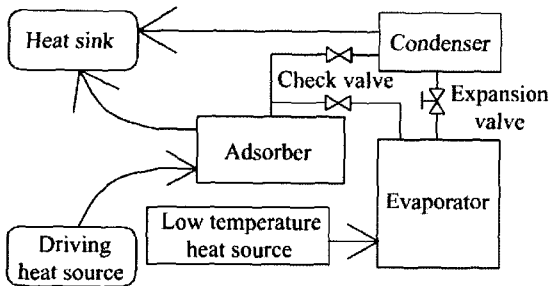
하지만 흡착식 냉동기는 앞서 언급한 바와 같이 흡수식과 함께 열구동방식의 냉동시스템이라는 큰 장점을 가지고 있다.

흡착식이 처음 알려진 것은 1848년 Faraday에 의해서이며, 1920년 Plank 등에 의하여 상업화 되었지만 증기압축식 냉동기술의 발달로 관심을 끌지 못하다가 1970년대 석유판동에 따라 태양열의 이용 및 폐열이용 등의 미활용에너지를 이용한 흡착식 냉동기술이 잠시 각광을 받았으나 그 응용 예는 미미하였다(그림 2).

흡착식 기술은 증 최근에는 CHP등의 소형 개별 열병합발전 등에서 열이용을 위한 방법으로 그 중요성이 점차로 커지고 있는 냉동기술 중의 하나이다. 흡착식 냉동기는 흡수식 냉동기는 이용하기 어려운 온



[그림 2] 태양열 이용 흡착식 냉동기



[그림 3] 기본적인 사이클의 개략도와 Clapeyron diagram



도대의 열을 이용하여 냉동효과를 가져올 수 있기에 CHP시스템에서도 우수한 경쟁력을 가지고 있다고 볼 수 있다.

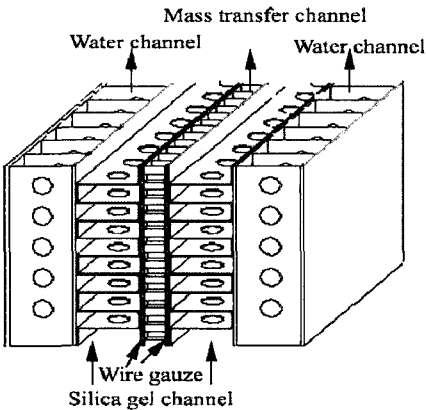
흡착식 냉동사이클

기본적으로 시스템은 흡수액이 충전되어 있는 흡착기와 배관으로 연결되어 상황에 따라서 그 역할이 변경되는 응축기 및 증발기로 구성되어 있다. 작동 유체는 흡착기와 응축기 혹은 증발기로 이동하며, 체크밸브에 의하여 제어된다. 이 세 개의 요소기기는 외부의 열원 혹은 열 수요부와 연결되어 있다(그림 3). 사이클의 초기에 흡착기의 온도는 최저온도인 T_{a2} 의 1점에서 압력은 증발압력에서 운전된다. 흡착기가 가열되기 시작하면 흡착기의 온도가 T_{g1} 으로 상승하고 압력은 응축압력으로 상승하여 2점에 도달한다. 이때부터 체크밸브의 개폐에 의하여 응축압력에서 시작되어 탈착된 증기는 응축기에서 응축되고 팽창밸브를 통과하여 증발기로 이동한다. 흡착기의 온도가 가열에 의하여 계속 상승하여 3점인 T_{g2} 의 온도로 최대가 된다. 증발기에서 냉각과정이 시작되면 흡착기와 응축기 사이의 밸브가 닫히며, 흡착기 베드의 온도는 냉각수에 의하여 급격하게 감소하며, 압력은 증발압력인 P_{ev} 로 감소한다. 이때 흡착기의 압력이 증발압력보다 낮아지면 체크밸브가 열려서 증발기에서 증발한 작동유체가 흡착기에 흡착되며, 온도가 초기 사이클 시작온도까지 떨어지면 한 사이클이 끝난다.

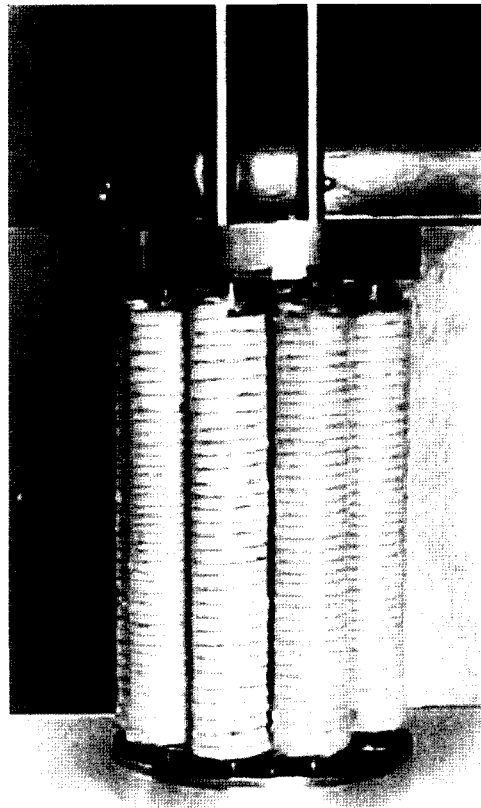
일반적으로 흡착식 냉동기에 사용되는 사이클은 위와 같은 3개의 기본요소에 추가적으로 하나의 흡착기를 장착하여 증발과정을 연속적으로 얻는 방법으로 볼 수 있다.

흡착식 냉동사이클의 효율향상

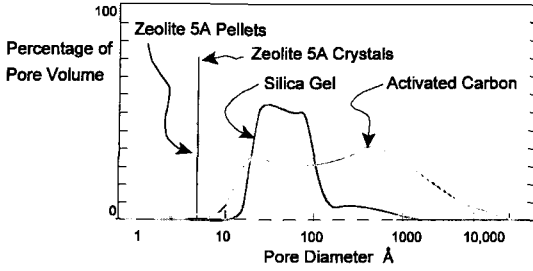
흡착식 냉동기는 모든 요소기기가 흡착기를 제외하고는 일반적인 냉동사이클과 동일하기 때문에 흡착식 냉동기의 효율향상 방법은 흡착기의 효율향상으로 귀결된다. 흡착기의 효율향상방법은 1) 흡착재의 크기와 첨가물질 등의 재료개선을 통한 흡착용량이 증대(그림 4), 2) 흡착기의 표면처리를 통한 열전달 향상(그림 5), 3) 특정한 결합재(다공성 금속, 금속 foam, expanded graphite 등)를 이용한 복합체의 구성을 통하여 열전도를 향상하는 기술로 대별할 수 있다.



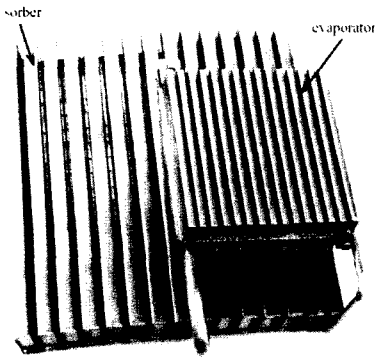
[그림 4] 흡착용량 증대를 위한 구조 예



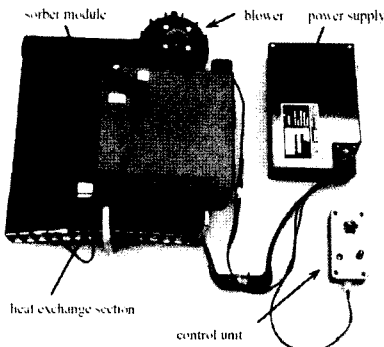
[그림 5] 지올라이트로 코팅된 흰-티타늄 열교환기



[그림 6] 흡착재의 종류에 따른 공극크기와 공극율



(a) 열교환기와 흡착기 모듈



(b) 시스템의 결합형태

[그림 7] 흡착식 원리를 이용한 항공용 이동식 에어컨

흡수재와 냉매의 선택

적절한 흡착재와 냉매의 선택은 시스템의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 부분이다. 흡착재는 다공성 물질로 분자크기의 냉매를 포집할 수 있어야 하고 (그림 6), 작은 온도범위에서 큰 농도변화를 가질 수 있어야 하며, 수천 번의 사이클을 반복할 수 있어야 하고, 낮은 가격 및 높은 열전달 특성 등을 가지고 있어야 한다. 현재 상용화 되어 이용할 수 있는 흡착재와 냉매의 조합으로는 지올라이트-물, 유기 지올라이트-물, 실리카겔-물, 소금-암모니아, 황성탄-메탄올, 금속-수소(metal hydrides) 등을 들 수 있으며, 실리카겔-물, 황성탄-암모니아, 지올라이트-물과 염화칼슘-암모니아의 조합이 태양열 혹은 폐열이용 흡착식 냉동기의 흡수재와 냉매조합으로 널리 이용되고 있다.

맺음말

흡착식 냉동기술은 일반적인 증기압축식 냉동기술 및 흡수식 냉동기술과 경쟁할 수 있는 가능성을 가지고 있는 기술이나, 아직까지는 상용으로 이용할 수 있는 제품이 부족한 실정으로 효율향상과 제품가격의 저감을 위한 노력을 기울여야 할 분야이다.

흡착식 냉동기술은 최근의 CHP기술의 보급·확대에 힘입어 열구동 냉동기의 보급이 절실한 실정에서 흡수식 냉동기가 담당하기 어려운 온도대의 열원을 이용할 수 있는 기술로써 그 중요성이 있다. 또한 그림 7에 나타난 바와 같이 항공기 조종사용의 특수한 목적으로 제작되는 이동식 에어컨의 경우에도 축전지 등의 전원 혹은 소형연소기 등을 이용한 흡착식 기술을 이용할 수 있는 등 흡착식 기술의 발전 가능성은 매우 높다 볼 수 있다. 향후 증기압축식 냉동기나 흡수식 냉동기에 경쟁하기 위해서는 아직도 개발하여야 할 기술과 분야가 무궁무진하므로 많은 연구자들의 관심과 참여가 기대되는 분야이다. ㉔