

# 신재생에너지(태양열) 시스템의 저온분야 적용 방안

■ 서 정 세 / 경상대학교 기계항공공학부, jssuh@gsnu.ac.kr

## 서론

기존의 석유 등 부존 에너지 자원이 부족한 우리나라에서 에너지 경제의 주요 지표를 살펴보면, 2000년도에 1차 에너지 수요는 165.6백만 톤(석유 환산)으로 연 평균 증가율이 5.9% 정도 되며, 석유의존도는 56.0%, 에너지의 전체 수입의존도는 96.1%로 증가되어 그만큼 수입에너지 비용에 의한 경제적 압박이 커지고 있는 반면, 태양열에너지를 포함한 대체에너지의 공급비중이 2006년까지 총 에너지 수요의 2% 수준으로 태양열에너지를 포함한 대체에너지의 기술개발 강화 및 이용보급의 촉진을 통한 대체에너지 공급비중을 향상시키려는 노력이 저조한 것으로 나타나고 있다. 그러나 제고 시에는 석유의존도 및 에너지 수입의존도가 1 ~ 3% 정도 낮아져 그만큼 경제적 압박이 줄게 됨으로써 태양열에너지의 개발이 더욱 절실한 것으로 판단된다.

태양에너지는 보조적인 자원 만으로서가 아니라 주 에너지자원으로 개발 가능성이 있으며, 기술면이나 자원 면에서 볼 때 이용효율만 증대된다면, 태양에너지는 우리가 현재 이용하는 에너지 수요의 상당한 부분을 충족할 수 있을 것으로 보인다. 그러나, 현재 국내에서의 태양에너지 이용도는 전체에너지 수요의 5% 미만에 불과하는 상당히 저조한 실적을 보이고 있다. 이는 기술개발의 미흡과 국가 정책적 지원의 미비로 인한 태양에너지 이용기기의 고가격에 따른 것으로, 기술개발의 촉진과 소비시장 확대에 의한 가격의 저렴화 및 정부의 정책 등을 통해 태양에너지의 이용을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다. 결국, 정부, 기업 및 민간이 얼마나 적극적으로 태양에너지 이용과 개발에 참여하는가에 달려 있으며, 장기적인 계획과 실행이 동반된다면, 어느 대체에너지 보다도 부가가치 창출력이 클 것으로 판단된다. 이러한 여건을 적극

활용하여 태양에너지 이용기술을 적극적으로 산업화한다면, 국가의 경제적 및 고용의 측면에서 태양에너지산업의 기술발전에 따른 많은 고용인원을 창출할 수 있을 것이고, 수출산업으로 발전시켜 나갈 수 있을 수 있을 것이다.

현재 태양에너지를 이용하는 측면에서 대표적인 기술로는 전력생산을 중심으로 하는 태양광분야와 태양열을 직접적으로 이용하는 태양열분야를 들 수 있다. 태양열 분야를 중심으로 살펴 보면은, 기술선진국을 중심으로 태양열 시스템을 다양한 분야에 이미 상용화를 하였거나, 활발히 개발을 진행 중에 있다. 반면, 개발도상국 및 기술 후진국에서는 이 분야에 대한 연구가 상당히 부진한 것으로 조사되고 있다. 미국은 1970년대에는 저온분야인 태양열집열기 및 온수급탕시스템과 자연형 시스템 개발에 주력하였으나 1980년대 이후에는 자연형 태양열건물과 중고온 분야에 연구투자하고 있는 실정이다. 태양열 집열기를 이용한 온수급탕시스템의 상용화는 업체주도로 진행중이며, 1989년부터 진행된 스트라우만 계획(strawman plan)에 따라 NREL, 위스콘신대, 아리조나대, 콜로라도대학이 참여하여 등급제를 위한 새로운 시험과 평가방법에 대한 ASHRAE 기준을 1994년에 제시하였다. 캐나다에서는 NRC 주도하에 태양열건물 및 요소개발에 주력하고 있으며, 특히 일사조절창의 개발과 더불어 표준화 및 성능평가에 IEA사업 등을 통한 적극적 연구활동을 수행중이며, 태양열시스템의 경우는 기후특성에 적합한 태양열 히트펌프와 집열기용 히트파이프 등을 Ottawa 대학과 NRC를 중심으로 활발히 수행에 있다. EU 및 유럽 각국에서는 EU의 신재생에너지 개발은 JOULE(Joint Opportunities for Unconventional or Long - Term Engeries)과 THERMIE 프로그램 중심으로 이루어지고 있다. JOULE 프로그램내에 활동중인 4개 단체중 READ(Renewable Engeries in Architecture



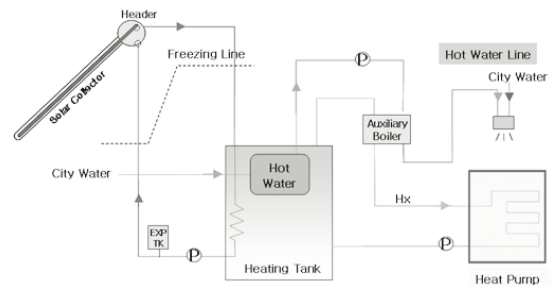
and Design)는 태양에너지 이용기기의 건축 및 산업부분 이용과 냉난방, 실내조명용 자연형태양 열 개념이용 등 순수 태양에너지 건물의 개발을 목적으로 활동 중이며, JOULE 프로그램의 주요대상 과제는 자연형 냉난방기술 이용이 목적인 PASCOOL과 자연형 냉방설계기법 개발 및 보급확산이 목적인 SOUNFO가 있다. 특히, 프랑스는 태양열온수기, 태양열난방, 자연형태양열주택 보급확대를 위한 특별한 정책과 기술개발에 주력하고 있으며, 태양열온수기는 설치업자가 계약시 성능을 보장해주는 제도(GRS)를 1988년이후 시행중이며 현재 이탈리아, 스페인, 포르투갈 등으로 확산 시행되고 있다. 태양열난방은 집열탱크 대신 PSD라는 국내 바닥난방과 흡사한 방식의 시스템개발 및 보급에 주력하고 있으며 자연형태 양열 건물분야는 고성능 단열재, 다기능 창재료, 투명 단열재, 집열벽의 재료 및 요소개발과 자동제어 및 통합설계 기술개발이 집중적으로 수행되고 있는 실정이다. 호주에서는 태양열온수기 분야는 주 수출분야로 발전되어 있으며 New South Wales 대학을 중심으로 태양열시스템의 장기성능평가 기술을 미국의 NREL, 위스콘신대와 같이 개발 중에 있다.

반면, 그동안 국내에서 태양열 집열기를 이용한 열시스템의 개발이 이루어지고는 있으나, 온수급탕용을 중심으로 개발 및 보급되어 오고 있는 실정이다. 현재 집열기는 '88년도 제1차 대체 에너지 기본계획이 수립된 이후로 정부출연 연구소와 제조업체가 주력하여 평판형 집열기를 중심으로 국산화해 판매중이며, 기능면에서 효율이 뛰어난 진공관형이나 히트파이프를 이용한 상변화형 집열기는 중요 부품을 수입 조립하여 보급하는 단계로 국산화 및 보급화가 일부 진행 중에 있는 실정이다. 태양열 시스템으로는 온수난방기를 중심으로 자연대류형, 상변화형이 상용화되어 가정용으로 보급되고 있으며, 대용량의 온수/난방시스템으로 시설하우스, 수영장, 모텔, 골프장 등에 적용하는 수준이며 여전히, 유럽 및 일본에 비해 국내의 태양열 온수/난방기기의 전체적 보급율이 미미한 수준이다. 동시에, 동절기 난방수요와 더불어 하절기 냉방수요도 산업의 발전과 생활수준의 향상으로 급속도로 증가하고 있는 실정이며, 전력수요의 최

대 peak점이 하절기에 나타난다는 점에서 국내적으로 에너지의 수급차원에서 대처방안이 긴요한 실정이다. 이를 극복하는 하나의 방안으로 하절기의 풍부한 열을 이용하여 냉방수요를 충당함으로써, 하절기 전력수요를 최대한 억제할 수 있을 것으로 보이며, 가장 유력한 방안이 태양열을 이용하는 냉방장치가 될 것으로 보인다. 따라서, 본 고에서는 태양열을 이용한 냉방방안에 대해 기술선진국 및 국내에서 이루어지고 있는 연구동향 및 보급화 동향을 살펴보고, 우리가 대처하여 개발할 수 있는 방안에 대해 알아보려 한다. 이러한 연구방향에 대해 에너지 절약 및 기존 화석연료의 대체와 더불어 환경적 측면에서도 국내산업의 발전으로 인한 CO<sub>2</sub> 등의 배출물 증가를 최대한 억제하기 위해서라도 태양에너지를 이용하는 열기기의 개발이 더욱 가속화 되어야 할 것으로 본다.

### 태양열이용 설비

태양열 집열시스템은 태양열 집열기로 입사된 태양에너지가 흑색으로 도장된 흡열판에 열에너지로 대부분 흡수되며, 흡수된 열에너지는 순환되는 열전달 매체에 전달되고 일부는 주위로 손실된다. 열전달 매체에 옮겨진 열에너지는 가용 집열량으로 저장되거나 열 부하에 직접 공급된다. 이러한 태양열 시스템은 크게 3개의 주된 부분 즉, 집열판과 저장탱크 그리고 이용부를 가지고 있으며, 집열판을 통해 태양으로부터 입사되는 열을 저장탱크에 축열하였다가 필요한 시기에 난방 또는 급탕에 이용함으로써, 상당한 에너지 절감을 실현할 수 있

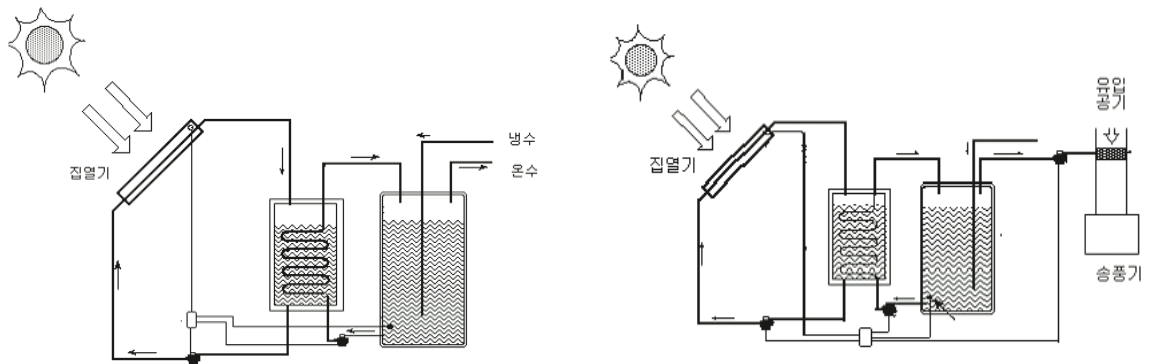


[그림 1] Solar system supplying heat to heat pump system

는 대표적인 대체에너지 장치이다.

이러한 태양열 이용 시스템에서 전체효율에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것이 태양열 집열기이며 따라서, 집열기의 효율을 극대화하는 것이 중요하다. 그러나, 우리나라의 대부분의 태양열 시스템은 항상 저온의 온수(40 ~ 60℃)를 요구하는 온수급탕 분야에 국한되어 개발되어 왔으며, 태양열의 활용도가 비교적 낮은 실정이다. 특히, 산업체의 공정열 분야 및 냉방설비분야에서의 에너지원을 직접 대체하기 위한 시도가 여전히 부족한 상태이다. 그러나, 최근 들어 집열효율의 향상으로 인해 유럽 등을 중심으로 태양에너지 시스템을 다양하게 응용하고자 하는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 태양열을 산업공정에서 쓰이는 공정열로 대체 이용하는 방법에는 크게 분류하여 태양에너지로부터 얻은 열을 직접공정에 공급하여 이용하는 공정열

수(process hot water) 시스템과 건조 및 탈수용으로 사용되는 공정열 공기(process hot air) 및 공정증기(process steam)시스템으로 구분되어진다. 산업공정열에 태양열 시스템을 적용하는데는 산업체에서 적극 호응할 수 있는 경제성 있는 시스템이 필요하며, 시스템 유지 관리가 간단하고 시스템의 신뢰성 및 기존 열발생 시스템과 병용 설치될 수 있어야 한다. 산업공정열을 사용 온도범위로 구분하면 저·중 및 고온 공정으로 나누고 있으며, 저온공정은 온도범위가 100℃ 이하로서 식품의 탈수, 콘크리트 벽돌의 양생, 식품용기(병 또는 캔 제품)의 세척용 온수 이용 및 염색 공정 등에 적용되며, 중온공정은 온도범위가 100 ~ 180℃로서 산업체에서 사용되는 저압의 증기 이용 공정으로 식품가공업, 섬유제조업, 제지 및 펄프공정의 건조를 위한 공정에 적용될 수 있다.



[그림 2] Schematic diagram of hot-water and air heating system with solar collector

<표 1> Classification of solar collector for operating temperature and utilized system

활용온도별	집열기 종류	이용분야	비고
60℃ 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연형 집열기</li> <li>공기식 집열기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물공간 난방</li> </ul>	
100℃ 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>평판형 집열기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>온수급탕</li> <li>농수산(건조, 난방)</li> </ul>	
300℃ 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>진공관형 집열기</li> <li>PTC형 집열기</li> <li>CPC형 집열기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물 및 농수산분야</li> <li>냉난방, 담수화</li> <li>산업공정열, 열발전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>진공관형 집열기(70 ~ 150℃)</li> <li>고압 고온용형 집열기</li> </ul>
300℃ 이상	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dish형 집열기</li> <li>Power Tower</li> <li>태양로</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>산업공정열, 열발전,</li> <li>우주용, 광촉매폐수처리</li> <li>광화학, 신물질 제조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고압 고온용형 집열기</li> </ul>



태양열을 효과적으로 이용하고 시스템 효율을 최대한으로 하기 위해서는 각 분야에 적합한 태양열 집열기를 적절히 적용하는 것이 무엇보다 중요하다고 하겠다. 태양열 집열기는 크게 평판형 집열기를 이용하는 집열기술과 진공관식 집열기(히이트 파이프 등)를 이용하는 집열 기술로 대별될 수 있다. 평판형 집열기를 이용한 집열기술은 그 역사가 상당히 긴 만큼 현재 널리 많이 보급 되어 있으며 물 혹은 공기를 직접 가열하던 부동액 등 열매체를 사용하는 집열기의 구조, 재질, 성능 및 제작 과정 등에 대하여 수 많은 연구 및 실용화 사례들이 체계적으로 잘 정리되어 있어 그 적용이 가장 용이하고 또한 risk가 거의 없는 집열기술이다. 평판형 집열기의 필수적인 구성품은 투명 덮개(transparent cover), 흡열판(absorber plate), 열전달 매체 도관(riser), 단열재(thermal insulation) 및 집열기틀(housing)로 이루어진다.

태양열의 이용분야별로 요구되는 온도범위와 현재 사용되는 집열기의 형식을 중심으로 표 1에 이를 정리하였다.

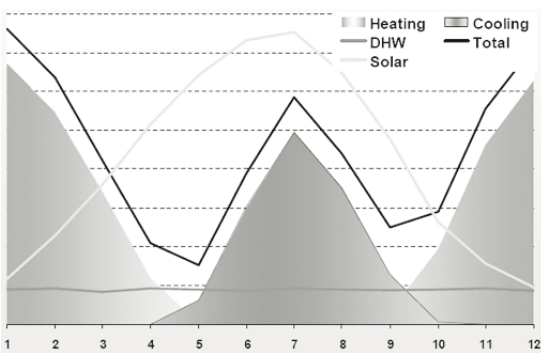
### 태양열을 이용한 냉방장치

연간 냉방에 필요한 에너지량은 난방에 필요한 에너지량에 미치지 못하는 못하지만, 매년 에어컨 등의 보급을 통하여 급격히 증가하고 있는 추세이다. 최근 우리나라에서는 경제성장에 따른 생활환경의 향상으로 인하여 각 가정에서는 에어컨의 보유가

급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 여름철 피크부하(peak load)의 급격한 증가에 따른 전력 예비율의 감소가 사회적 문제로 떠오르고 있다. 이의 해결 방안의 하나로 태양열을 이용한 냉방시스템의 개발은 많은 관심과 주목을 받고 있다. 특히, 태양열에너지의 특성상 공급량이 많은 하절기에 냉방 수요가 많다는 점과 하절기의 전기에너지를 이용한 기존의 냉방장치의 이용을 대체할 수 있다는 점, 겨울철에는 난방을 중심으로 여름에는 냉방을 중심으로 태양열을 효과적으로 이용함으로써 연중기간에 걸쳐 태양열을 골고루 이용할 수 있다는 점, 그리고 여름철 태양열을 냉방에 집중적으로 이용함으로써 태양열시스템의 잉여 열을 줄일 수 있다는 점으로 인해 태양열을 이용한 냉난방 겸용 시스템의 개발 및 이용이 절실한 실정이다.

태양열 이용 열구동 냉동시스템은 전기 등의 에너지원을 이용하는 압축식 냉방장치와는 달리 그 에너지원을 직접 열에너지를 이용함으로써, 여름철 냉방 전력피크 부하를 감소시킬 수 있으며, 비교적 저온(88℃)의 열에너지로 흡수체(LiBr-H<sub>2</sub>O)에서 냉매를 분리할 수 있는 냉동시스템을 구축할 수 있으며, 태양열 집열기의 이용하여 하절기 잉여 열원을 충분히 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 부가적으로 시스템의 소음 및 진동이 적으며, 추가비용을 들이지 않고 얻을 수 있는 환경친화적인 태양열 등을 이용할 수 있다는 점과 에너지를 아무런 대가없이 태양으로부터 무한정 에너지를 사용할 수 있다는 점, 그리고 흡수식 냉방장치가 압축식 냉방장치에 비하여 경제적이며, 화석에너지를 사용하지 않으므로 환경오염(CO<sub>2</sub>)을 줄일 수 있는 방향으로 가지고 있다. 태양열 냉방분야는 미국을 중심으로 일본 등 선진국에서 70년대 말부터 많은 연구가 수행되어 왔다. 태양열 냉방에는 크게 흡수식과 흡착식 두가지가 있다. 태양열 냉방의 원리는 냉장고와 같은데, 이는 가스 대신에 흡수식(또는 흡착식) 냉동기의 재생기 열원으로 90 ~ 100℃의 태양온수를 사용한다. 현재까지 태양열 냉방의 연구에 이용되고 있는 냉방 및 냉동시스템은 다음과 같다.

- ① LiBr-H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, LiCl-H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>-LiNO<sub>3</sub> 등을 이용한 흡수식 냉동시스템



[그림 3] Annual variation of heating-cooling load and solar energy

- ②  $\text{CaCl}_2\text{-NH}_3$ 와 같은 고체 흡수제를 이용한 냉동 시스템
- ③ Zeolite- $\text{H}_2\text{O}$ , Silicagel- $\text{H}_2\text{O}$ , Silicagel-Methanol등과 같은 고체 흡착제를 이용한 냉동시스템
- ④ Rankine Engine을 이용한 증기압축식 냉동시스템
- ⑤ 태양열 Desiccant Cooling시스템

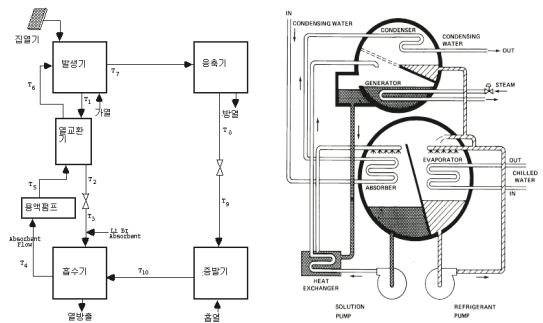
이들 원리를 이용한 냉방시스템 중에서 주로 태양열 냉방 연구에 가장 많이 시도된 방식은 흡수식 냉방시스템이다. 흡수식은 보통의 에어컨과 비슷한 방식이지만 다른 점이라면, 에어컨에서는 냉매를 콤프레서를 이용해서 기계적으로 압축했다가 팽창을 통해 증발시켜서 온도를 떨어뜨리지만, 흡수식 냉방장치에는 이러한 압축장치가 없다는 것이다. 냉방장치에는 대부분 냉매가 있는데, 흡수식에서는 보통 물-브롬화리튬 혼합용액 속의 물 또는 암모니아-물 혼합용액 속의 암모니아를 냉매로 사용한다. 물-브롬화리튬 용액을 사용하는 경우 물은 태양열에 의해 용액으로부터 빠져나와 증발된 다음 응축기로 들어가고 여기서  $27^\circ\text{C}$  정도에서 응축된다. 이 물은 밸브를 통해서 거의 진공으로 유지되는 장치 속으로 전달되는데, 이곳에서 곧바로 증발하여 수증기가 된다. 진공 속에서는 물이 아주 낮은 온도에서도 끓기 때문이다. 이때 물이 주변의 온도를 빼앗아가서 온도가  $7^\circ\text{C}$  정도로 낮아진다. 흡수식 에어컨은 이렇게 해서 낮아진 온도를 이용해서 냉방을 하는 것이다. 냉방을 유지하려면 물을 계속 증발시키면서 온도를 낮게 유지해야 한다. 이는 증발한 수증기를 계속 제거해야만 가능한데, 브롬화리튬이 수증기를 잘 빨아들이는 성질이 있기 때문에 바로 이러한 수증기 제거 기능을 한다. 그 후 물과 브롬화리튬 혼합용액에서 태양열에 의해 물이 증발하여 응축되고 진공 속에서 증발하는 과정이 되풀이 됨으로써 냉방이 연속적으로 이루어진다.

흡수식 냉방장치는 한국에서는 최근에 일부 건축물에 적용되어오고 있지만, 유럽을 중심으로 외국에서는 상당히 많이 보급되고 있는 실정이며, 최근에 흡수식냉동기의 보급현황은 표 2와 같다.

흡착식 냉방장치는 개발은 되어 있지만 아직 상

용화가 많이 되지 않고 있다. 그러나 흡착식은 흡수식보다 작은 규모로 제작할 수 있다는 장점 때문에 앞으로 대량으로 생산만 되면은 널리 보급될 가능성이 흡수식보다 더 크다. 흡착식은 흡수식과 달리 냉매를 이용하지 않고 고체 흡착제를 이용한다. 흡착제는 공기 중의 수분을 빨아들이는 성질을 가진 것으로 보통 실리카겔을 이용한다. 여름철에 수분을 함유한 공기가 실리카겔을 통과하면 수분이 제거되면서 약간 온도가 올라가고 건조해진다. 이 공기에 가는 물방울을 분무해주면 물방울이 증발하면서 온도가 떨어지는데, 흡착식 냉방장치에서는 이 시원한 공기를 방안으로 투입해서 냉방을 한다. 실리카겔은 수분을 많이 빨아들이면 포화상태가 되어 흡착력이 떨어지기 때문에, 흡착력이 유지되도록 해주지 않으면 냉방기능은 얼마 안가서 사라지고 만다. 흡착력을 유지하려면 포화상태의 실리카겔에 뜨거운 열기를 불어넣어서 계속 재생해 주어야 한다. 이 재생역할을 태양열 집열관이 담당한다. 집열관 속에서 뜨거워진 공기를 실리카겔에 통과시킴으로써 실리카겔이 흡착력을 계속 유지하도록 하는 것이다.

흡착식 냉방은 냉장으로 확대될 수 있다. 흡착제로 수분흡착력이 좀더 강력한 제올라이트를 사용하고, 제올라이트를 재생하기 위해서는 높은 온도가 필요하기 때문에 파라볼 태양조리기를 이용하는 것이다. 그러면 소형 냉장고의 온도를  $4^\circ\text{C}$ 로 유지할 수 있게 된다. 소형 태양열 냉장고는 전기가 공급되지 않는 아프리카에서 유용하게 쓰일 수 있다. 특히 병원에서 의약품을 저온으로 저장하는 데



[그림 4] Configuration of absorption chiller



<표 2> Commercial absorption chillers

Manufacturer	Chilling power, type*	Driving temperature**(°C)	Typical operation conditions, rated COP (if available)
Broad Air	20 kW Single-and double-effect	No data	No data
Colibri/Stork	100 kW NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O Single-effect	>90	Example: T <sub>cooling water</sub> 27/32°C, T <sub>chilled water</sub> <2°C : COP = 0.64
Coolingtec	70 kW R-134a/organic materials single-effect	70-145	Example: T <sub>drive</sub> , T <sub>cooling water</sub> 27°C, T <sub>chilled water</sub> 2°C : COP ~ 0.55
Dunham-Bush	327 kW single-effect	Steam 112	Chilled water 51 m <sup>3</sup> /h, cooling water 105 m <sup>3</sup> /h, steam 777 kg/h
EAW	15 kW single-effect	75-95	Example: T <sub>drive</sub> 85°C, T <sub>cooling water</sub> 30°C, T <sub>chilled water</sub> 12°C : COP = 0.7, hot/ chilled water 2 m <sup>3</sup> /h, cooling water 5 m <sup>3</sup> /h
Sanyo	105 kW single-effect	85-95	Hot water 26.5 m <sup>3</sup> /h, chilled water 8°C, cooling water 29.4°C
Trane	380 kW single-effect	Steam 171, hot water 132	Chilled water 59 m <sup>3</sup> /h, cooling water 92 m <sup>3</sup> /h, steam 990 kg/h: COP = 0.63
Yazaki	35 kW single-effect	80-100	Example: T <sub>drive</sub> 87°C, T <sub>cooling water</sub> 30°C, T <sub>chilled water</sub> 9°C : COP = 0.7, hot water 8.6 m <sup>3</sup> /h, chilled water 6 m <sup>3</sup> /h, cooling water 14.6 m <sup>3</sup> /h
York	420 kW single-effect	>116	Chilled water 65 m <sup>3</sup> /h, cooling water 98 m <sup>3</sup> /h

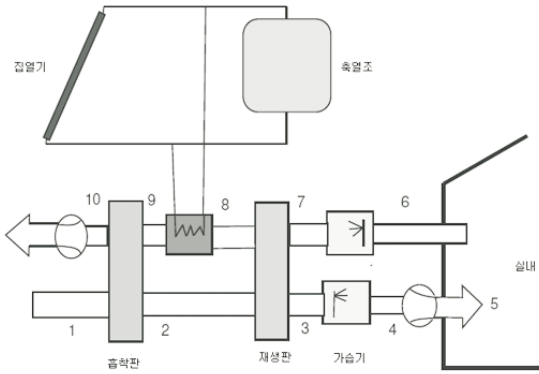
\* all water / lithium-bromide unless otherwise indicated

\*\* driving source : water, unless otherwise indicated

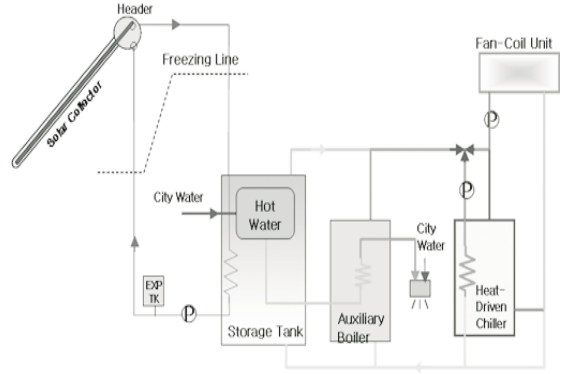
크게 기여할 수 있다. 제올라이트를 이용한 냉장고는 다음과 같은 방식에 따라 작동된다. 먼저 냉장고 뚜껑에 약간의 물을 넣고 수동 진공펌프를 이용해서 냉장고 뚜껑을 진공으로 만든다. 그후 여기에 제올라이트 용기를 연결한다. 그러면 진공 속에서 끓어오르는 수증기가 제올라이트에 흡착되는 일이 제올라이트가 포화될 때까지 계속된다. 이렇게 물의 기화가 일어나는 과정 동안 뚜껑 속의 온도는 0°C 정도로 유지되고 그 아래 냉장실의 온도는 4°C로 유지된다. 제올라이트가 포화되면 새로운 제올라이트 용기를 뚜껑에 연결시키고, 포화된 제올라이트가 들어있는 용기는 파라볼 태양조리기로 250°C의 온도에서 재생한다. 이러한 냉장고는 이미 실험용이 개발되어서 보급되고 있다. 흡착식 냉동기에 대한 최근의 보급현황은 표 3과 같다.

한편, 위에서 언급하고 있는 열구동 냉방기의 가동을 위해 태양열을 활용할 수 있으며, 최근에 태양열 집열기술의 발전과 냉동장치의 발전으로 열구동 냉방장치에서 요구하는 열적조건을 충족할 수 있는 태양열 시스템의 구성이 한층 용이하여지

라이트 용기를 뚜껑에 연결시키고, 포화된 제올라이트가 들어있는 용기는 파라볼 태양조리기로 250°C의 온도에서 재생한다. 이러한 냉장고는 이미 실험용이 개발되어서 보급되고 있다. 흡착식 냉동기에 대한 최근의 보급현황은 표 3과 같다.



[그림 5] Configuration of adsorption chiller with solar system



[그림 6] Configuration of combined heating and cooling system with solar collector

<표 3> Manufacturers for adsorption chiller

Manufacturer	Chilling power	Driving temperature(°C)	Design conditions and rated COP
Mayekawa	70 kW water/silica gel	55-90	$T_{drive} 75^{\circ}C, T_{cooling\ water} 29^{\circ}C, T_{chilled\ water} 9^{\circ}C$ : COP=0.60
Nishiyodo	67 kW water/silica gel	55-95	$T_{drive} 90^{\circ}C, T_{cooling\ water} 29^{\circ}C, T_{chilled\ water} 7^{\circ}C$ : COP=0.65

고 있으며, 이러한 경향이 더욱 가속될 것으로 생각된다. 열구동 냉방시스템에 보조열원 또는 주열원으로 공급될 수 있는 태양열 시스템은 크게 진공관식 히트파이프형 태양열 집열기, 열구동 냉동기, 냉각탑, 축열탱크, 순환펌프, 웬코일 유니트, 보조보일러 및 자동제어 등으로 구성되어 있으며, 진공관형 태양열 집열기를 통하여 획득된 열은 열교환기를 통하여 태양열 축열조에 저장하고, 태양열 축열조에 저장된 온수(88°C 이상)를 흡수식 냉동기 구동 열원으로 공급하여 냉동기를 구동하고, 여기서 생산된 냉수(7°C)를 순환펌프를 이용하여 FCU등으로 공급하면서 냉방을 한다.

### 태양열 구동 냉방장치의 특성비교

태양열 집열기를 이용한 냉각시스템을 분류하여 정리하면은 표 4와 같다. 밀폐시스템은 냉각된 물을 공급하거나, 각 공간으로 Network로 연결된 수공급장치에서 FCU등을 이용하여 냉각된 물을 조화공간에 적절히 공급하는 것을 주목적으로 하는

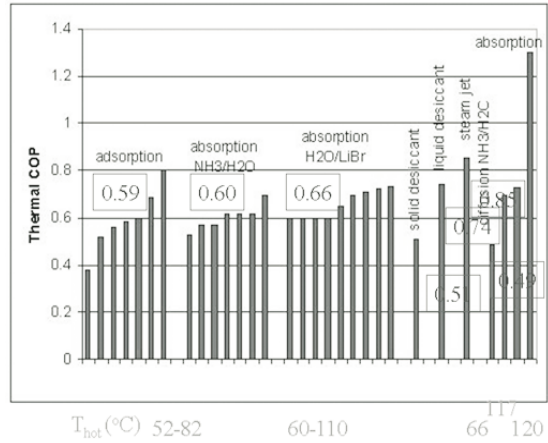
경우에 많이 적용되며, 주로 흡수식 냉동기에 많이 적용된다. 최근에는 흡착식에 대해서도 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있으며, 일부 국가에서 이러한 시스템을 현장에 적용하고 있는 실정이다. 반면, 개방시스템은 냉각 제습된 공기를 직접 조화공간내에 공급하는 데 많이 이용되고 있으며, 냉각공기를 직접 조화공간에 공급하기 때문에 냉매는 항상 물을 사용하는 특징을 가지고 있다. 대부분의 시스템은 제습방식을 채택하고 있으며, 고체상태의 제습제를 충전한 회전통을 이용하여 재생방식으로 공기를 냉각하는 시스템으로 구성된다.

현재 많이 사용되고 있는 태양열로 구동되는 냉각시스템의 작동온도 및 형식에 따른 COP의 비교를 아래의 그림에 정리하였다. 태양열 집열기의 온도가 낮은 경우에는 비교적 낮은 온도에서 작동되는 흡착식 냉동시스템이 적합하며, 작동온도가 중온(60 ~ 110°C)의 경우에는 흡수식 냉동기가 적합하다. 현재의 기술에서는 열구동 냉동시스템의 COP가 전반적으로 낮으며, 현재 가장 널리 사용되

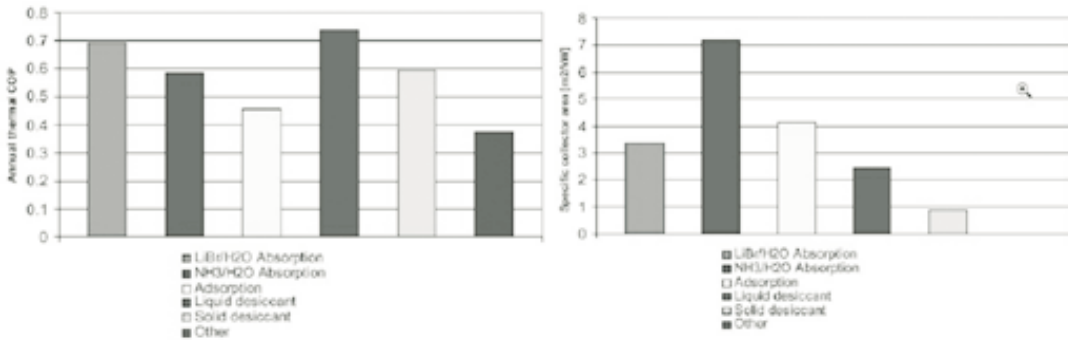


고 있는 흡수식 냉동기의 경우 LiBr-H<sub>2</sub>O를 사용하였을 때 COP가 0.66 정도로 다른 시스템에 비해 상대적으로 높아 다른 시스템에 비해 유리한 것으로 판단된다.

태양열로 구동되는 냉각시스템별 연중 평균 COP와 시스템을 작동하는 데 요구되는 냉각능력당 집열기의 소요면적으로 비교하여 보면은 여전히 LiBr-H<sub>2</sub>O 흡수식 냉동기가 다른 시스템에 비해 COP가 높으며, 유리한 것으로 나타나고 있다. 평균적으로는 냉각능력 1 kW당 3.6 m<sup>2</sup>의 집열기 면적이 소요된다. 동시에 시스템 구동에 요구되는 집열기의 소요면적도 LiBr-H<sub>2</sub>O 흡수식 냉동기가 다른 시스템에 비해 상대적으로 적으며, 시스템 설치



[그림 7] Thermal COP of heat-driven cooling system



[그림 8] Annual thermal COP and Solar collector area of heat-driven chiller

<표 4> Comparison of closed cycle and open cycle

형식	밀폐식		개방식	
냉매순환방식	밀폐순환사이클		냉매와 공기의 접촉	
기본원리	냉각수 발생		공기의제습 및 증발 냉각	
냉매 상태	고체	액체	고체	액체
냉각물질(냉매/흡착제)	물-실리카겔 암모니아-소금	물-리튬브로마이드 암모니아-물	물-실리카겔 물-염화리튬	물-염화칼슘 물-염화리튬
상용 기술	흡수식 냉동장치	흡수식 냉동장치	흡착식 냉각장치	
상용 냉각능력	50 ~ 430 kW	15 kW ~ 5 MW	20-350 kW(모듈당)	
COP	0.3 ~ 0.7	0.6 ~ 0.75(1단) < 1.2(2단)	0.5- > 1	> 1
작동온도	60 ~ 95℃	80 ~ 110℃(1단) 130 ~ 160℃(2단)	45 ~ 95℃	45 ~ 70℃
적용 집열기	진공관식, 평판식	진공관식	평판식, 공기식	평판식, 공기식



<표 5> Domestic type change of heat-driven chiller system

연도별	냉난방시스템	특징적 변화
1980년대 ~ 2001년 이전	• 중앙 공급식 흡수식 냉난방(대형)	• 전력피크저하-의무화 • 한 대로 냉난방 • 관리불편 • 실별제어불가
2005년 이전	• 개별분산형 GHP공조 (대형화)	• 소모품비 부담 증가 • 가스요금 인상
2007년 이후	• 흡수식 냉난방 • 저온수 흡수식 냉동기(태양열/지역난방)	• 실별제어 가능 • 기계실/관리자 불필요

에 따른 소요공간 및 집열기의 설치대수를 줄일 수 있어 설치하는 데 유리할 것으로 판단된다. 현재 유럽을 중심으로 보급되고 있는 태양열 구동 냉방 시스템에 적용되는 집열기의 유형은 평판형이 63%, 진공관이 21%, 집광형이 16% 정도로 사용되고 있다.

국내에서의 열구동 냉동기의 설치 및 보급 경향을 보려면 기술의 발전으로 대형에서 소형으로 급속히 바뀌어 가는 추세이며, 최근에 들어서는 친환경적인 태양열을 이용한 흡수식 냉동시스템의 개발 및 보급이 이루어지고 있으며, 중앙방식의 시스템에서 개별 방식으로 바뀌는 경향을 띠고 있다.

### 맺은말

에너지의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라에서 신재생에너지의 한 분야인 태양열 이용 설비의 개발 및 보급이 필수적이다. 그동안의 많은 연구에도 불구하고, 태양열의 이용은 상당히 제한적으로 응용되고 보급화 되어 온 면이 없지 않다. 특히, 보급화 기술의 부족으로 그 동안 태양열 이용기술의 실용화는 평판형 태양열 집열기를 이용한 가정용 태양열 온수기를 중심으로 보급이 이루어져 왔다. 평판형 태양열 집열기는 비교적 낮은 온도(60℃ 이하)가 요구되는 온수 급탕 및 난방 보조 열원으로

로 높은 효율을 나타내는 집열기이지만, 70℃ 이상의 열원을 요구하는 건물 난방 및 냉방용으로의 이용에는 효율적이지 못하였다. 최근에 이르러 집열 기술 및 보급화기술의 발달로 중고온 분야이면서 보급 잠재력이 큰 건물 냉난방, 산업공정열 등의 새로운 분야에 대한 이용기술의 개발이 이루어지고, 적용되는 사례가 늘고 있다. 특히, 태양열 에너지의 특성상 공급량이 많은 하절기에 잉여 열을 효율적으로 사용할 수 있고, 전력의 Peak부하를 해소할 수 있다는 측면에서 냉방시스템으로의 적용은 상당히 매력적인 응용분야이며, 최근에 이분야에 적용하려는 연구가 유럽을 중심으로 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 동시에, 이전의 몇가지 실패사례가 있기는 하지만, 현재의 국내 수준으로 보아 태양열을 이용하는 냉동분야는 현재의 기술 및 비용적 측면에서 상당히 현실적이고, 보급 가능성이 높은 것으로 파악되고 있다. 따라서, 이 분야에 대한 많은 활용기술 개발이 이루어진다면, 상당히 많은 보급 제품개발이 이루어질 것으로 기대되며, 이분야의 연구 및 생산관련 분야의 관계자들의 많은 관심이 형성되기를 기대하여 본다. 더불어, 태양열을 활용한 냉방장치 응용으로의 연구가 국가적 에너지 절약 및 친환경 저탄소 녹색성장의 일익을 담당하기를 고대하여 본다. 