

태양열 구동 흡수식 냉방 시스템 실증

곽 희 열

한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부

요 약

태양열시스템은 하절기에 급탕과 난방 부하가 적거나, 거의 없어 시스템의 과열 문제가 야기 될 수 있다. 이를 해결하는 방안 중에 하나로 흡수식 냉방시스템을 이용하여 하절기 잉여열원을 활용하여 냉방하는 방법이 대두되고 있다. 태양열 냉방시스템은 전기에너지를 대체하는 효과 뿐 아니라 태양열 연간 이용 효율 극대화에도 크게 기여 할 수 있다.

본 고에서는 국내 기술로 최초로 개발 실용화된 중온용 단일 진공관형 태양열 집열기와 1중 효율 흡수식 냉방기를 이용하여 실증연구를 계획하였다. 태양열 냉방 실증을 위하여 단일 진공관형 태양열 집열기 집열면적 200m², 축열조(태양열, 급탕, 냉수), 10RT급 냉방기, 냉각탑, 보조 보일러, 원격 제어 및 모니터링 등이 계획되었다.

실증시험 중간 결과 태양열 냉방시스템은 하절기 맑은 날 하루 동안 약 5 - 6 시간 안정적으로 가동 되었으며, 앞으로 온수급탕, 난방 시험을 거쳐 시스템 성능 및 경제성 평가를 통하여 유용성, 안정성 및 신뢰성이 검증 될 계획이다.

1. 서 론

태양열 이용(구동)냉방기술은 기존의 화석에너지 소비를 줄임으로써 소비자의 경제적 이익과 함께 국가적 무역수지 개선에 도움이 되며, 청정에너지 사용 그리고 친환경 냉매를 사용함으로써 환경문제에 기여할 수 있다. 또한 하절기 냉방기 사용으로 인한 전력피크 부하완화와 신재생에너지 활용기술 이용효율 확대도 기대할 수 있다.

따라서 태양열 냉방 기술은 대부분 태양열시스템의 경우 하절기에 온수급탕 및 난방 부하가 적거나, 거의 없기 때문에 태양열시스템의 하절기 과열문제 해소와 더불어 잉여열원으로 냉방이 가능하므로 태양열시스템의 이용효율 극대화에 크게 기여 할 것으로 전망된다.

본 고에서는 국내 기술로 개발, 실용화된 중온용, 고효율 단일 진공관형 태양열

형 태양열 집열기 및 시스템과 흡수식 냉방 시스템(10RT)의 설계, 원격제어 및 모니터링 그리고 열성능에 대하여 기술하였다.

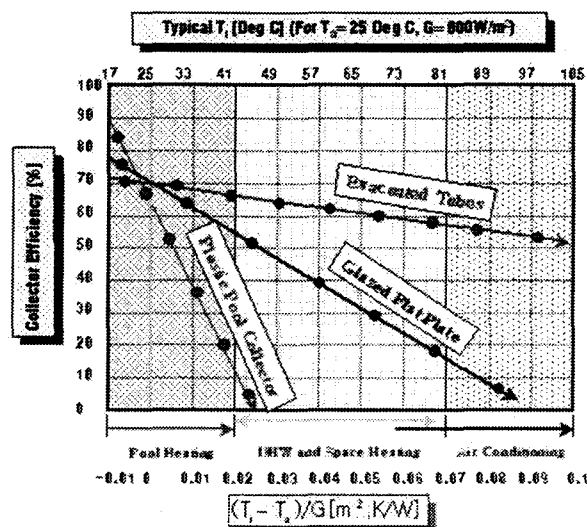
2. 본 론

가. 진공관형 태양열 집열기

태양열 이용 보급분야의 실용화는 평판형 태양열 집열기를 통한 가정용 태양열 온수기를 중심으로 보급이 활발히 진행되어 왔다. 그러나 평판형 태양열 집열기는 비교적 낮은 온도(70℃)에서 온수 급탕 및 난방 보조열원용으로 보급되어 왔으며, 70℃ 이상의 열원을 요구하는 건물의 냉방용으로의 이용은 효율적이지 못 하였다.

진공관형 태양열 집열기는 태양열 흡수판으로부터 열손실(대류, 전도)을 줄여 태양에너지를 더 효율적으로 이용하기 위해, 태양열 집열기에 진공기술을 접목시킨 것이다. 진공관형 태양열 집열기에 흡수된 열은 공기가 없으므로 외부로 열전달이 일어나지 않아 손실이 없고, 따라서 평판형 집열기 보다 더 높은 집열 효율을 갖게 되는 것이다.

그림1은 적용온도에 따라 일반적인 평판형과 진공관형 태양열 집열기의 효율곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 x축은 태양열 집열기의 적용온도를 나타내고, y축은 효율을 나타낸 것인데 태양열시스템을 설계하는데 매우 중요한 척도이기도 하다. 따라서 비교적 낮은 적용온도에서는 진공관형보다 높은 효율을 나타내지만 비교적 높은 적용온도에서는 열손실 때문에 낮은 효율을 나타내고 있다. 그러므로 70℃이상의 응용범위에서는 진공관형 태양열 집열기가 타당하다고 할 수 있다.

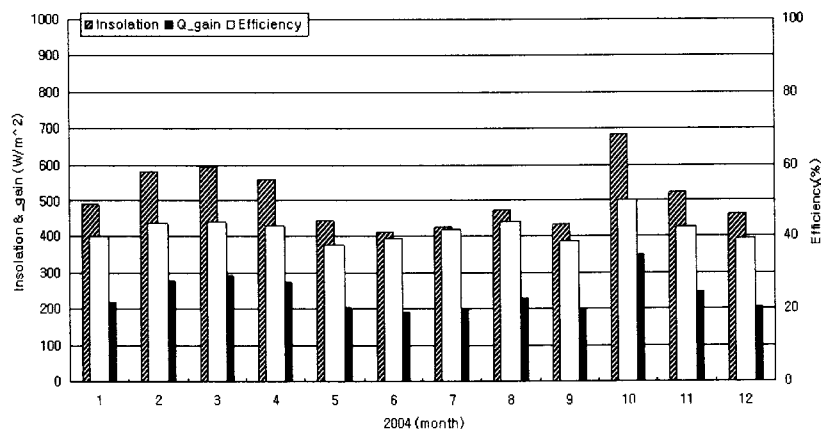


[그림 1 : 태양열 집열기들의 효율곡선]

국내 개발된 진공관형 태양열 집열기는 이미 산업 공정열(맥주공장 병 세척공정, 85℃) 분야의 실증연구가 이루어 졌으며, 그 유용성 및 신뢰성과 안정성이 검증되기도 하였다.

그림 2는 2003년 5월부터 현재까지 산업 공정열 분야의 실증연구의 일환으로 분석된 데이터 중에서, 지난 2004년 진공관형 태양열 시스템의 월평균 열성능을 나타낸 것이다. 열성능 집열효율은 월평균 일사량이 680W/m²로 가장 높은 10월에 50%의 최고의 효율을 기록했다. 반면에 5월에 집열 효율이 36%로 가장 낮게 나타났으나, 일사량은 6, 7월에 400W/m²로 가장 낮게 나타났으며, 이는 지난해 비교적 긴 장마에 의한 영향으로 나타났다. 이러한 결과는, 중온용(85℃) 실증사례에서 알 수 있듯이 진공관형 태양열 시스템이 연간 평균 40%의 효율로, 산업 공정열에 공급하기에 충분히 높은 효율인 것을 알 수 있다. 또한 진공관형 태양열 집열 시스템의 열적특성에 있어 외기온도에 영향 받지 않으며, 특히, 겨울철에도 집열효율이 감소하지 않는 것을 알 수 있었다.

따라서 태양열 냉방 시, 요구 온도 88℃를 흡수식 냉방시스템의 발생기(Generator)에 적용할 경우에도 산업공정열 분야와 같이 높은 성능을 낼 것으로 예측 할 수 있다.



[그림 2 : 월별 평균 열 성능(2004년)]

나.. 태양열 구동 흡수식 냉난방 시스템

사회가 발전하고 생활수준이 향상됨에 따라 보다 쾌적한 주거환경과 업무환경에 대한 요구가 증대되고 있으며, 이에 따라 실내 온열환경과 공기의 청정도를 인위적으로 조절할 수 있는 공기조화설비의 보급이 급속도로 증가하여 상업적 목적을 띤 대형건물은 물론 중소형 건물, 학교, 관공서 및 일반적인 주거공간에까지 보급되고 있는 과정에 있다. 따라서, 공기조화설비를 이루는 열원장치의 하나인

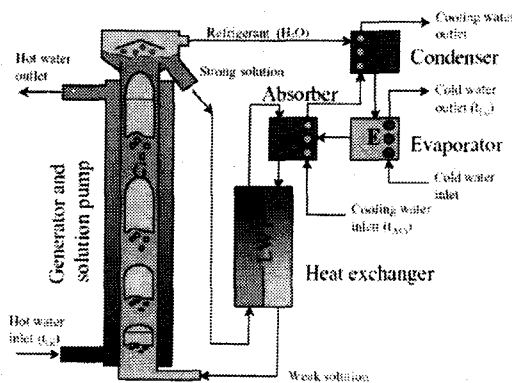
냉동기에 대한 수요도 급속히 증가하고 있으며, 그 결과로 에너지 절약이라는 경제적인 관점과 지구환경보호라는 환경적인 관점에서 냉동기에 대한 관심이 증대하고 있다.

지금까지 거의 모든 냉동 공조기술은 효율적으로 우수한 증기 압축식 냉동기를 위주로 이루어져 왔다. 하지만, 대부분의 증기 압축식 냉동기의 경우 동력원으로 전기를 사용하고 있는 관계로 하절기의 낮 동안에 막대한 전력에너지가 소비된다. 따라서 국가적으로 지속적인 에너지 공급을 원활하게 하기 위하여 축냉식 냉동기 및 흡수식 냉동기의 사용을 정책적으로 권장하고 있는 실정이다.

1). 1중 효용 흡수식 시스템

증기 압축식 사이클과 흡수식 사이클의 가장 큰 차이점은, 냉매를 저압부에서 고압부로 이송하는 방법에 있다. 증기 압축식 사이클에서는 증발기에서 발생한 저압의 냉매증기를 압축기를 이용하여 고압의 냉매증기로 변환하여 응축기로 보내는 반면, 흡수식 사이클에서는 흡수기와 재생기(발생기)에서 냉매증기가 흡수제에 흡수되고, 재생되는 작용을 이용하여 냉매를 응축기로 이송한다. 증기 압축식 사이클은 냉매의 압력을 높이는데 압축기의 일을 필요로 하며, 그 일은 주로 전기에너지를 사용하여 일 에너지로 변환하여 구동한다. 그러나 흡수식 사이클에서는 재생기에서 냉매증기를 발생시키는 열을 주요에너지로 사용하므로, 주로 석유나 가스 같은 연료를 에너지원으로 이용하게 된다.

1중 효용 흡수식 냉동사이클은 그림3 에서처럼 5개의 주요 열교환기, 즉 발생기(Generator), 응축기(Condenser), 증발기(Evaporator), 흡수기(Absorber), 그리고 용액열교환기(Solution Heat Exchanger)로 이루어져있다.



[그림 3 : 중효용 흡수식 냉동기]

증발기에서 발생한 증기가 흡수기에서 리튬브로마이드수용액에 흡수되어, 리튬브로마이드수용액은 저농도 용액(희용액)에서 고농도 용액(농용액)으로 된다. 이때 흡수과정에서 흡수열이 발생하여 용액의 온도가 상승하므로 증기의 흡수력이 감소하게 된다. 그러므로 지속적인 흡수과정을 위하여 흡수기는 냉각수나 공기에 의하여 지속적인 냉각이 필요하다. 따라서, 냉각수가 필요한데 일반적으로 냉각수는 냉각탑(Cooling Tower)에서부터 나와 흡수기와 응축기를 냉각한 후 다시 냉각탑으로 가는 과정을 겪는다. 흡수기내의 고농도 용액은 용액펌프(Solution Pump)를 통하여 용액 열교환기(Solution Heat Exchanger)에서 온도가 상승한 후 발생기로 흘러간다. 발생기에서는 열원을 이용하여 고농도의 용액을 가열하여 흡수제인 리튬브로마이드와 냉매인 물의 비등점 차이를 이용하여 냉매증기를 발생시킨 후, 저농도 용액으로 만든다. 고온 저농도의 리튬브로마이드용액은 용액 열교환기에서 냉각된 후 교축밸브를 지나 흡수기로 되 돌아온다. 발생기에서 발생한 냉매증기는 응축기에서 열을 방출하여 액체가 된 후 증발기에서 증발하면서 냉동효과를 낸다.

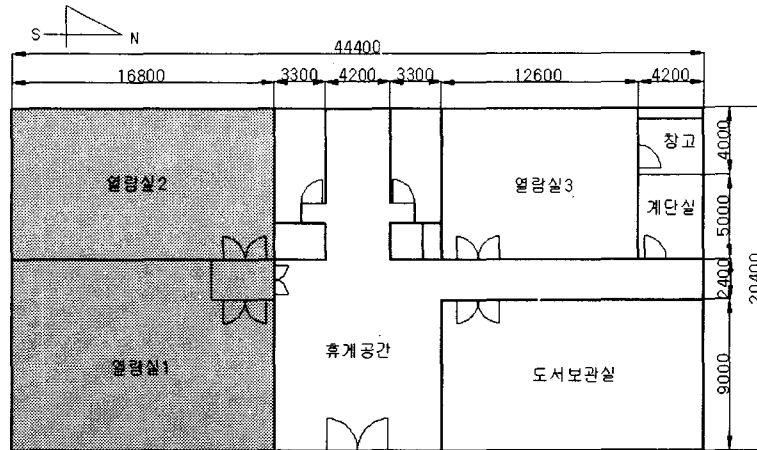
태양열 흡수식 냉난방 시스템은 이러한 1중 효율 냉동시스템의 원리에 진공관형 태양열 시스템을 적용한 것이다. 1중 효율 냉동시스템 원리 중 발생기(Generator)에서 필요한 열원을 화석연료 대신 진공관형 집열기를 통해 태양열을 이용하는 것이다.

2) 태양열 구동 흡수식 냉난방시스템 실증

진공관형 태양열 집열기를 이용한 태양열 흡수식 냉난방시스템의 실증장소는 광주광역시 서구 문화센터에 100평 규모의 부분 냉난방을 계획하여 지난해 8월부터 실증연구가 진행 중이다.

광주 서구문화센터는 금호동 마재마을에 연면적 2,473평, 지하1층 지상 3층으로 2000년 1월에 준공 되었다. 청소년 및 지방 문화예술 활동 육성을 위해 운영되는 이곳은, 헬스장 및 공연장, 도서관 등을 비롯해 전 층에 다양한 문화시설을 갖추어 운영되고 있다. 그래서 인구유동이 많고 여러 가지 편의 시설로 온수사용량 및 냉, 난방 부하가 크게 요구된다. 특별히, 3층 남쪽에 위치한 열람실1, 2는 실 면적이 총 100평형으로 최대수용인원 168, 132명이며, 하루 평균사용 인원이 약 120~150명이다.

이에 본 실증연구에서는 3층 열람실 1, 2(그림 4, 음영부분)에 냉난방을 공급하기 위한 10RT급(127MJ/h) 태양열 흡수식 냉난방 시스템을 설계하였다.



[그림 4 : 광주 서구문화센터 3층 평면도]

열람실 1과 2의 냉난방 부하는 TRNSYS 프로그램으로 모델링 하였으며 모델링 결과, 사용인원(점유자) 50~100% 비율별로 표 1과 같이 계산결과 나타났다. 열람실별 수용인원을 최대로 하였을 경우 냉난방 부하는 각각 154MJ/h, 189MJ/h 로 계산되었다.

<표 1 : 열람실 1과 2의 최대 냉난방 부하 >

Percentage of Maximum Occupants	Max. Instantaneous Heating and Cooling Loads for Reading Room 1 and 2	
	Heating Loads(MI/hr)	Cooling Loads(MI/hr)
50%	185.9	158.1
80%	168.3	175.9
100%	154.7	189.3

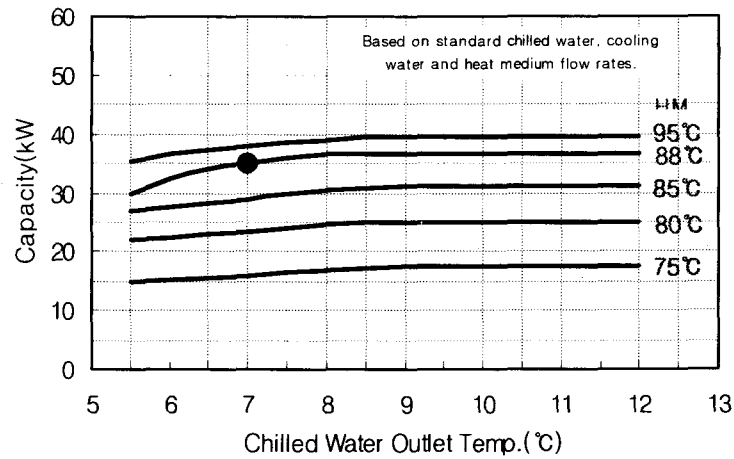
국내 흡수식냉동기 동향은 가스 직화식 2중 효율의 경우 소형에서부터 대형까지 비교적 활발히 기술개발 및 보급되고 있으나, 열수 구동형인 1중 효율의 경우 50RT 이상의 경우 만 국내에서 생산하고 있으며, 30RT이하의 흡수식 냉동기는 여러 가지 이유로 생산되지 않고 있다. 태양열 구동 흡수식 냉방 시스템의 실증연구에서는 태양열 집열기 면적과 연구비의 제약 조건 때문에 10RT급에 국한 하였다. 실증에 적합한 냉동기로 일본 YAZAKI WFC-SC10모델을 선정하였고, 표 2는 선정된 모델의 사양 및 작동조건을 나타낸 것이다.

<표 2 : Specification of WFC-SC10>

Items			WFC-SH10	SFC-SC10
Cooling capacity			kW	35.2
Heating capacity			kW	48.7
Chilled hot water	Temperature (Cooling)	Inlet	°C	12.5
		Outlet	°C	7.0
	Temperature (Heating)	Inlet	°C	47.4
		Outlet	°C	55.0
	Evaporator pressure loss		kPa	51.0
	Maximum operating pressure		kPa	588.0
Flow rate		l/sec	1.53	
Water retention volume		l	17.0	
Cooling water	Heat rejection		kW	85.4
	Temperature	Inlet	°C	31.0
		Outlet	°C	35.0
	Absorb. Condenser pressure loss		kPa	77.5
	Coil fouling factor		m ² K/kW	0.086
	Maximum operating pressure		kPa	588.0
	Flow rate		l/sec	5.1
	Water retention volume		l	66.0
Heat input		kW	50.2	
Heat medium	Temperature	Inlet	°C	88.0
		Outlet	°C	83.0
		Range	°C	75-95
	Generator pressure loss		kPa	82.2
	Maximum operating pressure		kPa	588.0
	Flow rate		l/sec	2.4
	Water retention volume		l	21.0
Electrical	Power supply		AC400V, 3Phase, 59Hz	
	Consumption		W	210.0
	Current		A	0.43
Control	Cooling		On-OFF	
	Heating		On-Off	

그림 5는 YAZAKI WFC-SC10 냉동기의 성능 곡선을 나타낸 것이며, 냉수 7°C에서 발생기에 보내진 열수온도가 88°C, 유량 2.4l/sec 일 때, 냉방능력이 약 35Kw로 나타났으며, 이때 COP가 0.7을 나타내고 있다.

그림 6은 태양열 난방과 냉방시스템의 모니터링 화면을 나타낸 것이다. 태양열 흡수식 냉난방시스템은 진공관형 태양열 집열기에서 집열된 열이 축열조에 저장되어 기준온도 88°C가 되면, 냉동기로 보내져 흡수식 냉방 또는 난방시스템의 공급열원으로 이용된다. 또한 흐린 날씨 등의 일사가 낮아 진공관형 태양열 시스템이 원만히 작동되지 않을 때는 보조열원기기를 이용한 열원이 공급되어 원활한 냉난방 시스템이 작동하게 된다. 그래서 봄, 가을 및 겨울철에는 온수급탕과 난방이, 여름철에는 온수급탕과 냉방이 이루어진다.



[그림 5 : 냉동기 냉방 시 성능곡선]



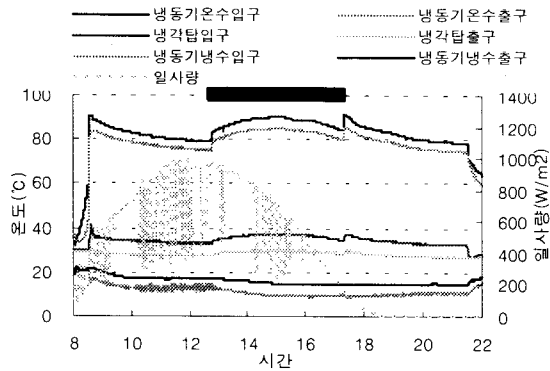
[그림 6 : 태양열 냉난방 급탕시스템 : 냉방]

3) 일일 냉방 성능

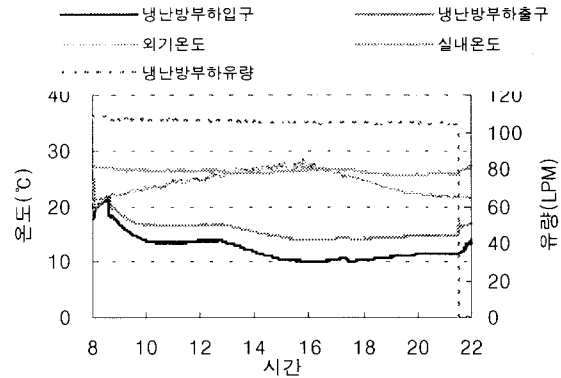
그림 7, 8은 태양열 구동 흡수식 시스템의 일일 성능을 나타낸 것이다.

그림 7은 비교적 맑은 날 하루 동안 일사량, 흡수식 발생기에 공급되는 입 출구 온도, 냉각탑 입 출구 온도, 생산된 냉수의 입 출구온도를 나타낸 것으로 안정적으로 작동하고 있음을 알 수 있었다. 열람실 1, 2는 오전 8시부터 오후 10까지 개방되고 있으며, 태양열 냉방은 12시 20분부터 오후 5시 30분까지 작동되고 있으며, 나머지 시간은 가스보일러(보조열원)에 의하여 작동되고 있음을 나타내고 있다.

그림 8은 외기온도, 실내온도, FCU 입 출구 온도를 나타내고 있으며, 냉수탱크로부터 약 10~13℃의 냉수가 공급되고, 실내온도는 25-26℃로 냉방이 유지되는 것으로 나타났다.



[그림 7 : 태양열 구동]



[그림 8 : 냉방부하]

3. 결 론

중온용으로 개발된 고효율 진공관형 태양열 시스템은 산업 공정열 분야에서 월 평균 40%이상의 높은 효율로, 계절의 영향을 받지 않고 높은 열 성능을 냈다. 이러한 배경으로, 태양열을 이용한 흡수식 냉난방시스템의 실증연구를 통해 시스템 설계 및 시공기술, 운전기술, 제어 및 모니터링 기술, 등을 검증할 계획이다.

태양열 흡수식 냉난방 시스템의 실증연구는 지난 해 부터 시작되어 이미 기본 계획과 시스템 설계가 이루어졌으며, 시스템 설치와 운전 및 모니터링 장치가 완료되어 운전을 시작하였다. 시스템은 현재까지 안정적으로 운전되고 있으며, 중간 결과 맑은 날 하루 기준 약 5 - 6시간 태양열을 이용해 냉방이 가동되었다. 앞으로 운수급탕, 난방 시스템이 가동 될 예정이며, 연간 태양열 시스템 성능 및 경제성 분석을 통하여 시스템의 유용성, 안정성 및 신뢰성이 검증 될 계획이다.

참 고 문 헌

1. 곽희열 외, "산업용 진공관형 태양열 집열기 개발", KIER -A04622, 산업자원부, 2000
2. 곽희열 외, "진공관형 태양열시스템 실용화 및 응용기술", KIER -A34307, 산업자원부, 2004

3. H.Y. Kwak, J. H. Boo, W. B. Chung, "Development and Application of Evacuated Tubular Solar Collector with Heat Pipe in Korea", The 7th International Heat Pipe Symposium, October, 2003
4. 곽희열, "지역난방 열원으로서의 태양열에너지 활용 가능성 연구", 지역난방 기술, 제 10호, 2003.
5. 곽희열, 진공관형 태양열집열기 개발 및 실증사례", 지역에너지 Info, 제 20호, 2003.