



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

태양열 온수기 이용 냉난방시스템의
운전특성에 관한 연구



2007년 8월

부경대학교 대학원

냉 동 공 조 공 학 과

백 기 동

공학석사 학위논문

태양열 온수기 이용 냉난방시스템의

운전특성에 관한 연구

지도교수 최광환

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2007년 8월

부경대학교 대학원

냉 동 공 조 공 학 과

백 기 동

백기동의 공학석사 학위논문을 인준함

2007년 8월



주 심 김 종 수 인

위 원 윤 정 인 인

위 원 최 광 환 인

Research on the Operation Characteristics for multi-purpose system with a solar collector

Gi-dong, Paek

*Department of Refrigeration and Air-conditioning
Engineering*

The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

Recently, according to the superior quality of building facility environment with the elevation of living standard, the use of air-conditioner for improvement of dwelling place is increasing. So, a phenomenon of electric power peak impose burden on policy on the demand and supply of energy.

In the winter, hot water gained from the solar collector installed on the roof could have a wide usage for replacing a conventional air conditioner. The aim is to adopt a new device into a all-terrian system enable to perform heating and cooling effect. First of all, several different experiments were conducted for investigating the possibility of actual heating system mainly being operated by solar collector and regenerator. The experimental

apparatus was fabricated and tested practically in connection with solar heating system during daytime. As a result, it was clear that this system has many advantages of heating and humidifying of room without a huge heater and humidifier, especially in winter and can save a lot of electricities compared to a conventional air conditioner.

And in the summer, hot water gained from the solar collector installed on the roof could have a wide use as a heat source for replacing a conventional air-conditioner by combining some devices. One of those is to adopt it into a solar desiccant cooling/heating system enable to generate the heating and cooling effect through the two processes. One is for regenerating and the other for dehumidifying process. In this experiment, two devices for each process purpose were fabricated and installed in the mechanical room. The experiments were conducted with 4 sheets solar collectors and both processes of regenerating and dehumidifying were operated outside simultaneously under fine weather. The results of its performance were described.

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 종래 연구	3
1.3 연구 목적	5
제 2 장 난방 운전 특성에 관한 연구	7
2.1 실험장치	7
2.2 실험방법	14
2.3 실험결과	17
2.4 고찰	23
제 3 장 냉방 운전특성에 관한 연구	25
3.1 실험장치	25
3.2 재생	27
3.3 제습	36
3.4 고찰	45
제 4 장 결론	46
참고문헌	48

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

21세기에 접어들면서 세계 각 나라는 에너지를 어떻게 안정적으로 확보하느냐 하는 문제가 자국의 미래가 달려 있다고 보고 에너지 확보를 위한 수단으로 전쟁도 불사하고 있는 현실이다. 이에 우리나라도 여러 가지 방법으로 에너지 확보를 위해 노력하고 있다. 현재 우리나라의 에너지원은 대부분 화석연료와 원자력에 의존하고 있다. 화석연료는 매장량의 한계로 향후 50년 이내 고갈될 것으로 과학자들은 추정하고 있고, 또 그 사용으로 인한 지구 온난화, 환경오염 문제 등을 야기 하고 있다. 한편 원자력 발전소는 많은 에너지를 생산하고 있으나 방사선 누출과 핵폐기물 처리등의 위험한 문제점을 안고 있어 안정적 에너지 공급원으로 의존하기에는 한계가 있다.

우리는 이러한 에너지 수급의 문제점을 해결 하기 위한 한 방법으로 자연에너지 이용을 생각 할 수 있다. 자연 에너지에는 태양 에너지, 풍력, 소수력, 지열 등을 이용하여 영구적이며 환경 친화적인 에너지원을 확보 할 수 있다. 이중 태양 에너지 이용기술은 크게 중·저온 이용 기술과 고온 이용 기술로 나눌 수 있는데 중·저온 이용 기술은 주택의 난방 및 급탕에 이용되고 고온 이용기술은 태양로, 산업체 공정열에 널리 이용되고 있다.

우리나라는 총 에너지의 97%이상을 수입에 의존하고 있으며 국내 총 에너지 소비 실태를 살펴보면 '99년 1월부터 10월까지 산업부문 에너지 소비 증가가 전년 대비 5.7% 증가에 그친 반면, 가정·상업부문은 20.4%로 높은 증가율을 보였다. 급성장세를 보이고 있는 가정·상업용 부문 에너지 소비는 전적으로 건물 관련 에너지 소비임으로 건물에 대한 혁신적인 에너지 저감 기술 개발 및 환경오염 대책 차원에서 대체에너지 기술개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 특히 겨울철 실내 환기 시 발생하는 난방 부하 및 공기 질의 악화 문제로 인해 건물의 최소 환기량 요구조건 즉 신선외기 도입량의 법적 기준을 크게 높이는 쪽으로 강화 되고 있으며 외기부하의 증가에 따른 건물 총 에너지 소비량 증가가 예상됨으로 이러한 실내 난방 부하 및 냉방 부하 문제를 해결할 수 있는 방안이 절실한 형편이다.

1.2 종래 연구

국내 태양열에 대한 연구가 시작된 것은 지난 1973년 제1차 에너지 파동 이후, 갑자기 불어 닥친 오일쇼크로 인하여 대체 에너지원 개발의 필요성이 대두 되면서, '80년대 이후 몇 년간 정부의 적극적인 정책적 지원에 힘입어 태양열 주택은 연 2백가구 이상의 활발한 건립 실적을 보였으나, '80년대 후반부터는 정체현상을 보이다가 '87년에 이르러서는 30가구 외에 현재까지 실적이 거의 없는 상태이다.(1) 그러나, 최근 한국에너지기술연구원 산업자원부 지원 연구보고서인 공간에너지 절약형 태양열 공기 집열 UTC(Unglazed Transpired Collector) 팬-덕트 공조 시스템 개발에 대한 연구와 태양열 공기난방 건축 외장 판넬 시스템의 열성능 평가 방안에 관한 연구 등에서 UTC 및 태양열 공기 난방 시스템 열성능 평가 방안에 대한 연구가 시작되어지고 있다.(2)

선진국에서는 이미 1969년에 다공판에 대한 연구부터 격자 형태 공기 히터 그리고 유리커버가 있는 천공판 공기히터등과 같은 연구들이 진행되어 시스템 개발에 대한 기초를 제공 하였으며, 시스템 이론의 전반적인 연구는 1992년 Kutscher에 의해 수행 되었다.(1)

국외 사례로는 CETC (CANMET Energy Technology Center) 에너지 분과의 과제 보고서로써 캐나다 Oshawa 지역 자동차 배터리 생산 공장, IEA Task 14 SHC 분과에서 소개된 캐나다 Oakville 지역 자동차 공장, 미국 국립신재생에너지

지연연구소 NREL (National Renewable Energy Laboratory) 폐기물 처리시설에서
와 같이 대부분 시스템 실증실험 규모 시설을 통하여 수집된 실측치 데이터를 통
하여 수행되어졌다. 1989년 공기식 집열기 기술에 대한 특허를 취득한 Conserva
Engineering Inc. 는 UTC 및 태양열 난방 시스템에 대한 체계적인 성능 방안과
이에 근거한 성능 인증제도의 도입에 의하여 '90년대 중반부터 상용보급화를 추
진하고 있다.



1.3 연구 목적

에너지 가격이 연일 상승하고 있는 가운데, 에너지의 대부분을 수입에 의존하고 우리나라로써는 신재생에너지 개발 및 활용이 강조되고 있다. 다가오는 2012년의 ‘신재생에너지 보급 목표 달성 5%’에의 기여도를 고려하면, 신재생에너지원 중에서도 가장 현실적이면서 실질적으로 기여할 수 있는 부분이 태양열시스템 분야이다.

현재 태양열시스템 중에서 가장 보편화된 시스템이 태양열온수기인데, 이는 겨울철에 급탕으로 유효적절하게 잘 활용되고 있다. 그러나 일반 주택이나 사무실과 같은 상업용 건물에서는 겨울철에 급탕부하보다 난방부하가 많은 경우가 대부분이다. 따라서 태양열온수기를 단지 급탕 열원을 확보하기 위하여 사용하는 것은 그다지 바람직하지 않을 뿐만 아니라, 경제적 효율 면에서도 개선되어야 할 부분이 많다. 즉, 태양열온수기를 기존의 방식처럼 급탕에 활용할 뿐만 아니라, 얻어진 온수를 난방부하를 경감시키는데 사용하는 것이 바람직하다.

이러한 목적으로 태양열온수기에서 얻어진 온수를 직접 난방에 응용할 수 있는 시스템을 개발, 제안하고, 또 시스템에 직접 활용함으로써 기존의 난방방식인 바닥 난방을 대신할 수 있는가의 타당성을 확인하기 위한 기초실험을 수행하였다. 하지만 직접 온수를 사용할 경우 공기의 온도와 습도를 제어하는데 어려움이 따르게 되었다. 그리하여 염화리튬용액을 이용함으로써 취출 공기의 온도와 습도를

적정수준으로 유지할 수 있을 것으로 기대 된다.

또한, 태양열을 최대한 효과적으로 활용하기 위하여 온수가 필요 없는 여름철에 태양열 집열기로부터 얻어진 고온의 온수를 여름철 ‘냉방열원(source of cooling heat)’으로 활용하고자 하는 ‘태양열 냉방’에 관한 연구가 본 연구자를 비롯 많은 연구자들이 높은 관심을 갖고 개발에 박차를 가하고 있다. 만약 이 시스템이 개발되어 실용화에 성공하면 사계절 모두 태양열을 효과적으로 사용할 수 있다는 장점을 가질 수 있다. 태양열을 이용해서 여름철에 냉방을 하는 대표적인 기술로는 크게, 흡수식 냉동기를 가동하는 기계식 방법과 흡습제를 이용하여 공기 중의 잠열을 제거함으로써 냉방효과를 얻는 흡수/흡착식 제습방식을 들 수 있으나, 본 연구에서는 흡수제를 이용하여 겨울철에는 난방 및 급탕을, 그리고 여름에는 냉방에 활용할 수 있는 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

제 2 장 난방 성능에 관한 연구

2.1 실험 장치

태양에너지를 태양열로 바꾸는데 주도적인 역할을 하는 대표적인 장치가 ‘태양열집열기’이다. 그러나 태양열집열기는 활용도가 높으나, 사용에 있어서 계절적 한계성을 갖는 것이 큰 단점으로 지적되고 있다. 또한 얻어진 온수는 주로 급탕(hot water)용으로만 사용되고, 난방(heating)용으로는 거의 활용이 되지 않았으나, 실제적으로 겨울철 건물의 부하를 따져보면 급탕부하보다 난방부하가 큼을 알 수 있다. 따라서 난방부하를 태양열 온수기에서 나오는 온수로서 경감할 수 있는 활용방안을 강구하는 것이 무엇보다도 절실히 요구된다.(4)

본 시스템에 사용된 온수는 태양열 온수기에서 생성된 열로써, 주로 작동유체인 에틸렌글리콜과 저장탱크 내에서 열교환을 거침으로써 얻어진다. 작동매체와 열교환을 통하여 생성된 온수는 겨울철 및 중간기에 난방용으로 사용되는데, 본 논문에서는 여름에 냉방시스템용으로 사용되고 있는 기존의 재생탑을 그대로 이용하여 온수를 직접 공기와 접촉시키는 공기가열/가습 난방방식을 사용한다.

즉, 태양열온수기를 기존의 방식처럼 급탕으로 사용할 뿐만 아니라, 겨울철 난방부하를 경감시키는 열원으로 온수를 사용하며, 여름철에는 시스템의 변경 없이 냉방열원으로 사용할 수 있는 시스템 개발이 연구의 최종 목표이다. 그림 2.1에

제안시스템의 개략도가 나타나 있다.

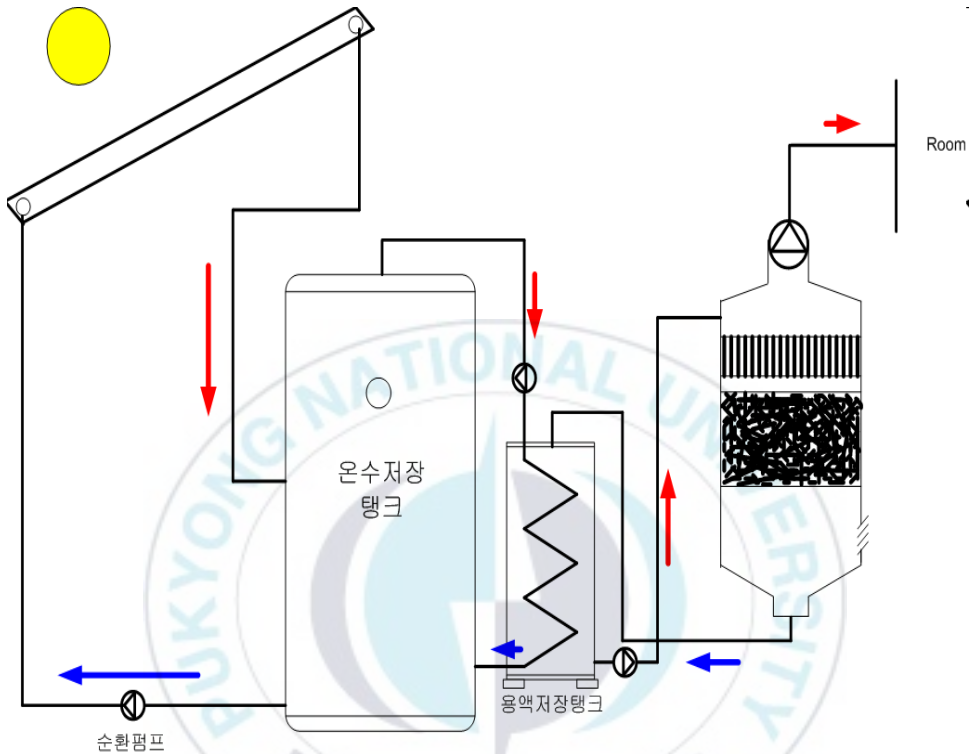


그림 2.1. 제안시스템 개략도

본 연구에서 사용된 실험 장치는 평판형 집열기 8매를 직접 실험동 옥상에 설치하였고, 기계실을 두어 축열탱크를 설치하였으며, 그리고 액체흡수제를 직접 사용할 수 있는 가열탑의 3가지 주요 장치로 이루어져 있다.



사진 2.1. 태양열집열판의 실제 전경

사진 2.1은 부경대학교 2공학관 옥상에 위치한 태양열집열기의 전경이다. 8매의 태양열 집열기는 낮 동안에 연속적으로 가동이 되며, 여기서 얻어진 온수는 옥상 아래에 설치되어 있는 온수저장탱크(480리터)로 보내어 저장되며, 액체 흡수제를 연속적으로 가열하는 열원으로 사용되었다.



사진 2.2. 실내측 온수 저장탱크

사진 2.2는 실내측 온수저장탱크를 나타내고 있다. 축열탱크에 저장되어 있는 온수는 펌프에 의해 사진 2.3의 티타늄 열교환기가 설치되어 있는 액체흡수제 저장탱크로 반송되며, 여기서 액체흡수제와 열교환을 하고서 다시 저장탱크로 환수된다.



사진2.3. 티타늄열교환기가 설치된 저장탱크

환수된 온수는 적정 온도레벨까지 떨어지게 되면 다시 옥상의 태양열 집열기로 보내어져 열교환을 통하여 평균 70℃의 온수가 되어 저장탱크로 저장된다.

그림 2.2에 제안시스템이 가동되는 가열탑 일련의 계통도를 나타내고 있다.

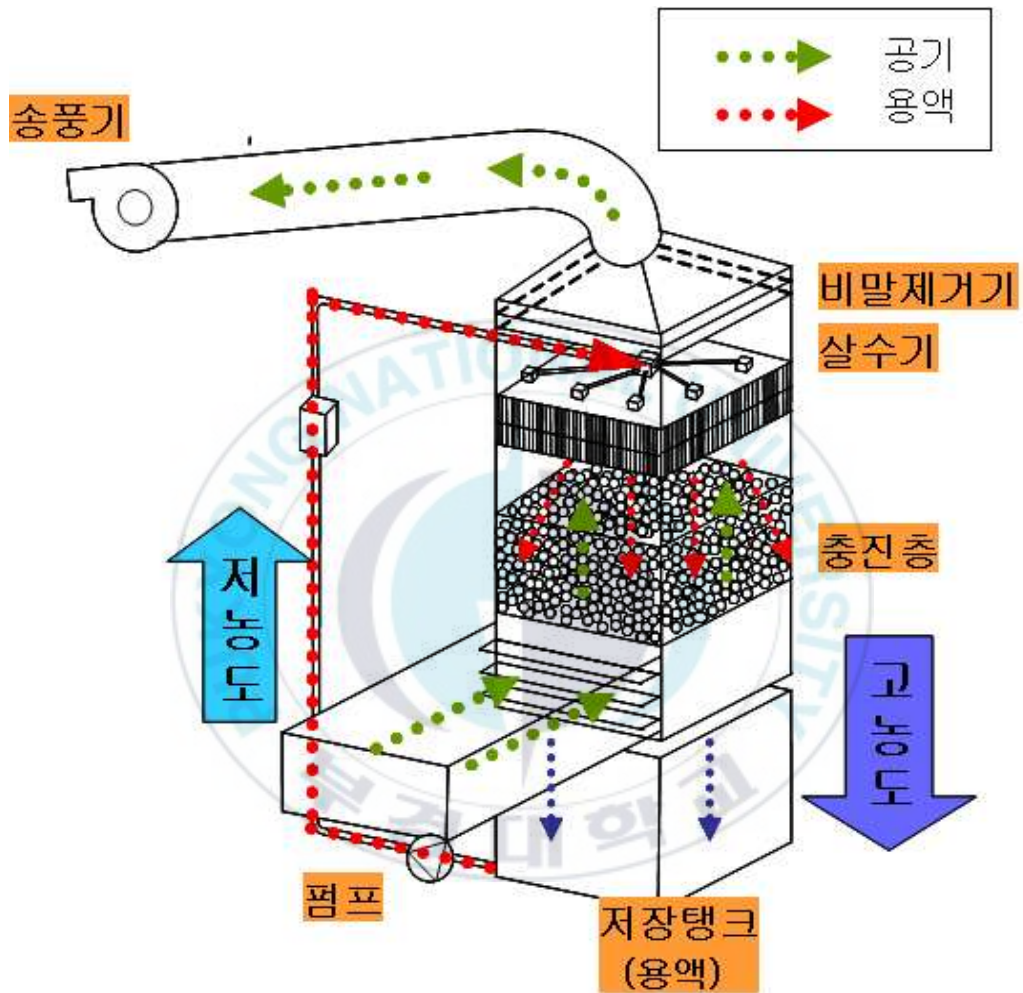


그림 2.2. 가열탑(전열교환기)의 개략도

금번 실험에서는 가열된 액체흡수제를 가열탑으로 보내어 공기와 직접 접촉시킴으로써 가열탑의 가열능력을 조사할 뿐만 아니라, 액체흡수제의 온도 및 농도

에 따른 재생량의 변화를 조사하였다.

전체의 실험장치에 사용된 동력 장치는 액체흡수제를 순환시키는 화학펌프, 축열탱크로부터 액체흡수제 저장탱크까지 반송하는 펌프, 공기를 유입하는 송풍팬, 그리고 축열탱크에서 옥상에 설치되어 있는 태양열집열기까지 물을 운반하는 펌프가 전부이다. 이러한 동력장치의 소비전력량을 표 1에 정리하였다.

표 2.1. 시스템의 동력장치별 소비전력량

화학펌프	120W
송풍팬	60W
일반펌프	45W
가압펌프	290W
집열판 규격	1.1m×2.4m×8매
합 계	515W

2.2 실험 방법

본 실험은 유입되는 공기의 상태를 일정하게 유지하기 위해서 항온항습실에서 실시하였다. 우선 항온항습실의 상태를 일정하게 유지하여 정상상태에 도달한 것을 확인한 후, 유입공기의 전부를 외기로 대체하는 것을 전제로 실내공기로 항온항습실 취출구에서 취출되는 공기를 전량 유입하여 실험을 행하였다. 한편, 가열탑의 출구로부터 나오는 공기는 전부 외부로 방출하였으며, 환기(Return air)로 사용하지 않음으로써 실험의 정확성을 높였다.

난방을 위한 가열량 실험에서는, 먼저 온도별에 따른 가열량을 조사하기 위하여 액체흡수제 탱크 온도가 70℃에 달하였을 때, 자동으로 설정된 운전을 시작하였다. 이 실험에서는 온도가 저장탱크에서 가열되는 동안에 계속적으로 행하여졌으며, 온도가 내려갈 때는 가열능력이 현저히 떨어진다고 판단되는 시점에서 운전을 정지하였다.

난방실험에 있어서는 공기의 입출구 엔탈피 차로써 난방능력을 추정하였으며, 재생실험에서는 입출구의 절대습도 차로써 재생능력을 추론하였다. 또한 공기 입·출구 측의 절대습도차를 얻기 위하여 온도와 상대습도가 동시에 측정되는 센서를 출구 측 덕트 내에서 충분히 층류가 얻어진다고 판단되는 지점에 설치하여 안정된 값을 기록하였다.

한편, 액체흡수제의 농도값을 측정하기 위하여 초음파 농도계를 사용하였으며,

이 값의 신뢰성을 확인하기 위하여 가열탑을 지나는 공기의 절대습도와 풍량을 엄격히 측정하여 가습량도 산출하였다. 그리고 가열탑 내에서의 열 및 물질전달 (Heat and mass transfer)의 거동을 파악하기 위하여, 가로 40cm × 세로 40cm × 높이 40cm인 충전층 내부 18곳에 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다.

아래 표 2.2 에 실험조건이 나타나 있다.

표 2.2. 실험 조건

항 목	실험 조건
도입공기 온 · 습도	9-11℃, 40-70%
도입 공기유량	190m ³ /h
축열탱크 온도	70℃
용액 순환량	7.5 ℓ /min
충진층 높이	30cm

실험은 온수의 추가 가열 없이 연속적으로 운전하였으며, 27개 지점의 온도와 재생탑 입구 및 출구의 온도와 습도, 그리고 공급 온수의 온도 데이터를 20초 단위로 측정, 해석에 사용하였다. 사진 2.4에 재생탑 실물이 나타나 있다.



사진2.4. 가열탑 장치의 실제 모습

실험은 용액 농도 21%(저농도로 지칭)와 용액 농도 25%(고농도로 지칭)로 두 번에 걸쳐서 진행하였으며, 각 농도대의 용액의 난방능력을 비교하는데 그 목적을 두었다.

2.3 실험 결과

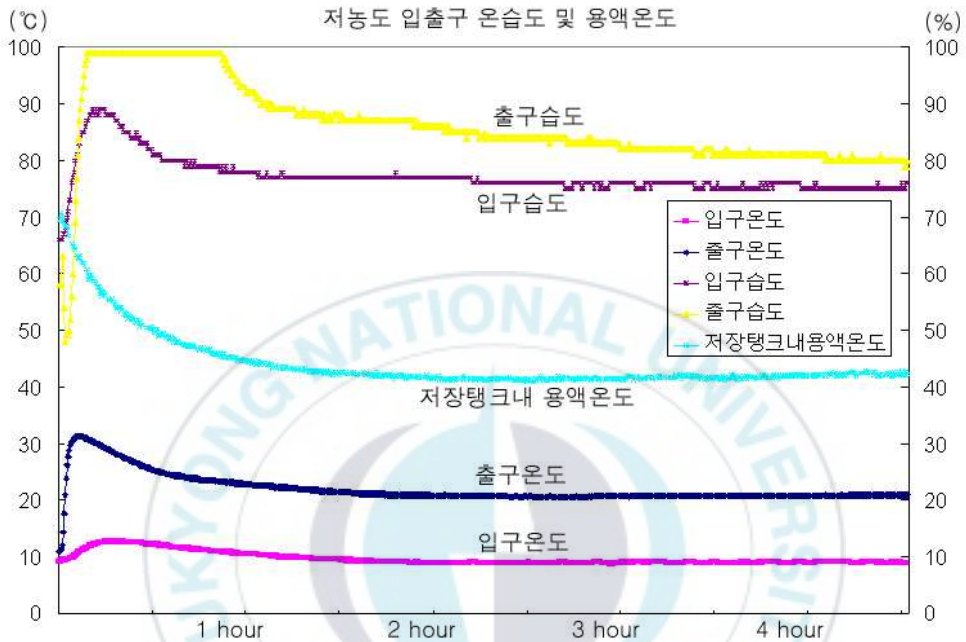


그림 2.3. 저농도 입출구 온습도 및 용액온도

그림 2.3은 처음 농도가 20%인 액체흡수제가 축열탱크로부터 70℃까지 가열된 다음 4.5시간 동안 연속적으로 가동되었을 때의 온도 및 습도 변화를 나타내고 있다. 가열탑의 운전 시작과 함께 처음에는 높은 온도와 높은 습도를 보여주고 있으나, 시간이 지남에 따라 점차적으로 안정된 변화를 보여주고 있다. 시간이 경과함에 따라 처음에 급격하게 용액의 온도가 떨어지고 있는 것은 도입하는 공기

의 풍량이 많고, 또 유입공기의 전부를 외기로 간주하여 항온항습실에서 만들어진 10℃ 전후의 공기를 도입하였기 때문이다. 그 결과 처음에 고온 상태에서 차가운 유입공기와 열교환한 액체흡수제의 온도가 급격히 저하하였다.

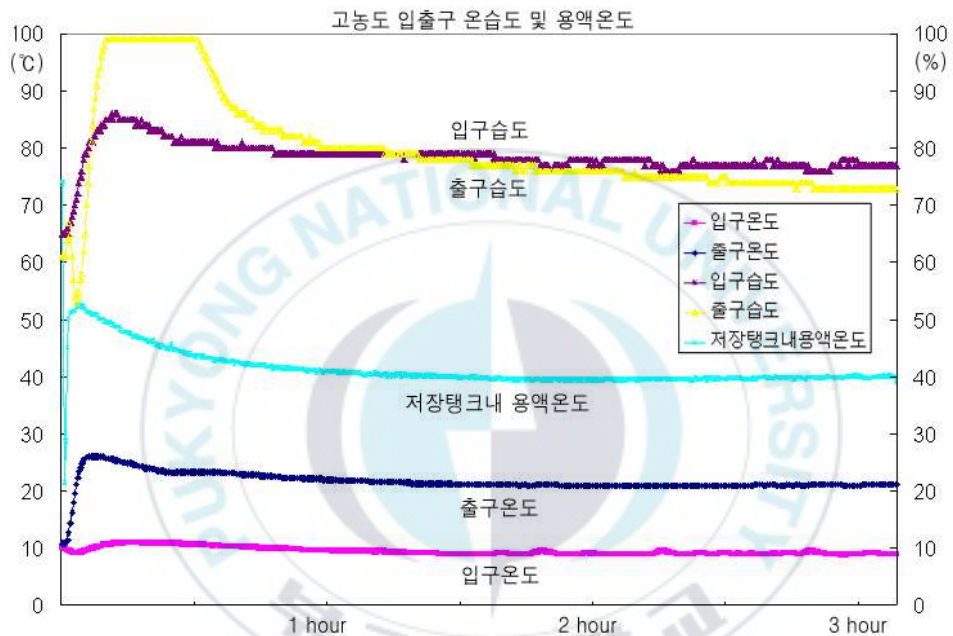


그림 2.4. 고농도 입출구 온습도 및 용액온도

그림 2.4는 처음 농도가 25%인 액체흡수제가 축열탱크로 부터 70℃까지 가열된 다음, 3시간 동안 연속적으로 가동 되었을 때의 온습도 변화이다. 저농도 때와 출구의 온도는 20℃(저농도), 21℃(고농도)로 거의 차이가 없으나, 3시간이 지났을 때의 습도는 84%(저농도), 72%(고농도)로 크게 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

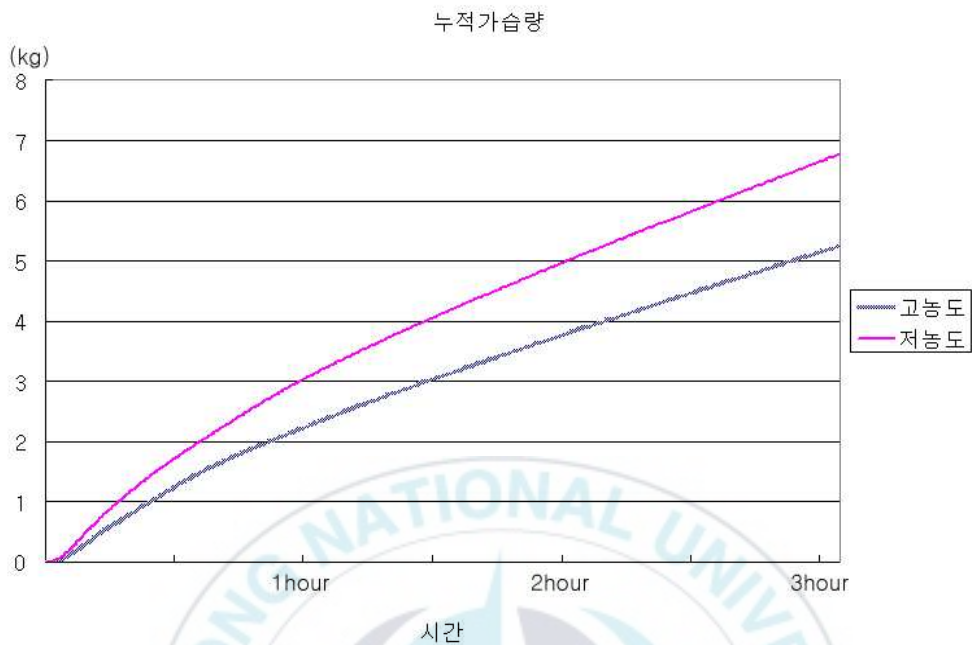


그림 2.5. 시간에 따른 누적가습량

그림 2.5는 시간 경과에 따른 누적 가습량 변화를 나타낸 그래프이다. 저농도 (21%)일 때 온도가 높은 1시간 동안의 평균 가습량은 3.0kg/h였으며, 고농도 (25%)일 때 온도가 높은 1시간 동안의 평균 가습량은 2.2 kg/h 이었다.

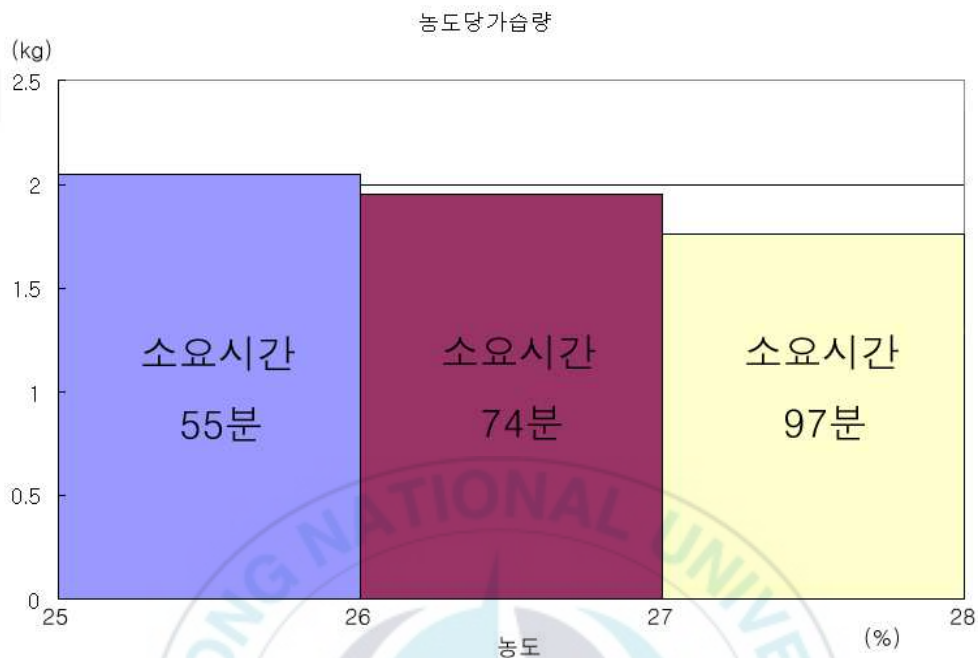


그림 2.6. 농도당 가습량 및 소요시간(고농도)

그림 2.6은 액체흡수제가 농도당 시간에 따른 가습량 변화를 나타낸다. 저농도 때와 농도변화량(1%)이 같을 때 소요시간은 거의 동일함을 알 수 있었고, 소요시간은 동일하지만 농도1%가 증가하는 동안 가습량은 고농도(25% → 26%)일 때 2.1kg이 가습되었다.



그림 2.7. 가열탑 입출구 공기의 엔탈피차

그림 2.7은 가열탑의 입출구 공기 엔탈피차를 나타낸 그림으로써, 고농도일 때 보다 저농도일 때 큰 엔탈피차이를 보인다. 이는 그림3과 그림4의 출구온도를 비추어 유추해 볼 때, 수증기의 증발잠열로 사용된 부분이 저농도 용액이 고농도용액보다 크게 많음을 알 수 있다.

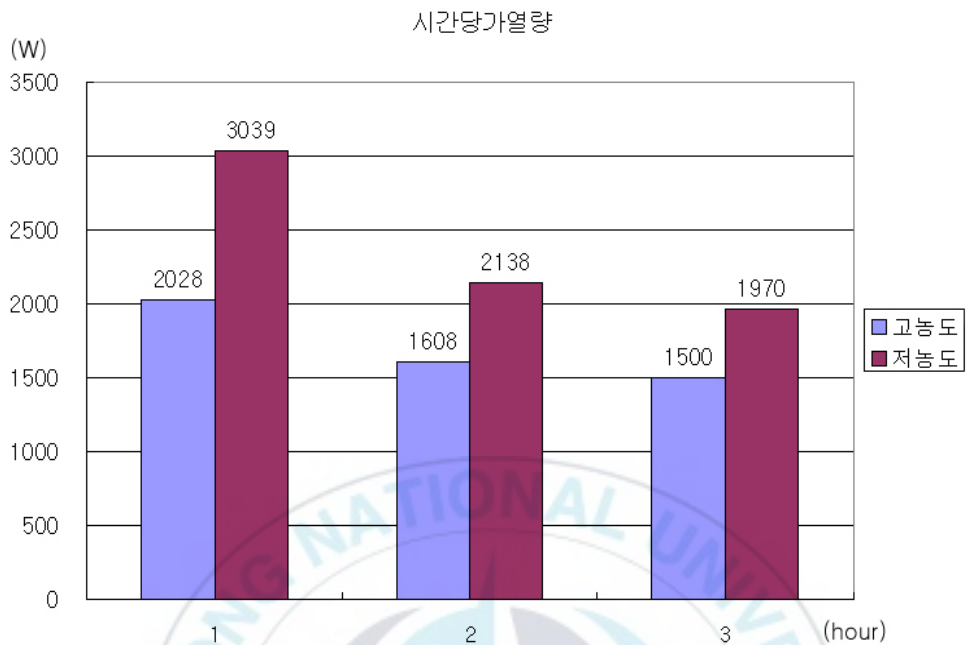


그림8. 시간당가열량비교

그림 8은 515W의 소규모 동력으로써 농도에 따른 시간당 가열량의 차이를 나타내고 있다. 고농도일 경우 처음 1시간 동안 약 2kW의 열량을 저농도일 경우 처음 1시간 동안 약 3kW의 열량을 가열할 수 있음을 나타낸다.

2.4. 고찰

겨울철 태양열온수기와 액체흡수제를 이용하여 난방을 행하고자 할 경우의 가열량 및 가습량을 정확히 조사하기 위한 실제 운전에서 사용되는 동력은 그리 많지 않다. 현재 제안시스템을 가동하는데 소요되는 총 동력은 송풍기 1대와 펌프 3대로써 약 515W를 사용하고 있다. 현재 본 연구가 진행 중인 가열탑에서의 난방 성능에 관한 연구에서는 액체흡수제의 농도차이를 이용하여 손쉽게 원하는 온도의 공기가열을 얻을 수 있으며, 그 농도에 따른 가열량을 추정할 수 있다. 실제로 태양열 집열기를 이용하여 축열할 경우 겨울철 온수의 온도는 거의 70℃ 정도로 일정하다. 이 일정한 온도대의 온수를 가지고 우리가 원하는 온도와 습도의 공기를 생성하기 위해서는 액체흡수제를 사용하는 것이 유리하며, 액체흡수제를 사용할 경우 그 액체흡수제의 농도를 제어하면 쉽게 우리가 원하는 온도와 습도를 가진 공기를 얻을 수 있다.

추후 연구에서는 난방시스템에서 액체흡수제의 농도를 일정하게 유지하여 공기의 온도와 습도를 제어하는 방안이 있음을 확인하고자 한다.

본 실험은 태양열집열기와 조습(Humidity control)능력이 있는 액체흡수제를 활용하여 겨울철에 난방을 행하는 실험과 여름철 냉방열원으로 사용할 수 있는

‘태양열 냉난방 시스템’에 관한 실험을 행한 결과이다. 금번 연구에서는 실제로 적용되어 가동되는 태양열온수기를 활용하여 농도에 따른 일련의 난방과 재생능력에 대한 액체흡수제의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 액체흡수제가 고농도(25%)일 때와 저농도(21%)일 때 출구 공기의 온도는 20℃ 정도로 거의 비슷하였지만, 공기의 습도가 저농도(21%)일 때 상대습도 82%, 고농도(25%)일 때 상대습도 73% 정도로 크게 차이 남을 알 수 있었다.

2. 태양열온수기를 8매를 활용하여 얻어진 온수를 사용하여 가열탑에서 직접 열교환함으로써 저농도(21%)에서는 약 3.0kW의 가열량을, 고농도(25%)에서는 약 2.0kW의 가열량을 얻을 수 있었다.

3. 액체흡수제의 농도에 관계없이 저농도일 때와 고농도일 때 1%가 증가하는 시간은 거의 동일하였지만 증발되는 수증기량은 저농도일 때가 크게 높음을 알 수 있었다.

4. 본 실험을 통하여 대상 실험동에 대한 난방능력 비교 실험 시 용액 농도를 제어하여 대상실에 대한 공기의 온습도 제어가 설정된 온습도 유지로 될 수 있음을 확인하였다.

제 3 장 냉방 성능에 관한 연구

3.1 실험 장치

최근에 태양열을 최대한 효과적으로 활용하기 위하여 온수가 필요 없는 여름철에 태양열집열기로부터 얻어진 고온의 온수를 여름철 ‘냉방열원(Source of cooling heat)’으로 활용하고자 하는 ‘태양열 냉방’에 관한 연구가 본 연구자를 비롯하여 많은 연구자들이 높은 관심을 갖고 개발에 박차를 가하고 있다. 만약 이 시스템이 개발되어 실용화에 성공하면 사계절(Four seasons) 모두 태양열을 효과적으로 사용할 수 있다는 장점을 가질 수 있다.(8) 태양열을 이용해서 여름철에 냉방을 하는 대표적인 기술로는 크게, 흡수식 냉동기를 가동하는 기계식 방법과 흡습제를 이용하여 공기 중의 잠열을 제거함으로써 냉방효과를 얻는 흡수/흡착식 제습방식을 들 수 있으나, 본 연구에서는 흡수제를 이용하여 겨울철에는 난방 및 급탕을, 그리고 여름에는 냉방에 활용할 수 있는 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

이 냉난방 시스템을 이용하여 여름철에서는 냉방을 하고 겨울철에는 시스템 변경없이 난방¹⁾을 할 수 있는 4계절 다기능 복합 시스템을 구축하는 것이 본 연구의 최종 목적이다. 그림 3.1은 4계절 사용이 가능한 냉난방 시스템의 개략도 이다.

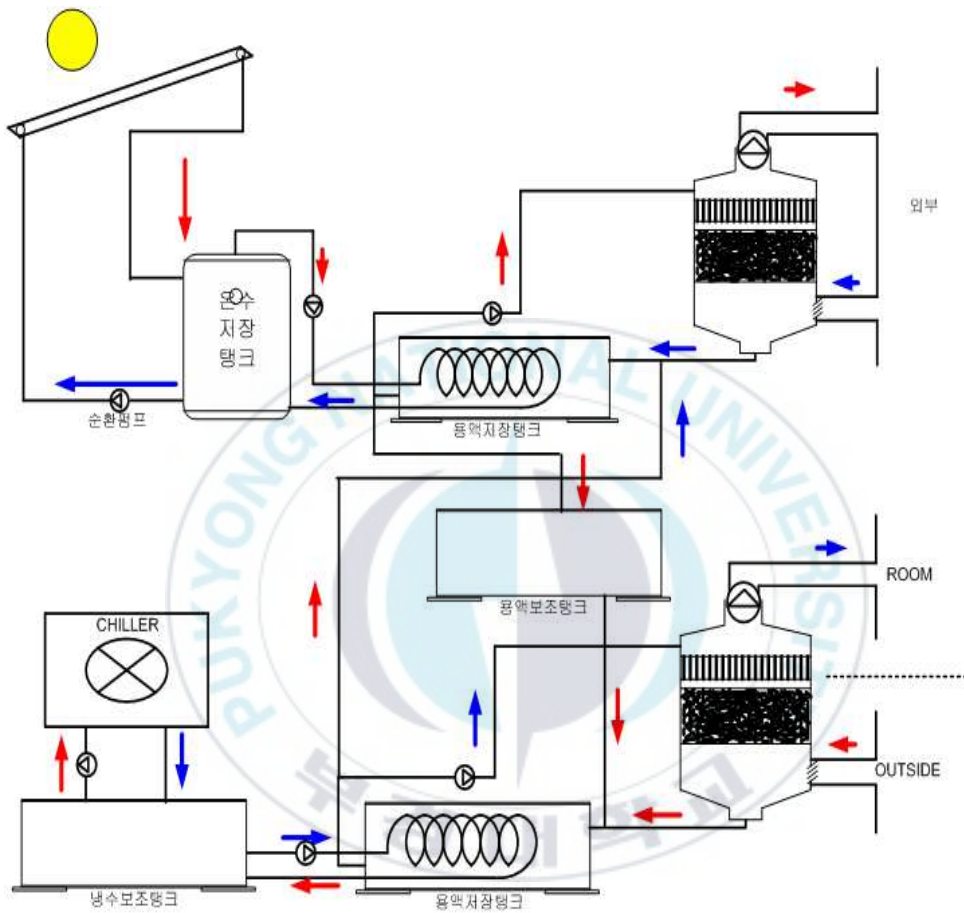


그림 3.1. 제안시스템의 전체 개략도

3.2. 재생

먼저 시스템의 재생(Regeneration) 과정은 여름철에 태양열온수기를 이용하여 얻어진 온수를 사용하여 직접 액체흡수제를 가열함으로써 액체흡수제의 흡수포텐셜을 갖게 하는 재생과정에 관한 실험을 하였으며, 또 가열된 액체흡수제를 직접 재생탑에서 공기와 접촉시킴으로써 얻어지는 재생량에 대한 기초조사를 행하였다. 그림 3.2는 본 논문에서 연구되어진 재생시스템을 도식화 하였다.

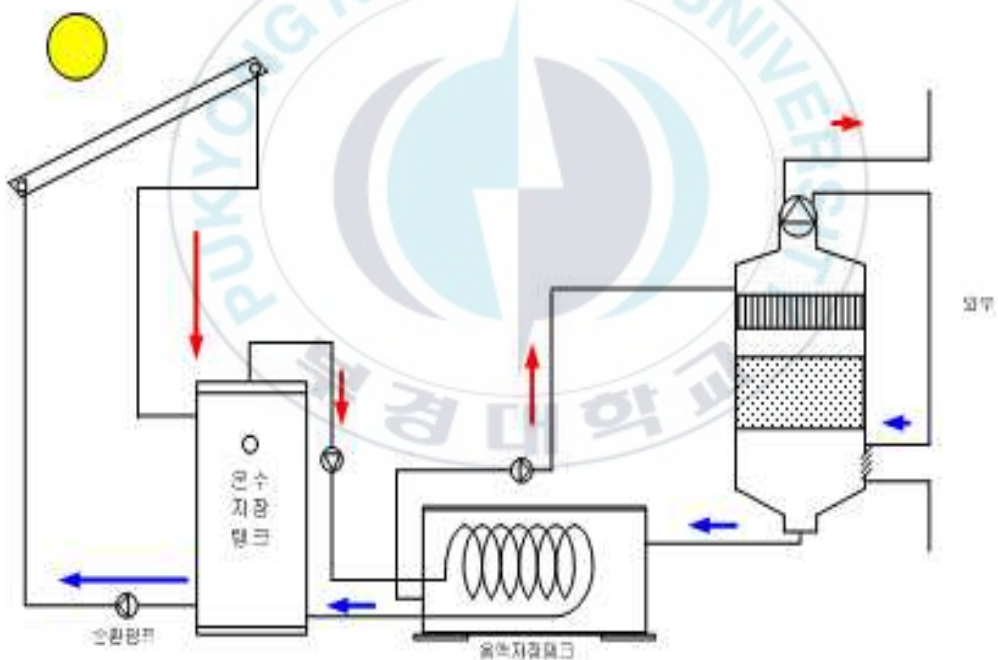


그림 2. 재생시스템 개략도

3.2.1. 재생 장치 구성

먼저 본 연구중 재생과정에서 사용된 실험 장치는 평판형 집열기 4매와 축열 탱크, 그리고 액체흡수제를 직접 사용할 수 있는 재생탑으로 크게 구성되어 있다.

태양열집열기는 낮 동안에 연속적으로 가동이 되며, 여기서 얻어진 온수는 옥상(옥외)과 옥내에 하나씩 설치되어 있는 축열탱크(옥외 280리터 1개, 옥내 280리터 1개)로 자동으로 저장되어, 두 축열탱크 사이에 낮동안 계속적으로 온수교환을 하게끔 설계되어 있다. 이 온수를 이용하여 액체흡수제를 연속적으로 가열하는 열원으로 사용하였다.

축열탱크에 저장되어 있는 온수는 펌프에 의해 티타늄 열교환기가 설치되어 있는 액체흡수제 저장탱크로 반송되며, 여기서 액체흡수제와 열교환을 하고서 다시 저장탱크로 환수된다. 이 과정을 거치면 처음에 저온 상태인 액체흡수제는 서서히 온도가 상승되고, 그 결과 고온 상태인 흡수제로 바뀐다. 한편, 액체흡수제에 열을 빼앗긴 온수는 축열탱크에서 다시 옥상에 설치되어 있는 태양열온수기로 보내어지며, 여기서 다시 일사에 의해 가열되면서 열에너지를 얻어서 축열탱크로 돌아온다.

한편, 온수에 의해 가열된 액체흡수제는 펌프에 의해 재생탑 상부로 운반되어, 충전층 상부에서 균일하게 살수가 되어 낙하하면서 충전층 내부에서 하부로부터

유입되어 상부로 향하는 외기와 직접 접촉하게 된다. 이 때, 가열탑 하부로부터 유입되는 공기는 상부에 설치되어 있는 팬에 의해 흡인되며, 출구를 지난 뒤에는 다시 실외로 버려지게 된다. 이 과정에서 겨울철에는 이 덕트 경로를 실내로 향하게 하여 난방을 도모하며, 여름철에는 바깥으로 향하게 하여 버림으로써 액체 흡수제의 재생(Regenerating) 성능을 향상시키게 된다.

사진 3.1에 제안시스템이 가동되는 재생탑의 모습을 나타내고 있다.



사진 3.1. 재생탑

3.2.2. 재생실험

재생실험시 실험중에 사용되는 공기를 전량 외부에서 도입하여 사용하였으며 재생탑에서 사용되고 나온 공기 또한 외기로 모두 버려졌다. 냉방에 사용되는 액체흡수제의 농도를 증대시키기 위한 재생량 실험으로 전일 제습에 사용되었던 액체흡수제를 그대로 사용함으로써 하루 제습냉방에 사용되어 농도가 묽어진 용액을 제습탑을 가동하는 시간동안 재생을 시켰다.

태양열 온수기에서 얻어진 온수를 이용하여 열교환기를 이용하여 용액의 온도를 재생이 가능한 $50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 로 가열시키고 이 가열된 용액을 재생탑으로 보내지게 된다.

재생탑에서는 외부공기를 도입하여 충진층을 통해 전열교환시키게 된다. 전열교환되어 나온 이 공기는 고온고습의 상태를 가지게 되고 전량 외부로 버려지게 된다. 풍량은 비말이 이전 논문²⁾에서 실험했던 비말을 방지하면서도 적절한 수준인 110 CMH를 사용하였으며, 유량은 $6\ell/\text{min}$ 을 사용하였다.

본 실험은 실제의 태양열 온수기를 이용하여 하루동안 축열된 온수로 보조열원 없이 재생을 할 때, 충진층의 높이에 따른 온도 및 습도 변화량에 대한 차이를 조사하는데 그 목적이 있으며, 기존 연구에서 재생탑에서 전열교환이 가장 활발히 진행되는 조건을 운전조건으로 선정, 재생시스템 실험에 적용하였다. 표 1에

실험조건이 나타나 있다.

표 3.1. 재생 실험 조건

항 목	실험 조건
도입공기 온·습도	27℃ ~ 31℃, 50% ~ 70%
도입 공기유량	110m ³ /h
축열탱크 온도	50℃ ~ 60℃
용액 순환량	6 ℓ /min
충진층 크기	40cm×40cm×30cm

측정에 있어서는 실험이 진행되는 동안 재생탑의 입출구에 온도와 습도가 측정 가능한 온습도계를 설치하여 공기의 온습도를 20초 단위로 측정하였다. 실험은 온수축열탱크의 온수를 낮동안 계속적으로 재생용 용액탱크로 보내어 용액을 계속적으로 가열하였고 이 열 공급용 온수와 용액의 온도를 20초 단위로 측정 저장하였다.

3.2.3. 재생실험결과

일반적인 여름철 날씨를 보이면서 상당히 맑았던 8월 29일의 경우와 평균적인 여름철의 날씨보다 흐렸던 8월 28일의 경우를 비교해 보았다. 본 실험의 경우 재생성능에 제습성능이 거의 의존한다.

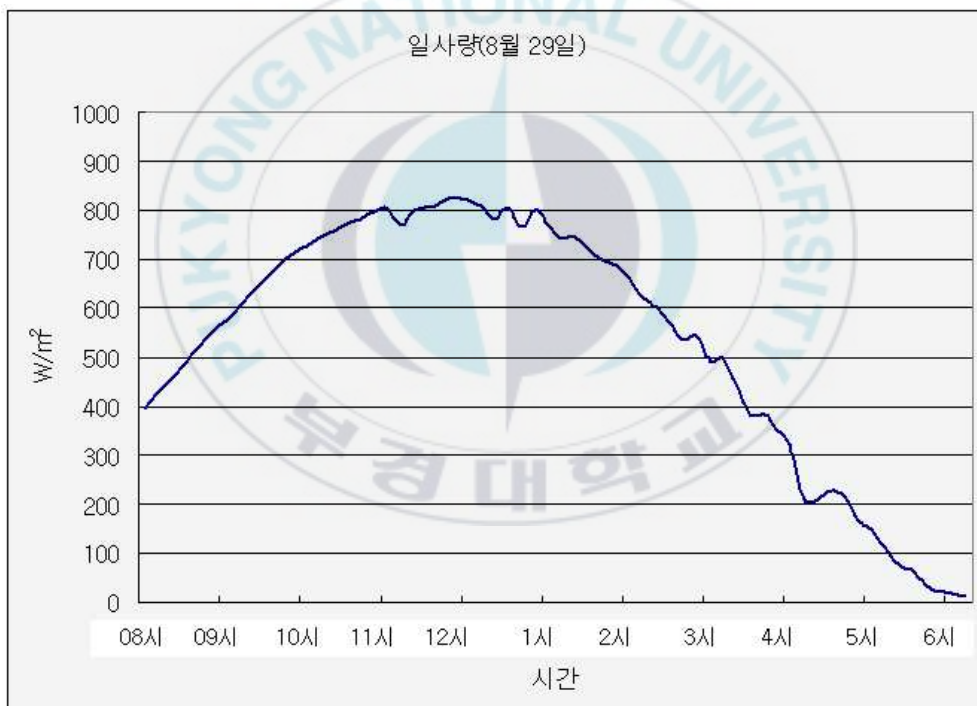


그림 3.3. 8월 29일 측정 일사량 (총일사량 5400W)

그림 3.3는 부경대학교 용당캠퍼스 2공학관 옥상에 일사량계를 설치하여 측정된 8월 29일 일사 데이터이다. 29일의 경우 평균적인 여름후반의 온도와 습도(30℃, 57%)를 가진 날로 일사량 또한 평균적인 여름후반의 일사량을 보여주고 있다.

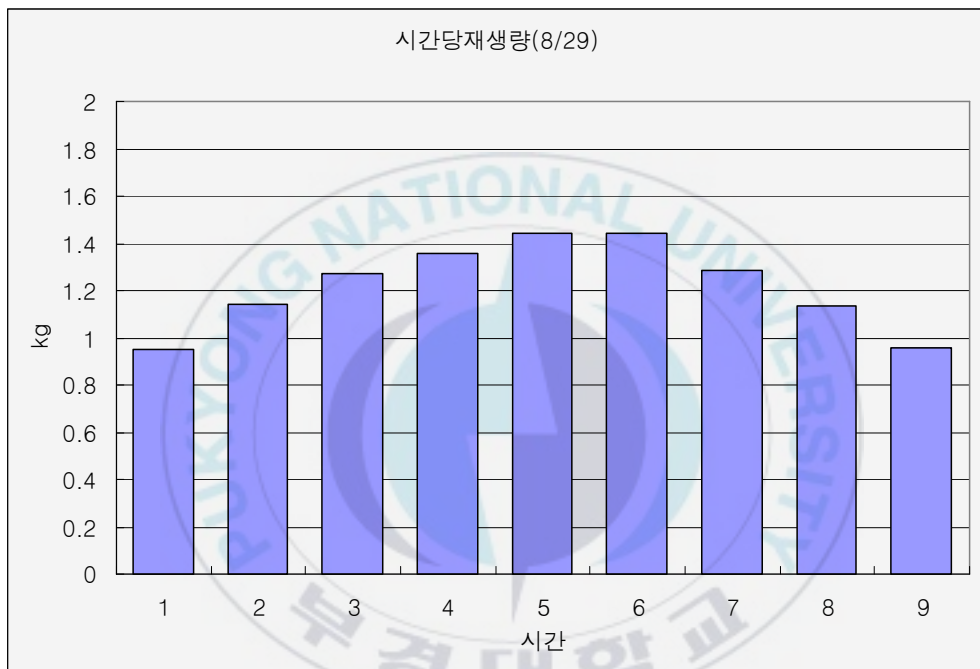


그림 3.4. 8월 29일 시간당 재생량

그림 3.4는 8월 29일 측정된 시간당 재생량 그래프이다. 8월 29일의 평균 시간당 재생량은 1.2ℓ였으며 총 재생량은 11ℓ였다. 최대 시간당 1.4ℓ 정도의 재생량을 보이고 있다.



그림 3.5. 8월 28일 측정 일사량 (총일사량 4900W)

그림 3.5은 동 위치에서 측정한 일사량 데이터이다. 12시부터 2시까지 구름이 많이 끼었던 것을 알 수 있다.

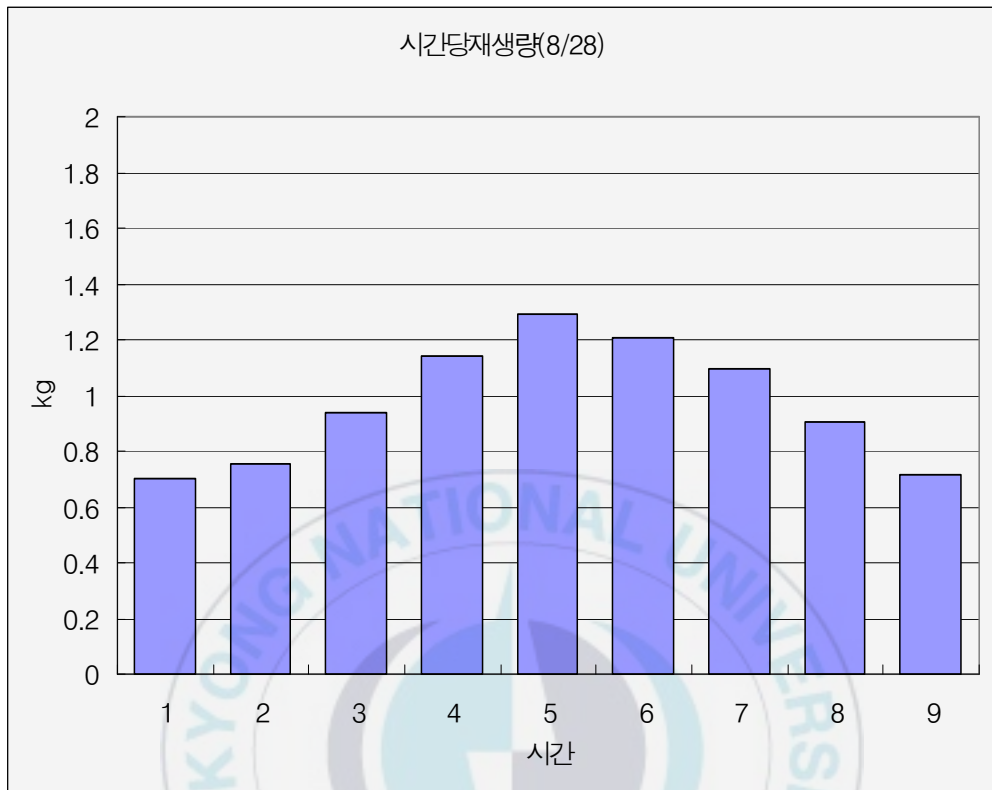


그림 3.6. 8월 28일 시간당 재생량

그림 3.6은 8월 28일 측정된 시간당 재생량 그래프이다. 8월 28일의 평균 시간당 재생량은 0.87ℓ 였으며 10시간동안 총 재생량은 8.7ℓ 였다.

3.3. 제습

다른 한편으로 실제 여름철 공기조화시 사용되는 공기를 만드는 제습 과정으로 그 전날 재생과정을 거쳐서 만들진 고농도 용액을 여름철 제습탑에 분무하고 이 분무된 용액을 제습탑에서 공기와 직접 접촉시킴으로서 여름철 다습한 공기의 습도를 낮추어서 저습한 공기로 변화 시켜서 실내에 공급한다. 이 과정 중 발생되는 잠열 처리가 필요로 하게 되는데 현재 실험실 환경으로 자연 에너지를 이용한 냉각 방식 사용이 힘든 관계로 칠러를 사용하였다. 그림 3.7은 제습과정 과정을 도식화 하였다.

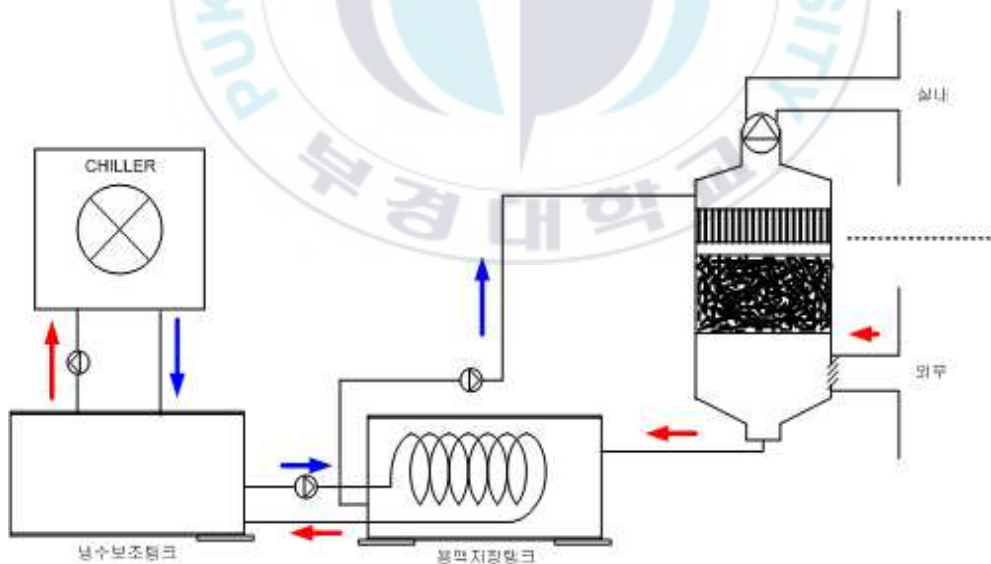


그림 3.7. 제습시스템 개략도

3.3.1. 제습 장치

다음으로 본 연구에서 제습 과정을 위해 사용된 장치는 제습탑과 제습용 용액의 부하 제거를 위한 열교환기 마지막으로 냉수를 만들어줄 칠러가 사용되었다.

먼저 고농도의 액체흡수제가 제습용 저장탱크에서 펌프에 의해 제습탑으로 보내어 지게 되고 제습탑 상층부에서 재생탑과 마찬가지로 살수되게 된다. 이 살수된 액체흡수제는 충전층 상부에서 점차적으로 균일하게 낙하 하면서 제습탑 하부에서 상부로 이동중인 공기와 전열교환하게 된다. 사진 3.2에서 이번 실험에 사용된 제습탑의 모습을 나타내고 있다.



사진 3.2. 제습탑

이 과정을 반복하게 되면 제습용 용액저장탱크의 온도는 공기 중 잠열 부하 때문에 점차적으로 상승하게 되며 어느정도 온도가 상승하게 되면 더 이상 제습할 수 없는 상태가 된다. 그래서 제습용용액저장탱크의 온도를 내려줘야 하는데 옥상에 냉각기를 설치하여 용액저장탱크의 현열부하를 처리 하였다.



3.3.2. 제습실험

다음으로 제습실험의 경우 실험중 사용되는 공기를 전량 외부에서 도입하므로 실험의 정확도를 높였다. 제습 실험에 사용되는 액체흡수제의 경우 전일 재생 실험 후 만들어지게 되는 고농도의 용액을 사용하게 된다. 액체흡수제는 전일 재생된 고농도의 용액을 다음날 제습시 사용하게 되며 제습에 사용된 저농도의 액체흡수제는 다음날 재생기로 보내어져 다시 고농도로 재생이 되게 된다.

칠러에서 얻어진 냉수를 사용하여 제습용 액체흡수제의 온도를 $18^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 으로 유지 시켜 주었다. 비교적 저온의 액체흡수제는 제습탑으로 보내어져 제습탑 하부에서 도입되어지는 공기와 전열교환을 하게 되고 다시 제습용 용액저장탱크로 환수되게 된다. 이 때 풍량은 제습탑과 재생탑의 크기 차이에 따라서 재생시 사용되었던것 보다 높은 220CMH가 사용되었으며 유량은 $7.5\ell/\text{min}$ 을 사용하였다.

표 3.2는 제습실험의 실험조건을 나타내고 있다.

표 2. 제습 실험 조건

항 목	실험 조건
도입공기 온 · 습도	27℃ ~ 31℃, 50% ~ 70%
도입 공기유량	220m ³ /h
축열탱크 온도	18℃ ~ 20℃
용액 순환량	7.5 ℓ /min
충진층 크기	50cm×50cm×30cm

재생과 제습실험은 단편적으로는 단일 과정이지만 전일 재생되었던 용액은
 금일 제습실험에 사용되게 되고 제습실험에 사용되었던 용액은 명일 재생실
 험에 사용됨에 따라 항상 같이 가동되었으며 같이 종료 되었다.

3.3.3. 실험 결과

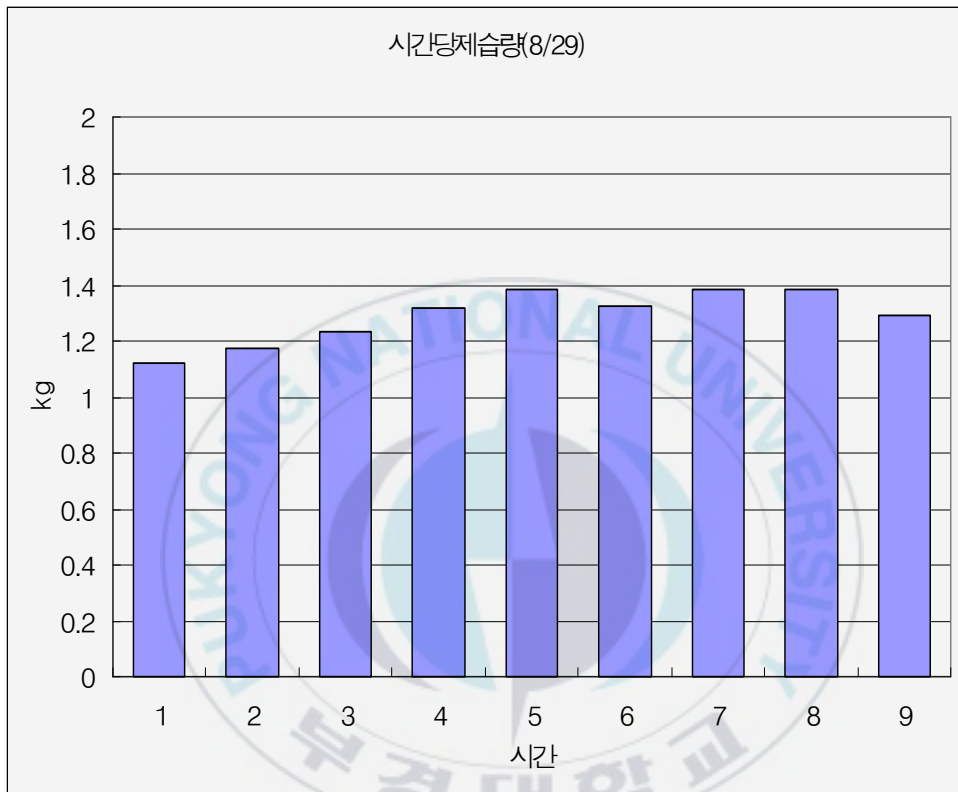


그림 3.8. 8월 29일 시간당 제습량

그림 3.8는 8월 29일의 시간당 제습량을 나타낸다. 총 제습량은 11.6kg이고 시간당 평균 제습량은 1.29kg이었다.

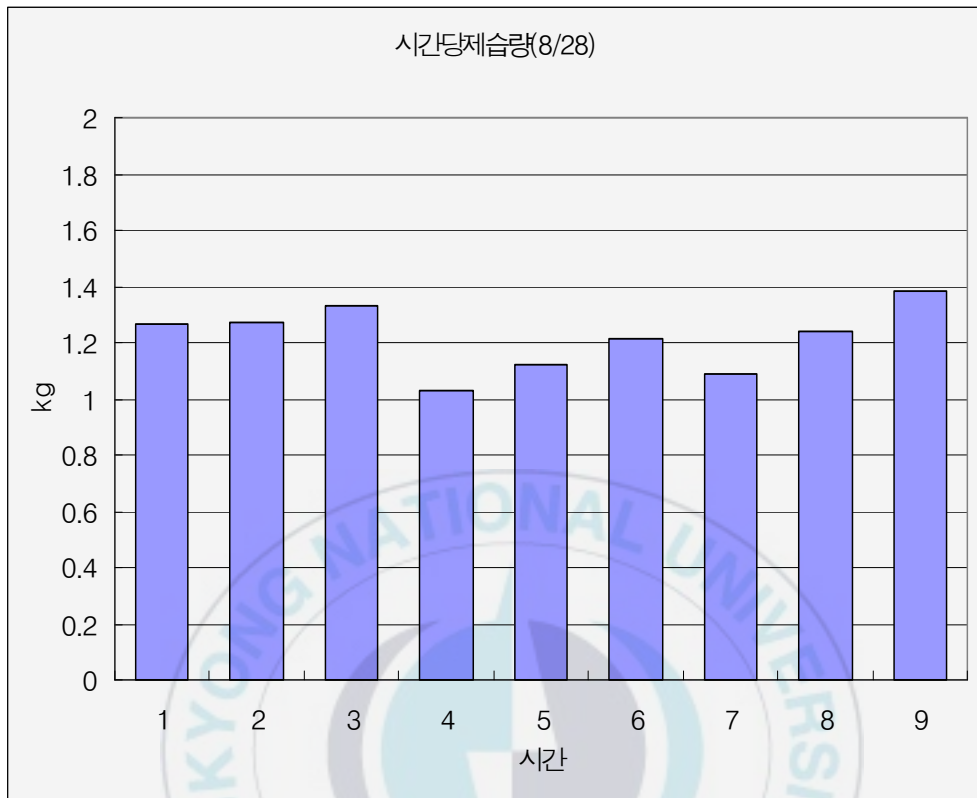


그림 3.9. 8월 28일 시간당 제습량

그림 3.9는 8월 28일 시간당 제습량으로 총 제습량은 10.9kg이었고 시간당 평균 제습량은 1.21kg 이었다. 8월 29일 시간당 평균 제습량과는 0.08kg 정도의 차이를 보였다.

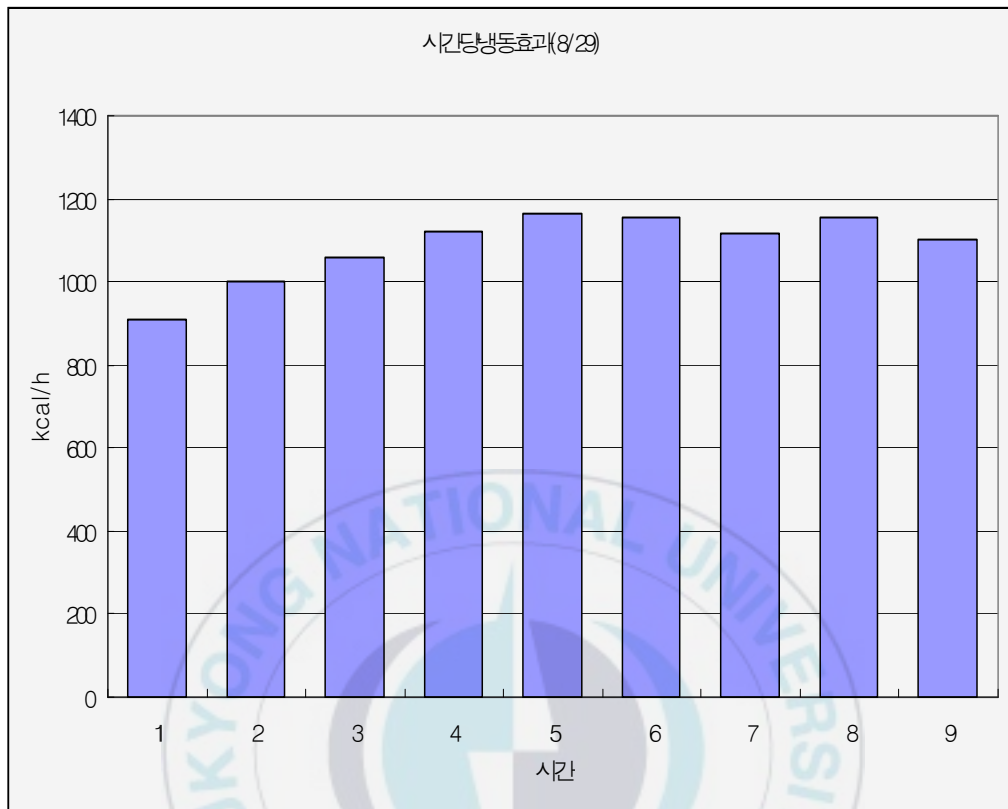


그림 3.10. 8월 29일 시간당 냉동효과

그림 3.10은 8월 29일의 시간당 냉동효과를 나타낸다. 총 9800kcal의 냉동효과를 보였고, 평균적으로 1080kcal/h의 냉동효과를 나타내었다.

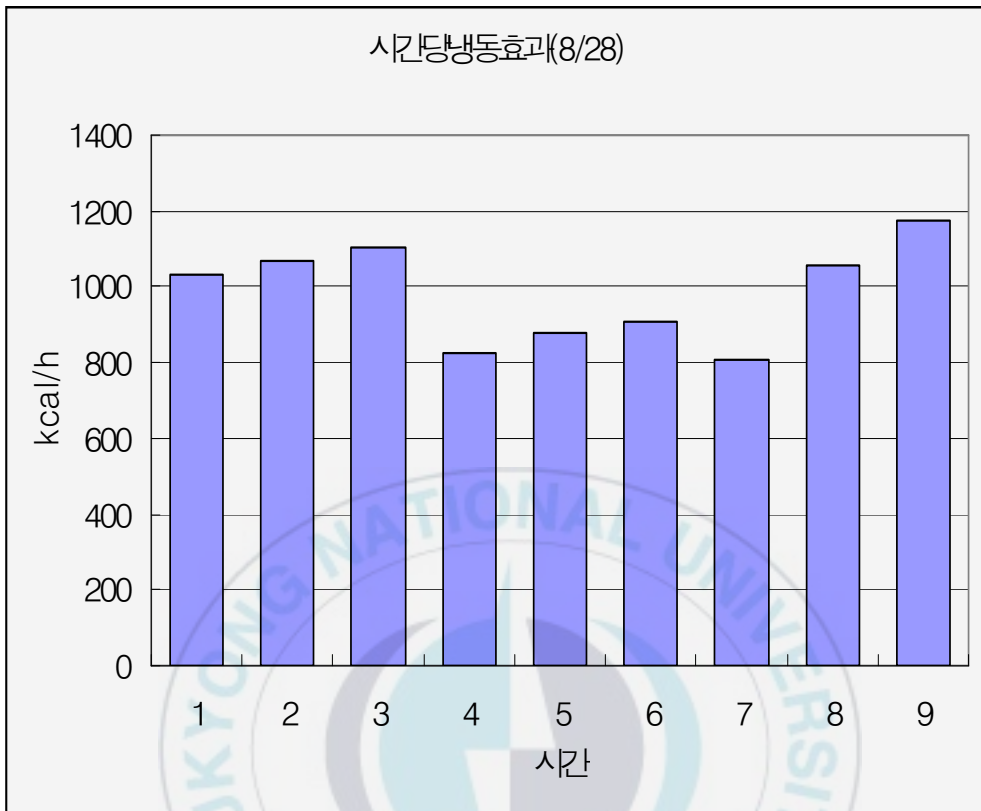


그림 3.11. 8월 28일 시간당냉동효과

그림 3.11은 8월 28일의 시간당 냉동효과를 나타낸다. 총 8800kcal의 냉동 효과를 보였고, 평균적으로 980kcal/h의 냉동 효과를 보이고 있다.

3.4. 고찰

본 연구에서는 태양열 온수기를 이용한 냉난방 실험 중 냉방 실험에 관한 것으로 전체적인 시스템의 구성도와 작동 메커니즘을 알아보는 것과 일반적인 여름철의 날씨와 일사량을 이용하여 재생량을 확인하는데 중점을 두었다.

1. 직접 태양열 냉방시스템을 옥상에 설치된 집열기와 연계하여 실제 운전이 가능함을 알 수 있었다.

2. 재생기는 체적당 한시간에 23.75 ℓ를 재생할 수 있었다. 또한 재생시 집열효율은 44.5%였으며 재생효율은 55.6%였다.

3. 본 실험에 사용된 40cm×40cm×30cm (가로×세로×높이) 재생탑의 경우 시간당 약 1.22 ℓ 정도의 재생량을 보였고 재생탑 체적당 재생량은 23.75 ℓ/m³·h를 기대할 수 있었다.

4. 제습량의 경우 평균 시간당 제습량은 1.2kg 정도를 보였으며 일사량과는 관계없이 대부분이 비슷한 제습량을 보임을 알 수 있었고 제습탑 체적당 제습량은 17.75 ℓ/m³·h를 기대할 수 있었다.

5. 냉동효과의 경우 평균적으로 시간당 1000kcal 정도를 보였으며 집열판 12매를 이용하고 제습기의 체적을 3배로 늘인다면 1RT 정도의 냉동효과를 보일 것으로 예상된다.



4. 결론

본 연구에서는 태양열 온수기를 이용한 냉난방시스템의 난방 및 냉방의 운전특성에 관한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 난방에서 액체흡수제가 고농도(25%)일 때와 저농도(21%)일 때 출구 공기의 온도는 20℃ 정도로 거의 비슷하였지만, 공기의 습도가 저농도(21%)일 때 상대습도 82%, 고농도(25%)일 때 상대습도 73% 정도로 크게 차이 났고, 저농도(21%)에서는 약 3.0kW의 가열량을, 고농도(25%)에서는 약 2.0kW의 가열량을 얻을 수 있었다.

2. 냉방에서는 시간당 약 1.22ℓ 정도의 재생량을 기대할 수 있었고, 평균 시간당 제습량은 1.2kg 정도를 보였으며 일사량과는 관계없이 대부분이 비슷한 제습량을 보임을 알 수 있었다. 또한 냉동효과의 경우 평균적으로 시간당 1000kcal 정도를 보였다. 1RT의 냉동효과를 얻기 위해서는 집열판 12매를 사용하고 제습기의 체적을 3배로 늘이면 가능하다.

3. 실제의 태양열 온수기를 이용하여 4계절 사용가능한 냉난방시스템을 직접 설

계 제작하여 실험에 사용해 봄으로써 제안시스템의 활용가능성을 확인할 수 있었다.



참고 문헌

- [1] K. H. Choi et al, 1999, "Research on the regeneration performance of regeneration in the solar absorption cooling/drying system using liquid desiccant" Proceeding of World renewable Energy Conference.
- [2] Duffie, Beckman, 1991, "Solar Engineering of Thermal Process", John Wiley & Sons Inc.
- [3] Tanaka, 1988, "Solar Air Conditioning System", Se-Jin Publisher, p.p 68 - 101
- [4] L. C. Chen et al, 1990, "An Experimental Study of Lithium Chloride Solar Liquid Desiccant Sytem", Energy and Resources Lab. ITRI, Taiwan.
- [5] 김종률, 최광환, 윤정인, 김재돌, 우중수, 2001, "공기 가열식 태양열 집열기의 온풍을 이용한 재생탑의 재생효율에 관한 연구: 제1보 온풍 온도가 재생량에 미치는 영향에 관한 실험", 한국태양에너지학회 학술발표대회 논문집, pp. 18-26.
- [6] 백기동, 김동은, Eflita Yohana, 김지원, 최광환 2005, "태양열 온수기와 액체 흡수제를 이용한 냉난방시스템 중 재생 및 난방에 관한 연구", 한국태양에너지학회 학술발표대회 논문집, pp. 43-48.
- [7] 백기동, 김동은, Eflita Yohana, 김지원, 최광환, "태양열온수기와 액체흡수제를 이용한 냉난방시스템 중 재생 및 난방에 관한 연구", 2005, 추계 태양열에너지학회 발표논문
- [8] 우중수, "태양열 이용 제습/냉방 시스템의 최적화에 관한 연구", 2004, 박사논문

사사 (감사의 글)

작은 결실인 본 논문이 있기까지 도와주신 고마운 분들께 먼저 감사의 말씀을 드립니다. 가장 먼저 학위과정을 마치기까지 때로는 엄한 아버지처럼 때로는 자상한 형처럼 세심한 지도와 학문의 길을 열어주신 최광환 교수님께 머리 숙여 감사의 인사를 올립니다. 가까이에서 알찬 논문을 위해 조언과 격려를 해 주신 김종수 교수님, 윤정인 교수님 감사합니다. 강의실과 연구실에서 뵈는 때 마다 항상 도움의 말씀을 해주시던 금중수 교수님, 정석권 교수님, 오후규 교수님, 김은필 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

논문을 쓰는 동안 어려움이 있을 때 마다 조언을 아끼지 않았던 김종열 선배님, 김동은 선배님께 깊은 감사를 드리며, 실험실에서 수년간 함께 살면서 실험과 데이터 정리를 자기일처럼 해준 김지원 후배에게 특히 감사하다는 말을 하고 싶습니다. 그리고 잡일을 시켜도 묵묵히 도와준 배종환 후배에게도 고맙다는 인사를 하고 싶습니다.

마지막으로 무엇보다도 이 세상에 저를 있게 해주시고 사랑과 보살핌으로 저를 이끌어 주신 아버지 백경태, 어머니 박재율 두 분께 진심으로 감사합니다. 또한 동생 백민경에게도 감사하며 이 작은 기쁨을 같이 나누고자 합니다.