

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
*Journal of the Korean Solar Energy Society*  
Vol. 22, No. 2, 2002

## 액체흡수제 이용 태양열 공조시스템의 하계 능력에 관한 연구

### Research on the Performance of a Solar Air Conditioning System using a Liquid Desiccant in Summer

최광환\*, 윤정인\*, 김보철\*\*

K. H. Choi\*, J. I. Yoon\*, B. C. Kim\*\*

**Key words** : 재생기(Regenerator), 액체 흡수제(Liquid Desiccant)  
재생량(Regeneration Rate), 전열교환기(Total Heat Exchanger)  
제습(Dehumidification), 예상온열쾌적감신고(PMV)

#### Abstract

In order to find out whether solar air conditioning system could be applied to building or not, the performance and evaluation on thermal environment of the system suggested was done during summer. A solar model house was constructed to find out the performance and thermal environment evaluation when it actually operated outside. As a result, regeneration rate increased rapidly when LiCl solution temperature was over 50°C and the regeneration rate was 13~15kg during 9 hours operation. Furthermore the dehumidification rate was 12kg at maximum during 10 hours operating of a dehumidifier and indoor temperature and relative humidity was 28.4°C and 39.1% in average respectively. On evaluation of thermal environment during summer, PMV value was slightly high, but thermal sensation vote was 71% within the comfort zone.

\* 부경대학교 기계공학부

\* *Dept. of Refrigeration & Air-conditioning  
Engineering, Pukyong National University*

\*\* 한국건설기술연구원 건축연구부

\*\* *Building Research Division, Korea Institute of  
Construction Technology*

## 1. 서론

최근 다양한 기계적 공조장치의 개발로 여름에는 냉방장치를, 그리고 겨울에는 난방장치를 가동함으로써 거주 공간의 실내 환경을 개선하여 주거 환경의 질적 향상을 도모하여 왔다. 더 나아가 공조장치가 산업 분야의 제품 보관에 이르기까지 광범위하게 응용되어 제품의 경쟁력을 한 단계 높이는 데 일익을 담당하고 있다. 그러나 이러한 공조 시스템은 대부분이 기계적 공조방식으로 여전히 많은 전기적 에너지를 구동열원으로 사용하고 있어 하계 전력의 첨두현상(peak time)을 초래하게 되어 국가에너지 수급정책에 악영향을 미치게 된다.

한편, 습도는 고온 다습한 지역에서 인간의 쾌적감을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 따라서 우리나라와 같이 여름철 고온 다습한 지역에서는 외기 온도가 그다지 높지 않더라도 습도가 높으면 무덥게 느껴지며, 실제로 습도에 의한 잠열을 제거하는데 많은 에너지가 소요된다. 지금까지의 대부분의 공조시스템은 온도만을 조절 대상으로 하고 있어, 거주 공간의 환경이 과습되거나 저습되는 경우가 발생한다. 거주공간의 수분이 너무 과다하게 제거되어 저온 저습한 공간으로 바뀌게 되면, 거주자의 신체가 과다하게 냉각되는 소위 냉방병이 발생하는 경우도 있다. 이러한 거주 공

간에 장시간 체재할 경우 거주자, 특히 노약자나 유아는 건강상 매우 바람직하지 못하며, 심지어 심각한 건강상의 문제를 초래하기도 한다.

본 연구는 액체흡수제(liquid desiccant)로써 염화리튬(LiCl)용액을 사용하는 태양열 이용 냉난방 공조시스템에 관한 연구로, 제안 시스템의 개략도는 그림 1과 같다.

본 시스템은 크게 4가지 장치 즉 재생기, 전열교환기, 건조저장탱크, 현열교환기로 구성되어 있다. 본 시스템은 전천후 냉난방을 목적으로 개발되었으며, 특히 여름철의 제습·냉방에 주된 비중을 두고 있다.

재생기는 전열교환기에서 제습, 냉각과정을 거쳐 흡수포텐셜(absorption potential)이 낮아진 LiCl용액을 태양열에 의해 가열된 재생면으로 유하시켜 저농도의 LiCl용액 속의 수분을 증발시켜 상실된 흡수포텐셜을 회복시키는 역할을 한다. 전열교환기는 하계의 고온다습한 공기와 저온 고농도의 LiCl용액을 대향류(counter flow)로 직접 접촉시켜 고온다습한 공기를 저온저습한 공기로 제습·냉각시켜 대상실로 취출한다. 한편, 전열교환 시는 LiCl용액의 온도가 낮고, 재생 시에는 반대로 온도가 높을수록 각각의 효율상승에 유리하므로, 현열교환기에서는 용액온도를 재생과 제습에 적합하게 열교환 시킨다. 제안시스템이 하나의 시스템으로 구성되어 실제 현장에 설치·적용되었을 경우의 시스템 성능파악을 위하여, 실물 실험동을 건립하였다.

본 연구는 실물 운전에 의한 하계 제안시스템의 실제 능력을 파악하여 이와 유사한 시스템의 설계, 제작 시 그 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

## 2. 실험장치 및 방법

실물실험동의 건립에 앞서 재생기 및 전열교환기의 실내실험 및 실외실험을 통하여 최대의 재생

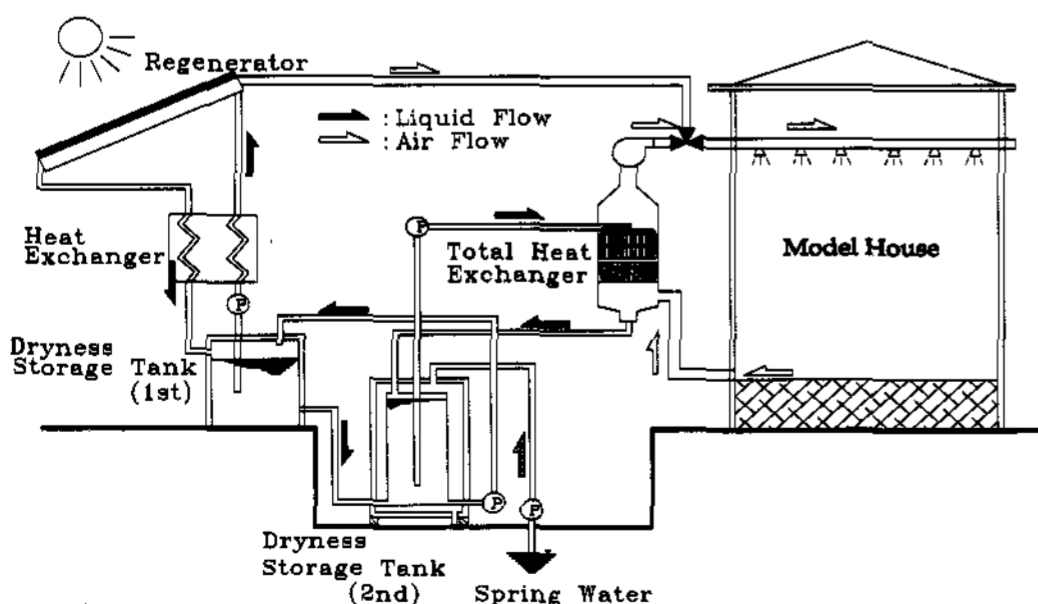


그림 1. Schematic of a solar air conditioning system suggested

능력을 발휘할 수 있는 재생기 및 전열교환기의 최적인전조건과 최적형상조건을 파악하였다. 또한 실물운전에 의한 시스템의 실제 성능을 파악하기 위하여, 부산에 위치한 부경대학교 부지 내에 약 40m<sup>2</sup>(13평 정도)의 실물 실험동을 제작하여 실험을 행하였다. 그림 2는 태양열 이용 냉난방 공조시스템의 실물실험동의 평면도를 나타내고 있으며, 그림 3은 완성된 실물실험동의 전경을 나타내고 있다.

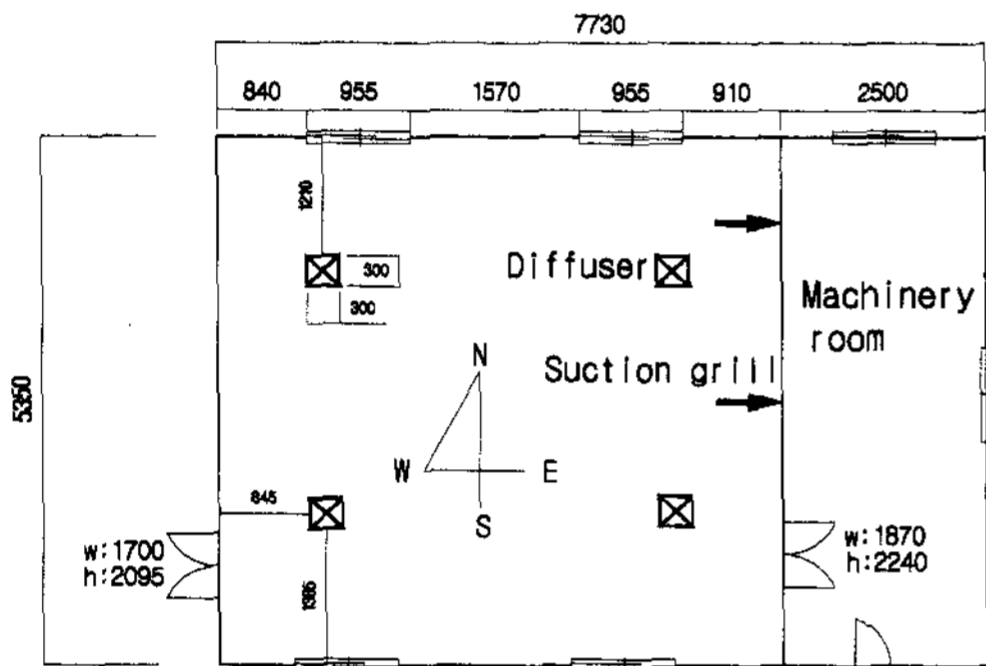


그림 2. Figure plan of the simulator



그림 3. Outside view of the simulator

누수방지를 위하여 실험동 옥상에 방수처리를 하였으며, 그 위에 4대의 재생기를 이전의 연구 결과를 토대로 정남방향으로 각도는 5도로 고정하여 설치하였다.

데이터의 측정에 있어, 재생기의 능력과 직결되는 재생량을 정밀히 측정하기 위하여 재생기의 입

구와 출구에 Beam습도계를 설치하였으며, 측정값의 검증을 위하여 실험 전·후의 LiCl용액을 초음파 농도계로 측정하여 그 값을 검증하였다.

또한 외기풍속을 측정하기 위하여 초음파 풍속계를 설치하였으며, 일사계를 재생기의 인접한 곳에 설치하여 일사량을 측정하였다.

그림 4와 그림 5는 각각 실험동 옥상에 설치된 4대의 재생기와 외기조건에 영향을 받지 않도록 실험동내의 기계실에 비치된 전열교환기의 모습을 보여주고 있다.

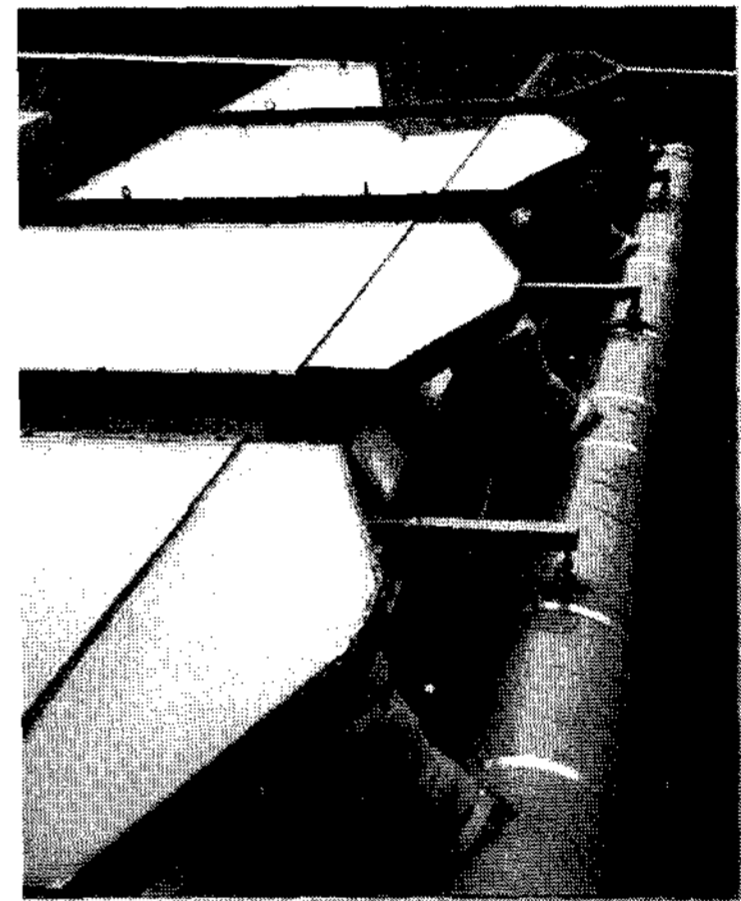


그림 4. Regenerators set up on the rooftop of the simulator

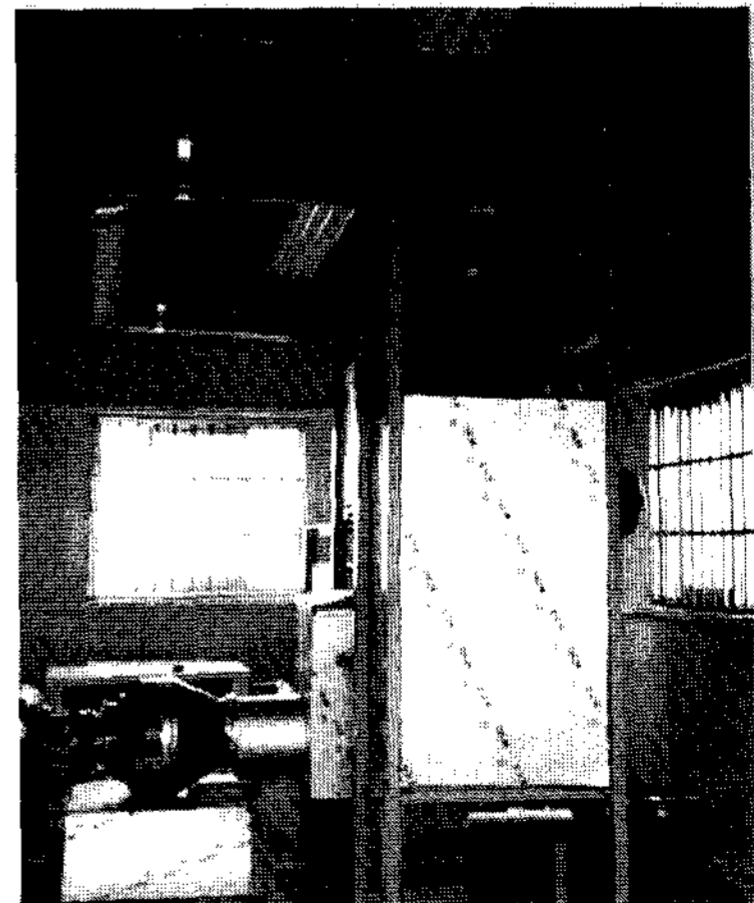


그림 5. Total heat exchanger in the machinery room

장치 운전은 다음의 순서로 행하였다. 먼저 재생기의 경우, 재생용 저장탱크를 사용하여 재생과정을 순환 반복시켜 저농도의 LiCl용액을 고농도의 LiCl용액으로 재생시킨다. 전열교환기도 동일한 방법으로, 전열교환기용 저장탱크를 사용하여 매일 용액을 순환 반복시켜 실험을 행하였다.

또한 전열과정에서 발생하는 화학열을 제거하기 위하여, 현열교환기로 냉각수의 온도를 하계의 시수온도인 22°C로 설정하여 LiCl용액의 온도를 일정하게 유지하였다. 하루의 운전이 끝나면 재생기용 저장탱크와 전열교환기용 저장탱크에 저장된 고농도 용액과 저농도 용액을 교환하여 다음 운전에 대비하였다.

또한 제안 시스템의 하계 온열환경 평가를 통하여, 본 시스템이 온열환경 측면에서 거주자에게 쾌적한 환경을 제공하는가를 검토하였다. 피험자는 청년남자 4명을 대상으로 하였으며, 피험자의 의복량은 0.4clo<sup>1)</sup>로 하였다. 그림 6은 하계 온열환경 평가실험의 전경을 나타내고 있다.

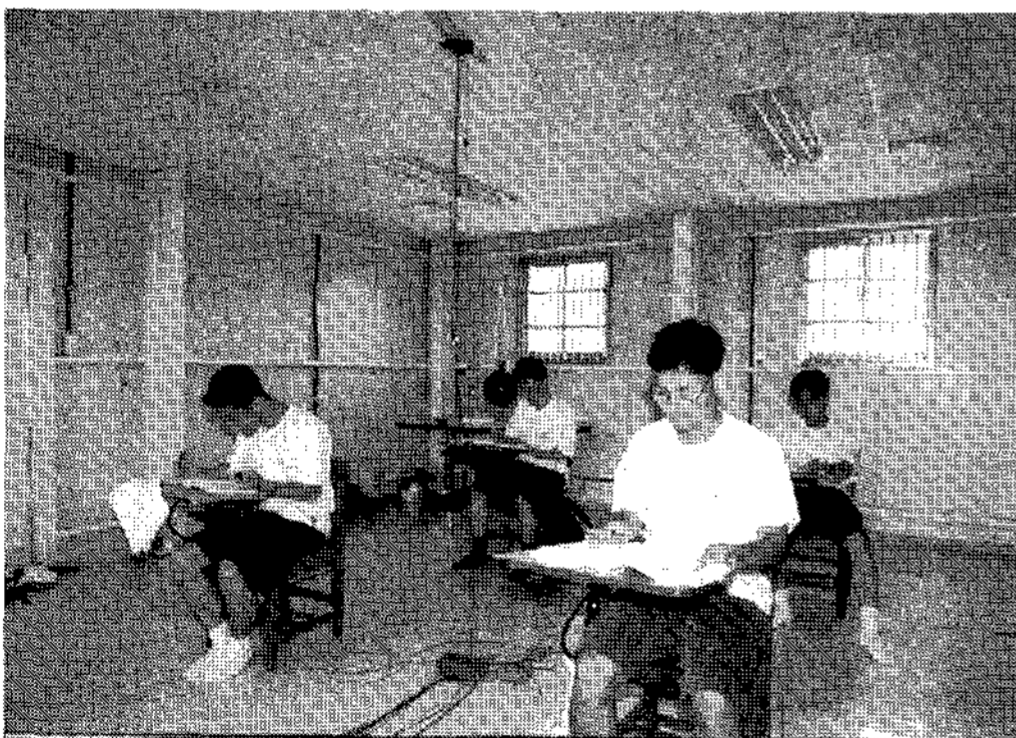


그림 6. View of the experimental set-up for thermal environment evaluation

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 재생기와 전열교환기의 능력

1) 1 clo.: clo값은 의복의 단열성을 나타낼 때 사용되는 단위로, 피부표면으로부터 착의표면까지의 열저항 값이다. 1clo는 0.155m<sup>2</sup>·°C/W의 열저항을 갖으며, 겨울철에 입는 두꺼운 쓰리피스(three piece) 업무용셔츠가 약 1.0clo이다.

실물 실험동의 하계 실험은 1998년 8월 1일부터 9월 30일까지 행하였으며, 그림 7에 재생기의 실험 결과를 나타내고 있다.

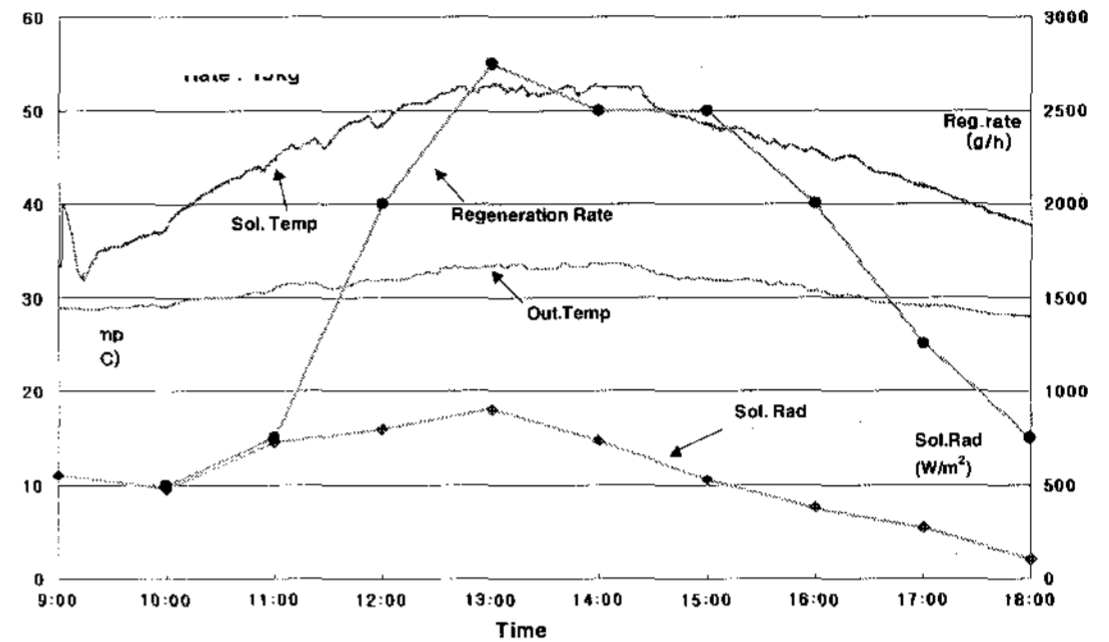


그림 7. Experimental results of regenerators (1998. 8. 25)

그림 7을 보아 알 수 있듯이, LiCl용액 온도가 50°C를 넘어서면서 재생이 활발하게 일어남을 알 수 있었으며, 맑은 날을 기준으로 1일 운전 시(9시간 운전) 재생기는 약 13~15kg정도 증발시켰으며 이 과정을 거쳐 고농도로 변환된 LiCl용액을 전열교환기에서 사용하였을 경우, 최대 12kg 정도의 수분을 제습시킬 수 있음을 알 수 있었다.

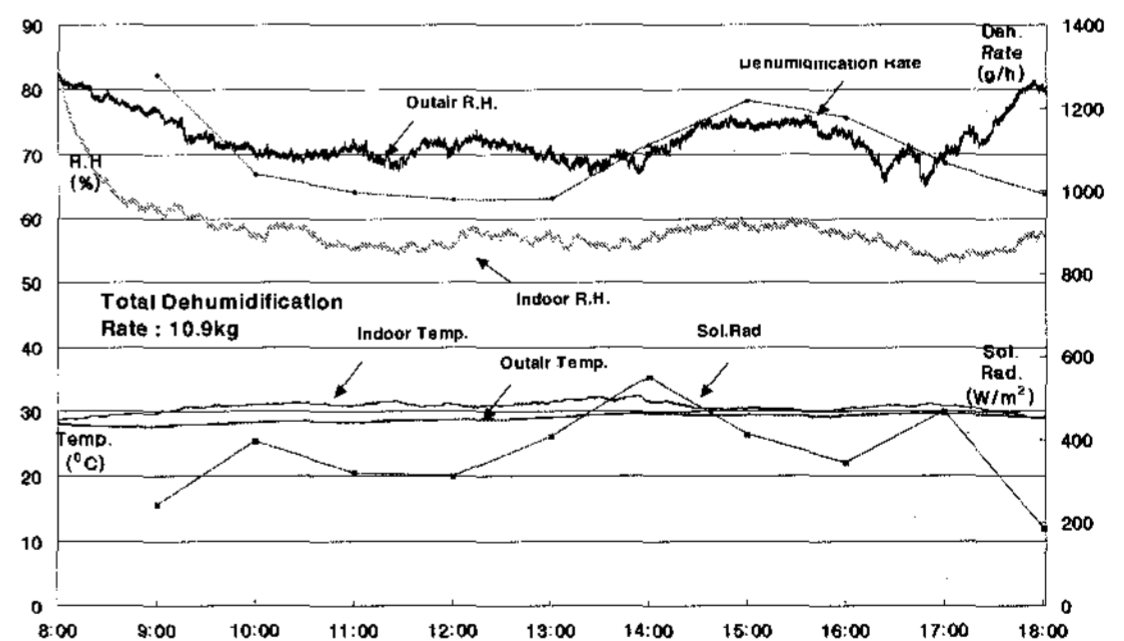


그림 8. Experimental results of dehumidifier (1998. 8. 12)

그림 8은 외기조건에 대한 전열교환기의 상태치 및 실내 온·습도를 나타내고 있다. 제안 시스

템에 의해서 구현된 실내의 온도 및 상대습도는 평균 28.4°C, 39.1%이며, 외기의 온·습도는 평균 30.1°C, 58.2%였다.

### 3.2 실내의 온습도의 경시(經時)변화

그림 9와 그림 10에 실내의 온도와 상대습도의 경시변화를 나타낸 것이다.

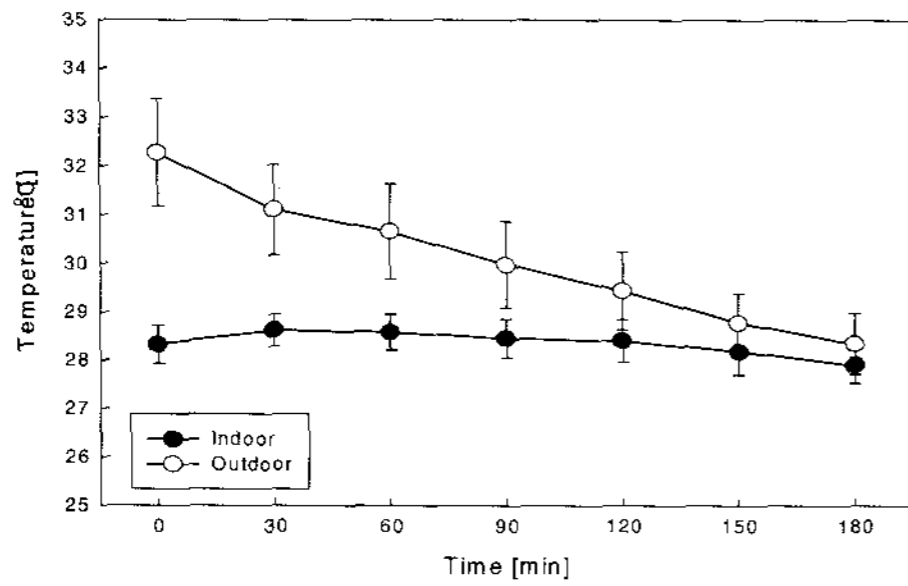


그림 9. Variation of indoor and outdoor temperatures

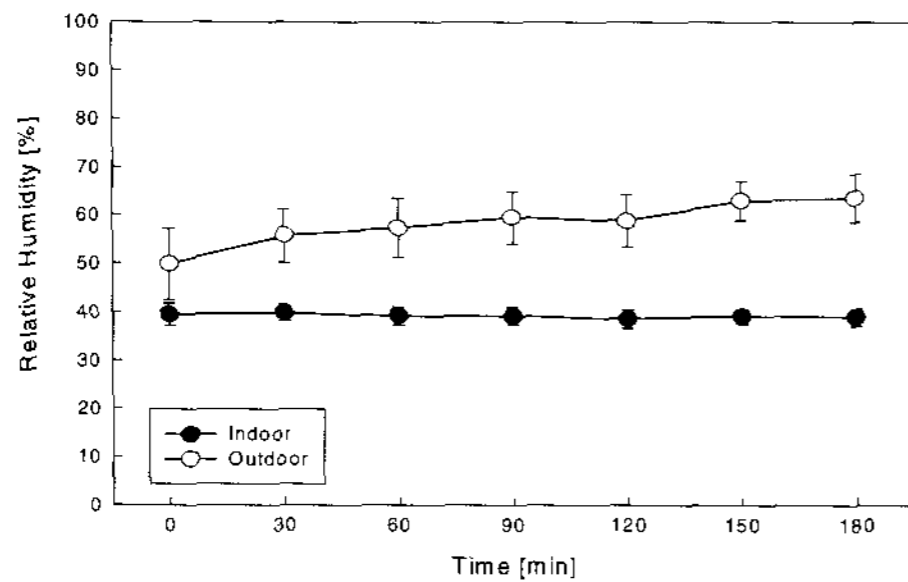


그림 10. Variation of indoor and outdoor relative humidity

실험동의 온도조건은 여름철 건물의 쾌적 설정 조건인 24~26°C 보다 높지만, 습도 조건이 34.7~44.8%로 외기에 비해 20% 정도 낮은 온열환경이 형성되었음을 알 수 있다.

### 3.3 온열환경 평가

그림 11은 예상 평균 온냉감신고(PMV\*\*, Predicted Mean Vote)<sup>1)</sup>와 전신 온냉감신고를 비교하는 그림으로, PMV에 의한 실내환경의 평가결과가 전신 온냉감신고에 의한 평가결과보다 조금 높게 평가된 것을 알 수 있다.

그림 12는 PMV와 쾌·불쾌감신고와의 비교를 나타낸 것이다. PMV의 값은 중립영역보다 다소 높았지만, 중립영역에 포함되는 전신온냉감 신고율은 71%로 나타났다.

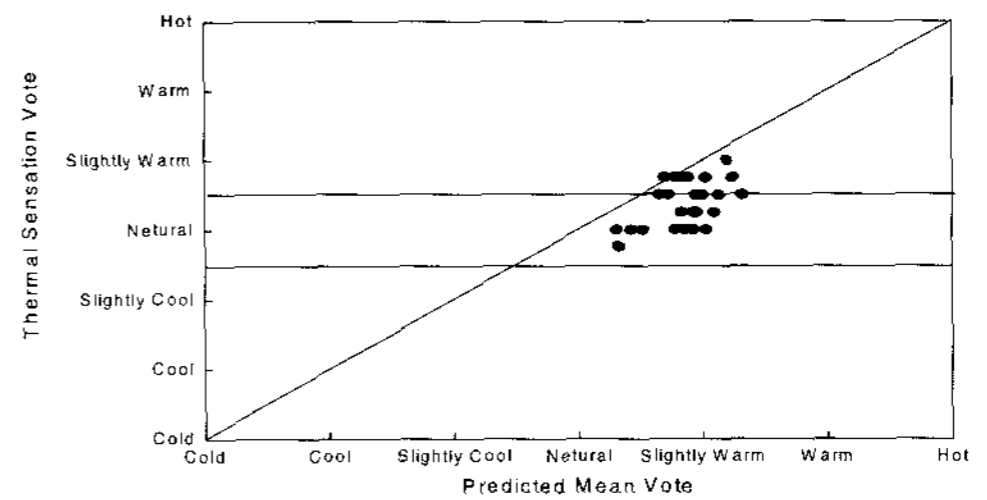


그림 11. Relationship between Predicted Mean Vote and Thermal Sensation Vote

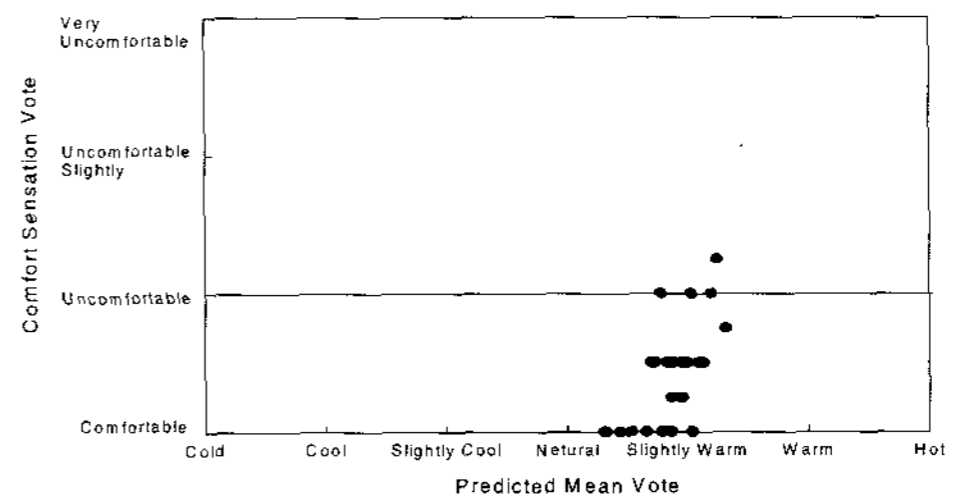


그림 12. Relationship between PMV and comfort sensation vote

## 4. 결론

태양열 이용 냉난방 공조 시스템의 실물 실험동을 건립, 하계 재생기의 재생능력 파악을 위한 기

1) 1 clo.: clo값은 의복의 단열성을 나타낼 때 사용되는 단위로, 피부표면으로부터 착의표면까지의 열저항 값이다. 1clo는 0.155m<sup>2</sup>·°C/W의 열저항을 갖으며, 겨울철에 입는 두꺼운 쓰리피스(three piece) 업무용셔츠가 약 1.0clo이다.

간실험 및 온열환경평가를 통하여, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) LiCl용액의 용액온도가 50℃에 접어들면서 부터 재생이 활발하게 일어나, 재생기의 재생과정에서는 용액온도를 가능한 상승시키는 것이 유리하다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 여름철의 맑은 날을 기준으로 재생기의 1일 운전 시(9시간 운전), LiCl용액으로부터 약 13~15kg/day의 수분이 증발되어 흡수제가 고농도 용액으로 바뀌고 있음을 알 수 있었다.
- (3) 이러한 과정을 거친 고농도 LiCl용액을 전열교환기에서 사용하여 제습·냉방할 경우, 1일 운전 시 (10시간 운전) 전열교환기가 실내의 다습한 공기로부터 최대 1.2 kg/h정도의 수분을 제습시켰다.
- (4) 그리고 제안시스템에 의해 구현된 실험동의 실내온도는 28~29℃ 정도로 약간 높았으나, 상대습도가 34.7~44.8%로 외기에 비해 약 20% 정도 낮아져 고온저습한 온열환경이 실내에 연속적으로 형성되고 있음을 알 수 있었다.
- (5) 또한 PMV의 값은 중립영역보다 약간 높았지만, 중립영역에 포함되는 전신 온냉감 신고율이 약 71%로 쾌적한 환경을 형성하고 있음을 피험자 실험 결과로부터 얻었다.
- (6) 따라서 본 실험 실험동의 운전을 통하여 액체흡수제를 작동매체, 열원으로 기존의 화석연료 대신 태양열을 이용해서 여름철에 냉방을 행하는 시스템이 실제로 적용 가능함을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지 자원 기술

지원 센터의 연구비 지원(연구과제 고유번호 : 961A201316AG1)에 의해 이루어졌으며 이에 감사드리며, 참여해 주신 (주)삼성물산과 (주)신성이엔지의 협조에도 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. J. A. Duffie, W. A. Beckman, 1991, Solar engineering of thermal processes, A Wiley-Interscience Publication.
2. Japan Chemical Engineering Society, Chemical Engineering Handbook, Chapter 9 Humidity Control, Maruzen Co., pp. 591-610.
3. K. H. Choi, 1993, "Research on open cycle solar absorption system for low temperature dehumidifying and drying", Ph. D. thesis, Waseda University, Japan.
4. B. C. Kim, J. S. Kum, K. H. Choi et al, 1997, Optimal Trickling Surface of the Regenerator in an Open Cycle Solar Absorption System for Dehumidifying, ISES Solar World Congress, Vol. 4, pp. 425-433.
5. B. C. Kim, J. S. Kim, K. H. Choi et al, 1998, Research on the Factors on a Regeneration Performance in a Solar Air-conditioning System, Proceedings of the SAREK, pp. 54-59.
6. J. H. Kim, B. C. Kim, J. S. Kum, K. H. Choi et al, 1998, Research on the Performance of Total Heat Exchanger in a Solar Air-Conditioning System, Proceedings of the Solar Energy, pp. 151-156.