

[논문] 태양에너지

Solar Energy

Vol. 18, No. 3, 1998

태양열 흡수식 냉방 시스템의 동특성 연구

백남춘*, 이진국*, 양운섭*, 정시영**

* 한국에너지기술연구소

** 서강대학교

A Study on the Dynamic Performance of a Solar Absorption Cooling System

N. C. Baek*, J. K. Lee*, Y. S. Yang*, S. Jeong**

* Korea Institute of Energy Research

** Sogang University

Abstract

Solar energy has been experiencing renewed interest because of the recent economical crisis in Korea. Absorption cooling is one of the promising solar energy utilization technologies. In this study the dynamic performance of a solar driven absorption cooling machine(SDACM) was numerically investigated. The simulated machine is a commercially available water/LiBr single effect absorption chillers driven by hot water from solar collectors. The present study has been directed to investigate the dynamic behavior of a solar cooling system including an absorption chiller, solar collector, a hot water storage tank, fan coil units, and the air-conditioned space. The operation of the system was simulated for 9 hours in varying operation conditions. The variation of temperature and concentration in the system components, and that of heat transfer rates in the system were obtained. It was also found that the room temperature was maintained near the desired value by controlling the mass flow rate of hot water.

Nomenclature

Cp : specific heat
 h : enthalpy
 m : mass or mass flow rate
 Q : Energy quantity(heat transfer rate)
 T : temperature
 V : vapor volume
 ξ : concentration
 D : vapor mass
 M : mass
 p : pressure
 t : time
 UA : internal energy
 W :

1. 서 론

LiBr/H₂O 1중효용 흡수식 냉동기는 비교적 저온에서 작동되기 때문에 태양열 이용에 적합한 것으로 알려지고 있다[1,2]. 그런데 태양열 집열기에 의해서 얻어지는 온수는 일사량 및 외기조건에 따라서 온도변화가 크다. 따라서 태양열로 구동되는 흡수식 냉동기의 작동특성(동특성)을 알아야만 전체적인 시스템 설계 및 제어에 효과적으로 대응을 할 수가 있다. 태양열을 이용한 흡수식 냉방기에 대해서는 상당히 많은 연구가 수행되었으나 흡수식 냉방기와 주변시설의 동특성 및 기상조건을 고려한 복합적인 시뮬레이션 연구는 지금까지 체계적으로 수행된 적이 없다. 그러므로 본 연구에서는 변화하는 기상조건하에서 흡수식 냉방기와 주변시설을 포함한 시스템에 대한 동특성을 수치 시뮬레이션을 통하여 연구하였다. 특히 변화하는 외부조건하에서도 실내온도를 가능하면 일정하게 유지하기 위한 냉방기 제어방식에 대한 연구도 수행하였다.

2. 태양열 구동 흡수식 냉방시스템

2.1 흡수식 냉동기

본 연구에 사용된 태양열로 구동되는 흡수식 냉동기의 주요제원은 1중효용 사이클의 정상상태의 시뮬레이션에 의하여 결정되었으며 Table 1과 같다[3]. 용량은 5RT이며, LiBr/H₂O를 용액으로 사용하는 1중효용이다.

Table 1. Design data of solar absorption chiller

구 분	전열관 외표면적 (m ²)	총괄전열계수 (kcal/mh°C)
증발기	1.14	80
흡수기	1.97	90
응축기	0.88	262
재생기	0.99	63
유 량 [kg/s]	온 수 : 0.727 냉각수 : 1.119 냉 수 : 0.504	

2.2 프로그램 구성 및 시뮬레이션 모델

2.2.1 동적특성 해석을 위한 열시스템의 묘사

동적 시뮬레이션을 위하여서는 대상 시스템을 균질한(homogeneous) 열적 평형상태에 있는 각각의 요소로 나눈다. 본 연구에서는 대상 시스템은 태양열 이용 흡수식 냉동기이고 각 요소라 함은 재생기, 응축기, 증발기, 흡수기 등을 의미한다. 보다 나은 시스템의 묘사를 위하여 본 연구에서는 하나의 열교환기를 몇 개의 요소로 나누는 것도 가능하다. 이렇게 나누어진 각각의 요소에 대하여 비 정상상태의 전체 질량 평형식, LiBr질량 평형식, 에너지 평형식을 세울 수 있다. 서로 이웃하는 평형 요소들은 열 및 물질을 서로 교환하므로 이에 대한 묘사가 필요하다. 이 때의 열

및 물질 전달은 대부분의 경우, 연결된 요소간의 온도와 압력의 차의 함수로서 각각 묘사된다. 수치적 묘사는 [참고문헌 4]에 자세하게 수록하였다.

2.2.2 동특성 시뮬레이션 프로그램의 구성

시스템의 각 요소들을 묘사하는 부록에 있는 평형방정식들을 합하여 시스템의 특성을 묘사하는 이들 시스템 미분방정식들은 1차 상미분 방정식이며, 동시에 해가 구해진다. 미분방정식들의 수치 해석 방법은 Gear의 후방 차분 공식(backward differentiation formulas)을 이용한 Shampine의 DEPAC-Library 중의 한 코드를 사용하였다.

2.2.3 시뮬레이션 모델

태양열 구동 흡수식 냉방장치에 대한 시스템이 Fig. 1에 도식적으로 표시되어 있고, Table 2와 Table 3에는 각각의 요소(U:balance unit)에 대한 설명과 이들을 연결하는 열 및 물질전달량(F: Heat and mass flow rate)의 묘사 방법이 표시되어 있다.

여기서는 흡수식냉동기의 냉동능력을 현재 널리 사용되는 것처럼 발생기에 공급되는 유량을

조절함으로서 제어하였다. Fig. 1에서 F8이 실내 공기의 온도를 측정하여 F9을 조절하게 된다. 유량조절은 Fig. 2에 나타난 것처럼 실내온도가 설계점인 28°C보다 낮아짐에 따라 이차함수 형태로 조절하는 것으로 가정하였으며 실내온도가 28°C보다 높아지면 설계유량값을 갖고 27°C보다 낮아지면 온수의 공급을 중단한다.

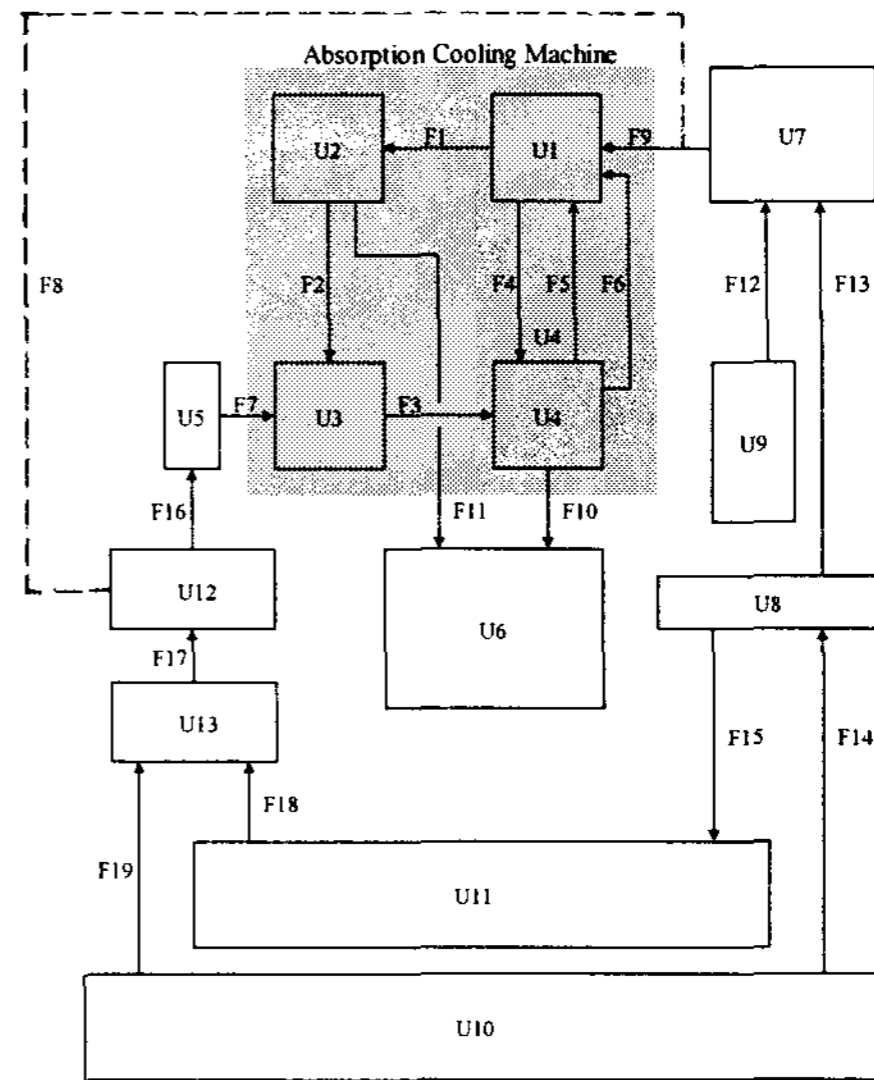


Fig. 1. Flow diagram of the simulated system

Table 2. Description of UNITs

Unit No.	Components	Description
U1	Generator	LiBr-H ₂ O, Saturated Liquid+Heat Capacity
U2	Condensor	H ₂ O, Saturated Liquid+Heat Capacity
U3	Evaporator	H ₂ O, Saturated Liquid+Heat Capacity
U4	Absorber	LiBr-H ₂ O, Saturated Liquid+Heat Capacity
U5	Fan Coil Unit	H ₂ O+Heat Capacity
U6	Cooling Water	T=const
U7	Storage Tank	H ₂ O+Heat Capacity
U8	Solar Collector	H ₂ O+Heat Capacity
U9	Boiler	T=const
U10	Solar Radiation	T=f(t)
U11	Ambient Air	T=f(t)

Table 3. Definition of heat and mass flow rate between each Unit

Flux No.	from	to	Description
F1	U1	U2	Water Vapor, $m = C * \text{sqrt}(dp)$
F2	U2	U3	Water, Saturated Liquid, $m = C * H * \text{sqrt}(dp)$
F3	U3	U4	Water Vapor, $m = C * \text{sqrt}(dp)$
F4	U1	U4	LiBr-Water, $m = C * H * \text{sqrt}(dp)$
F5	U4	U1	Water, $m = \text{const}$
F6	U4	U1	Solution Heat Exchanger, $Q = UA * \text{LMTD}$
F7	U5	U3	$Q = UA * \text{LMTD}$
F8	U12	F9	$m(9) = M_o [0.02 + 0.98(T(U12) - T_o(U12) + 1)^2]$ for $T_o(U12) - 1 < T(U12) < T_o(U12)$ $m(9) = M_o$ for $T(U12) > T_o(U12)$ $m(9) = 0$ for $T(U12) < T_o(U12) - 1$
F9	U7	U1	$Q = UA * \text{LMTD}$
F10	U4	U6	Cooling Water \rightarrow Abs \rightarrow Con $Q = UA * \text{LMTD}$
F11	U2	U6	$Q = UA * \text{LMTD}$
F12	U9	U7	Auxiliary Heat Supply $Q = UA * \text{LMTD}$ for $T(U7) < T_{\min}(U7)$
F13	U8	U7	$Q = UA * \text{LMTD}$
F14	U10	U8	Solar Radiation, $Q = UA * \text{LMTD}$
F15	U8	U11	Heat Loss, $Q = UA * \text{LMTD}$
F16	U12	U5	$Q = UA * \text{LMTD}$
F17	U13	U12	$Q = UA * \text{LMTD}$
F18	U11	U13	Convection Load, $Q = UA * \text{LMTD}$
F19	U10	U13	Solar Load, $Q = UA * \text{LMTD}$

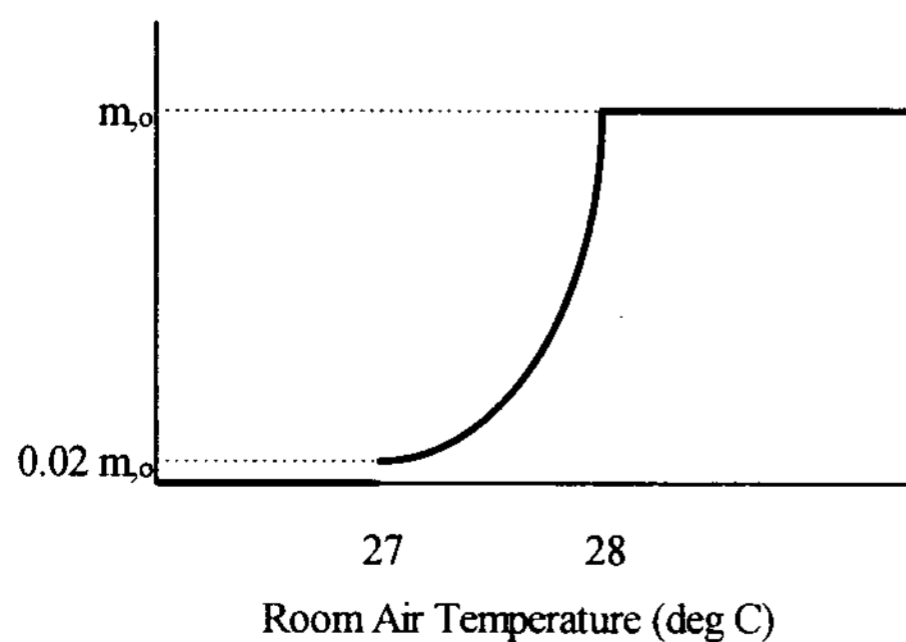


Fig. 2. Mass flowrate control of hot water into the generator

3. 동특성 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 집열량과 냉방 부하가 연속적으로 변화할 때 흡수식 냉동기를 포함한 시스템의 시간에 따른 변화를 분석하였다. 본 시뮬레이션에서 일사량과 외기온도는 시간의 함수(sin 함수)로 주었으며, 보조열원인 보일러로부터 공급되는 온수온도와 냉각수의 공급온도는 일정한 것으로 가정하였다.

Fig. 3에는 일사조건과 외기조건을 오전 9시부

터 23시까지 sin함수 형태로 변화시켜 얻은 집열량과 열부하의 변화가 표시되어 있다. 이러한 조건에서 흡수식 냉동기가 운전을 시작하면 흡수식 냉동기에서의 온도와 압력 그리고 농용액과 희용액의 농도 변화는 Fig. 4~6과 같이 나타난다. 그림에서 알 수 있는 것은 주어진 조건에서 실내의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 흡수식 냉동기 내의 상태는 2시간 정도는 심한 상태 변화를 겪는다. 이는 흡수식 냉동기의 냉방능력이 전술한 것처럼 실내의 온도에 의하여 조절이 되는데 발생기에 공급되는 온수의 유량조절 만으로서는 실

내온도가 어느 범위 내에서 변동이 있을 수밖에 없다는 것을 알 수 있다. 하지만 유량 조절에 의한 냉방 능력의 조절은 시스템의 on-off control 보다는 훨씬 우수한 조절 능력을 가진다. 운전 시작 후 3 시간 정도 경과한 시점에서 냉동기의 상태가 거의 정상상태로 운전하는 것은 일사량과 냉방부하가 거의 일정하며 실내온도가 28℃를 넘어섬으로서 유량이 일정한 값으로 공급되기 때문이다.

Fig. 7은 시스템의 각 요소에서의 온도 변화를 나타낸 것인데 외기온도가 5℃ 변하는데 비하여

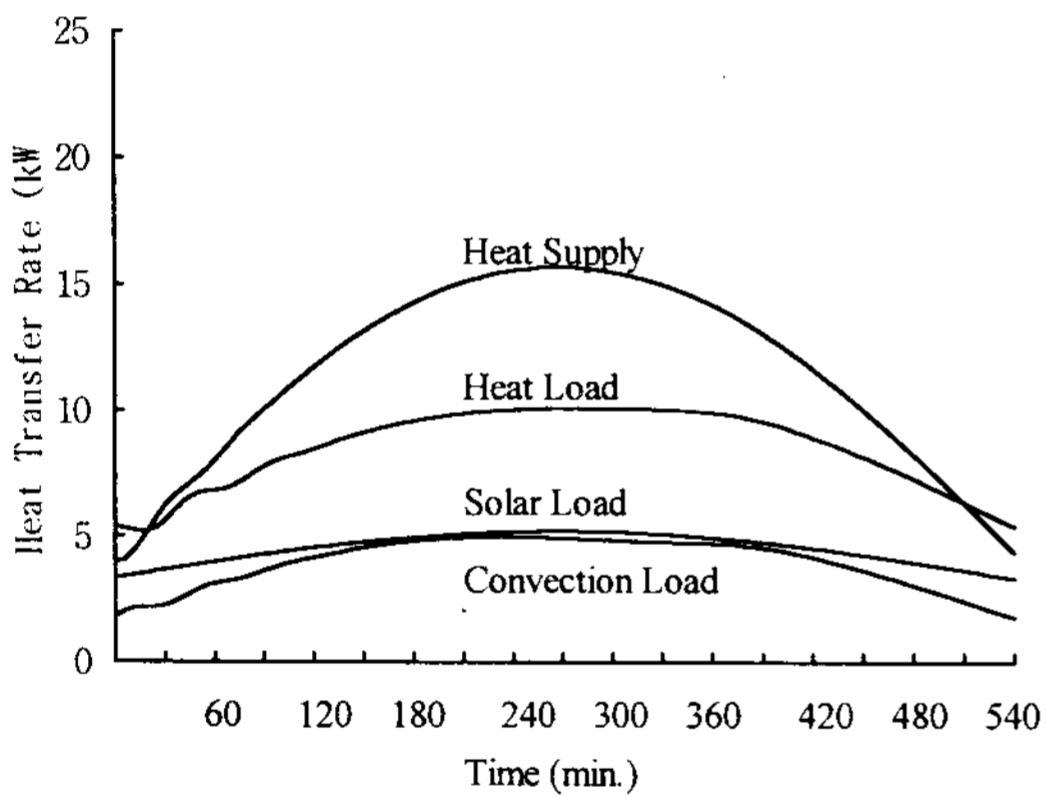


Fig. 3. Heat supply from the collector and heat load

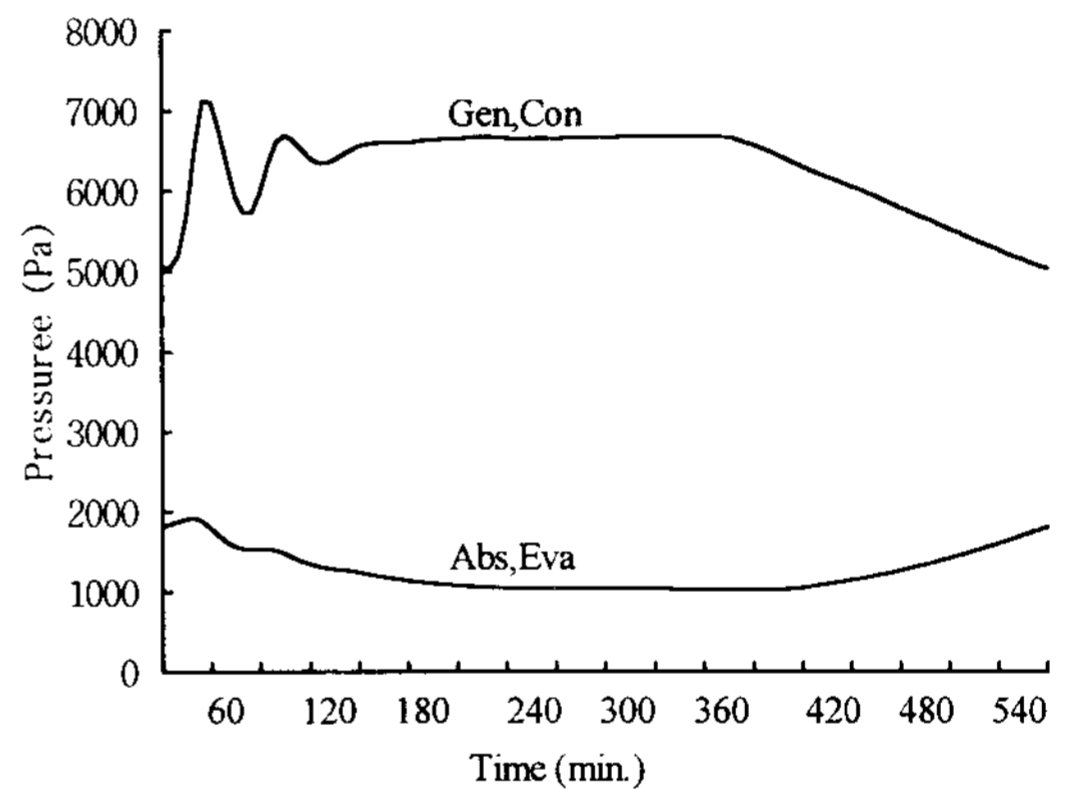


Fig. 5. Pressure variation of the absorption chiller

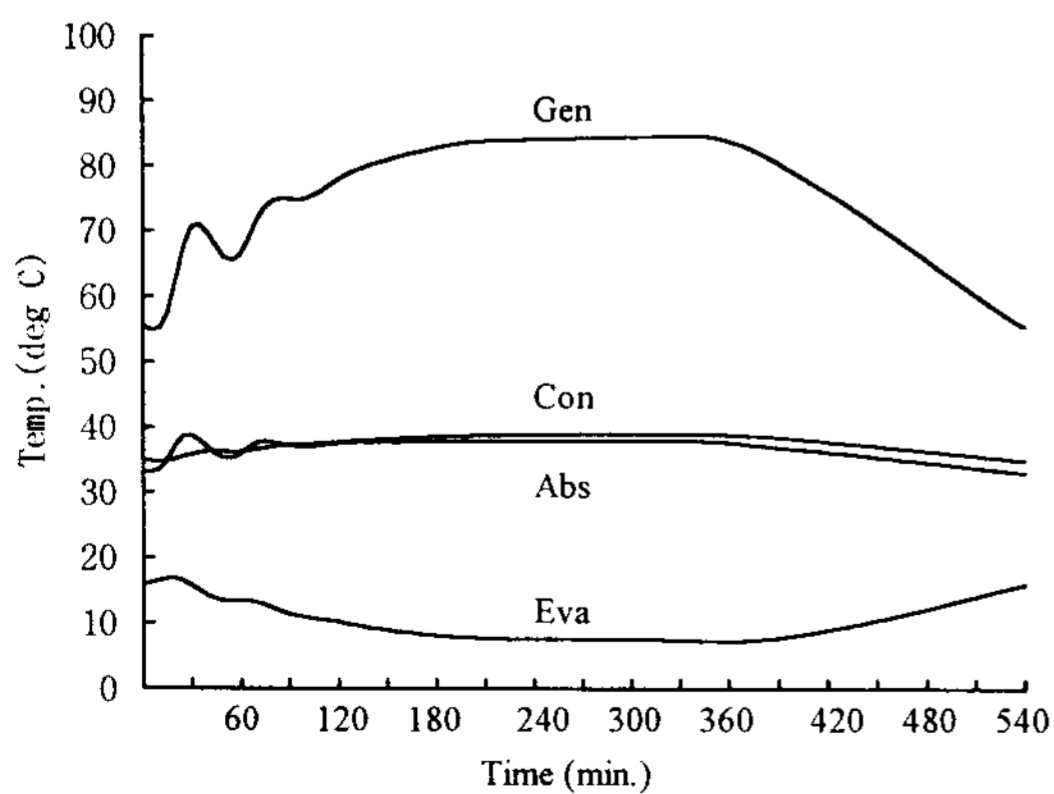


Fig. 4. Temperature variation of the absorption chiller

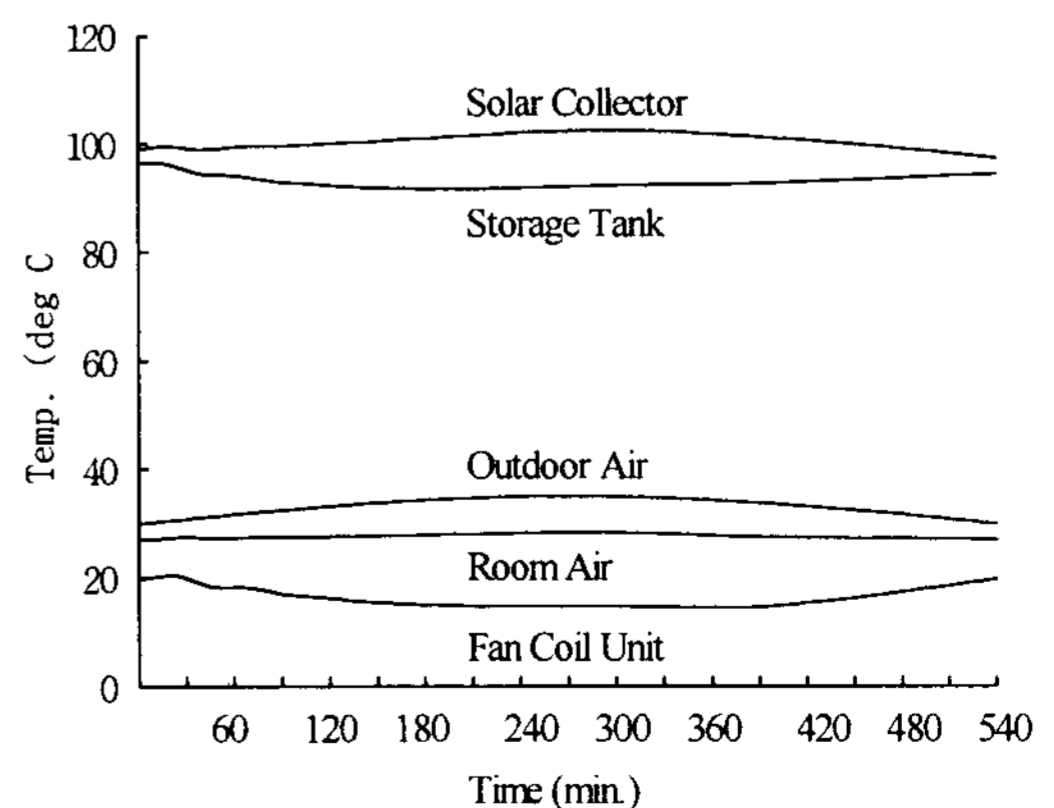


Fig. 6. Concentration variation of the absorption chiller

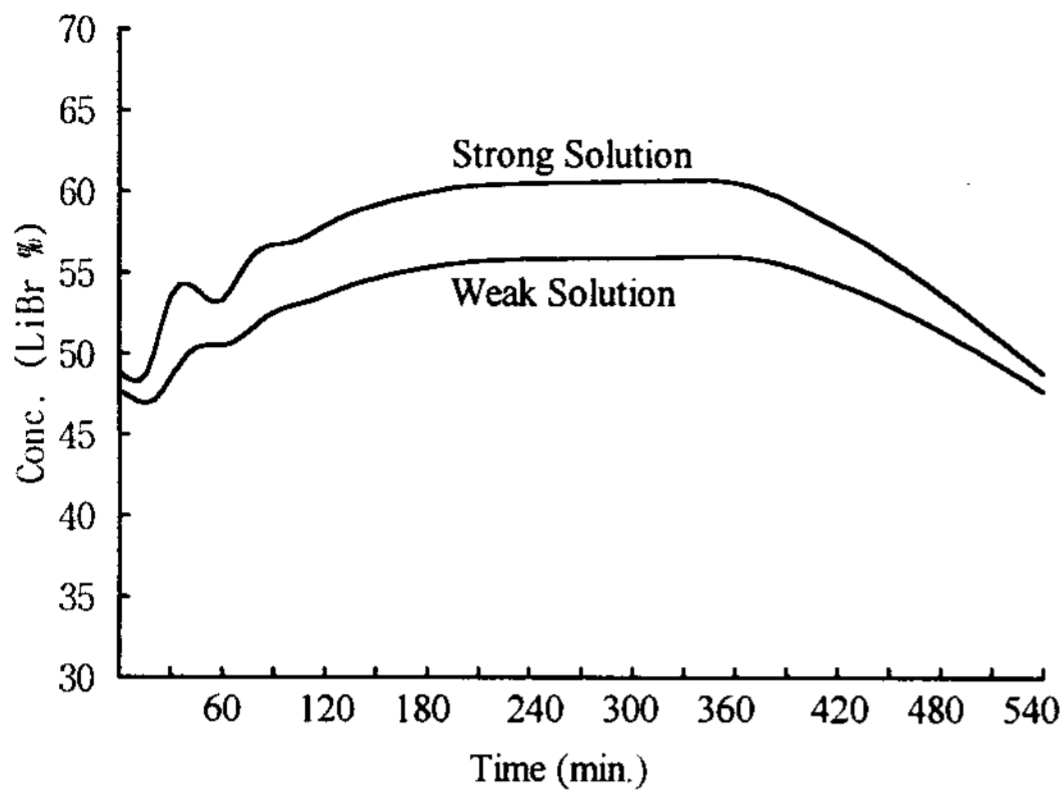


Fig. 7. Temperature variation of the system component

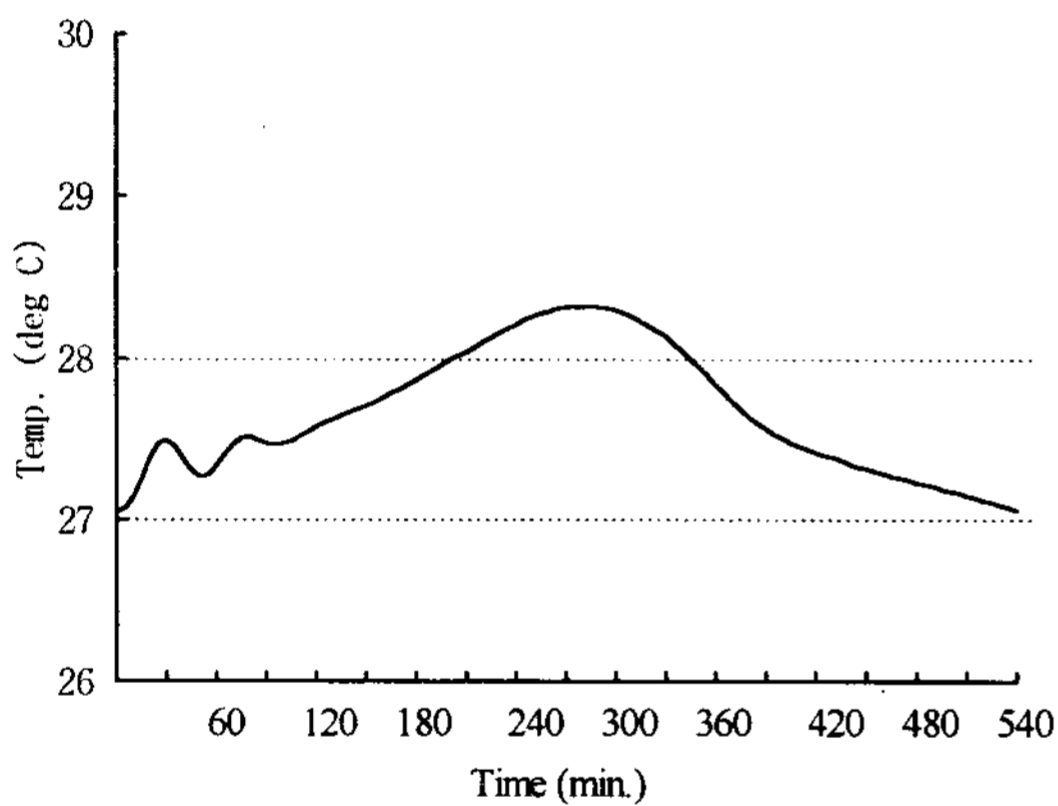


Fig. 8. Temperature variation of room air

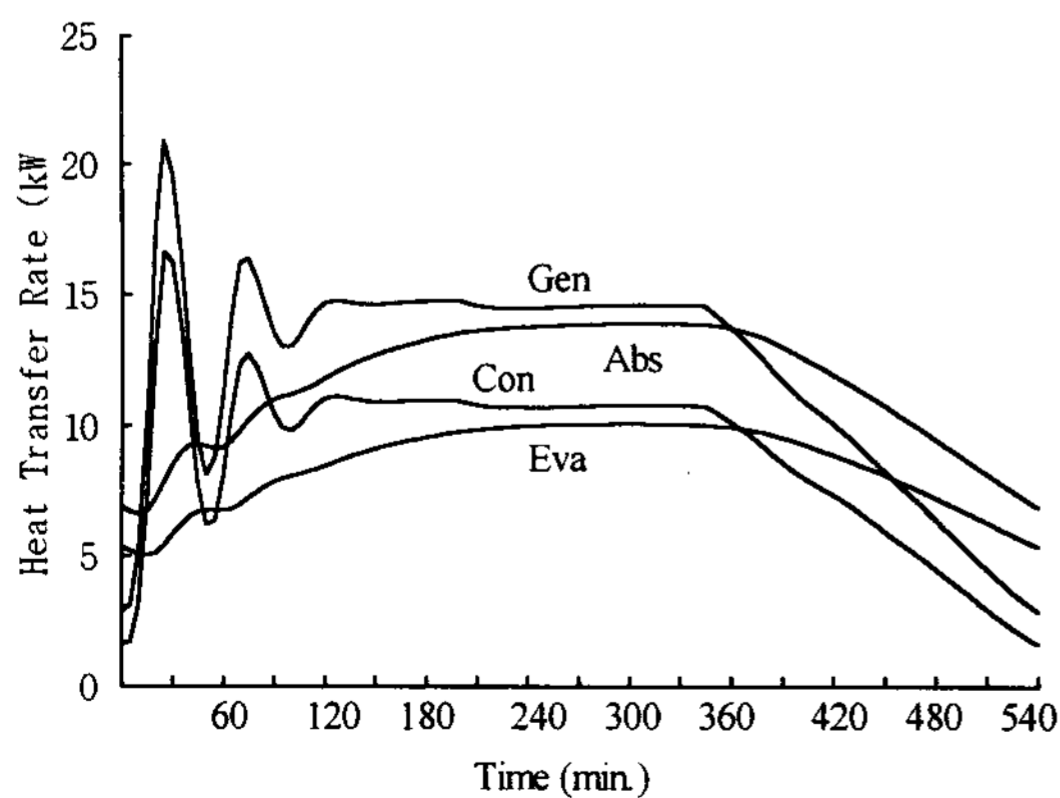


Fig. 9. Heat transferred to the components of the absorption chiller

실내 온도는 약 1°C 정도 내에서 변하는 것을 알 수 있다. Fig. 8에는 실내 온도의 변화를 자세히 나타내었는데 앞서 설명한 것처럼 실내 온도의 변화는 Fig. 4~6의 변화를 잘 설명해 준다.

Fig. 9은 냉동기의 각 요소, 즉, 발생기, 응축기, 증발기 그리고 흡수기에서의 열전달량을 나타내는데 발생기와 응축기에서의 열전달량은 시동 후에 큰 폭으로 진동을 하지만 흡수기와 증발기에서의 열전달량은 완만하게 변화한다. 증발기에서의 냉동효과를 냉방 부하(Fig. 3의 heat load)와 비교하면 단순한 유량제어에 의하여서도 냉방 부하에 거의 일치하도록 냉방능력을 조절할 수 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

흡수식 냉동기와 주변장치로 구성된 태양열이용 냉방장치에 대하여 동특성 시뮬레이션을 수행하여 실내온도 변화에 따른 온수의 유량을 제어함으로써 원하는 범위에서 실내온도를 유지할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 개발된 동특성 프로그램은 다른 조건에 대하여서도 input data를 바꾸어 손쉽게 운전특성을 알아 볼 수 있으므로 앞으로 다양한 운전조건에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 최적의 운전 방법 및 시스템 설계에 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

1. J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Solar Energy Thermal Processes", Wiley, New York, 1974
2. "Active Solar System", Edited by George Lof, The MIT Press Cambridge London,

1993

3. 정시영, 백남춘 외, "태양열 구동 흡수식 냉동기의 기본설계 및 성능 분석", 태양에너지학회 1998.
4. 전홍석, 백남춘 외, "중고온 태양열 집광시스템 개발 및 응용연구", pp.237~267, 한국에너지기술연구소 1997.
5. "Keith E. Herold, Reinhard R. S.A.Klein", "Absorption chillers and Heat Pump", CRC Press, 1995,
6. 강상우 외, 1996, "저온폐열회수를 위한 제 1종 흡수식 열펌프의 컴퓨터 시뮬레이션", 공기조화 냉동공학 논문집, 제 8권 2호.

A Study on the Dynamic Performance of a Solar Absorption Cooling System

N. C. Baek^{*}, J. K. Lee^{*}, Y. S. Yang^{*}, S. Jeong^{**}

^{*} *Korea Institute of Energy Research*

^{**} *Sogang University*

Abstract

Solar energy has been experiencing renewed interest because of the recent economical crisis in Korea. Absorption cooling is one of the promising solar energy utilization technologies. In this study the dynamic performance of a solar driven absorption cooling machine(SDACM) was numerically investigated. The simulated machine is a commercially available water/LiBr single effect absorption chillers driven by hot water from solar collectors. The present study has been directed to investigate the dynamic behavior of a solar cooling system including an absorption chiller, solar collector, a hot water storage tank, fan coil units, and the air-conditioned space. The operation of the system was simulated for 9 hours in varying operation conditions. The variation of temperature and concentration in the system components, and that of heat transfer rates in the system were obtained. It was also found that the room temperature was maintained near the desired value by controlling the mass flow rate of hot water.