

[논문] 태양에너지

Solar Energy

Vol. 18, No. 3, 1998

태양열 구동 흡수식 냉동기의 기본설계 및 성능분석

백남춘*, 윤응상*, 주문창*, 정시영**

* 한국에너지기술연구소

** 서강대학교

Basic Design and Performance Analysis of an Solar Absorption Chiller

N. C. Baek*, E. S. Yoon*, M. C. Joo*, S. Jeong**

* *Korea Institute of Energy Research*

** *Sogang University*

Abstract

Basic design of a solar driven absorption cooling machine(SDACM) with a cooling capacity of 5 USRT was carried out. The SDACM is a single effect cycle driven by low temperature hot water from solar collectors. The SDACM design data were calculated by the steady state simulation program which was developed in this study. The variation of COP and cooling capacity of the SDACM were investigated at different off-design conditions. Both the cooling capacity and the system COP were improved with decreasing cooling water temperature. If hot water temperature was increased, the cooling capacity was improved but the system COP was found to be decreased. The decrease of the system COP were basically caused by increased thermal loads in the system components.

기 호 설 명

- α : solution ratio
 COP : coefficient of performance
 G : solution mass
 Q : Energy quantity(heat transfer rate)
 ξ : concentration
 Cp : specific heat
 D : vapor mass
 h : enthalphy
 T : temperature

Subscript

- A : absorber
 E : evaporator
 s : strong solution
 w : weak solution
 C : condenser
 G : generator
 shx : solution heat exchanger

1. 서 론

태양열을 열원으로 하는 냉방 시스템은 부하가 큰 하절기에 일사량도 크기 때문에 에너지 절약 가능성이 높아서 오랫동안 연구의 대상이 되어왔다. 현재까지 연구된 태양열 냉방시스템은 주로 흡수식 냉동 Cycle을 이용한 액체 흡수식 냉방, 고체흡수제를 이용한 냉방, 흡착식 냉방, 증기압축식 냉방 등과 같은 것들이 있다[1,2]. 이 중에서 태양열 구동 LiBr/H₂O 흡수식 냉방은 에너지의 변환이 없고 비교적 저온에서 작동되기 때문에 태양열을 이용한 냉방시스템으로 비교적 적절한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 태양열 구동 흡수식 냉동기의 기본적인설계를 실시하

고 운전조건에 따른 성능을 예측하였다. 냉동기는 태양열 집열판에서 얻어지는 온수를 구동열원으로 사용할수 있도록 85℃ 전후의 저온에서 작동될 수 있는 LiBr/H₂O를 용액으로 사용하는 5RT 용량의 1중 효용 흡수식을 설계대상으로 하였다. 1중효용 LiBr/H₂O 흡수식 냉동 사이클은 설계와 정상상태 해석 방법은 잘 알려져 있으나, 태양열 구동 흡수식 냉동기는 시스템 구성 방법에 따라서는 기상 조건에 의해 구동 열원수의 온도 변화가 심할 것으로 예측되므로 구동 열원수의 온도와 냉각수의 온도 변화에 따른 냉동능력과 성능계수(COP)의 변화를 잘 파악하여야 한다. 그러므로 본 연구에서는 태양열 이용 흡수식 냉동기의 주요 설계 데이터를 정상상태 계산 프로그램을 사용하여 선정하고, 이렇게 결정된 흡수식 냉동기가 구동 열원수의 온도와 냉각수의 온도에 어떻게 영향을 받는지는 시뮬레이션 프로그램[1]을 이용하여 계산하였다.

2. 태양열 구동 흡수식 냉동기 설계

2.1 열역학적 고찰

태양열 구동 흡수식 냉동기는 구동열원이 태양열인 점을 감안하여 비교적 낮은 온도에서 작동되는 1중 효용이 적정하며, Fig. 1에 표시된 것처럼 재생기, 응축기, 증발기, 흡수기와 용액열교환기의 주요 부분으로 구성된다.

재생기는 태양열로부터 가열된 온수 또는 열매체로 부터 열을 공급받아서 수증기를 발생시키며, 이 수증기는 응축기에서 응축열을 냉각수로 발산시키며 응축된다. 증발기에서는 증발에 의하여 냉동효과가 얻어지고, 증발된 증기는 흡수기에서 재생기로부터 돌아오는 농용액에 흡수된다. 이 때의 흡수열은 냉각수에 의하여 흡수기로부터 제거된다. 한편, 증기를 흡수한 희용액은 용액펌프를 거치며 가압되어 용액 열교환기를 지나며 재생기로

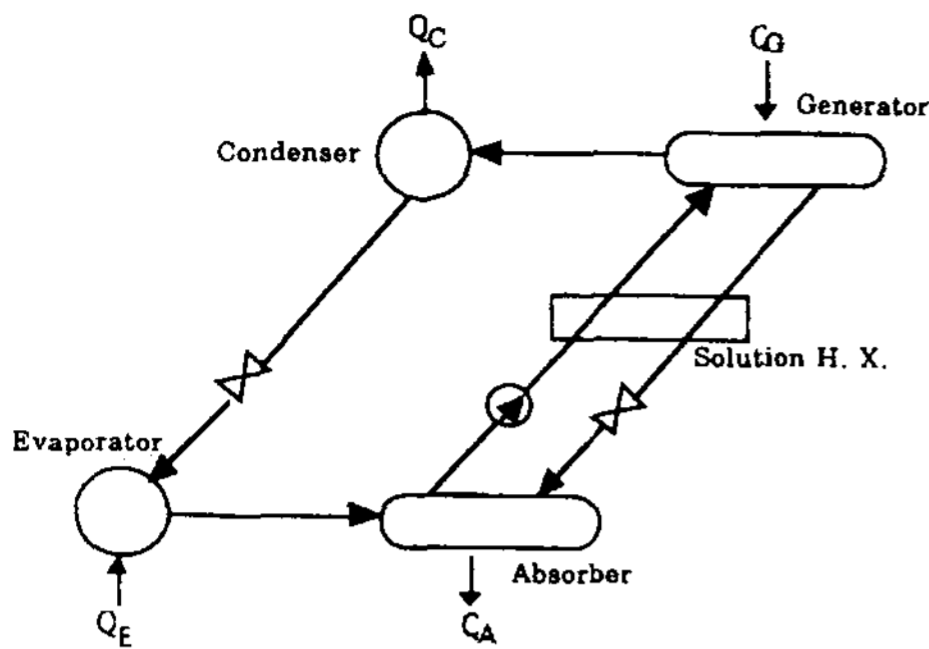


Fig. 1. 1중효용 흡수식 냉동사이클

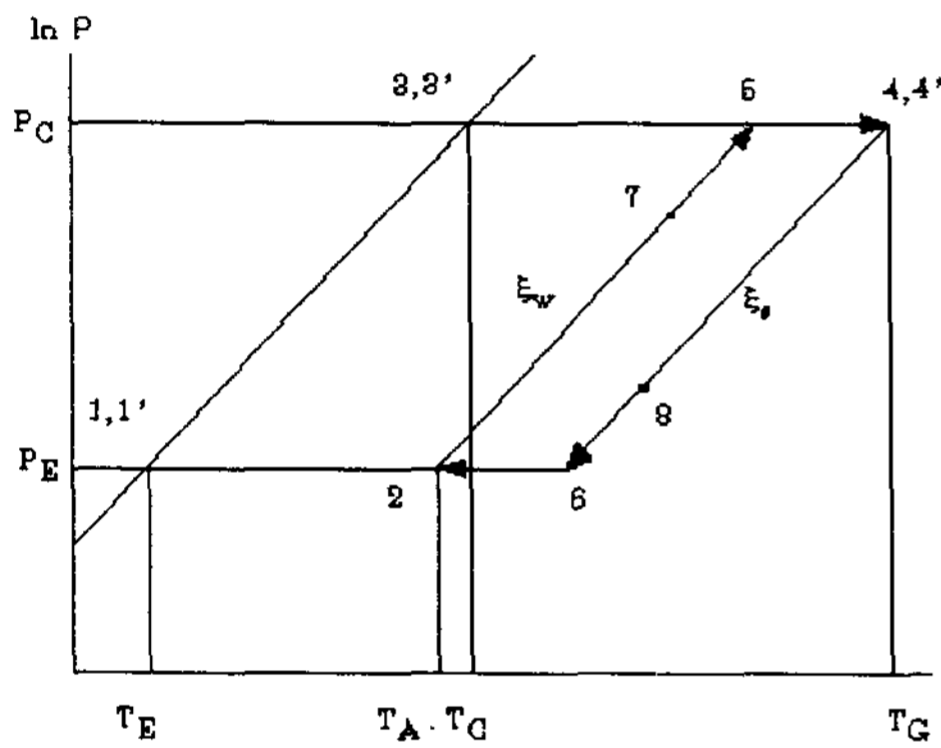


Fig. 2. 1중효용 흡수식 냉동사이클의 Dühring 선도

부터 흘러 들어 오는 고온의 농용액에 의해 예열되어 재생기로 흘러 들어간다. Fig. 2는 재생기와 흡수기 사이에서 순환하는 LiBr 수용액에 대한 이상적인 흡수식 냉동 사이클이 Dühring 선도상에 어떻게 표시되는 지를 나타내고 있다.

이와 같은 사이클로 작동하는 1중효용 태양열 구동 흡수식 냉동기의 정상상태에서의 열평형을 계산하기 위하여 아래와 같이 가정을 하였다.

- 시스템의 각 요소에서 열역학적 상태는 평형상태이다.
- 주변으로의 열손실은 무시한다.
- 모든 요소에서 시간에 따른 상태량의 변화가 없다.

재생기로 들어오는 희용액의 농도를 ξ_w , 재생

기로부터 나오는 농용액의 농도를 ξ_s 라 할 때, 재생기로 들어오는 희용액 내의 LiBr 양과 재생기로부터 나오는 농용액 내의 LiBr 양은 같으므로 다음과 같은 평형식이 성립한다.

$$\alpha \xi_w = (\alpha - 1) \xi_s \quad (1)$$

$$\alpha = \xi_s / (\xi_s - \xi_w) \quad (2)$$

재생기에서 Dkg의 증기를 발생시킬 때, 재생기로 들어오는 희용액 량(G_1) 과 재생기로부터 나오는 농용액의 양(G_2)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} G_1 &= \alpha D \\ G_2 &= (\alpha - 1) D \end{aligned} \quad (3)$$

그러므로 용액 열교환기에서의 열교환량(Q_{SHX})은 다음과 같다.

$$Q_{SHX} = D(\alpha - 1)(h_4 - h_8) = D\alpha(h_7 - h_2) \quad (4)$$

재생기에서의 열 평형식으로부터 재생기 가열 열량은 다음과 같다.

$$Q_G = D[h_4' + (\alpha - 1)h_4 - \alpha h_7] \quad (5)$$

여기서

h_4' : 재생기에서 발생하는 수증기의 엔탈피
이와 같은 방법으로 응축기에서의 발생열과 증발기에서의 증발열량은 다음과 같다.

$$Q_C = (h_4' - h_C)D \quad (6)$$

$$Q_E = (h_E' - h_C)D \quad (7)$$

여기서, h_C 와 h_E' 는 각각 응축된 냉매와 증발기에서 증발된 냉매의 엔탈피이다

흡수기에서의 발생열, Q_E 는

$$Q_E = D [h_{E'} + (\alpha - 1)h_8 - \alpha h_2] \quad (8)$$

가 된다.

용액 펌프의 동력은 다른 요소에서의 열교환량에 비하여 상대적으로 미미하므로 이를 무시하면 흡수식 냉동기 전체의 에너지 평형식 및 성능계수(COP)는 다음과 같다.

$$Q_C + Q_A = Q_G + Q_E \quad (9)$$

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G} \quad (10)$$

2.2 흡수식 냉동기 설계

태양열 이용 흡수식 냉동기를 설계함에 있어서는 위의 해석에 사용된 각 요소(재생기, 흡수기, 응축기, 증발기, 용액 열교환기)에서의 상태점이 직접 주어지는 대신에 Table 1에 있는바와 같이 냉수의 입·출구 온도, 냉각수의 입·출구 온도가 주어지게 된다. 그러므로 태양열 이용 흡수식 냉동기의 설계에서 첫 단계는 Table 1에 주어진 열전달 매체의 온도로부터 적절한 방법에 의하여 각 요소에서의 상태를 결정하는 것이다. 일반적으로 이를 위하여 경험적인 값으로 각 열교환기에서의 최소 온도차(LTD : Least Temperature

Difference) 값이 필요하다. 즉, 냉수의 출구와 증발기 내부의 온도차, 냉각수의 입·출구 온도, 흡수기를 통과한 후의 냉각수와 흡수기 출구와의 온도차, 응축기를 통과한 후의 냉각수와 응축기 내부의 온도차, 흡수열과 응축열의 비($RQ_{AC} = Q_A/Q_C$) 또는 용액 열교환기의 열교환기 효율, 농도폭($\Delta \xi$)을 적당하게 선정하여 각 열교환기에서의 열전달량을 구할 수 있다. 각 열교환기에서 열전달량이 구해진 다음에는 열교환기의 총괄 열전달계수를 알면 소요 열전달 면적을 구할 수 있다.

Table 1. 태양열 흡수식 냉동기의 설계조건

| NO | 항 목 | 단 위 | 사 양 | |
|----|---------|------------------------|-----|------|
| 1 | 냉 동 용 량 | USRT | 5 | |
| 2 | 냉 수 | 입구온도 | ℃ | 14 |
| | | 출구온도 | ℃ | 9 |
| | | 유 량 | LPM | 50 |
| 3 | 냉각수 | 입구온도 | ℃ | 31 |
| | | 출구온도 | ℃ | 36.5 |
| | | 유 량 | LPM | 114 |
| 4 | 태양열 온 수 | 입구온도 | ℃ | 85 |
| | | 출구온도 | ℃ | 80 |
| | | 유 량 | LPM | 76 |
| 5 | 냉 매 | H ₂ O (증류수) | | |
| 6 | 흡 수 제 | LiBr수용액(53%) | | |

Table 2. 태양열 흡수식 냉동기의 설계 제원

| 구 분 | 단 위 | 증발기 | 흡수기 | 응축기 | 재생기 |
|------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 전열관 평균길이 | m | 14.06 | 14.27 | 4.39 | 6.56 |
| 2 전열관 수량 | EA | 2 | 2 | 4 | 3 |
| 3 전열관 외경 | m | 0.016 | 0.022 | 0.016 | 0.016 |
| 4 전열관내 유속 | m/s | 2.5 | 2.85 | 2.8 | 2.5 |
| 5 전열관 외표면적 | m ² | 1.14 | 1.97 | 0.88 | 0.99 |
| 6 총괄전열계수 | kcal/mh℃ | 80 | 90 | 262 | 63 |

본 연구에서는 태양열 구동 1중 효율 흡수식 냉동기의 설계 순서를 변수의 가정에 따라서, 다음의 세 경우로 나누어 상황에 따라 적절한 방법으로 기본 설계를 실시할 수 있도록 계산 프로그램이 구성되어 있으나, c)의 방법으로 하였으며 그 결과를 Table 2에 명시하였다.

- 흡수열과 응축열의 비와 농도폭
- 흡수열과 응축열의 비와 재생기 출구온도
- 열교환기의 효율과 재생기 출구온도

3. 태양열 이용 흡수식 냉동기의 냉동능력 및 COP

태양열 이용 흡수식 냉동기에서는 실제로 공급되는 온수와 냉각수의 온도가 설계 온도로 항상 일정하게 유지되는 것이 아니기 때문에 이들의 온도 변화에 따른 냉동능력 및 COP의 변화를 파악하여야 한다. 여기서 온수와 냉각수의 온도 변화에 따른 냉동능력 및 COP는 냉동기가 정상상태에 도달 되었을 때의 값이다. 시스템의 냉방용량에 대한 온수와 냉각수의 온도의 영향이 Fig. 1에 나타나 있다. 냉방용량은 온수의 온도 감소와 냉각수의 온도가 증가함에 따라 비례하여 감소한다. 특히 온수보다도 냉각수의 온도가 냉방용량에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 비교적 불리한 운전조건(온수온도 = 84°C, 냉각수 온도=38°C)에서는 냉방용량이 설계용량의 거의 반 정도 밖에 되지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 2에는 온수와 냉각수의 온도가 변함에 따라 성적계수가 어떻게 변하는가를 나타내었다. 냉각수의 온도가 증가함에 따라 성적계수는 냉방능력과 마찬가지로 감소하나, 감소경향이 약간 다르며, 특히 냉각수의 온도가 낮은 영역에서는 온수의 온도변화에 따른 성능변화폭이 큰 것으로 나타났다. 한편 온수에 의한 영향은 온수 온도가 감

소하면 성적계수는 오히려 증가하게 된다. 일견 불합리하게 생각되는 이 결과는, 온수 온도가 감소함에 따라 증기의 발생량이 감소하므로 흡수기, 응축기, 증발기에서 담당하는 부하가 줄어들어 시스템이 전체적으로 좀더 가역적으로 운전됨에 따른 당연한 결과이다.

이상과 같이 냉각수의 온도 변화가 구동 열원수의 온도 변화보다 냉동능력에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며 동일한 냉각수 조건에서 구동열원수의 온도가 증가하면 성적계수는 오히려 감소하는 경향을 보였다.

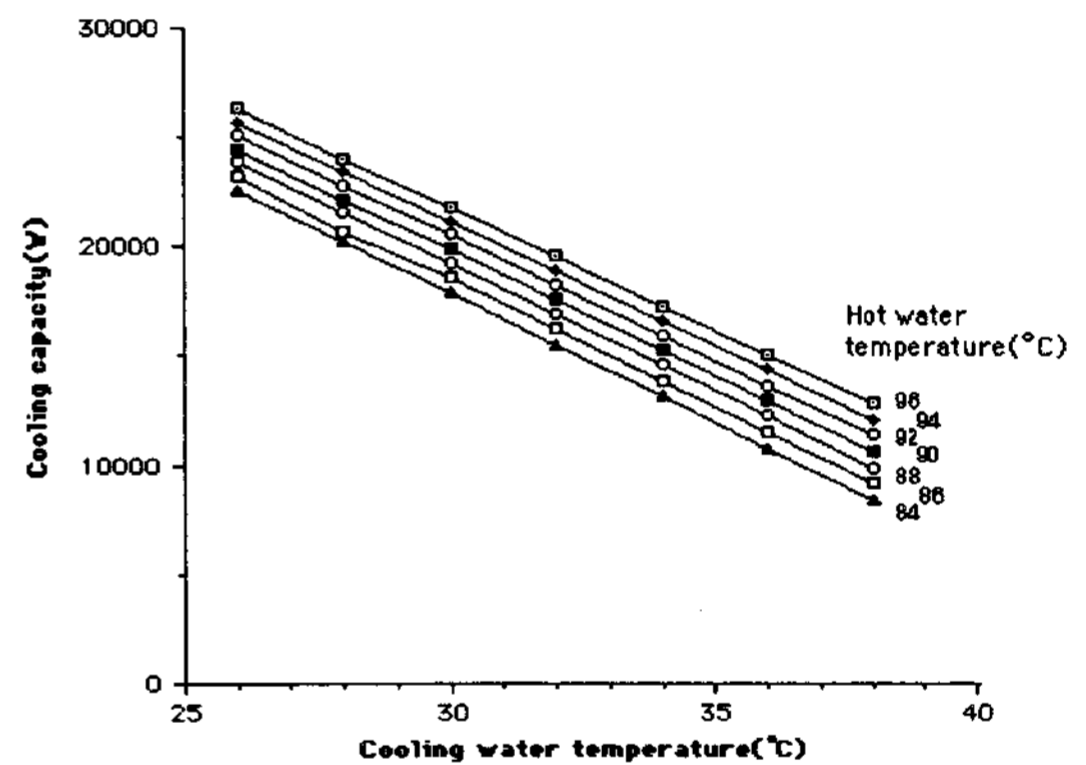


Fig. 1. 온수와 냉각수가 냉방용량에 미치는 영향

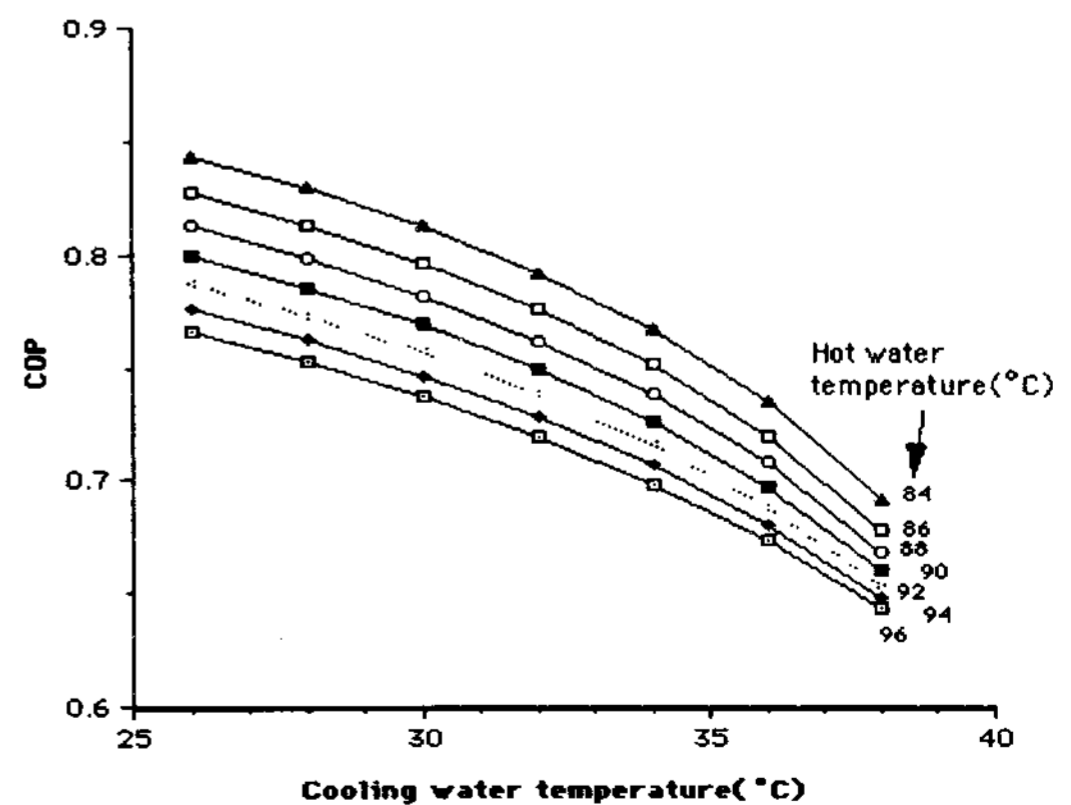


Fig. 2. 온수와 냉각수가 COP에 미치는 영향

4. 결 론

태양열을 집열하여 얻어지는 온수로 구동되는 5RT 용량의 1중효용 흡수식 냉동기의 기본 설계와 성능에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 흡수식 냉동기의 기본 설계는 냉수의 입·출구 온도와 냉각수의 입·출구 온도를 기본 데이터로 하여 열교환기의 용량을 계산하는 방식으로 하였다. 태양열 이용 흡수식 냉동기가 일상조건에 따라 구동 열원수의 온도 변화가 심할 것으로 예측되므로 구동 열원수의 온도와 냉각수의 온도 변화가 냉동 능력과 성능계수(COP)에 미치는 영향을 살펴 보았다. 계산 결과, 냉각수의 온도 변화가 구동 열원수의 온도 변화보다 냉동능력에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며 동일한 냉각수 조건에서 구동열원수의 온도가 증가하면 성적계수는 오히려 감소하는 경향을 보였다.

참 고 문 헌

1. 전홍석, 백남춘 외, 1997, "중고온 태양열 집광시스템 개발 및 응용연구", pp.237~256, 한국에너지기술연구소
2. "Active Solar System", Edited by George Lof, The MIT Press Cambridge London, 1993, pp.748~827
3. "Keith E. Herold, Reinhard R. S.A.Klein", "Absorption chillers and Heat Pump", CRC Press, 1995
4. 강상우 외, 1996, "저온폐열회수를 위한 제 1종 흡수식 열펌프의 컴퓨터 시뮬레이션", 공기조화 냉동공학 논문집, 제 8권 2호.

Basic Design and Performance Analysis of an Solar Absorption Chiller

N. C. Baek^{*}, E. S. Yoon^{*}, M. C. Joo^{*}, S. Jeong^{**}

^{*} *Korea Institute of Energy Research*

^{**} *Sogang University*

Abstract

Basic design of a solar driven absorption cooling machine(SDACM) with a cooling capacity of 5 USRT was carried out. The SDACM is a single effect cycle driven by low temperature hot water from solar collectors. The SDACM design data were calculated by the steady state simulation program which was developed in this study. The variation of COP and cooling capacity of the SDACM were investigated at different off-design conditions. Both the cooling capacity and the system COP were improved with decreasing cooling water temperature. If hot water temperature was increased, the cooling capacity was improved but the system COP was found to be decreased. The decrease of the system COP were basically caused by increased thermal loads in the system components.