

메탄올-글리세린을 이용한 재흡수 열펌프의 열역학적 모사 연구

민병훈[†]

수원대학교 화공생명공학과

(2006년 10월 21일 접수, 2006년 11월 30일 채택)

A Study on a Resorption Heat Pump Using Methanol-Glycerine

Byong-Hun Min[†]

Department of Chemical & Bio-Chemical Engineering, University of Suwon

(Received 21 October 2006, Accepted 30 November 2006)

요 약

냉·난방 수요에서 일어나는 환경오염의 최소화와 화석연료 소비를 감소시키기 위해서 에너지 회수를 개선시키는 것은 필수적이다. 이러한 점에서 흡수식 열펌프기술은 에너지 절약을 위해서 많은 가능성을 가지고 있다. 흡수식 열펌프는 에너지를 주입하지 않고 폐열의 이용을 높일 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 에너지 회수를 위한 재흡수 열펌프 연구를 메탄올-글리세린을 이용하여 수행하였다. 이 물질의 열역학 데이터를 이용하여 재흡수 열펌프의 이론적 열효율 값을 각 기관의 조업 조건에 따라서 계산하였다. 70~80°C의 산업 폐열 온도를 가지고 40~50°C 승온 시킬 때 열효율 값 0.4 이상을 얻을 수 있었다.

주요어 : 에너지회수, 폐열, 재흡수 열펌프, 메탄올-글리세린, 열효율

Abstract — The improvement of energy recovery is mandatory to decrease consumption of fossil fuels and to minimize negative impacts on the environment which originates from large cooling and heating demand. The absorption heat pump technology has a large potential for energy saving in this respect. Absorption heat pump is a means to upgrade waste heat without addition of extra thermal energy. In this study, resorption heat pump for energy recovery has been investigated using methanol-glycerine. The simulated calculation of theoretical thermal efficiency was performed based on the thermodynamic properties of the working fluid over various operating conditions. The thermal efficiency of higher than 0.4 was obtained by raising industrial waste heat, 70~80°C, by 40°C in this system.

Key words : Energy recovery, Waste heat, Resorption heat pump, Methanol-glycerine, Thermal efficiency

1. 서 론

교토의정서 발효에 의한 이산화탄소 배출규제 조치, 유가의 상승 등 여러 가지 문제점이 화석 에너지 사용이 증가함에 따라 발생되기 때문에 이에 대한 해결책으로 대체에너지 개발과 에너지의 효율적인 이용에 대한 관

심이 증대되고 있는데 이의 한 방안으로 열펌프 기술이 이용되고 있다. 기존 냉동 사이클에 이용되어 왔던 압축식 열펌프와 구별되는 흡수식 열펌프는 열매체 용액의 흡수와 열매체의 상 변화에 따른 흡수열 및 잠열을 이용하는 것으로서 조업 조건이 기체-액체 열역학 상평형 관계에서 이루어진다.

열역학 제1법칙과 제2법칙을 적용시킨 열펌프 사이클은 LiBr-H₂O를 이용한 Whitlow^[1]의 흡수 열펌프 연구 이후로 에너지의 효율적인 이용 방안으로서 많은 관심을 끌고 있다^[2-10]. 흡수식 열펌프는 이용 온도에 따라 두 종류로 나누어진다. 첫 번째 종류는 고온의 에너지로부

[†]To whom correspondence should be addressed.
Department of Chemical & Bio-Chemical Engineering,
University of Suwon
Tel: 031-220-2303
E-mail: bhmin@suwon.ac.kr

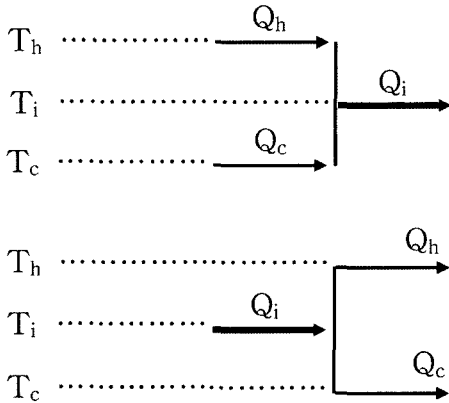


Fig. 1. Different types of revaluation.

터 저온의 에너지를 방출하여 이용하는 흡수 열펌프 (absorption heat pump)와 두 번째 종류는 저온의 에너지로부터 고온의 에너지를 방출하여 이용하는 재흡수 열펌프(resorption heat pump)^{[11][12]}이다. Fig. 1에서 위의 설명을 비교 나타내었다. 즉 분리기(고온, T_h)와 기화기(저온, T_c)에 열(Q_h , Q_c)을 가하여 중간온도(T_i)의 에너지(Q_i)를 얻는 흡수 열펌프와 분리기와 기화기에 중간온도(T_i)의 열(Q_i)을 가하여 흡수기에서 고온(T_h)의 에너지(Q_h)를 얻는 재흡수 열펌프를 말한다. 재흡수 열펌프는 흡수 열펌프와 달리 기화기와 응축기 대신 또 다른 분리기와 흡수기를 사용한다.

흡수식 열펌프의 실용화를 위해서 높은 성능계수를 얻기 위한 공정 개선과 내부에 순환시키는 이상적인 물질을 찾기 위하여 많은 연구가 진행되었다^{[13][16]}. Whitlow가 LiBr-H₂O로 연구를 시작한 이래 LiBr의 용해도와 부식성 때문에 다른 salt물질(LiCl이나 CaCl₂)로 대체하기 위한 연구를 하였으나 성능계수가 특별히 향상되지 않고 역시 용해도 문제 때문에 조업조건이 제한됨을 보였다^{[17][20]}. Cacciola 등^[21]은 NH₃-H₂O에 대한 실험을 하였으나 salt 결정화 문제는 없으나 NH₃의 유독성과 조업조건이 고압이 되는 단점이 있다. R21(dichlorofluoromethane)과 DMETEG(dimethyl-ether-tetra-ethylene-glycol)를 이용한 사이클^{[21][22]}은 좋은 조업조건을 가졌으나 지구온난화 문제 등으로 R21의 사용규제가 있다. Bennani 등^[23]은 salt의 결정화 문제가 없는 물-글리세린을 이용한 연구를 수행하였으나 물과 글리세린의 비등점 차이가 크지 않기 때문에 조업조건에 따라 이중분리기를 이용하는 단점이 있었다. 그래서 물-글리세린 시스템의 단점을 줄이기 위해 열매체로 물 대신에 비등점이 낮은 물질을 이용하면 조업 조건이 개선될 것이다. 메탄올은 물에 비하여 증발열이 작지만 비등점이 낮아서

분리기에서 글리세린과 상평형 분리를 할 때 이중분리기를 사용할 필요가 없기 때문에 조업 조건의 제약이 감소된다.

흡수 열펌프는 연구가 많이 진행되어 실용화가 되어 있지만 응축기와 기화기 대신에 또 다른 흡수기와 분리기를 설치하는 재흡수 열펌프 시스템에 관한 연구는 활발하지 못한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 열매체를 메탄올, 흡수 용매를 글리세린으로 이용하여 재흡수 열펌프 사이클 내에서 각 기관의 조업 조건을 결정하였고 이 조건에서 폐열의 온도 상승(승온효과)에 따른 성능계수를 구하기 위한 모사 계산을 수행하였다.

2. 재흡수 열펌프의 사이클 분석

2-1. 재 흡수 열펌프 사이클

흡수기, 분리기, 기화기, 응축기의 4기관으로 구성되어 있는 흡수 열펌프와는 달리 2개의 흡수기와 2개의 분리기가 상평형 조건에서 연속적으로 작동되는 재흡수 열펌프 diagram을 Fig. 2에 도시하였다.

분리기 S₁에서 나온 고압 상태의 기체 열매체 ⑦은 흡수기 A₂에서 분리기 S₂에서 발생된 열매체 농도가 묽은 용액(poor solution) ⑬에 흡수된다. 흡수기 A₂에서 나온 열매체 농도가 진한 용액(rich solution) ⑭는 열 교환기와 감압 valve를 통하여 분리기 S₂에 주입된다. 묽은 용액 ⑩은 펌프와 열 교환기를 거쳐 흡수기 A₂에 주입된다. 분리기 S₂에서 나온 저압 상태의 기체인 열매체 ③은 흡수기 A₁에서 묽은 용액 ⑩에 흡수된다. 흡수기 A₁에서 나온 진한 용액 ④는 pump와 열 교환기를 거쳐 분리기 S₁에 주입된다. 분리기 S₁에서 발생된 묽은 용액 ⑧은 열 교환기와 감압 valve를 거쳐 흡수기 A₁에 주입된다. 공업 폐열은 분리기 S₁, S₂를 가열 시키는데 이용되고 승온 효과(열펌프 효과)는 흡수기 A₂에서 이루어진다. 4기관의 압력과 온도 조건은 다음과 같다.

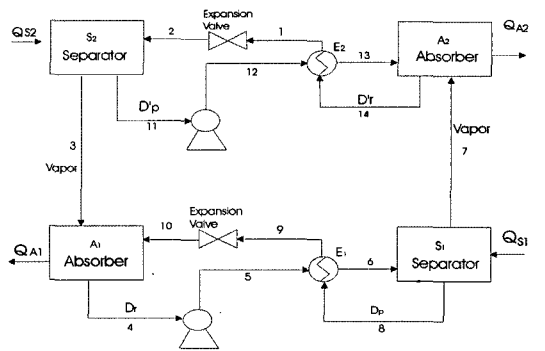


Fig. 2. Schema of resorption heat pump cycle.

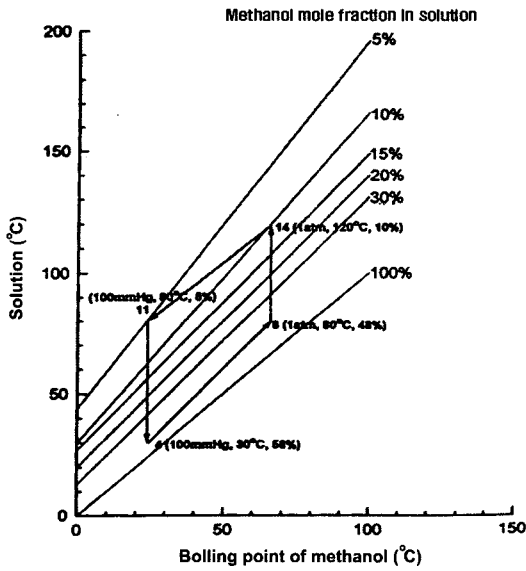


Fig. 3. Resorption heat pump cycle on Duhring curve.

$P_{A2}=P_{S1}$: 고압
 $P_{A1}=P_{S2}$: 저압
 $T_{A1}<T_{S2}\leq T_{S1}<T_{A2}$

위의 순환과정을 메탄올과 글리세린의 상평형 데이터를 이용하여 Duhring 선도에 도시한 것이 Fig. 3이다.

2-2. 열역학 제한 조건

재흡수 열펌프의 승은 효과는 흡수기 A₂ 내에 있고, A₂와 S₁의 압력은 동일하기 때문에 Clausius-Clapeyron 식에서 $\alpha(1/T_{A2}-1/T_{S1})/R=\ln(\gamma_{A2}X_{A2}/\gamma_{S1}X_{S1})$ 성립하므로 승은 효과가 T_{A2}>T_{S1}이므로 $\gamma_{A2}X_{A2}<\gamma_{S1}X_{S1}$ 조건이 성립해야 한다. 여기서 α 는 열매체의 증발열, R은 기체상수, γ 와 X는 각 기관에서의 활동도계수 및 열매체의 무게 분율을 나타낸다.

3. 각 조건에서 열효율 값 도출식

3-1. 가역 과정에서 열효율 값

사이클이 이상적인 가역 과정으로 작동되어진다면 최대의 열효율을 얻을 수 있다.

Fig. 2의 사이클이 다음 조건에서 이루어진다고 가정하면

- T_h(고온)에서 열량 Q_{A2}(Q_h로 표시)가 방출
- T_i(중간온도)에서 열량 Q_{S1}(Q_i로 표시)이 흡수
- T_i'(중간온도)에서 열량 Q_{S2}(Q_i'로 표시)이 흡수
- T_c(저온)에서 열량 Q_{A1}(Q_c로 표시)가 방출

가역 과정에서 열역학 제1법칙 및 열역학 제2법칙을 수식으로 표시하면 아래와 같다.

$$Q_h+Q_i+Q_i'+Q_c=0 \tag{1}$$

$$Q_h/T_h+Q_i/T_i+Q_i'/T_i'+Q_c/T_c=0 \tag{2}$$

이상적인 가역과정에서 최대 열효율 값은 다음과 같이 정의된다.

$$R_{max}=-Q_h/(Q_i+Q_i') \tag{3}$$

위 두 식을 이용하여 온도의 함수로 표시하는 최대 열효율 값은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{max}=1-T_c(T_h-T_i)/(T_hT_i-T_cT_i') \tag{4}$$

중간온도가 동일하다고(T_i=T_i') 가정하면 최대 열효율 값은 다음과 같다.

$$R_{max}=1-T_c(T_h-T_i)/T_i(T_h-T_c) \tag{5}$$

3-2. 실제 열효율 값

앞에서 구한 열효율 값은 이상적인 최대 열효율 값으로 실제 조업 조건에서는 비가역 과정이 일어나므로 다음과 같은 가정을 하여 이론적인 열효율 값을 구할 수 있다.

- 흡수기와 분리기에서 나오는 용액은 기-액 상평형 상태를 유지한다.
 - 분리기에서 배출되는 가상의 성분은 순수한 열매체이다.
 - 흡수기 A₂와 분리기 S₁은 고압의 동일한 압력조건을 갖는다.
 - 흡수기 A₁과 분리기 S₂는 저압의 동일한 압력조건을 갖는다.
 - 액체가 감압 밸브를 지날 때는 isentropic process를 유지한다.
 - 설치된 펌프가 행한 일은 무시할 정도로 작다.
- 재흡수 열펌프의 열효율은 다음과 같이 정의 된다.

$$R_R=Q_{A2}/(Q_{S1}+Q_{S2}) \tag{6}$$

Fig. 2에 나타낸 diagram의 각 부분에서 물질 및 열수지식을 이용하여 열효율을 Enthalpy로 표시하면 다음과 같이 유도 된다.

$$\begin{aligned}
 X_4=X_5=X_6=X_r & & D_4=D_5=D_6=D_r \\
 X_8=X_9=X_{10}=X_p & & D_8=D_9=D_{10}=D_p \\
 X_{14}=X_{11}=X_2=X_r' & & D_{14}=D_1=D_2=D_r' \\
 X_{11}=X_{12}=X_{13}=X_p' & & D_{11}=D_{12}=D_{13}=D_p' \\
 D_3=D_7=D_v & &
 \end{aligned} \tag{7}$$

여기서 X, D는 각 기관에서의 메탄올의 무게분율 및 유

체의 질량유량을 나타낸다.

$$Q_{A_1} + Q_{A_2} = Q_{S_1} + Q_{S_2} \quad (8)$$

$$Q_A = D_p H_{13} + D_v H_7 - D_r H_{14} \quad (9)$$

$$D_r = D_p + D_v \quad (10)$$

$$Q_{A_1} = D_p H_{10} + D_v H_3 - D_r H_4$$

$$D_r = D_p + D_v$$

식 (2), (3), (4)를 식(1)에 대입하면,

$$R_R = 1 - 1 / (1 + Q_{A_2} / Q_{A_1})$$

$$= 1 - \frac{1}{1 + \frac{D_p H_{13} + D_v H_7 - D_r H_{14}}{D_p H_{10} + D_v H_3 - D_r H_4}} \quad (11)$$

열역학 data 를 이용하면 식(5)에 표시된 enthalpy를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H_3 = \int_{T_0}^{T_b} C_{p_f} dT + \Delta H_{v_b} + \int_{T_b}^{T_3} C_{p_v} dT$$

$$H_7 = \int_{T_0}^{T_h} C_{p_f} dT + \Delta H_{v_h} + \int_{T_h}^{T_7} C_{p_v} dT$$

$$H_4 = \int_{T_0}^{T_4} C_{p_s} dT + \Delta H(X_4, T_0)$$

$$H_{10} = \int_{T_0}^{T_{10}} C_{p_s} dT + \Delta H(X_{10}, T_0)$$

$$H_{13} = \int_{T_0}^{T_{13}} C_{p_s} dT + \Delta H(X_{13}, T_0)$$

$$H_{14} = \int_{T_0}^{T_{14}} C_{p_s} dT + \Delta H(X_{14}, T_0) \quad (12)$$

여기서 T_0 는 기준온도, T_b 는 저압조건에서 메탄올의 끓는점 온도, T_h 는 고압조건에서 메탄올의 끓는점 온도, ΔH_{v_b} 는 T_b 에서 메탄올의 증발열, ΔH_{v_h} 는 T_h 에서 메탄올의 증발열, $\Delta H(X, T)$ 는 메탄올의 무게 분율 X, 온도 T에서 용액의 혼합열을 나타낸다.

4. 메탄올-글리세린 열역학 데이터

열효율 값을 구하는데 필요한 메탄올-글리세린계의 열역학 데이터는 다음과 같다^[24]

(1) 혼합 용액에서 메탄올 활동도계수

$$\ln \gamma = - \left[\ln(1 - B(1 - X)) + (1 - X) \left(\frac{BX}{1 - B(1 - X)} - \frac{A(1 - X)}{1 - AX} \right) \right]$$

$$C = C_1 + C_2 T (^{\circ}K)$$

$$A = 0.758 \quad B = -0.151$$

$$C_1 = 1.38 \quad C_2 = -1.62 \times 10^{-3}$$

(2) 혼합열

$$\Delta H(X, T) = C_2 RT^2 [X \ln(1 - B(1 - X)) + (1 - X) \ln(1 - AX)]$$

(3) 메탄올의 증기압

$$\ln P(\text{mmHg}) = A - \frac{B}{T + C}$$

$$A = 18.5875 \quad B = 3626.55 \quad C = -34.29$$

(4) 메탄올의 증발열

$$\Delta H_v = \Delta H_{v1} \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_1} \right)^n$$

$$\Delta H_{v1} = 1087.2 \text{ J/g}, \quad T_1 = 64.7^{\circ}C$$

$$T_c = 239.4^{\circ}C, \quad n = 0.4$$

(5) 메탄올 증기의 비열

$$C_{p_v} [\text{J/g}^{\circ}C] = \sum_{i=0}^3 A_i T^i$$

$$A_0 = 1.305, \quad A_1 = 2.586 \times 10^{-3}$$

$$A_2 = 0.8 \times 10^{-7}, \quad A_3 = -0.8899 \times 10^{-9}$$

(6) 메탄올 액체의 비열

$$C_{p_l} [\text{J/g}^{\circ}C] = A + BT + CT^2 + DT^3$$

$$A = 3.504, \quad B \times 10^2 = -1.3506$$

$$C \times 10^5 = 3.4568, \quad D \times 10^9 = -0.706$$

(7) 혼합 용액의 비열

$$C_{p_s} [\text{J/gK}] = A + BT + CT^2 + DT^3$$

$$A = -13.95 + 17.46X$$

$$B = 0.1287 - 0.1422X$$

$$C = (-3.405 + 3.752X) \times 10^{-4}$$

$$D = (3.051 - 3.058X) \times 10^{-7}$$

X는 메탄올의 무게 분율

5. 조업 조건에서 독립 변수 규정

3.2에서 언급된 가정을 이용하면 재흡수 열펌프를 규정하는 자유도는 9개이다. 즉, 9개의 변수를 임의로 규정하면 나머지 조건 변수들은 상평형, 열 및 물질 수지 식으로 부터 구해질 수 있다.

규정된 9개 변수는 아래와 같다.

P_h : A_2 와 S_1 의 압력

P_b : S_2 와 A_1 의 압력

D_v : 열매체 유량

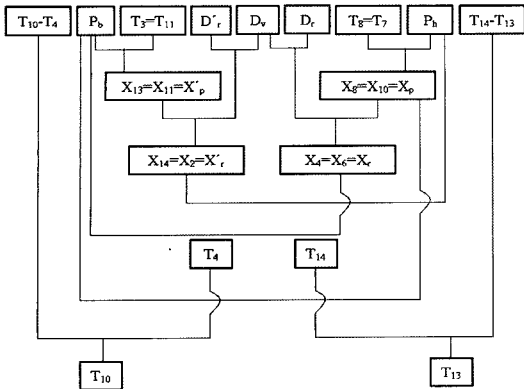


Fig. 4. Schema of calculation for resorption heat pump.

D'_r : A₂에서 나온 열매체가 진한 용액의 유량
 D_r : A₁에서 나온 열매체가 진한 용액의 유량
 T_{11} : 분리기 S₂의 온도($T_{11}=T_3=T_{12}$)
 T_8 : 분리기 S₁의 온도($T_8=T_7$)
 $T_{14}-T_{13}$: A₂에서 열매체가 진한 용액과 열매체가 묽은 용액의 온도 차이
 $T_{10}-T_4$: A₁에서 열매체가 묽은 용액과 열매체가 진한 용액의 온도 차이
 $T_{14}-T_{13}$ 과 $T_{10}-T_4$ 는 열 교환기 성능에 관계 된다.
 위에 규정된 변수들을 이용하여 나머지 변수들을 구하는 과정을 Fig. 4에 나타내었다.

6. 결과 및 고찰

6-1. 최대 열효율 값과 실제 열효율 값의 비교차

실제 열효율 값과 최대 열효율 값을 비교한 계산치가 Table 1에 나타내었다. 실제 열효율 값이 최대 열효율 값의 65~70% 값을 얻을 수 있었으나 승온이 50°C 이상인 경우 실제 열효율 값이 급격히 감소하여 두 값의 비율이 55%로 감소함을 알 수 있었다.

6-2. 파라미터에 따른 열효율 값 변화

여러 파라미터 값의 변화에 따른 열효율 값을 Fig. 5~ Fig. 7에 나타내었다.

Table 1. Thermal efficiency value of resorption heat pump.

P_h	P_b	$T_{11}(^{\circ}C)$	$T_8(^{\circ}C)$	$T_{14}(^{\circ}C)$	R_R	R_{max}
1 atm	100 mmHg	80	80	110	0.48	0.71
				120	0.46	0.65
				130	0.42	0.61
				140	0.31	0.56

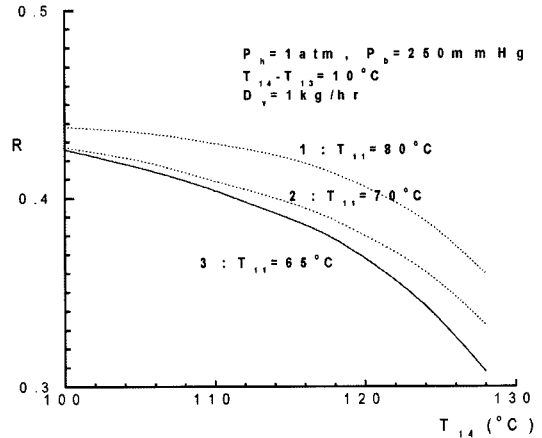


Fig. 5. Effect of absorber temperature and generator temperature on the thermal efficiency value in the resorption heat pump.

Fig. 5는 승온 효과에 따른 열효율 값을 나타내었다. 승온 효과가 클수록 열효율 값이 감소하는데 특히 승온이 50°C 이상인 경우는 열효율 값이 급격히 감소한다. 이는 LiBr-H₂O계^[23]를 이용한 재흡수 열펌프에도 비슷한 경향을 나타내었다. 또한 같은 승온을 얻는데 폐열이 고열인 경우가 폐열이 저온인 경우 보다 열효율 값이 커짐을 알 수 있었다.

Fig. 6은 재흡수 열펌프에서 열매체 유량을 파라미터로 하여 흡수기 온도 변화에 따른 열효율 값을 표시하였는데 동일한 승온 효과에서 열매체 유량이 감소할수록 열효율 값이 증가함을 알 수 있었다. Fig. 5와 비교할 경우 같은 승온 효과에서 열효율 값이 증가함을 알

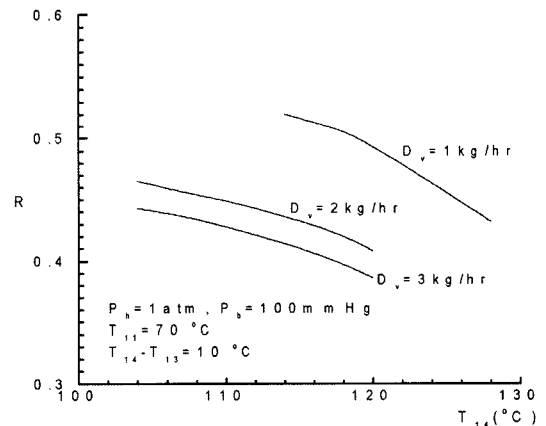


Fig. 6. Effect of absorber temperature and vapor flow rate on the thermal efficiency value in the resorption heat pump.

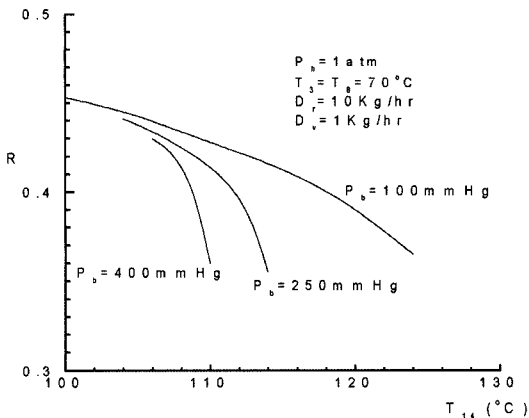


Fig. 7. Effect of absorber temperature and low pressure condition on the thermal efficiency value in the resorption heat pump.

수 있었다. 이는 저압 조건(P_0)의 압력이 250 mmHg에서 100 mmHg로 낮아졌기 때문이다.

Fig. 7은 저압 조건의 압력변화에 따른 열효율 값을 나타내었다. 저압 조건의 압력이 낮을수록 열효율 값이 증가하고 특히 저압 조건의 압력이 증가 할수록 열효율 값이 급격히 감소함을 알 수 있었다.

7. 결 론

(1) 메탄올-글리세린 계에서 폐열 70~80°C를 120~130°C로 상승시키는데(40~50°C의 승온 효과) 열효율 값 0.4 이상을 얻을 수 있었다.

(2) 각 기관의 조업 조건에 따라서 성능계수가 변하기 때문에 최적조건을 찾는 것이 중요함을 알 수 있었다. 메탄올-글리세린 시스템에서 최적화를 위하여 수행한 계산 결과의 범위는 다음과 같다.

- 고압조건이 대기압에서
100 mmHg ≤ 저압 ≤ 250 mmHg
- 1 kg/hr ≤ 열매체 유량 ≤ 3 kg/hr
- 60°C ≤ 폐열온도 ≤ 80°C

감 사

본 논문은 2005년도 환경청정기술연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 포함합니다.

참고문헌

1. Whitlow, E.P. "An improved absorption refrigeration

cycle". Gas Age, 1958, 30, 19-27.

2. Cacciola, G.; Restuccia, G.; Rizzo, G. "Theoretical performance of an absorption heat pump using ammonia-water-potassium hydroxide solution", Heat Recovery Systems & CHP, 1990, 10, 177-185.

3. Izquierdo, M.; Aroca, S. "Lithium bromide high temperature absorption heat pump: coefficient of performance and exergetic efficiency", Int. J. Energy Research, 1990, 14, 281-291.

4. Jemqvist, A.; Abrahamsson K; Aly, G. "On the efficiencies on absorption heat pumps", Heat Recovery Systems & CHP, 1992, 12, 469-480.

5. Ziegler, F.; Riesch, P. "Absorption cycles. A review with regard to energetic efficiency", Heat Recovery System & CHP, 1993, 13, 147-159.

6. Agnew, B.; Alaktiwi, A.; Anderson, A; Potts, I. "Simulation of a combined Rankine-absorption cycle", Applied Thermal Engineering, 2004, 24, 1501-1511.

7. Romero, R.J.; Guillen, L.; Pilatowski, I. "Monomethylamine-water vapor absorption refrigeration system", Applied Thermal Engineering, 2005, 24, 867-876.

8. Squires, R.G.; Aker, J.E.; Albright, L.E. "An evaluation of alcohol-salt mixures as absorption refrigeration solutions", ASHRAE Trans., 1965. 71, 14-22.

9. Tyagi, K.P. Heat Recovery System & CHP, 1992, 12(3), 283.

10. Uemura, T.; Hasaba, S. "Investigation of absorption refrigerating machine operating on solution of methanol and lithium bromide", Refrigeration, 1968, 43(2), 784-792

11. Gabsi, P. "Contribution a l'etude des pompes a chaleur a absorption analyse des performance d'une installation fonctionnant avec le systeme eau-LiBr", Ph. D. Dissertation, 1981, I.N.P.T, Toulouse, France.

12. Vasiliev, L.L.; Mishkinis, D.A.; Antukh, A.A.; Kulakov, A.G. "Resorption Heat Pump", Applied Thermal Engineering, 2004, 24, 1893-1903.

13. Eisa, M.A.R.; Devotta S.; Holland, F.A. "Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on water-lithium bromide : simultaneous cooling and heating", Applied Energy, 1986, 25, 83-96.

14. Narodslawski, M.; Otter, G.; Moser, F. "Thermodynamic criteria for optimal absorption heat pump media", Heat Recovery System & CHP, 1988, 8, 221-233.

15. Castro, J.B.; Corberian. J.M.; Gonzalez, J. "Optimized design of a heat exchanger for an air-to-water reversible heat pump working with propane as

- refrigerant: modelling analysis and experimental observations”, *Applied Thermal Engineering*, 2005, 25, 2450-2462.
16. Youbi-Idrissi, M.; Bonjour, J.; Meunier, F. “Local shifts of the fluid composition in a simulated heat pump using R-470C”, *Applied Thermal Engineering*, 2005, 25, 2827-2841.
 17. Eisa, M.A.R.; Best, R.; Holland, F.A. “Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on water-calcium chloride”, *Applied energy*, 1987, 28, 69-81.
 18. Grover, G.S.; Eisa M.A.R.; Holland, F.A. “Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on water-lithium chloride-part 1 cooling”, *Heat Recovery System & CHP*, 1988, 8, 33-41.
 19. Patil, K.R.; Eisa M.A.R.; Kim, M.N. “Experimental evaluation of aqueous lithium halides as single- and double-salt systems in absorption heat pump”, *Applied Energy*, 1989, 34, 99-111.
 20. Won, S.H.; Lee, W.Y. “Thermodynamic design data for double effect absorption heat pump systems using water-lithium chloride-cooling”, *Heat Recovery System & CHP*, 1991, 11, 41-48.
 21. Mohanty, B. “Contribution a l’etude de la gestioh optimale d’energie solaire en vue de la production de froid par cycle a absorption”, Ph. D. Dissertation, 1985, I.N.P.T, Toulouse, France.
 22. Dan, P.D.; Murthy, S.S. “A comparative thermodynamic study of fluorocarbon refrigerant based vapor absorption heat pump”, *Int. J. of Energy Research*, 1989, 13, 1-21.
 23. Bennani, N.; Prevost, M.; Coronas, A. “Absorption heat pump cycles: Performance analysis of water-glycerol mixture”, *Heat Recovery System & CHP*, 1989, 9, 257-263.
 24. Greek, J. “Thermodynamic properties of solution of glycol in methanol and lithium-chloride in methanol”, Ph. D. Dissertation, 1975, South Illinois university, U.S.A.