한국에너지공학회(1998년도)
추계 학술발표회 논문집p228-235

EXERGY 기법을 이용한 암모니아 흡수식 시스템 설계

이시석 · 박영무*
아주대학교 대학원, *아주대학교

Exergy Method to Design a Ammonia/Water Absorption System

S. S. Lee , Y. M. Park*
Ajou University Graduate School, *Ajou University

1. 서론

현재 우리나라의 여름철 전력 수요의 20%는 냉방용이며, 여름철 전력 수요증가는 증기압축식 냉방기(기존 에어컨)의 급속한 보급 때문이다. .또한, 증기압축식 냉방기의 냉매인 CFC계는 지구 오존층 파괴의 주원인으로 분류되어 2004년까지만 사용이 가능하다. 이러한 증기압축식 냉동기를 대체하기 위하여 현재 연구되고 있는 냉동 방식중의 하나가 흡수식 냉방 시스템이며 가장 많이 사용되고 있는 작동 매체로는 물/리듐브로마이드와 암모니아/물 등이 있다. 물/리듐브로마이드를 사용하는 흡수식 냉방기는 작동냉매의 특성상 소형화에 많은 어려움이 있다. 따라서 최근에는 암모니아/물을 작동 매체로 사용하는 흡수식 냉방 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 암모니아/물 흡수식 시스템을 채택하여 가정용으로 사용할 경우에 증기압축식에 비해 연비가 전기료의 12~20%정도 낮으며[1] 더욱이 흡수식 냉방 시스템의 효율향상을 위해 제안된 여러 가지 사이클 중 GAX Cycle(Generator-Absorber heat eXchange Cycle)은 일반 암모니아/물 흡수식 냉동기보다 성적 계수가 월등히 우수하고 소용량의 가정용 냉방기에 적용했을 경우, 증기압축식과 충분한 경쟁력을 가질 수 있다.

최근에 많이 사용되고 있는 개념인 엑서지와 비가역성은 최근에 컴퓨터의 도움으로 복잡한 시스템의 설계 및 최적화 연구의 강력한 수단이 되고 있다. 엑서지와 비가역성의 개념을 도입한 열역학 제 2법칙 해석은 사이클내의 각 과정의 비효율성이나 열역학적 비가역성의 양을 계산하는데 유용하게 사용된다. 또한, 실제 시스템에서 발생하는 비효율성을 정확히 추정할 수 있으며, 이들 비효율성이 발생하는 정확한 위치를 알 수 있다. 시스템에 엑서지 기법을 사용할 경우, 전체 에너지 사용의 효율성을 향상시킴은 물론, 이들을 통한 경제성 제고와 에너지 효용성의 증대에도 잇점이 있다.

본 연구에서는 암모니아/물 흡수식 사이클을 미국 에너지성이 개발한 ABSIM

(ABsorption SIMulation program)[2]과 EES(Engineering Equation Solver)를 사용하여 시스템의 물리적 상태를 분석하고, 이를 엑서지 기법에 적용하여 시스템의 소형화 및 최적설계에 대한 방향을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

본 연구에서 사용한 단효용 흡수식 냉동 사이클의 개략도는 Fig 1과 같다. 암모니아/물을 작동 유체로 사용하는 흡수식 냉동 사이클은 여러 형태가 있으나 기본적으로 발생기, 응축기, 증발기 그리고 흡수기로 구성되며 여기에 발생기에서 발생되는 증기의 암모니아 농도를 증가시키기 위한 정류기(rectifier)와 시스템의 효율을 증가시키기 위하여 냉매 열교환기(refrigerant heat exchanger)와 응축물 예냉기(Condensate Precooler)가 추가된다.

2-1. 열역학 2법칙을 적용한 시스템 분석

m개의 성분으로 혼합된 물질의 엑서지는 다음과 같이 표현할 수 있다.[3]

$$\Psi = \sum_{n=1}^{m} x_n h_n - T_0 \sum_{n=1}^{m} x_n s_n - \sum_{n=1}^{m} x_n \mu_{n0} \qquad (1)$$

발생기와 흡수기를 포함한 흡수식 냉동시스템의 성분내 화학반응은 없기 때문에 들어오고 나가는 물질에 대해 오른쪽 마지막 항은 같다. 따라서 이들 항은 성분의 엑서지 평형 방정식에서 제거할 수 있다.

$$\Psi = h - T_0 s \qquad (2)$$

비가역성은 가용에너지의 변화와 관계가 있으므로[4]

$$\dot{I}_{c.v.} = (\sum \dot{m}_i \Psi_i - \sum \dot{m}_e \Psi_e) + \sum (1 - \frac{T_0}{T_j}) \dot{Q}_{c.v.,j} - \dot{W}_{c.v.}^{ac} \qquad (3)$$

이 된다. 여기서, 첫 항은 각각 엑서지 유입율과 유출율의 차이이다. 두 번째 항은 시스템으로 들어가는 열의 엑서지 값이다. 마지막 항은 시스템에 행해진 일이다.

2-2. 열역학 제 2법칙 효율

열역학 제 2법칙 관점에서 엔트로피와 엑서지는 비보존적 성질이다. 비가역성이 존재하는 곳에서 엔트로피는 증가하므로 엑서지는 감소한다. 그러므로 열역학 제 2법칙 효율은 과정의 손실로 측정된다. 따라서, 과정동안에 일의 손실을 고려하는 열역학 제 1법칙효율과는 다소 차이가 있다. 냉동시스템에서는 COP (Coefficient Of Performance)와 유사하게 엑서지에 근거하는 성능계수 ECOP

(Exergetic Coefficient Of Performance)를 다음과 같이 정의할 수 있다.[5]

$$ECOP = -\frac{\dot{q}_e(1-\frac{T_0}{T_e})}{\dot{q}_g(1-\frac{T_0}{T_g})+\dot{W}_p} \quad (5)$$

2-3. 시스템 설계에의 적용

암모니아/물 흡수식 냉동기를 설계함에 있어서, 먼저 각 요소(발생기, 흡수기, 응축기, 증발기, 용액 열교환기)의 상태점과 열교환량을 시뮬레이션을 통해 구해야 한다. 이를 이용하여 열역학 제 2법칙 해석(Exergy method)을 통해 원하는 냉동용량(RT) 및 COP에 맞는 최적 사이클의 모든 상태점과 각 부품의 열량값을 결정한다. 상태점에서 계산한 대수평균온도차와 열전달계수 그리고 열전달량으로부터 열교환면적을 구한다.

$$Q = U\ A\ \Delta Tm \quad (6)$$

위의 식으로부터 전열면적이 구해지면 관의 길이와 pass의 수를 결정한다.

3. 결과 및 고찰

Table 1은 질량유량 0.025kg/sec, 응축물예냉기 및 용액열교환기 효율 80%, 펌프의 등엔트로피효율 50%, 응축기 출구온도 42℃, 증발기 출구온도 5℃, 흡수시 출구온도 45℃, 정류기 출구농도 0.99에 대해 시뮬레이션을 수행하여 나온 결과를 가지고 시스템에서의 에너지와 가용성에 대해 계산을 수행한 것이다. 시스템의 엑서지 손실량(비가역성)이 가장 큰 곳은 발생기와 흡수기며 응축기는 상대적으로 엑서지 손실량이 작게 나타났다.

용액 열교환기의 추가로 인한 영향을 받는 부품은 발생기와 흡수기이며 Fig 2에서 볼 수 있듯이 용액열교환기의 효율이 증가될수록 COP와 ECOP는 모두 증가한다. Fig 3은 질량유량 변화에 따른 각 부품의 엑서지 손실량의 변화를 나타낸 것이다. 질량유량 변화에 대해 상대적으로 발생기의 엑서지 손실량이 크게 나타났다.

Fig 4는 80% 효율을 갖는 응축물예냉기가 추가되었을 때의 효과를 비교한 것이다. 응축물 예냉기의 추가로 인한 영향을 받는 부품은 증발기와 흡수기이며, 응축물 예냉기의 효율을 증가시키면 COP와 ECOP는 증가한다. 그러나, 응축물 예냉기는 엔탈피를 감소시켜 단위 킬로그램당 냉동용량을 증가시키는 잇점이 있는 반면, 흡수기로 들어가는 증기가 흡수열을 증가시키면서 과열되기 때문에 흡수기의 크기 증가를 초래하는 단점이 있다.

Fig 5은 증발기 출구온도변화에 따른 시스템의 압력비, 순환비, 온도구배에 대한 그림이다. -5℃~0℃의 범위에서 시스템의 온도구배가 가장크며, 압력비와 순

환비는 증발기 출구온도가 높아짐에 따라 감소한다.

Fig 6a-6d는 증발기 출구온도에 대한 각 부품의 열량과 COP 및 ECOP의 관계를 나타낸 것이다. 증발기 출구온도에 대해 최적의 엑서지 손실량을 갖는 각 부품의 열량을 알 수 있으며 이를 설계에 적용할 수 있다.

Fig 7a-7d는 응축기 출구온도변화에 따른 각 부품의 엑서지를 총엑서지로 나눠 무차원화한 값으로 증발기 출구온도에 대해서 응축기 출구온도와 무차원화한 엑서지손실량과의 관계를 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 ABSIM(ABorption SIMulation program)과 EES(Engineering Equation Solver)를 이용하여 주어진 조건에 대한 각 상태점의 물성치를 구하였으며, 이를 엑서지 기법(Exergy Method)을 이용하여 해석하였다. 그 결과 엑서지 손실량은, 발생기를 제외할 경우, 흡수기에서 상대적으로 크게 나타났다.

장치를 추가했을 경우의 효과를 살펴보기 위해 용액열 교환기와 응축물 예냉기의 효율을 변화시키면서 엑서지 분석을 수행하였다. 그 결과 용액열 교환기를 추가했을 경우는 발생기와 흡수기에 영향을 주었으며, 응축물 예냉기를 추가했을 경우에는 증발기와 흡수기에 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 사용한 엑서지 기법을 시스템에 적용하면 시스템내에서 발생하는 비가역성의 정확한 장소 예측과 에너지의 효율적 사용방안 및 시스템 최적설계에 이용될 수 있다.

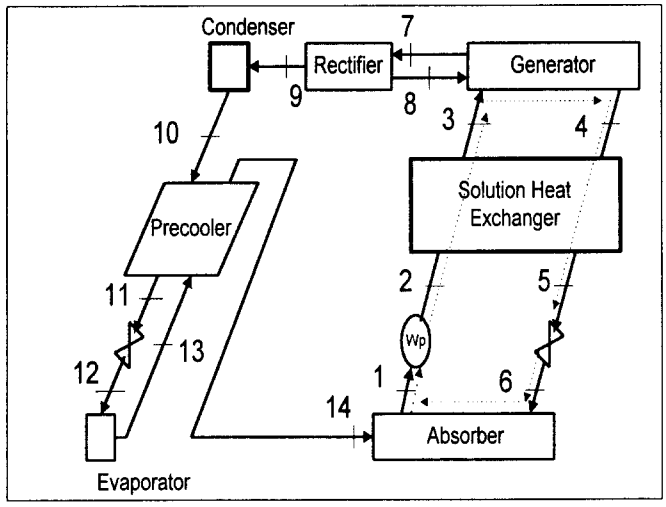

Figure 1 Configuration of the simple ARS system

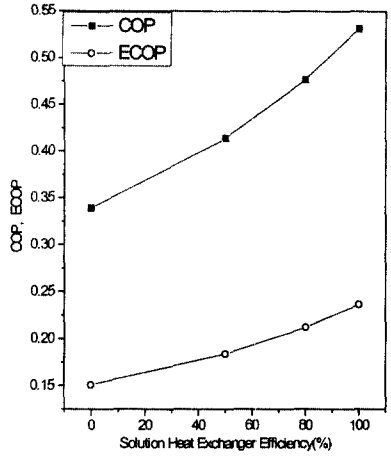

Figure 2 Comparision of the COP and ECOP

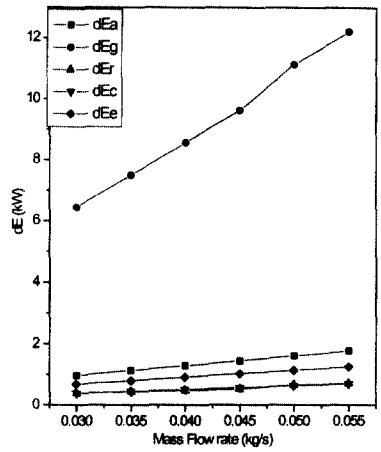

Figure 3 Comparision of the exergy loss of the each parts

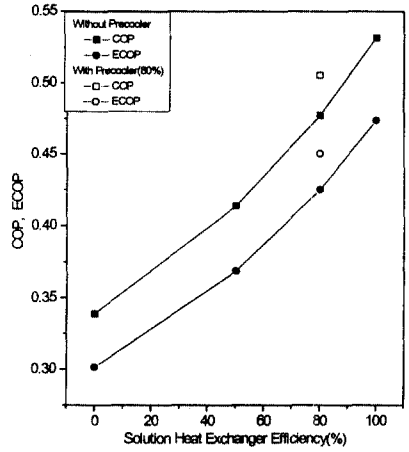

Figure 4 Comparision of the COP and ECOP with only solution heat exchanger and with adding precooler 80% efficiency

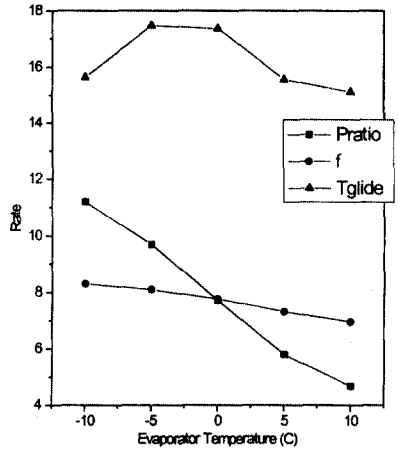

Figure 5 Comparision of the Pressure ratio, recirculation rate, and Temperature glide

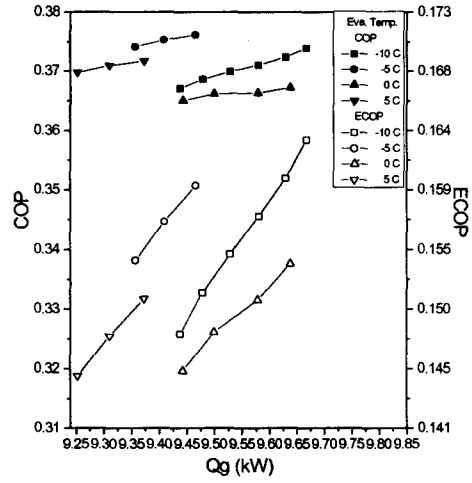

Fig 6a. COP and ECOP vs Qg

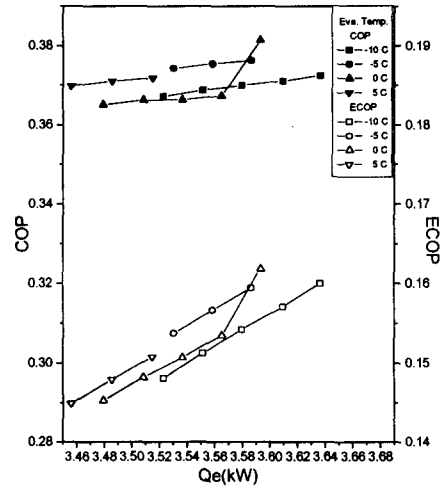

Fig 6b. COP and ECOP vs Qe

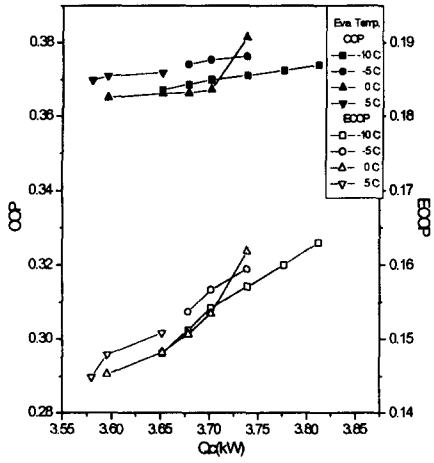

Fig 6c. COP and ECOP vs Qc

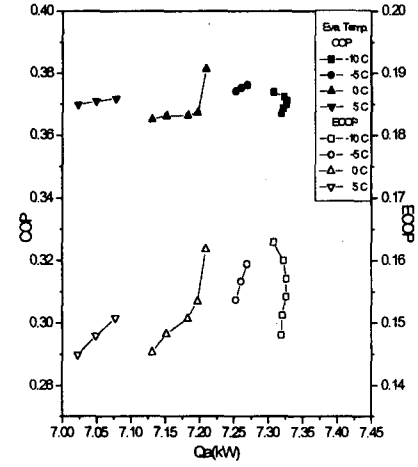

Fig 6d. COP and ECOP vs Qa

Fig 6a-6d. Comparision of the COP and ECOP for the each parts with different Evaporator Temperature(-10℃ ~ 5℃)

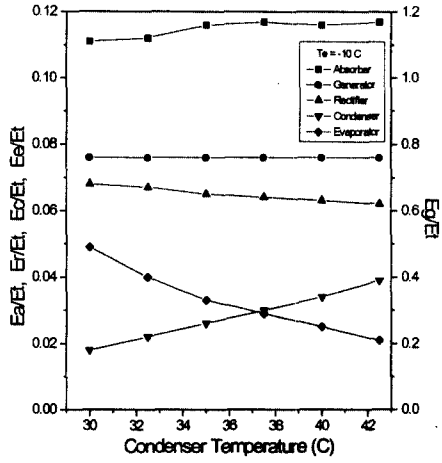

Fig 7a. Comparision of dimensionless exergy loss of the each parts with evaporator temperature(-10℃)

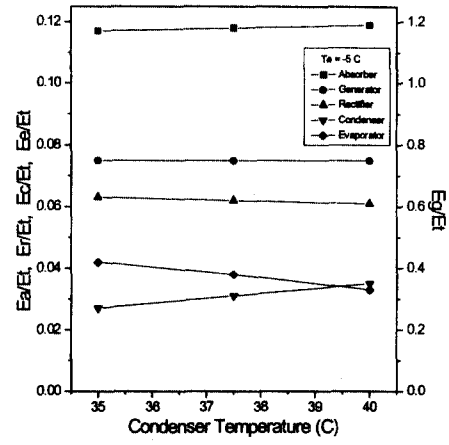

Fig 7b. Comparision of dimensionless exergy loss of the each parts with evaporator temperature (-5℃)

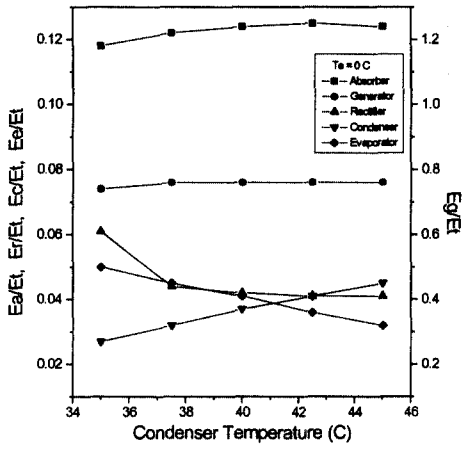

Fig 7c. Variation of dimensionless exergy loss of the each parts with evaporator temperature (0℃)

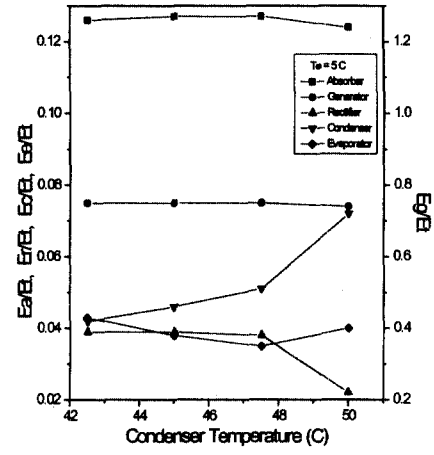

Fig 7d. Variation of dimensionless exergy loss of the each parts with evaporator temperature (5℃)

Table 1. An energy and availability accounting for a Simple absorption-refrigeration cycle

A. Energy accounting (in kW)			
Energy in :		Energy out :	
Generator	9.48	Condenser	3.68
Evaporator	3.52	Absorber	7.32
Pump	0.08	Rectifier	2.03
		Refrigerant Heat Exchanger	0.05
Total	13.08	Total	13.08

B. Availability accounting(in kW)			
Process	q	w	i
Generator	9.48		4.69
Rectifier	-2.03		0.41
Condenser	-3.68		0.22
Evaporator	3.52		0.38
Absorber	-7.32		0.76
Pump		0.076	0.12
Refrigerant Heat Exchanger	-0.046		0.49
Total	-0.076	0.076	7.07

참고문헌

1) 鄭興錫, 흡수식 열펌프의 연구개발 방향, Energy R&D, Vol. 6, No. 3, pp 84-96, 1984

2) G. Grossman, " Using ABSIM for Modular Simulation of Absorption Heat Pumps and Chillers", Center for Environmental Energy Engineering, February, 1995

3) Cheng, C. S., Shih, Y. S., "Exergy and energy analyses of absorption heat pumps", Int. J. Energy Res. 12, pp. 189-203, 1988

4) R. E. Sonntag et al., "Fundamentals of Classical Thermodynamics", John Wiley & Sons, Inc., N.Y., pp. 223-339, 1993

5) O. Ercan Ataer et al., " Comparative Study of Irreversibilities in an Aqua-Ammonia Absorption Refrigeration System", International Journal of Refrig., Vol. 14, pp. 86-92, March, 1991