

## 흡수식 대온도차 시스템에서 2단 증발/흡수기의 성능 특성에 관한 수치적 연구

박찬우<sup>†</sup>, 강용태\*, 임익태\*\*, 문상돈\*\*  
<sup>†, \*\*</sup> 전북대학교 기계설계공학부, \*경희대학교 기계산업시스템공학부

### Performance analysis for the Characteristics of Double Stage Evaporator/Absorber for Large temperature Difference Absorption System

Chan Woo Park<sup>†</sup>, Yong Tae Kang\*, Ick Tae Im, Sang Done Moon

<sup>†</sup> Chonbuk National University, School of Mechanical Design Engineering, 664-14,1 Ga, Deokjin-Dong, Deokjin-Gu, Jeonju, Jeonbuk, Korea

\*School of Mechanical and Industrial System Engineering, Kyung Hee University, Yong In, Gyeong-gi 449-701, Korea

**ABSTRACT:** The optimal design of two stage evaporation & absorption system which is related to the large temperature difference system was investigated numerically in the absorption refrigeration system. The concentrations at inlet & outlet of absorber are 62.9% and 56.9%, but in two stage absorption system the values are 62.2% and 56.2%. Therefore strong solution & weak solution became diluted than the standard value. The amount of weak solution circulation can be reduced in absorption refrigeration system, and the sensible heat load is more reduced to enhance the COP of system. As UAR is increased, COP becomes larger, and this means the role of top section is more important than bottom section in two stage evaporation & absorption system. But the increase of COP becomes slower at 0.7 of UAR ratio. The performance of Type2 is higher than Type1 in COP with the flow direction of cooling waters. This phenomena is due to the active absorption of vapor -absorption & lower temp. cooling water is more effective. The pressure at bottom section becomes higher & that at top section becomes lower and therefore the circulation rate can be diminished more.

**Key words:** Absorption chiller(흡수식 냉동기), COP(성능계수), H<sub>2</sub>O/LiBr (물/리튬브로마이드), Absorber(흡수기), Evaporator(증발기)

#### 기 호 설 명

*A* : 전열면적[m<sup>2</sup>]  
*Abs* : 흡수기  
*Cond* : 응축기

*COP* : 성능계수  
*DS* : Double Stage  
*Eva* : 증발기  
*EXCH* : 용액열교환기  
*LTD* : 대온도차  
*m* : 질량 유량 [kg/s]  
*P* : 압력 [mmHg]  
*Q* : 열량 [kW]

<sup>†</sup> Corresponding author  
 Tel.: +82-63-850-0779; fax: +82-63-850-0779  
 E-mail address: cw-park@chonbuk.ac.kr

UAR : UA비율  
 $U$  : 총괄 열전달계수 [ $\text{kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]  
 $x$  : 농도 [%]

## 1. 서론

흡수식 냉동기의 고효화를 위하여 제품에 적용되고 있는 방법<sup>(1,2)</sup>으로는 고효율 고온/저온용액 열교환기, 냉매드레인열교환기, 용액냉각흡수기, 배가스/용액 열교환기, 공기예열기, 2단 증발/흡수기 적용 방안 등이 있다. 이와 관련된 흡수식 냉동기의 고효율화와 관련된 연구로는 Shitara et al.<sup>(1,2)</sup>, Saito and Fujimaki<sup>(3)</sup>, Park et al.<sup>(4)</sup>, Jeong et al.<sup>(5)</sup>, Kim et al.<sup>(6)</sup>, Summerer<sup>(7)</sup> 등이 흡수식 사이클에 여러 가지 고효율 요소기기를 적용하여 성능계수의 고효율화를 효과적으로 구현하는 방법에 대한 연구를 하였다.

최근에는 공조시스템에서 에너지 절감 방안으로 대온차 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 흡수식 시스템에서 대온도차 시스템을 적절히 구현하기 위해서는 2단 증발/흡수기를 채택하여야만 그 성능을 보장할 수 있다. 그러나 대온도차 시스템과 연계하여 2단 증발/흡수기 시스템에 대한 심층적인 연구는 없는 상황이다.

본 연구에서는 흡수식 냉동 시스템에서 대온도차 공조시스템과 연계하여 2단 증발/흡수기 시스템에 대한 성능 특성 파악하고 이에 대한 최적 설계를 수치적으로 수행하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 2단 증발/흡수기 원리

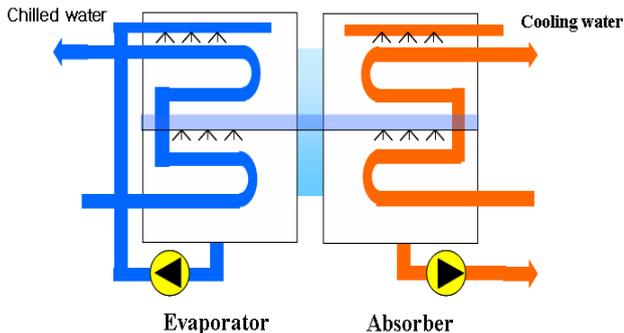


Fig. 1 Double stage Evaporator/Absorber

Fig. 1은 2단 증발/흡수기의 상세한 그림을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 기존 하나의 shell로 이루어진 증발기와 흡수기를 상하 두 개의 shell로 나누어 놓은 형상을 하고 있다. 이에 따라 상부와 하부에 다른 압력이 형성된다. 이는 하부로 들어오는 15°C의 냉수가 상부로 나가는 냉수(7°C) 보다 비교적 고온이어서 하부측 증발기의 증발 압력이 높고 하부측 흡수기의 흡수액 농도도 상부보다 묽어진 상태이기 때문이다. 이러한 이유로 냉수 입추구 온도차가 큰 대온도차 시스템이 2단 증발/흡수식 시스템에서 적절한 시스템이 된다. 이렇게 상부는 저압이고 하부는 고압인 두 개의 영역으로 나누어지면 하부에서는 압력의 영향으로 보다 묽게 흡수액의 농도를 낮출 수 있어 전체 시스템에서 흡수액 순환량을 줄이더라도 용액 열교환기 등에서 흡수용액의 결정현상을 피할 수 있게 된다. 이렇게 되면 재생기의 현열 부하가 더욱 감소하여 시스템 COP 향상에 도움이 된다. Fig. 2는 이단 증발 흡수기를 장착한 H<sub>2</sub>O/LiBr 2중 효용 흡수식 냉동기를 나타낸 그림이다.

### 2.2 사이클 모사

#### 2.2.1 적용 사이클 용량 및 조건

2단 증발 흡수기의 효과 및 특성을 파악하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 H<sub>2</sub>O/LiBr 2중 효용 직렬흐름 방식의 냉동기에 적용하여 수치적 특성을 파악하였다. 시스템 용량은 210 RT급을 적용하였다. 계산 시 적용된 보다 세부적인 조건 및 용량은 Table 1에 나타내었다. 2단 증발/흡수

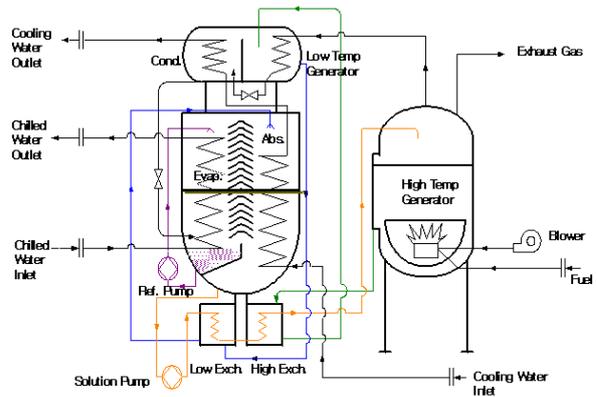


Fig. 2 Double-effect series-flow absorption chiller

기 시스템 설계 시에는 냉수측 대온도차 시스템을 적용하였다.

### 2.2.2 해석 프로그램 및 변수

Table 1 Cycle conditions for Simulation.

Cycle		Conven.	DS,LTD
Heat duty [kW,USRT]	Evaporator	738.54kW 210RT	
Flow rate [kg/s]	Cooling water	58.48	
	Chilled water	35.28	22.05
	Weak solution	3.5	
Temperature [°C]	Cooling water inlet	32.0	
	Chilled water inlet/outlet	12.0/7.0	15.0/7.0
UA [kW/°C]	Evaporator	124	62/62
	Absorber	120	60/60
	Condenser	170	
	HTG	-	
	LTG	145	
	HSX	13.1	
	LSX	11.3	

본 연구에서 적용된 흡수식 시스템 모사 프로그램은 흡수식 시스템 해석에서 대표적으로 사용되는 ABSIM(ABsorption SIMulation)을 사용하였다. 그리고 2단 증발/흡수기의 최적 설계를 위하여 계산 시 고려되는 변수로는 상부 흡수기 증발기와 하부 흡수기 증발기 면적비 인데 이에 대한 정의는 식 (1)과 같다.

$$UAR = \frac{UA_{upper}}{UA_{upper} + UA_{lower}} \quad (1)$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 사이클의 비교

Table 2 Cycle Simulation Result.

Item	Conventional	DS, LTG	
		lower	upper
P(mmHg)	5.78	7.2	5.52
x(%)(in/out)	62.9/56.9	62.2/59.1	59.1/56.2
COP	1.120	1.133	

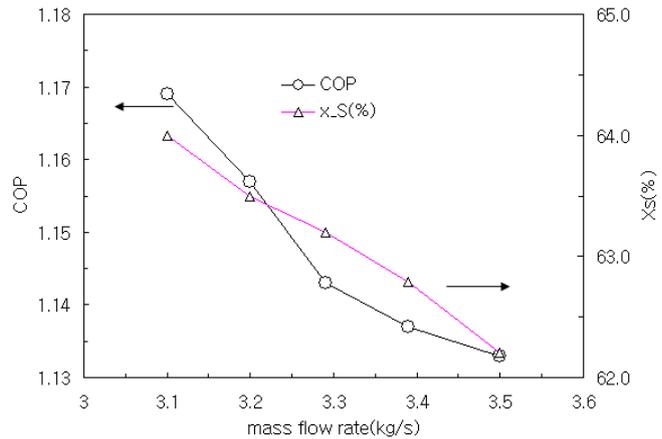


Fig. 3 COP vs. Split Ratio & Xs(%) vs. Split Ratio

Table 2는 Table 1의 조건을 계산하여 얻은 결과이다. 결과에서 보듯이 기존 모델의 증발기 압력은 5.78mmHg 이고 이단 증발/흡수기는 하단이 7.2mm Hg, 상단이 5.5mmHg이다. 상하단의 압력차는 약 1.7mmHg정도 차이가 발생한다. 흡수기 입/출구 농도에 있어서는 기존 시스템은 62.9%/56.9%인 것에 반하여 이단 증발/흡수기 시스템에서는 62.2%/ 56.2% 로 매우 농용액이나 희용액 모두 기준치보다 묽게 되었다. 이러한 효과에 의하여 흡수식 냉동시스템의 희용액 순환량을 줄일 수 있는 것이다. 그러므로 재생기의 현열 부하가 더욱 감소하여 시스템 COP 향상에 도움이 된다. 본 결과를 바탕으로 용액 순환량 조정하여 적정액 순환량을 결정할 수 있다. 이에 따라 시스템 COP 더욱 향상될 수 있다. 용액 순환량이 동일한 조건인 두 계산 결과에서도 2단 증발 흡수시스템이 다소 높은 결과를 나타내고 있다.

Fig. 3은 희용액 순환량 변경에 따른 COP 변화와 농용액 농도의 변화를 나타낸다. 그림에서 보듯이 희용액 순환량이 감소함에 따라 COP가 증가함을 보이고 있다. 이는 위에서 언급했듯이 용액 순환량이 감소함에 따라 재생기의 현열 부하가 감소하여 시스템 COP 향상되기 때문이다.

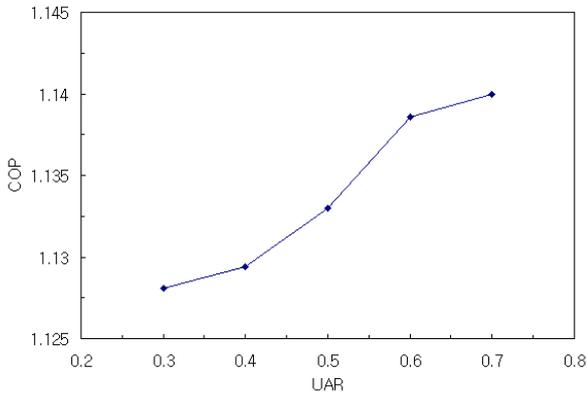
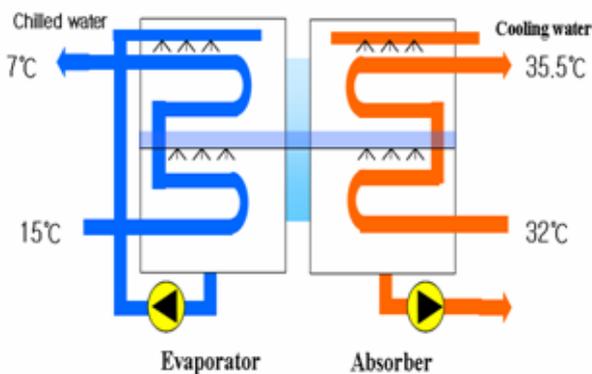


Fig. 4 COP vs. UAR

반면에 회용액이 감소함에 따라 농용액의 농도는 증가함을 보이고 있다. 이에 따라 용액의 결정온도 여유를 고려하여 적절한 용액 순환량을 결정할 수 있다.

### 3.2 상부 하부 UA 분배비 영향

Fig. 4는 2단 증발 흡수기와 증발기 상하부의 UA 비 변화에 따른 COP의 변화를 나타낸 것이다. 정의 (1)에 따라 UAR이 증가함은 상부측의 UA 비중이 증가함을 나타낸다. 이값이 0.5 라 함은 상부 하부 UA비가 동일함을 뜻한다. 그림에서 보듯이 UAR이 증가함에 따라 COP는 증가함을 나타낸다. 이는 하부 보다 상부 역할이 더 중요함을 나타낸다. 일반적으로 농도가 높은 흡수기 상부에서 냉매 증기 흡수율이 하부 보다 높기 때문에 일어나는 현상이다. 그러나 이러한 COP의 증가는 UAR비가 증가함에 따라 0.7 정도 에서는 둔화됨을 보인다.



(A) Type 1

### 3.3 냉각수 유로 변경에 따른 영향

Fig. 5는 냉각수 유로 변경에 따른 영향을 파악하기 위하여 그 형태를 두가지로 나눈 것이다. Type 1은 냉수 및 냉각수가 열교환기에서 대형류를 형성하는 일반적인 형태를 나타낸 것이다. 반면 Type 2는 향류 형태의 냉각수 유로 구조를 나타낸다. 2단 증발 흡수기에서 이러한 향류 형태의 냉각수 구조를 선택해 본 것은 2단 증발흡수기 특성상 하부는 압력이 높아야 농도를 더 낮출 수 있기 때문에 온도가 높은 냉각수 출구를 하부 흡수기에 위치하게 하였다.

Fig. 6은 냉각수 유로 방향에 따라 COP와 상하부 차압을 나타 낸 것이다. 그림에서 보듯이 Type 2가 Type 1보다 COP가 높게 나타남을 알 수 있다. 그 이유로는 Fig. 4와 연관시켜보면 흡수기 상부측에서 대부분에서 증기 흡수 활동이 활발하기 때문에 이 부분에 낮은 온도의 냉각수

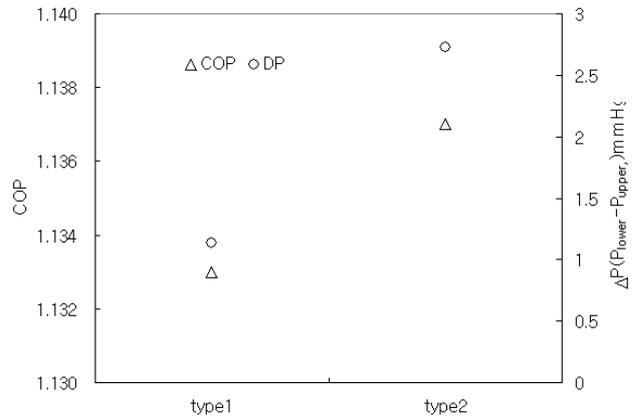
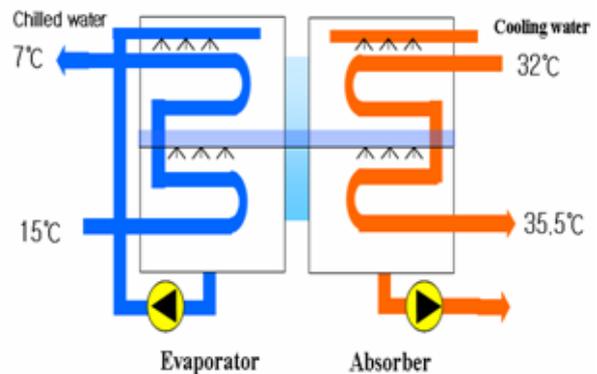


Fig. 6 COP vs. Type1,2 & DP vs. Type1,2



(B) Type 2

Fig. 5 Path types of Cooling water

를 투입하는것이 더 효과적이라고 볼 수 있기 때문이다. 아울러 하부측의 압력은 더 높아지고 상부측의 압력은 내려가게 되므로 시스템의 용액 순환량을 더 줄일 수 있게 된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 흡수식 냉동 시스템에서 대온도 차 공조시스템과 연계하여 2단 증발/ 흡수기 시스템에 대한 성능 특성 파악하고 예에 대한 최적 설계를 수치적으로 수행하였다.

- (1) 흡수기 입/출구 농도에있어서는 기존 시스템은 62.9%/ 56.9%인것에 반하여 이단 증발/흡수기 시스템에서는 62.2%/ 56.2% 로 매우 농용액이나 희용액 모두 기준치보다 묽게 되었다. 이에 따라 흡수식 냉동시스템의 희용액 순환량을 줄일 수 있어 재생기의 현열 부하가 더욱 감소하여 시스템 COP 향상에 도움이 된다.
- (2) 희용액의 묽어짐에 따라 흡수 용액의 결정온도 여유를 고려하여 적절한 용액 순환량을 결정할 수 있다.
- (3) UAR이 증가함에 따라 COP는 증가하는데, 이는 2단 증발 흡수기 증발기에서 하부 보다 상부 역할이 더 중요함을 나타낸다. 그러나 이러한 COP의 증가는 UAR비가 증가함에 따라 0.7 정도 에서는 둔화됨을 보인다.
- (4) 냉각수 유로 방향에 따라 Type 2가 Type 1 보다 COP가 높다. 이는 흡수기 상부측에서 대부분에서 증기 흡수 활동이 활발하기 때문에 이 부분에 낮은 온도의 냉각수를 투입하는것이 더 효과적이라고 볼 수 있기 때문이다. 아울러 하부측의 압력은 더 높아지고 상부측의 압력은 내려가게 되므로 시스템의 용액 순환량을 더 줄일 수 있게 된다.

#### 참고 문헌

1. Shitara, A., Homma, R., Edera, M., Fujimaki, S., 1997, "Study on high COP absorption chiller-heater", Tokyo Gas, Institute of Energy Technology, Report No.7, pp. 87-93.

2. Shitara, A., Fujimaki, S., 1998, "Study on high COP absorption chiller-heater (Part2: Examination and optimization of high efficiency cycle)", Tokyo Gas, Institute of Energy Technology, Report No.7, pp. 143-152.
3. Saito, K., Sunggun, H. Kimijima, S., Kawai, S., 1998, Study on the improvement of COP for absorption refrigerator, Japan Mechanics 8th Environment Engineering Symposium. pp. 360-363.
4. Park C. W., Cho H. U., Cho H. C., and Kang Y. T., The study of high efficiency cycle characteristics of the series flow-double effect absorption chiller, 2003, Proceedings of SAREK, pp. 782 -786.
5. Jeong S. Y., Cho. E. S., Park C. W., et al. 2003, Effect of the installation position and capacity of a exhaust gas heat exchanger on the performance of an absorption chiller, Proceedings of SAREK, pp. 772 - 777.
6. Kim, J. M., Kwon, O. K., Yoon, J. I., et al, 1999, A study on advanced performance of the absorption heater/chiller using waste gas, Proceedings of SAREK, pp. 470 - 474.
7. Summerer, F., 1996, Evaluation of absorption cycle with respect to COP and economics, Int J. Refrig. Vol.19. No.1. pp.19-24.