

일중/이중효용 하이브리드 타입 흡수식 냉동기 성능 특성에 관한 수치적 연구

유다영*, 송태민*, 이정병*, 김형진**, 임익태***, 문상돈***, 박찬우†,***

* 전북대학교 기계설계공학부 대학원, ** 전북대학교 응용시스템공학부, *** 전북대학교 기계설계공학부

Performance analysis for the Characteristics of Double/ Single Effect Hybrid type Absorption Chiller

Da Young You*, Tae Min Song*, Jung Byoung Lee*, Hyung Jin Kim**, Ick Tae Im***, Sang Done Moon***, Chan Woo Park†,***

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

ABSTRACT: The characteristics of hybrid type absorption chiller are studied numerically to use a waste hot water effectively. In the case of the full load, the concentration and temperature of LiBr solution are increase about 11°C, 1.3 % respectively at the single effect generator by hot water. As a result, the heat of the high temperature generator are decrease, so the energy can be saved. As the partial load decreased the consumption ratio of fuels are decreased and the reduction ratio of fuels are increased. The variation of COP with the inlet temperature of hot water is higher than that of the flow rate of hot water. The effect of mean temperature difference with solution and hot water of the generator are higher that of flow rate of hot water, it can effect on COP which is sensitive to heat of generator.

Key words: Absorption chiller(흡수식 냉동기), COP(성능계수), H₂O/LiBr (물/리튬브로마이드), 일중효용(Single Effect), 이중 효용(Double Effect)

기 호 설 명

Abs : 흡수기
 Con : 응축기
 COP : 성능계수
 Eva : 증발기
 Gen : 1중효용 재생기
 HSX : 고온 열교환기
 HTG : 고온 재생기
 LMTD : 대수평균 온도차
 LSX : 저온 열교환기

LTG : 저온 재생기
 m : 질량 유량 [kg/s]
 PLR : 부분부하비율(Partial Load Ratio)
 U : 총괄 열전달계수 [kW/m² · °C]
 Q : 열량 [kW]

하 침 자

cons : 소비
 save : 절감
 hot : 폐열 온도
 in : 입구

† Corresponding author

Tel.: +82-63-270-4760; fax: +82-63-270-4760

E-mail address: cw-park@chonbuk.ac.kr

1. 서 론

분산발전 시스템은 기존의 전력생산이 대형 발전소에서 이루어져 개별 수용가로 공급되어지는 방식이 아니라 수용가 지역 혹은 건물에서 발전을 하여 해당구역에서 전력을 공급 소비하는 것을 말한다. 분산발전시스템의 장점은 대형발전소에서 수용가로 공급될 때 발생하는 송전 손실을 줄일 수 있으며, 현장에서 발생하는 폐열을 냉난방으로 사용할 수 있으며, 여름철 냉방으로 전력피크가 발생될 때 대형발전소의 전력 예비율을 적절하게 유지 할 수 있어 고가의 대형 발전소 추가 건설을 줄일 수 있게 된다. 이에 따라 국내는 물론 전세계적으로 전력생산 시스템의 추세가 분산발전시스템으로 바뀌어 가고 있다.

현재 분산발전시스템의 개발 및 적용에 관한 연구^{1),2)}가 이루어지고 있기는 하지만 폐열을 적극적으로 이용하는 시스템 개발의 필요성이 매우 큼에도 불구하고 그 개발이 미진한 편이다. 현재 신재생에너지 시스템에서 폐열을 이용하는 것으로는 태양열을 이용하는 연구^{3),4)}와 발전 시스템에서 발생하는 폐열을 급탕이나 난방용으로만 사용하는 연구⁵⁾가 주로 이루어지고 있다. 그러나 발전 시스템에서 발생하는 폐열을 냉방용 열원으로 사용하는 고효율 흡수식 냉동기에 대한 연구는 거의 없는 상황이다.

본 연구에서는 분산 발전시스템에서 발생하는 고온의 냉각수를 효과적으로 이용하기 위한 일중효용 흡수식 냉동기와 보조열원으로 직화식 가스열원을 사용하는 이중효용 흡수식 냉동기가 결

합된 1중/2중 효용 하이브리드 타입 흡수식 냉동기에 대한 성능 특성을 수치적 방법으로 수행하고자 한다.

2. 본 론

2.1 1중/2중효용 하이브리드타입 흡수식 냉동기

흡수식 냉동기는 열로 구동이 되며 증발기에서 5°C의 냉수를 만들어 건물의 냉방에 사용된다. 일반적으로 일중 효용 흡수식 냉동기는 일반적으로 80~90°C의 중/저온수로 구동이 되며 냉동기의 성능계수는 대략 0.7 정도 이다. 여기서 성적계수란 냉동기 입력량 대비 증발기의 냉동열량의 비이다. 또한 이중 효용 흡수식 냉동기는 가스나 경유등을 버너에서 연소시켜 발생된 열을 가열하여 냉동기를 구동하게 된다. 대략적인 이중효용 흡수식 냉동기 시스템의 성능계수는 1.0정도로 일중 효용보다 그 효율이 높다.

일중/이중효용 하이브리드 타입 흡수식 시스템은 두 시스템의 장점을 활용한 것으로 80~90°C의 중/저온수가 공급될 경우에는 1중효용 시스템으로 운전하며, 1중 효용 열원이 없을 경우에는 가스공급에 의한 직화식 COP1.0급의 2중 효용으로 운전하게 된다. 즉 각각의 배열원의 종류에 따라 냉동기 효율에 유리한 운전방식이 바뀌게 된다. 그리고 만약 두가지 열원이 동시에 공급된다면 1중 효용과 2중 효용 시스템이 동시에 같이 작동하여 폐열의 활용도를 높일 수 있게 된다. 배가스 열원이 줄거나 두 열원이 모두 없을 경우에는 버너로 구동되는 직화식 2중 효용 흡수식 시스템이 되어 어떤 경우에도 냉동기 시스템은 운전이 가능한 전천후 시스템이 된다.

Fig.1에서 보는 바와 같이 1중/2중 효용 하이브리드 타입의 열 흐름은 다음과 같다. 흡수기(Absorber)에서 나온 열은 저온열교환기(LSX)를 거쳐 온도가 상승된 상태로 1중 효용 재생기(Generator)로 들어간다. 1중 효용 재생기를 통과한 흡수 용액은 폐열 온수에 의해 재생이 되어 농도와 온도가 증가하게 되고 이후에는 고온열교환기(HSX)를 통해 고온재생기(HTG)에 유입 된다. 직화식 가스 열원으로 인해 온도와 중간농도 상태로 증가된 흡수액은 고온열교환기를 지나 저온재생기(LTG)로 들어가 고온재생에서 발생한

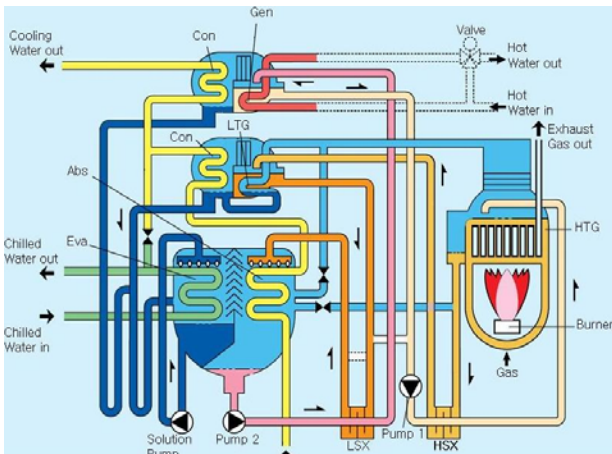


Fig. 1 Double/ Single Effect Hybrid type Absorption Chiller

고온의 냉매증기로 인해 온도와 농도가 증가한다. 이후 저온열교환기를 통해 온도가 감소한 후 흡수기로 들어가는 과정을 반복한다.

2.2 사이클 모사

2.2.1 적용 사이클 용량 및 조건

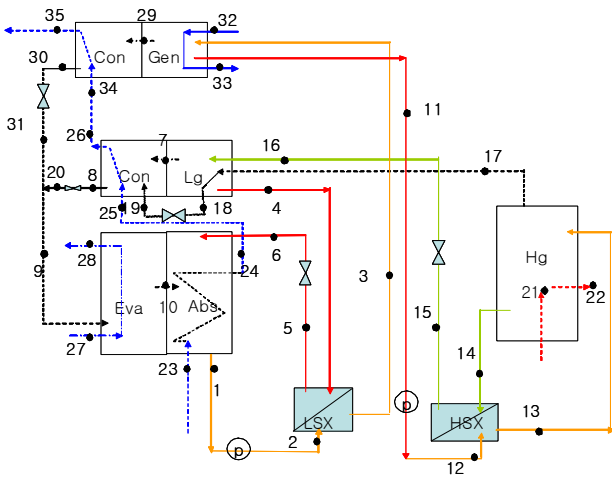


Fig. 2 Double/ Single Effect Hybrid type Absorption Cycle

Fig. 1의 일중/이중효용 하이브리드타입 흡수식 냉동기의 특성을 파악하기 위해서 Fig.2 와 같이 사이클 내 요소별 위치에 번호를 부여하여 모델링 하였다.

2.2.2 해석 프로그램 및 변수

본 연구에서 적용된 모사 프로그램은 공학용 프로그램인 EES(Engineering Equation Solver)를 사용하였으며, 계산 시 적용된 보다 세부적인 조건 및 용량은 Table 1 에 나타내었으며 이것은 전 부하 기준으로 작성되었다.

본 연구에서 계산의 목적 변수인 전체 사이클에 대한 성능 계수(COP)와 연료 소비율(Fuel_{cons}), 연료 절감율(Fuel_{save})은 다음식과 같이 나타나며 세부적인 계산의 범위는 Table 2에 나타나있다.

$$COP = \frac{Q_{eva}}{Q_{HTG} + Q_{Gen}} \quad (1)$$

Table 1 Thermal design values of absorption chiller.

Heat duty [kW,USRT]	281.1kW, 80RT
m[kg/s] :	
Cooling water	22.28
Chilled water	13.40
Weak solution	1.28
T[°C] :	
Air and Fuel	25
Cooling water inlet	32
Chilled water Inlet/outlet	7 / 12
U · A[kW/°C] :	
Absorber	43.81
Evaporator	47.24
Condenser (single)	77.71
Condenser (double)	64.76
HTG	0.80
LTG	18.67
Generator(single)	12.85
HSX	5.00
LSX	4.30
Partial Load Ratio	1.00
Combustion	
Excess air ratio(%)	20
Fuel	LNG
CH ₄ :0.89, C ₂ H ₆ :0.07, C ₃ H ₈ :0.03, C ₄ H ₁₀ :0.01	

Table 2 Parameters for Simulation.

No	Parameter	Value
1	Partial Load Ratio	0.5 - 1.0
2	Hot water temperature (°C)	80.0 - 95.0
3	Hot water flow rate ratio (%)	50.0 - 200.0

$$Fuel_{cons} = \frac{Q_{HTG}}{Q_{HTG} + Q_{Gen}} \quad (2)$$

$$Fuel_{save} = 1 - Fuel_{cons} \quad (3)$$

부분부하비율(Partial Load Ratio)에 따른 성능 변화 계산 시에는 냉각수의 입구온도 변화를 KS 시험법을 기준으로 하였다.

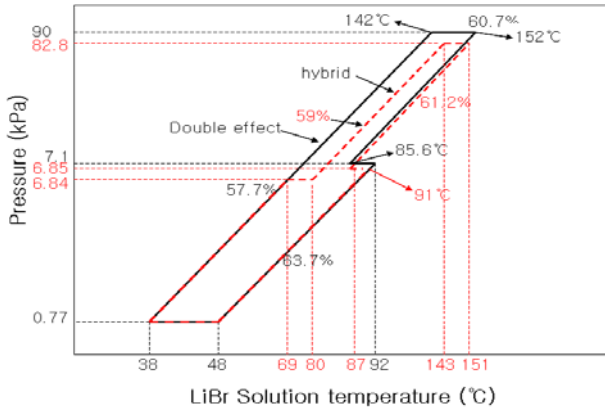


Fig. 3 During Diagram of Double-Effect of absorption cycle vs. hybrid type of absorption cycle

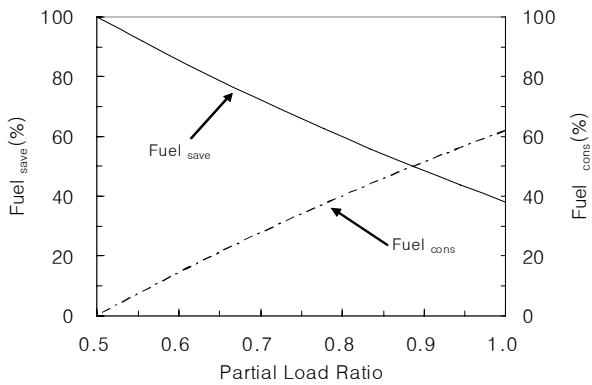


Fig. 4 Partial Load Ratio vs. $Fuel_{save}$ & $Fuel_{cons}$.

3. 결과 및 고찰

기존 시스템에 1중 효용과 2중 효용을 하이브리드타입으로 결합하였을 경우 그 효과 및 기타 영향을 파악하는 것이 본 연구의 주요 관점이며, 이에 따른 결과 및 고찰을 보면 다음과 같다.

3.1 사이클의 비교

Fig. 3.은 기존의 2중효용 흡수식 사이클과 1중 2중 하이브리드타입 흡수식 사이클의 듀링(During) 선도를 비교해서 나타낸 것이다. 본그림에서 실선은 2중 효용 흡수식 사이클을 나타내고 점선은 1중/2중 효용 하이브리드 타입 흡수식 사이클을 나타낸다. 하이브리드 타입은 1중 효용 재생기에서 폐열 온수에 의해 가열되어 흡수액의 농도와 온도가 각각 11°C, 1.3 % 정도가 증가한

다. 이로 인하여 고온재생기 측에서 가열량이 감소하여 에너지를 절감할 수 있게 된다.

2중 효용 흡수식 냉동기에서 압력은 크게 저압, 중압, 고압의 3부분으로 나눌 수 있다. 하지만 1중/2중 효용 하이브리드 타입에서는 상이한 압력이 형성하는 1중 효용 재생기가 추가됨에 따라 4개의 압력 영역이 존재하게 된다. 그림에서 보듯이 1중 효용 재생기의 압력은 2중 효용 재생기 압력보다 약간 낮은 압력을 유지한다. 1중 효용 재생기가 추가됨에 따라 고온 재생기에서의 가열량이 줄어 고온 재생기와 저온재생기의 압력도 기존 2중 효용 사이클보다 낮은 압력을 형성함을 알 수 있다. 고온재생기 출구의 용액의 농도도 기존 사이클 농도보다 0.5% 정도 약간 증가한다.

3.2 냉방 부하 영향

본 사이클은 폐열 온수가 주요 가열원이 되고 고온재생기 가열원은 보조 열원의 개념이 된다. 이에 따라 부분부하비율이 증가할수록 전체 가열원중 2중 효용으로 구동되는 비율이 증가하게 된다. 이에 따라 Fig. 4.에서 보듯이 부분 부하 비율이 증가함에 따라 직화식 가스 열원을 사용하는 양이 증가되어 연료 소비율은 증가하는 반면 연료 절감율은 감소하게 된다. 한편, 50% 부하 이하에서는 폐열온수에 의해서만 구동되는 1중 효용 무연료 운전이 가능하게 되어 연료절약은 100%가 된다. Fig. 5는 부분 부하에 따른 사이클 성적계수(COP)변화를 하이브리드타입과 기존 이중효용 타입을 비교하여 나타낸 것이다. 부분 부하비율이 감소 갈수록 COP의 감소가 하이브리드

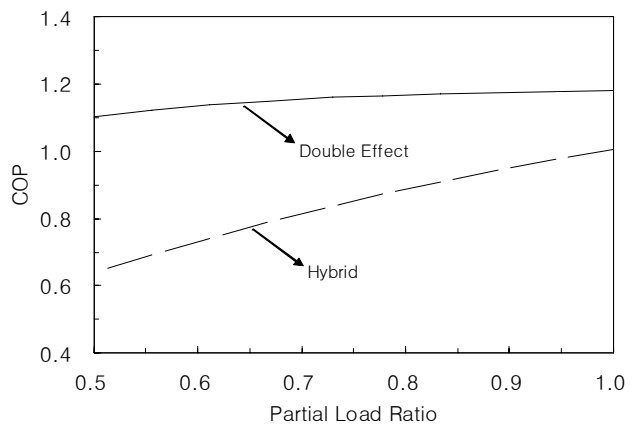


Fig. 5 Partial Load Ratio vs. COP

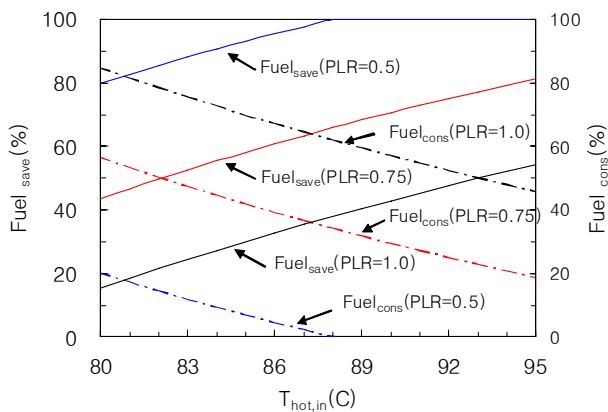


Fig. 6 Hot water temperature vs. $Fuel_{save}$, $Fuel_{cons}$ (Partial Load Ratio 50%, 75%, 100%)

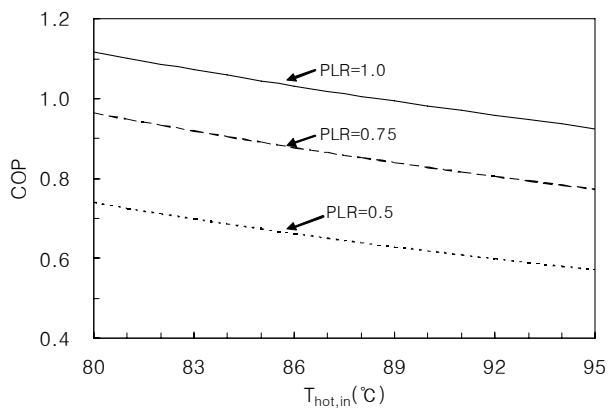


Fig. 7 Hot water temperature vs. COP (Partial Load Ratio 0.5, 0.75, 1.0)

타입이 이중효용 타입보다 크게 변한다. 이는 부분 부하 비율이 감소할수록 COP가 높은 2중 효용에서 COP가 작은 1중 효용으로 그 비중이 바뀌기 때문이다.

3.3 폐열 온수 온도 영향

Fig. 6 은 폐열 온수 온도에 따른 연료 소비율과 연료 절감율 변화를 각각의 부분부하에서 비교한 것이다. 온수입구온도가 높아질수록 연료 절감 비율이 증가하게 된다. 이는 가열원의 온도가 높을수록 1중 효용 재생기에서 냉매 재생량이 증가하여 2중 효용 재생기의 연료소모율이 감소하기 때문이다. 부분부하비율이 감소할수록 연료 절감율이 증가하게 되어 부분 부하 비율이 0.5 일때 온수온도가 88°C 이상일 경우 1중 효용으로만 구

동 되어 연료 절감비율은 100%가 되고 그 반대로 연료 소비율은 0%가 된다.

Fig. 7 은 폐열온수 온도에 의한 COP의 변화율을 부분부하율에 따라 나타내고 있다. 온수 입구 온도가 낮아질수록 성능계수가 증가함을 알 수 있다. 이는 수식(1)의 COP의 정의에 의해 폐열 온수 입구온도가 낮아지면 일중효용 재생기 열량(Q_{Gen}) 값이 감소하면 그 반대로 2중효용 고온재생기 가열량이 증가 하게 된다. 이로서 효율이 높은 2중 효용시스템의 비중이 커지게 되므로 전체 시스템의 COP는 증가하게 된다. 이러한 것은 부분 부하율이 변하여도 같은 경향을 나타낸다.

3.3 폐열 온수 유량 영향

Fig. 8 은 폐열 온수 유량에 따른 연료 소비율과 연료 절감율 변화를 각각의 부분부하에서 비교한 것이다. 온수 유량이 증가할수록 연료 절감 비율이 증가하게 된다. 이는 Fig.6에서 설명한 것과 비슷한 이유로 가열원의 유량이 증가 할수록 1중 효용 재생기에서 냉매 재생량이 증가하여 2중 효용 재생기의 연료소모율이 감소하기 때문이다. 부분 부하율이 증가 할수록 연료 절감율은 감소함을 알 수 있는데 이는 부하가 증가할수록 이중 효용의 비중이 커지기 때문에 연료 절감율이 감소하게 되기 때문이다.

Fig. 9는 폐열 온수 유량의 변화에 따른 COP의 변화를 각각의 부분부하의 변화에 따라서 나타내고 있다. 이는 Fig. 7의 결과와 비슷하게 설명되어진다. 즉, 폐열 온수 입구유량이 감소되어

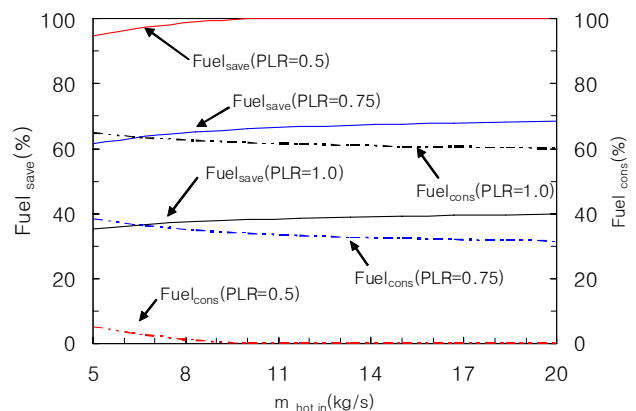


Fig. 8 Hot water flow rate vs. $Fuel_{save}$, $Fuel_{cons}$ (Partial Load Ratio 0.5, 0.75, 1.0)

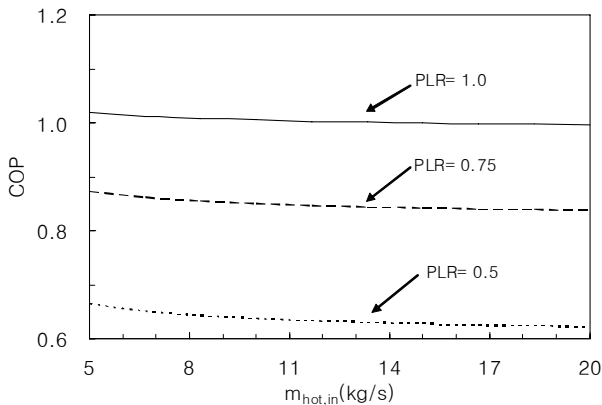


Fig. 9 Hot water flow rate vs. COP
(Partial Load Ratio 0.5, 0.75, 1.0)

지면 일중효용 재생기열량(Q_{Gen})이 감소되고 그 반대로 2중효용 고온재생기 가열량이 증가 하게 된다. 이로서 효율이 높은 2중 효용시스템의 비중이 커지게 되므로 전체 시스템의 COP는 증가하게 된다. 일반적으로 1중 효용보다 2중 효용의 COP가 높기 때문에 일중효용재생기 가열량 변화에 의한 영향이 이중효용재생기 가열량 변화에 의한 영향 보다 작게 나타난다.

Fig. 9와 Fig. 7을 비교해보면 유량의 변화에 따른 COP의 변화가 온도의 변화에 따른 COP의 변화에 비해 완만한 것을 알 수 있다. 이는 열 교환량에 영향을 주는 1중 효용 재생기의 온수와 흡수액과의 대수평균 온도차(LMTD)의 변화량이 온수 유량의 변화량보다 크므로 재생기의 입열량의 변화에 민감한 COP에 큰 영향을 주게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 분산발전시스템에서 발생하는 고온의 냉각수를 효과적으로 이용하기 위한 일중효용 흡수식 냉동기와 보조열원으로서 직화식 가스열원을 사용하는 이중효용 흡수식 냉동기가 결합된 1중/2중 효용 하이브리드 타입 흡수식 냉동기에 대한 성능 특성을 수치적 방법으로 수행하였다.

1. 정격 부하시 하이브리드 타입 흡수식 냉동기는 1중 효용 재생기에서 폐열 온수에 의해 흡수액의 농도와 온도가 각각 11°C , 1.3 % 정도가 증가한다. 이로 인하여 고온재생기 측에서 가열량이 감

소하여 에너지를 절감할 수 있게 된다.

2. 부분 부하율이 감소할수록 1중 효용의 의존량이 증가하여 폐열 온수로 구동 되는 비율이 늘어 연료 소비율은 감소하고 연료 절감율은 증가하게 된다.

3. 온수입구온도가 높아질수록 연료 절감 비율이 증가하게 된다. 이는 가열원의 온도가 높을수록 1중 효용 재생기에서 냉매 재생량이 증가하여 2중 효용 재생기의 연료소모율이 감소하기 때문이다.

4. 온수 입구 온도가 낮아질수록 성능계수가 증가 된다. 이는 온수 입구 온도가 낮아질수록 효율이 낮은 1중 효용의 비중이 낮아지고 효율이 높은 2중 효용시스템의 비중이 커지게 되므로 전체 시스템의 COP는 증가하게 된다.

5. 온수 유량이 증가할수록 연료 절감 비율이 증가하게 된다. 부분 부하율이 증가 할수록 연료 절감율은 감소하게 되는데 이는 부하가 증가할수록 이중 효용의 비중이 커지기 때문에 연료 절감율은 감소하게 되기 때문이다.

6. 폐열 온수 온도의 변화에 따른 COP의 변화가 유량의 변화에 따른 변화보다 크다. 이는 열교환량에 영향을 주는 1중효용 재생기의 온수와 흡수액과의 대수평균 온도차(LMTD)의 변화량이 온수 유량의 변화량보다 크므로 재생기의 입열량의 변화에 민감한 COP에 큰 영향을 주게 된다.

참고문헌

1. J.H.Kim, S.S.Yang, D.S.Lee, Development of GT / FC hybrid system for distributed power generation, SAREK 2002 Winter Proceeding, pp. 641~649.
2. Jae Hwan Kim, Jeong L. Shon, Sung Tack Ro, Tong Seop Kim, Gas Turbine and Fuel Cell Hybrid System for Distributed Power Generation, 2001 Fluid machinery proceeding, pp. 354~360.
3. Hee-Youl Kwak, U-Cheul Shin, Analysis of Thermal Performance of a Solar Heating &

Cooling System, Journal of the Korean Solar Energy Society 2008, Vol. 28, No. 4.

4. N.C.Baek, J.K.Lee, E.S.Yoon, M.C.Joo, Y.H.Park, S.Jeong, Basic Design and Performance Analysis of an Solar Absorption Chiller, Journal of the Korean Solar Energy Society 1998.

5. K. J. Kim, Absorption Chiller and Heat Pump Utilizing Waste Heat Source, SAREK 1994, pp. 299~305.

6. Young-Jin Baik, Seong-Ryong Park, Ki-Chang Chang, Ho-Sang Ra, Simulation of compression of Compression/Absorption Hybrid Heat Pump System using Industrial Wastewater Heat Source, SAREK, vol 16, No 12, 2004, pp, 117~1125.