

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 18, No. 4, 1998

배열 이용형 흡수식 사이클 특성평가

윤정인*, 권오경**, 문춘근**

* 정회원, 부경대학교 냉동공조공학과

** 부경대학교 대학원

Characteristics Evaluation of Absorption Cycles using the Waste Heat

J. I. Yoon^{*}, O. K. Kwon^{**}, C. G. Moon^{**}

* *Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Engineering, Pukyong National University*

** *Graduate School, Pukyong National University*

ABSTRACT

Fuel cells supply electric power and heat at work, and their exhaust gas is comparatively clear. So they are in the limelight as one of the co-generation systems which behave friendly with the environment. Fuel cells discharge both steam and hot water. Accordingly, if we combine absorption heat pump driven by waste heat with fuel cells, we can construct an advanced energy conserving system. The purpose of this study is the objective for evaluating the possibilities of effectively utilizing waste heat of fuel cells as a heat source for the single and double effect absorption systems. Simulation studies on single and double effect absorption have been performed for water/lithium-bromide pair. The effectiveness of introducing a waste heat source of fuel cells is demonstrated. The result of this study showed that total efficiency was about 85% at rated operation and about 75% at 75% load operation. Absorption cycle moved to more strong concentration when fuel cell operated at 75% load.

기 호 설 명

- A : 전열면적 [m^2]
- C_p : 비열 [$kJ/kg \cdot K$]
- G : 질량유량 [kg/s]
- H : 엔탈피 [kJ/kg]
- P : 압력 [kPa]
- Q : 열량 [W]
- T : 온도 [$^{\circ}C$]
- X : 농도 [$wt\%$]

하 첨 자

- A : 흡수기
- C : 응축기
- CH : 냉수
- CO : 냉각수
- E : 증발기
- HEX : 고온용액열교환기
- HG : 고온재생기
- G : 재생기
- LEX : 저온용액열교환기
- LG : 저온재생기
- LR : 냉매액
- LS : 흡수용액
- SS : 농용액
- SW : 희용액
- VR : 냉매증기

1. 서 론

지구환경 문제의 대응, 에너지 코스트 저감 등의 사회적 요구에 대한 해답의 하나로써 에너지의 효율적 이용을 들 수 있다. 이러한 관점을 바탕으로 효율적인 에너지 이용 형태로 현재 가

장 관심을 끌고 있는 것이 전기와 열을 동시에 공급할 수 있는 코제너레이션 시스템이다. 이 시스템 중에서도 도심에서의 분산형 전원인 연료전지를 이용한 코제너레이션 시스템이 선진국을 중심으로 개발되고 있다. 이 시스템은 발전과정에서 화석연료를 사용하지 않아 SO_x 나 NO_x 등의 유해 물질 확산이 적고, 또 CO_2 배출량도 상당히 적다. 더욱이 연료전지로부터의 배열을 이용함으로써 온열과 냉열을 만드는데 필요한 전기를 사용하지 않아도 되는 장점이 있다. 물의 전기분해 역반응을 이용한 연료전지 시스템은 온열의 발생이 많아 에너지 이용 효율을 높이기 위해서는 이 온열을 얼마나 잘 유효하게 이용하는가가 열쇠이다. 특히 온수를 냉열로 변환시키는 기술개발이 우리나라 에너지 사정을 완화시키는데 상당히 중요하며 이 기술 없이는 연료전지 코제너레이션 시스템을 완벽하게 구성할 수 없다.

연료전지의 배열을 이용한 냉열변환 방법에는 배열을 증기나 온수로 배출하여 열펌프의 구동원으로 사용하는 방법이 있을 수 있다. 즉, 연료전지의 고온의 수증기와 온수를 흡수식 열펌프에 이용하여 냉수를 얻을 수 있다. 이와 같이 연료전지는 열병합 발전이 청정한 에너지 시스템으로 각광을 받고 있지만 아직 배열의 이용방법에 대한 상세한 검토는 충분히 이루어지지 않고 있다. 전력과 열을 유효하게 이용할 수 없으면 효율적인 에너지 시스템의 구축은 불가능하다. 따라서 최근 연료전지의 배열을 이용하는 시스템으로 고온배열인 수증기로 이중효용 흡수식 사이클을 구동하고, 저온배열인 온수를 단효용 흡수식 사이클의 구동열원으로 이용함으로써 전력, 수증기, 온수의 다용도 에너지 이용이 가능한 시스템에 대한 검토가 이루어지고 있다.^[1~7] 그러나 연료전지는 전력수요에 대응하여 용량을 제어할 필요가 있으며, 이때 흡수식 사이클의 용량제어도 동시에 이루어져야 하기 때문에 연료전지 용량제어시의 흡수식 사이클 용량제어 특성, 시스템의 효율변화

특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 연료전지 배열이용 시스템의 특성평가의 기초연구로 단효용 및 이중효용 흡수식 사이클의 시뮬레이션을 통해 용량제어특성을 파악하였다.

2. 시스템의 원리 및 구성

2.1 연료전지의 원리 및 부하특성

연료전지는 물의 전기분해의 역화학반응에 의해 전기를 발생시키는 발전장치이다. 장치 자체는 2개의 전극과 이 사이에 있는 전해질로 구성되어 있다. 이 전해질의 종류에 따라 형식이 분류되어 인산형(PAFC), 용융탄산염형(MCFC), 고체전해질형(SOFC), 알카리형(AFC) 등이 있다. 이중 가장 실용화에 가까운 것이 인산형 연료전지이다. Fig. 1은 인산형 연료전지의 원리를 나타낸 것이다. 원리는 전극의 한쪽에 수소를 보내면 수소분자가 전자를 분리시켜 수소이온이 되어 전해액으로 이동하고 전자는 전극에 접속된 전선을

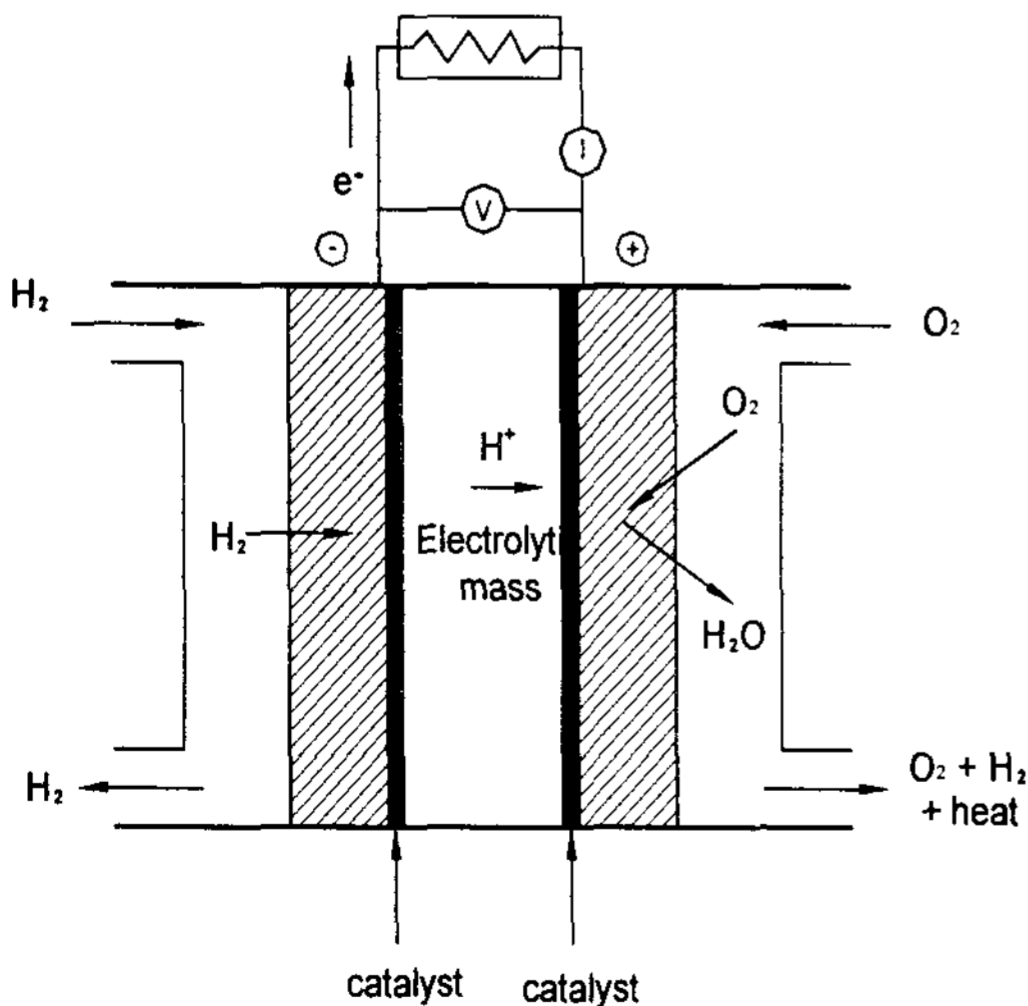
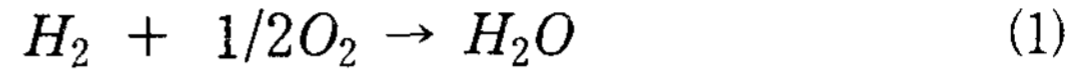


Fig. 1. Construction of phosphoric acid type fuel cell

통해 외부로 나간다. 공기중의 산소와 전해질 및 외부회로를 통하여 온 수소이온과 전자가 반응하여 화학적으로 안정된 상태인 물이 된다. 이를 화학식으로 나타내면 다음과 같다.



연료전지는 수소와 산소의 반응으로 직접 전기 에너지를 얻기 때문에 종래의 발전방식에 비해 발전효율이 높고, 화학발전 등에서 문제시되고 있는 NO_x 등의 발생이 거의 없어 대기오염 문제도 없고 소음, 진동이 작은 장점이 있다. 전해질의 차이에 따라 작동온도, 연료 등에 차이가 있지만 발전효율은 35~60%정도이며 배열이용 시스템 즉, 코제너레이션 시스템과 조합함으로써 종합효율이 약 80%에 이른다.

Table 1은 시뮬레이션에 사용한 연료전지의 사양을 나타낸 것이다. 발전출력은 200 kW급으로 배열로는 170°C의 증기 180 kg/h와 75°C의 온수 2650 kg/h가 있으며 발전효율은 약 35%, 배열회수효율은 약 50%로 종합효율 약 85%의 연료전지이다. 연료전지 배열을 이용한 흡수식 시스템은 연료전지에 의한 발전과 흡수식에 의한 냉수제조를 목적으로 하고 있다. 연료전지는 기동하는데 3시간 이상이 소요되는 운전특성을 갖고 있으므로 운전을 시작하였다가 중단하는 일은 곤란하다.

Table 1. Specification of fuel cell system

Rated Power	200 kW
Heat Recovery Vapor	170°C, 180 kg/h
Heat Recovery Hot Water	75°C, 2650 kg/h
Electrical Efficiency	35%
Heat Recovery Efficiency	50%
Total System Efficiency	85%

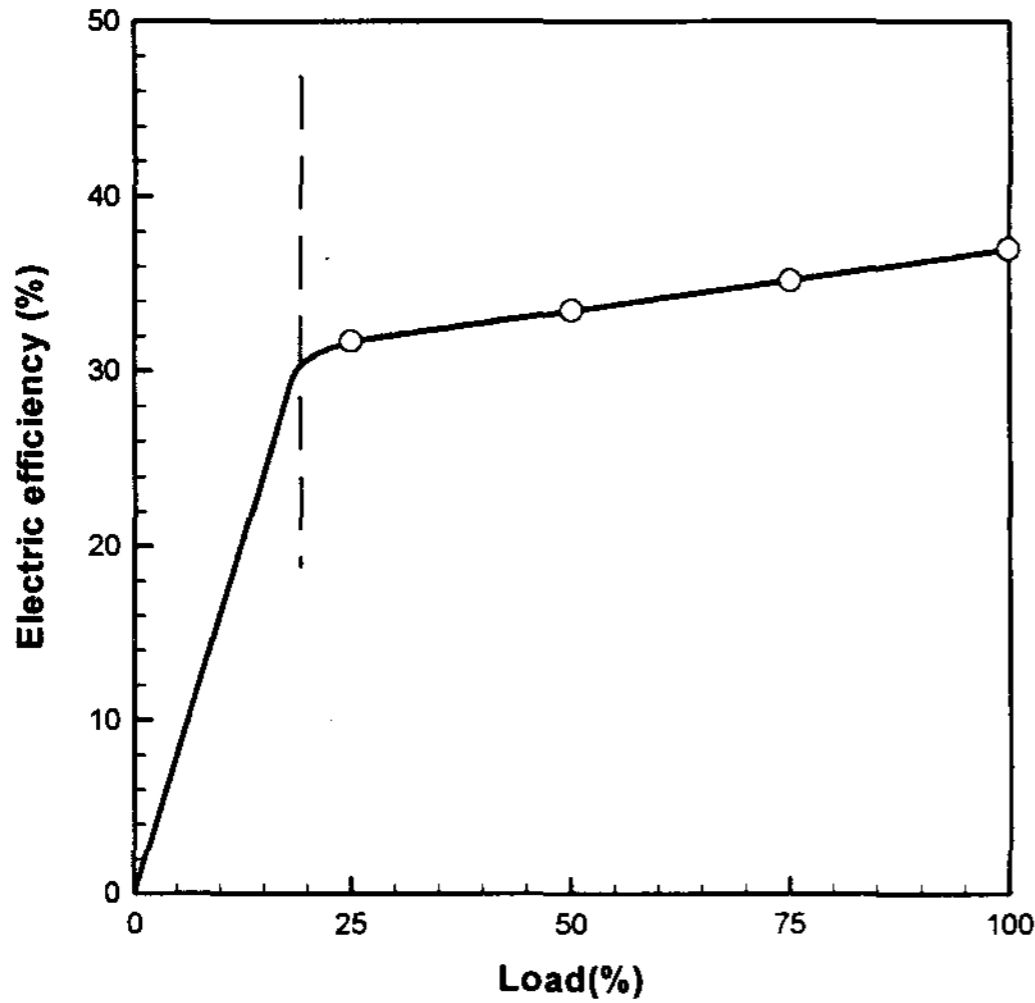


Fig. 2. Variation of electric efficiency with load characteristic

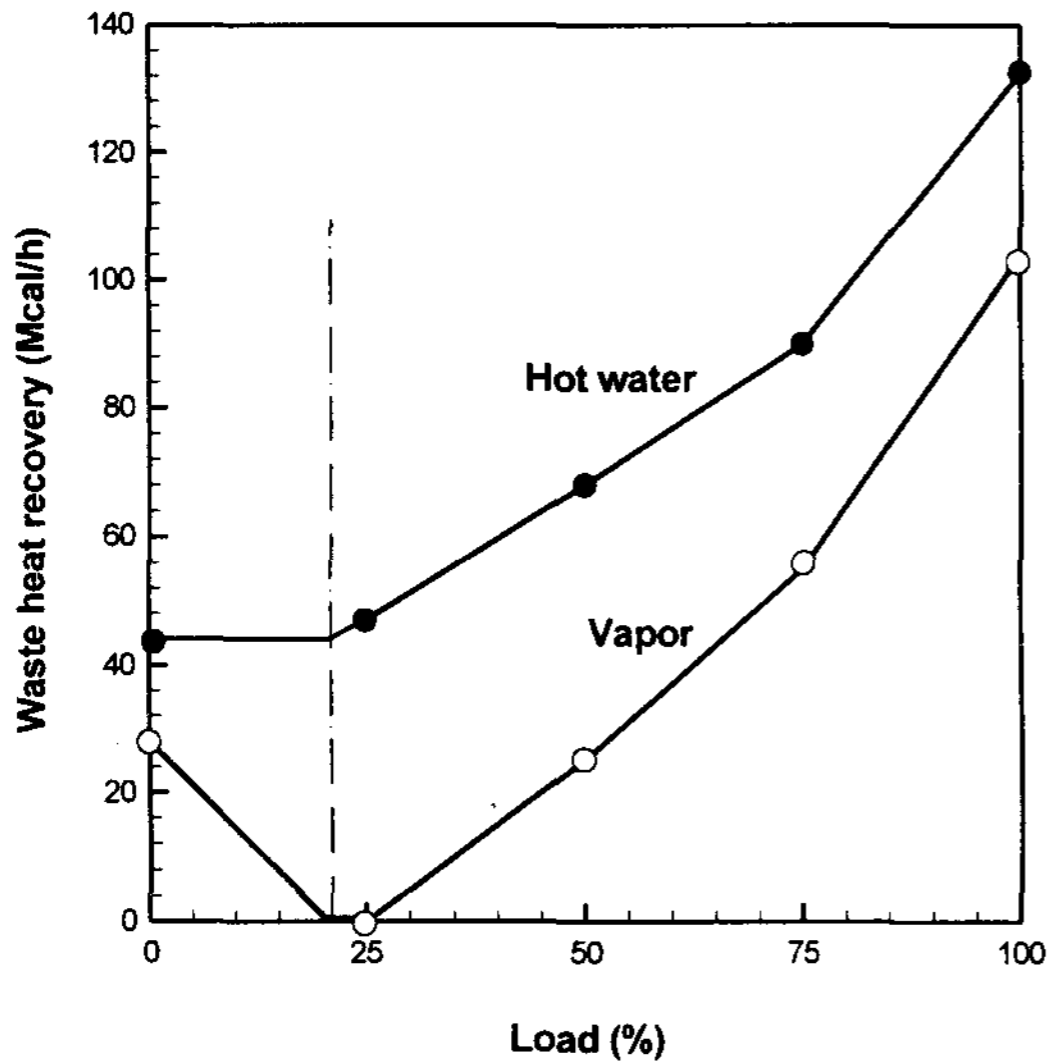


Fig. 3. Variation of waste heat recovery efficiency with load characteristic

즉, 전력요구에 따라 연료전지의 용량을 제어할 필요가 있으며 이때 동시에 흡수사이클의 용량도 제어할 필요가 있다.

Fig. 2와 3에 연료전지의 발전효율과 배열량의 부하특성을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이

발전효율은 연료전지 부하가 25%까지 떨어져도 그다지 변화하지 않으나 배열은 연료전지 부하 75%일 때 고온 증기가 50%, 고온수가 66%까지 저하한다. 만약 연료전지 부하가 25%로 떨어지면 고온증기는 0으로 되어 이중효용 흡수식을 구동할 수 없게 된다.

2.2 흡수사이클과 배열이용 시스템

단효용 흡수식 사이클은 이중효용에 비해 효율은 낮지만 공장배열이나 코제너레이션 시스템의 배열 등 비교적 저온 레벨이 열원을 직접 구동원으로 할 수 있기 때문에 최근까지 관심을 모으고 있으며 고성능 단효용의 흡수식 시스템의 개발이 요망되고 있다. Fig. 4에 단효용 흡수식 사이클의 듀링 선도를 나타내었다. 이 사이클은 재생기에서 가열온수에 의해 회용액이 냉매증기와 농용액으로 분리된다. 농용액은 용액열교환기에서 회용액과 열교환하여 흡수기로 되돌아온다. 한편, 냉매증기는 응축기에서 냉각수와 열교환한 후 액화되어 증발기로 유입된다. 증발기에서 냉수와 열교환하여 증발한 냉매증기는 흡수기로 되돌아가 농용액에 흡수되는 동시에 냉각수와 열교환한다. 농용액과 냉매증기를 흡수하여 묽어진 회용액은 용액열교환기에서 농용액과 열교환하고 재생기로 되돌아간다.

이중효용 사이클은 가열온도를 높임으로써 단효용보다 높은 COP를 얻을 수 있지만 5개의 주 열교환기와 2개의 용액 열교환기로 구성되어 열 및 물질 평형은 대단히 복잡하다. 즉, 열 및 물질 평형을 이루는 전열면적, 용액유량, 가열온도이어야 고효율을 얻을 수 있다.

Fig. 5에 이중효용 사이클의 듀링 선도를 나타내었다. 고온 재생기에서 가열증기에 의해 회용액이 냉매 증기와 중간농도 용액으로 분리된다. 중간농도 용액은 고온용액 열교환기를 거쳐 저온 재생기로 유입되고, 고온재생기에서 발생된 냉매증기의 응축잠열에 의해 냉매증기와 농용액으로 분

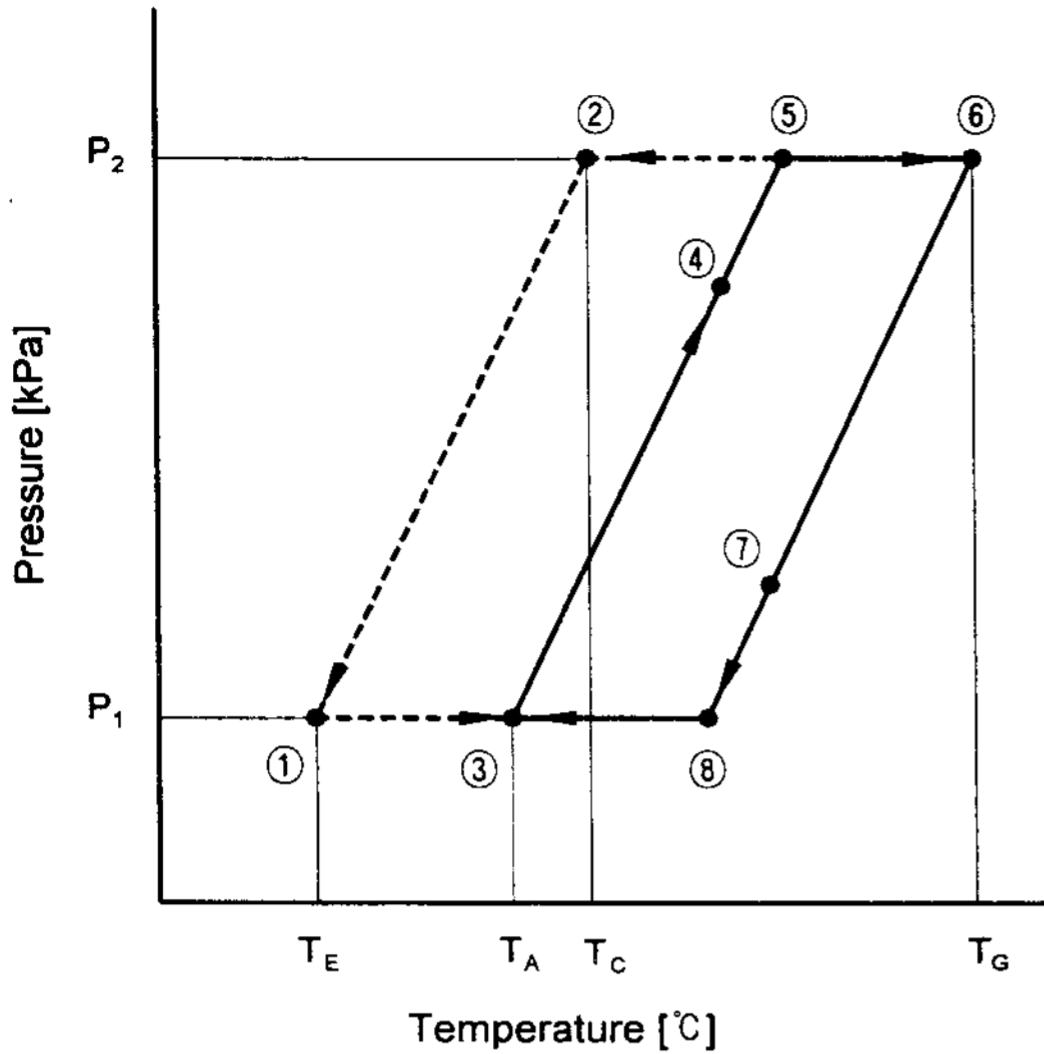


Fig. 4. Dühring diagram of single effect absorption cycle

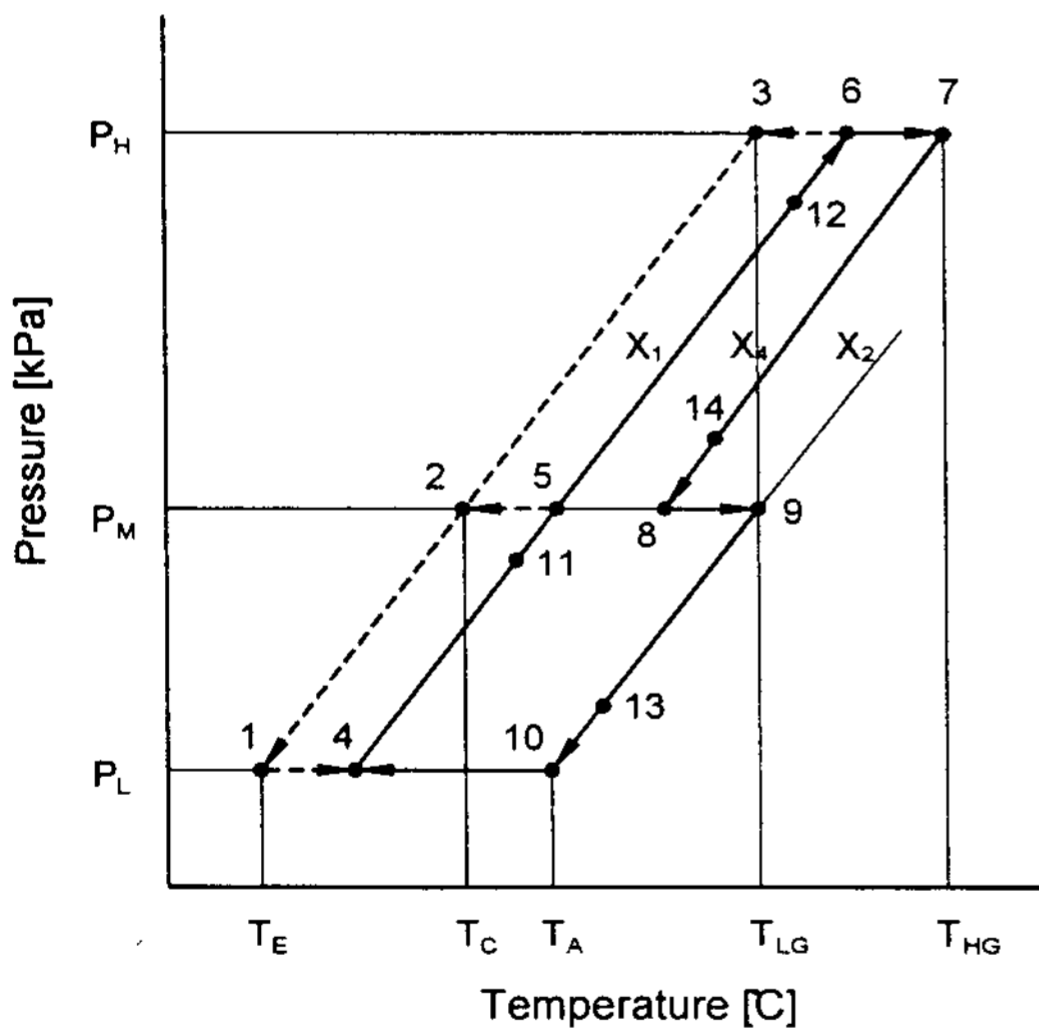


Fig. 5. Dühring diagram of double effect series flow cycle

리된 후 저온용액 열교환기를 거쳐 흡수기로 되 돌아온다. 한편, 고온 재생기와 저온 재생기로부터의 냉매증기는 응축기에서 냉각수와 열교환하고 응축된 후 증발기에 유입되어 냉매와 열교환한다. 증발기에서 증발한 냉매증기는 흡수기에 유

입하여 농용액에 흡수된다. 이때, 농용액은 냉매 증기의 흡수에 의해 희용액이 되어 2개의 열교환기를 거쳐 고온 재생기로 되돌아간다.

3. 시스템 특성 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 모델링

Fig. 6은 시뮬레이션에 사용되어진 연료전지, 흡수사이클이용 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 연료전지는 연료로 천연가스가 투입되고 전력을 발생하며 배열은 고위배열로 수증기와 저위배열로 온수를 출력한다. 수증기를 이용하여 이중효용 흡수사이클을 구동하고, 온수로는 단효용 흡수사이클을 구동하여 냉수를 제조한다. 이 시스템은 전력, 수증기, 온수로 에너지 캐스케이드 이용이 가능한 구성이다. 연료전지 배열을 이용한 흡수식 시스템은 연료전지에 의한 발전과 흡수식에 의한 냉수제조를 목적으로 하고 있다. 연료전지의 운전특성상 중요한 점은 기동에 3시간 이상이 소요되므로 운전을 시작하면 멈추기가 힘들다는 점이다. 즉, 전력요구에 따라 연료전지의 용량을 제어할 필요가 있으며 이때 동시에 흡수사이클의 용량도 제어할 필요가 있다.

3.2 계산조건 및 가정

시뮬레이션의 각 계산조건은 현재 일반적으로 실무에서 사용하고 있는 조건들을 기준치로 도입하여 그 값을 Table 2에 나타내었고, 냉각수 입구온도 등 성능에 크게 영향을 미치는 파라미터들을 변화시키며 계산을 하였다.

사이클 시뮬레이션에는 H₂O/LiBr계 작동매체를 선정하였으며 다음의 가정을 도입하였다.

- 사이클은 정상상태이며, 각 상태에서의 온도, 압력, 용액농도는 평형상태이다.
- 순환하는 냉매는 증발기에서 완전히 증발하고, 증발하지 않은 냉매의 존재는 무시한다.

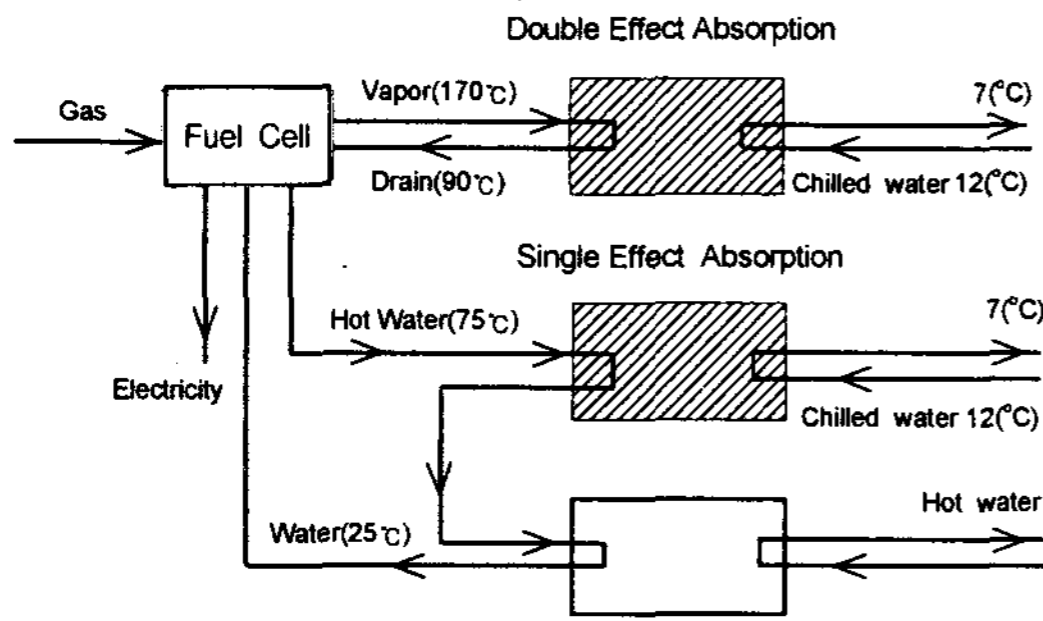


Fig. 6. Flow diagram of absorption system using the fuel cell thermal

Table 2. Nominal conditions of cycle simulation

Conditions		Values
Temperature difference between absorber inlet solution and cooling water		4°C
Temperature difference for solution heating		5°C
Chilled water inlet and outlet temperature		12°C, 7°C
Cooling water inlet temperature		30°C
Chilled water flow rate per 1RT		$1.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
Cooling water flow rate per 1RT	single effect	$3.9 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
	double effect	$2.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
Weak solution flow rate per 1RT	single effect	$1.67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
	double effect	$1.39 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

- 각 열교환기는 대향류형이며, 온도차는 대수평균온도차를 사용한다.
- 증발기에서 증발한 냉매증기는 모두 흡수기에 유입되고, 냉매는 완전히 농용액에 흡수된다.
- 펌프동력은 무시한다.

3.3 열 및 물질평형

각 열교환기의 열 및 물질평형만을 간략히 나타내면, 흡수기의 물질평형은 다음 식과 같다.

$$G_{SW} = G_{VR} + G_{SS} \quad (2)$$

$$G_{SS} \cdot X_{SS} = G_{SW} \cdot X_{SW} \quad (3)$$

재생기 열교환량 Q_G , 응축기 열교환량 Q_C , 증발기 열교환량 Q_E , 흡수기 열교환량 Q_A 를 나타내면 각각 아래식과 같다.

$$Q_G = G_{VR} \cdot H_{VR.G} - G_{SW} \cdot H_{SW.G} + G_{SS} \cdot H_{SS.G} \quad (4)$$

$$Q_C = G_{VR} \cdot (H_{VR.G} - H_{LR.C}) \quad (5)$$

$$Q_E = G_{VR} \cdot (H_{VR.E} - H_{LR.C}) \quad (6)$$

$$Q = G_{VR} \cdot (H_{VR.E} - H_{SW.A}) + G_{SS} \cdot (H_{SS.A} - H_{SW.A}) \quad (7)$$

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

Fig. 7은 희용액 순환량 변화에 따른 냉동능력과 성능계수(COP)의 변화량을 나타낸 것이다. 냉

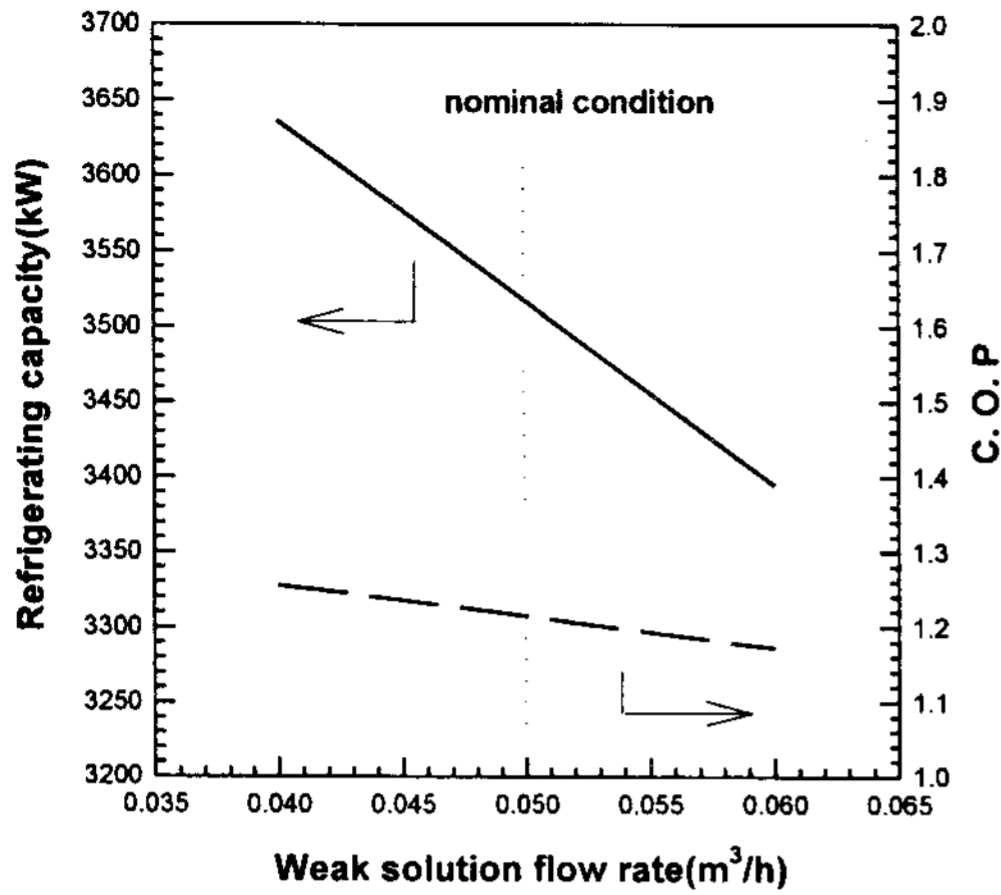


Fig. 7. Influence of weak solution flow rate on the refrigerating capacity and COP

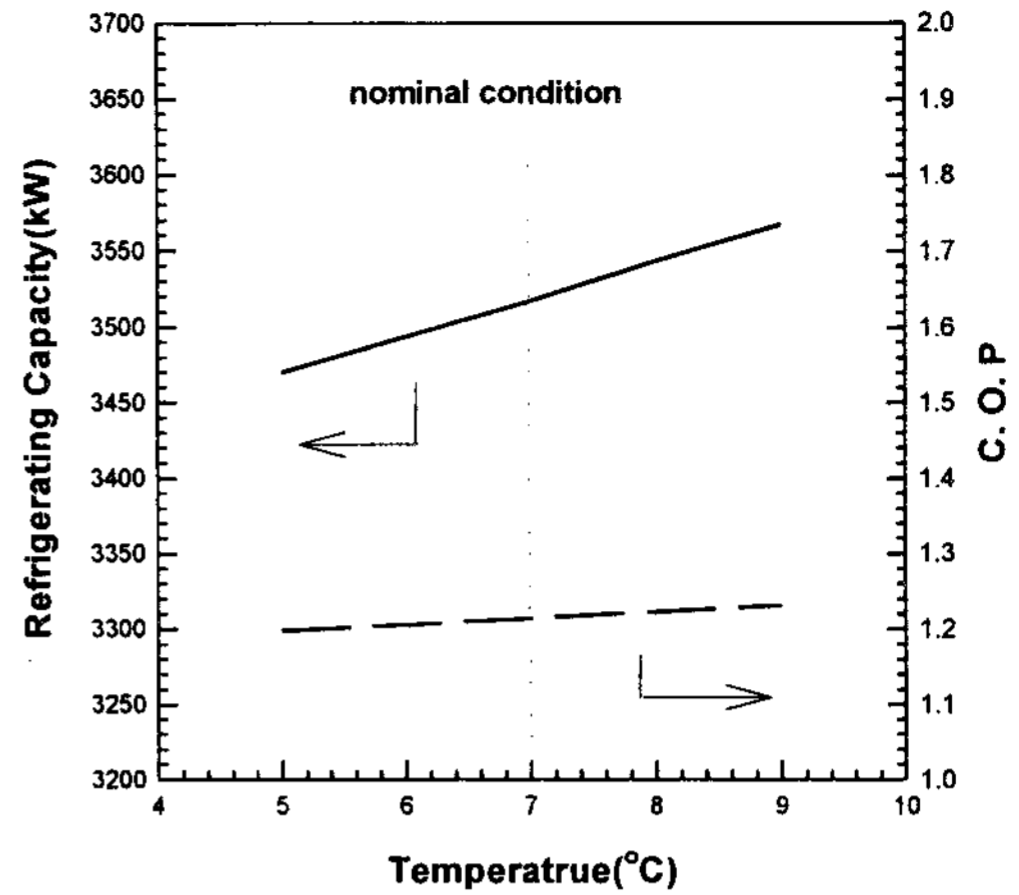


Fig. 8. Influence of chilled water outlet temperature on the refrigerating capacity and COP

수, 냉각수, 가열량은 기준조건으로 일정하게 두고 회용액 순환량을 증가시키면, 즉 농도차가 감소된 경우 냉동능력과 COP가 저하되는 결과를 보였다. 이것은 고온재생기에서의 가열량이 일정하고, 고온재생기로 유입되는 회용액 유량이 증가하면 회용액을 포화온도까지 올리는데 소요되는 현열량이 증가하므로 냉동능력은 감소하게 된다고 생각된다. 또한, 회용액 순환량의 증가는 흡수용액의 순환에 필요한 펌프동력의 증가를 초래하고(시뮬레이션상에서 펌프동력은 고려하지 않았지만) 시스템 전체의 효율을 저하시킨다. 일정한 가열량에 의해 냉동능력이 감소하므로 COP는 감소하게 된다. 이상에서 회용액 순환량 변화에 대하여 냉동능력과 COP는 반비례하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 냉수 출구온도 변화에 따른 냉동능력과 COP의 변화를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과 증발기 출구의 냉수온도 1°C 증가에 따라 냉동 능력이 약 0.7% 정도 상승됨을 확인할 수 있었으며, COP는 0.8%정도 증가됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 냉각수 온도의 변화에 따른 성능과

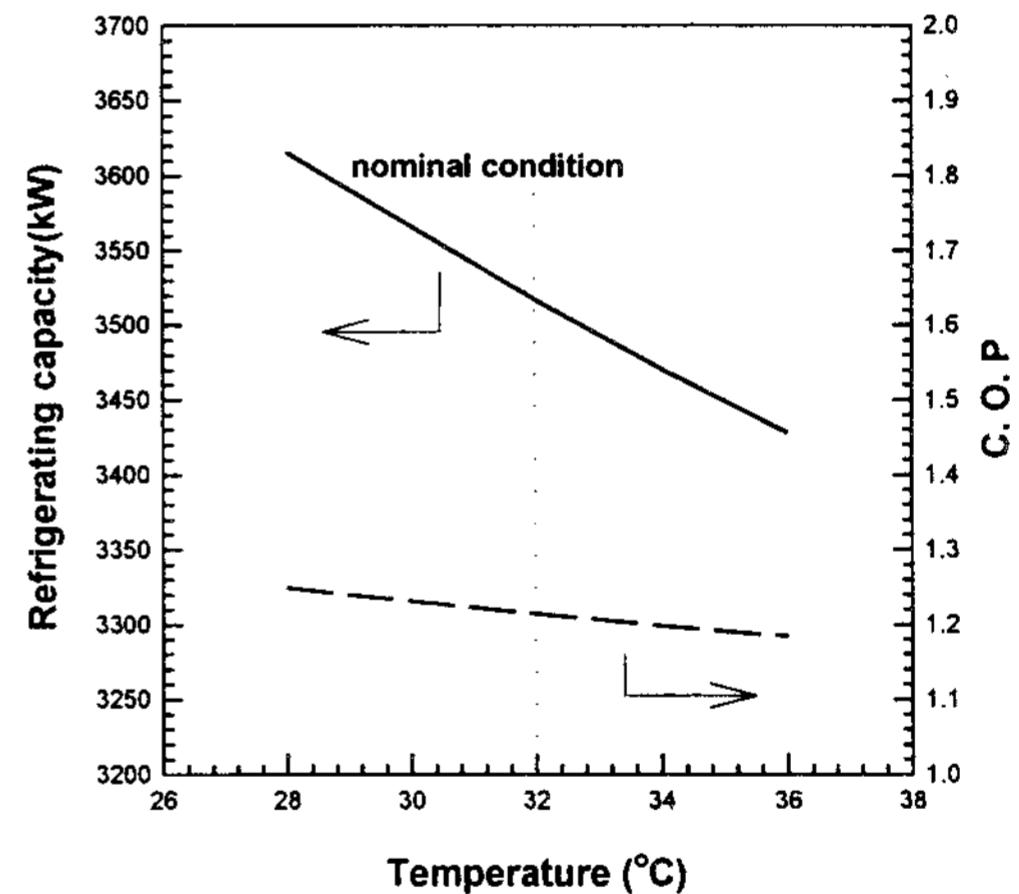


Fig. 9. Influence of cooling water inlet temperature on the refrigerating capacity and COP

냉동능력을 나타내고 있다. 결과에서 보는 바와 같이 냉각수 온도 1°C에 대하여 냉동능력은 약 1.4%, COP는 1.27% 변화되고 있는 것을 알 수 있다. 냉각수 온도가 높아짐에 따라 냉각되고 있는 흡수기와 응축기의 온도가 상승한다. 흡수기의 온도 상승은 용액 농도를 상승시키고, 응축기의

Table 3. Operation characteristics under variable load

Fuel Cell Power	100(%) 200 kW×5	75(%) 150 kW×5
Vapor	100(%)=522.72(Mcal/h)	53(%)=275(Mcal/h)
Hot water	100(%)=662.5(Mcal/h)	68(%)=450(Mcal/h)
Fuel consumption	100(%)=2485(Mcal/h)	75(%)=1863.8(Mcal/h)
Double effect absorption cycle		
Heating vapor flow rate	100(%)=900(kg/h)	53(%)=473.5(kg/h)
Chilled water flow rate	100(%)=119443.1(kg/h)	50(%)=59721.55(kg/h)
Cooling water flow rate	100(%)=213481(kg/h)	50(%)=106740.5(kg/h)
Weak solution flow rate	100(%)=15650(kg/h)	70(%)=10955(kg/h)
Vapor temperature	170°C	170°C
Generator heat capacity	522.72(Mcal/h)	275(Mcal/h)
Evaporator heat capacity	604.8(Mcal/h)	317.5(Mcal/h)
COP	1.16	1.15
Single effect absorption cycle		
Hot water flow rate	100(%)=11692(kg/h)	69.(%)=8100(kg/h)
Chilled water flow rate	100(%)=7627.7(kg/h)	70(%)=5339.4(kg/h)
Cooling water flow rate	100(%)=12713(kg/h)	100(%)
Weak solution flow rate	100(%)=1786.5(kg/h)	100(%)
Hot water temperature	75°C	75°C
Generator heat capacity	58.46(Mcal/h)	40.5(Mcal/h)
Evaporator heat capacity	38.4(Mcal/h)	26.3(Mcal/h)
COP	0.66	0.65

온도 상승은 재생기에 있어서 용액온도를 상승시킨다. 용액을 진하고 높은 온도까지 가열하려면 그 만큼 여분의 가열이 필요하기 때문에 냉각수 온도가 높아지는 만큼 냉동능력은 떨어지게 된다. 그리고 냉각수 입구온도가 저하하면 흡수기와 응축기의 열교환 효율을 향상시켜 시스템 성능을 향상시킨다.

Fig. 10은 고온재생기 가열량이 시스템에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있는 것과 같이 고온재생기 가열량의 증가에 따라 냉동능력은 많은 영향을 받지만 COP는 거의 영향이 없는 것을 알 수 있다. 이는 가열량과 냉동능력이 거의 비례적인 관계에 있기 때문이라고 생각한다.

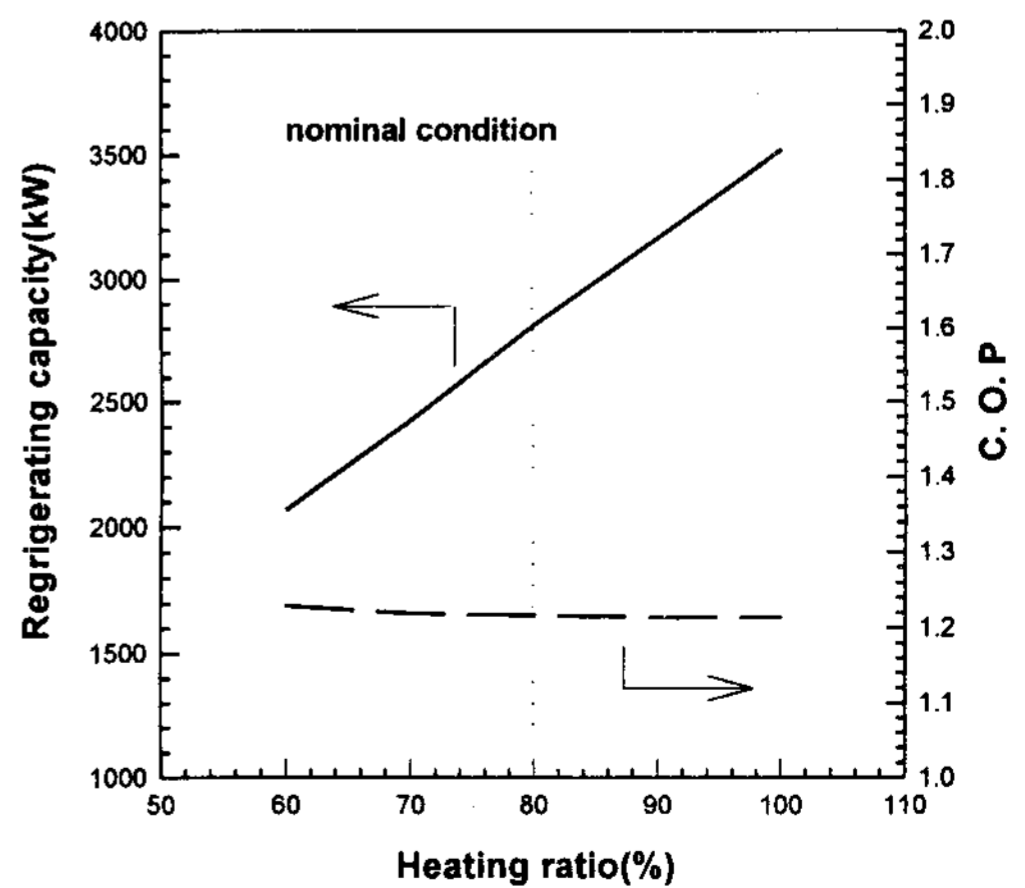


Fig. 10. Influence of heating ratio on the refrigerating capacity and COP

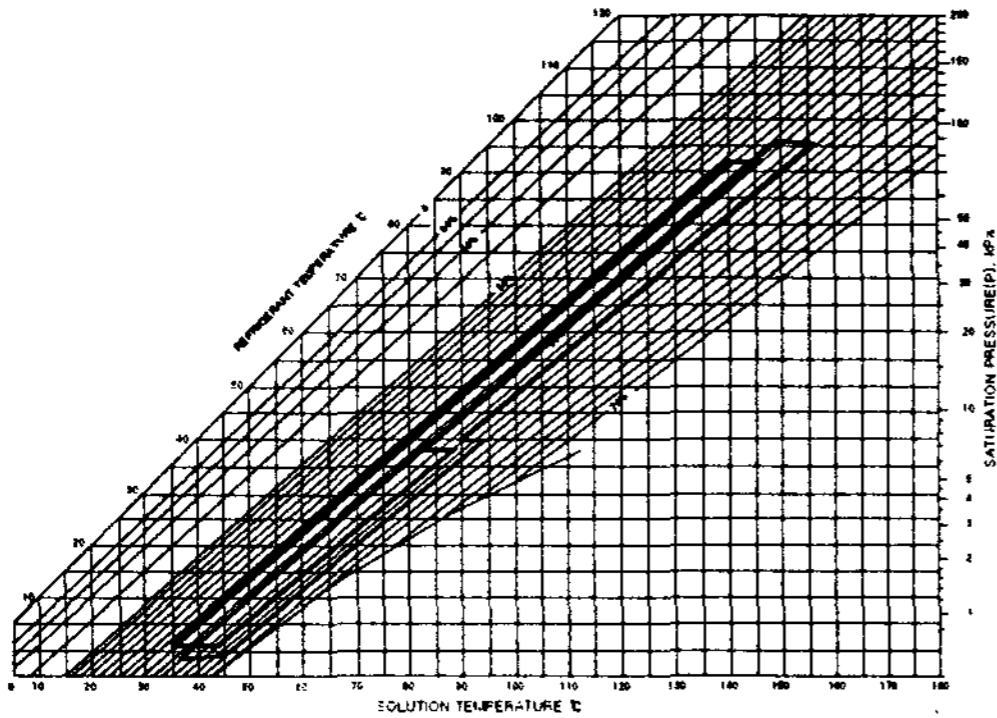


Fig. 11. Dühring diagram of double effect absorption cycle under variable load

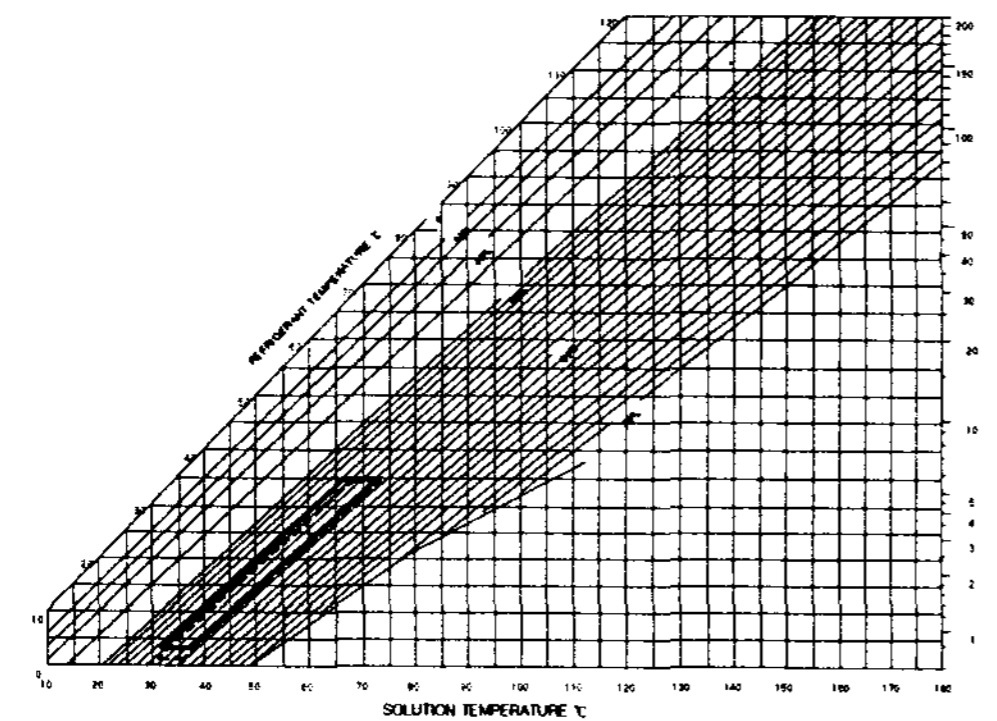


Fig. 12. Dühring diagram of single effect absorption cycle under variable load

연료전지는 전력수요에 따라 용량을 제어해야 하는데, 이는 흡수 사이클 용량제어도 요구하게 된다. Table 3은 연료전지 운전용량이 100%와 75%일 때 단효용과 이중효용 흡수 사이클의 작동특성결과를 나타낸 것이다. 흡수사이클은 연료전지 용량제어때도 냉수출구온도를 7°C로 제어한다. 이중효용 흡수사이클의 용량제어 항목은 냉수 유량, 냉각수 유량, 희용액 유량, 가열량의 4항목으로 연료전지 75% 운전용량일때는 발생증기가 약 50%로 되기 때문에 재생기에서 열교환 가능한 열량으로 하기 위해서는 냉각수 온도를 낮추거나 냉매 순환량을 증가시키기 위해 희용액 유량을 감소시키고, 냉수출구온도를 7°C로 유지하기

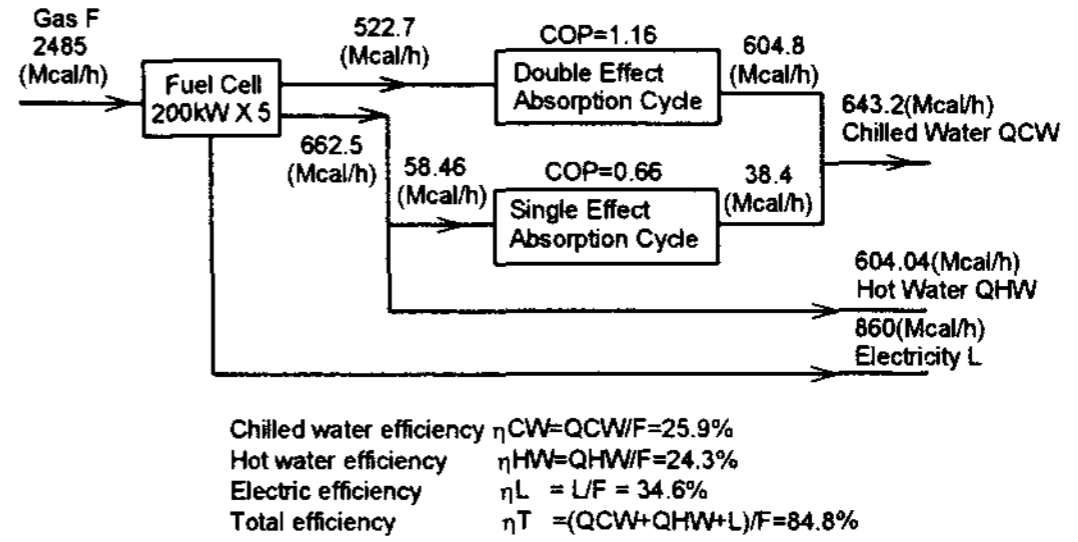


Fig. 13. Energy flow under full load(100%)

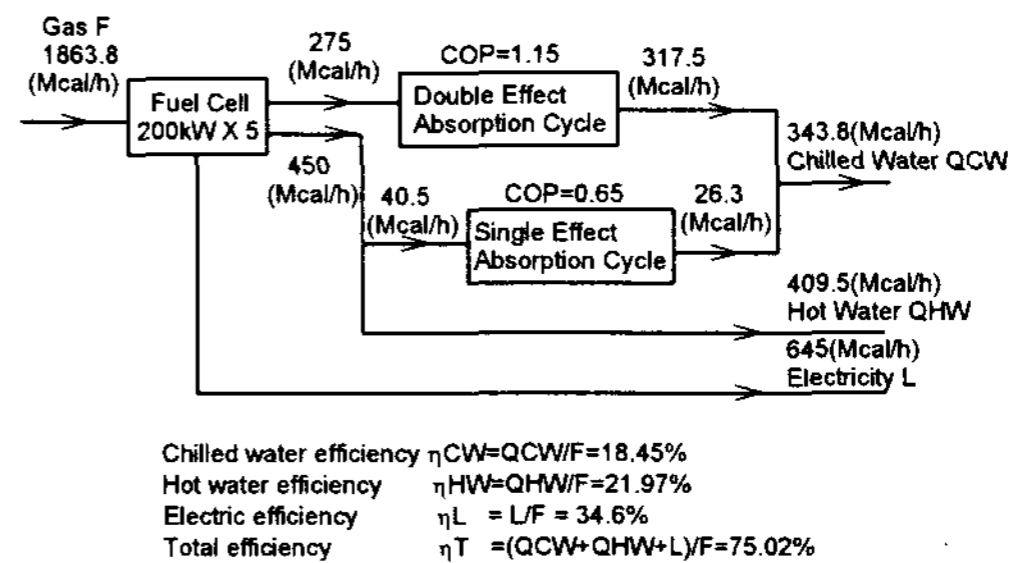


Fig. 14. Energy flow under partial load(75%)

위해 냉수유량을 감소시키고 있다. Fig. 11은 흡수사이클의 동작특성을 듀링선도에 나타낸것이다.

한편, 단효용에서는 온수유량이 감소하고 있지만 재생기에서의 온수출입구온도차를 3개항으로써 대응할 수 있기 때문에 냉수유량을 다소 감소시키면 된다. Fig. 12의 듀링선도상에서는 희용액 농도차가 작아짐에 따라 냉매 순환량이 줄어들음을 알 수 있다.

Fig. 13에는 연료전지 운전용량이 100%일때의 에너지 흐름도를 Fig. 14에는 75%일때의 에너지 흐름도를 나타낸 것이다. 연료전지 75%운전시에는 이중효용, 단효용 모두 COP가 저하하고 있어 냉수 제조효율을 저하시키는 원인임을 알 수 있다. 흡수식 사이클을 원활히 운전하기 위해서는 보일러를 보조열원으로 설치하여, 연료전지 용량 제어시에는 보일러에 의한 열량보충을 해야 한다. 즉, 흡수사이클이 용량제어는 외기온도, 부하변동에 대한 제어범위에 국한된다.

5. 결 론

연료전지의 배열을 이용한 흡수사이클의 특성을 사이클 시뮬레이션을 통해 연료전지 용량제어시와 관련하여 밝혔다. 연료전지의 용량제어에 따라 흡수사이클의 효율은 급격히 감소되기 때문에 흡수사이클을 원활하게 운용하기 위해서는 보조 보일러 등을 설치하여 연료전지 용량제어시에 공급열량을 일정하게 할 수 있도록 해야한다. 따라서 흡수사이클의 용량제어는 외기온도나 부하변화에 대응되게 운전하는 것이 바람직하며 아래와 같은 결론들을 도출하였다.

- (1) 연료전지의 부분부하 운전시 흡수식 냉동기의 부분부하 운전을 위해 흡수식 냉동기의 부분부하 운전 파라메타별 부분부하 운전 특성을 파악하였다.
- (2) 200 kW 연료전지 정격운전 결과 종합효율 85%가 되었으며 연료전지 75% 부분부하 운전시 종합효율 75%가 되었다.
- (3) 연료전지의 부분운전에 의한 흡수식 냉동기의 부분부하 운전은 용액 전체가 고농도로 이동하는 특성이 있음을 알 수 있었다.
- (4) 대상 건물에 따라 냉난방 부하특성이 많이 달라지므로 건물 용도별 적정운전모드 개발이 필요하다

후 기

본 연구는 산업자원부 에너지절약기술개발사업 및 (주)삼원기계의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 尹政仁, 吳厚圭, 柏木孝夫, 1995, 排熱利用吸收 사이클의 특성 시뮬레이션, 日本冷凍協會論文集. Vol. 12, No. 1, pp.43~52.
2. Jung, S. Y., B. H. Kang, C.S.Lee and S.W.Karng, 1993, Computer Simulation on Dynamic Behavior of a Hot Water Driven Absorption Chiller, Proceedings of the International Absorption Heat Pump conference, New Orleans, U.S.A., 333
3. 小島 弘, 柏木孝夫, 1986, 未利用エネルギーを活用した複合エネルギーシステムに用いる二段吸収サイクルの研究, 日本冷凍協會學術講演會論文集(4-11-30,12-1,東京)
4. 中村 誠, 小島 弘, 江寺 勝, 岡 雅傳, 1994, 排熱投入形ガス焚吸収冷温水機の研究開発-制1報:シミュレーションによる検討, 制28回空氣調和・冷凍連合講演會(東京)講演論文集('94-4-19,20)
5. 江寺 勝, 中村 誠, 岡 雅傳, 小島 弘, 1994, 排熱投入形ガス焚吸収冷温水機の研究開発-制2報:實驗による検証, 制28回空氣調和・冷凍連合講演會(東京)講演論文集('94-4-19,20)
6. 本間 立, 西山教之, 西卷 智, 1992, 低溫熱源驅動吸收冷凍機の研究開発, 制26回空氣調和・冷凍連合講演會講演論文集('92-4-21,22, 東京)
7. Grossman, G. and Perez-Blanco, H., 1992, Conceptual Design and Performance Analysis of Absorption Heat Pumps for Waste Heat Utilization, Int. J. of Refrigeration, 5-6. pp.190~197.