

발생기 온도저감 및 고온열수 획득을 위한 Hybrid GAX 사이클 해석

강 용 태[†], 윤 희 정^{*}, 조 현 철^{*}
경희대학교 기계산업시스템공학부, ^{*}경희대학교 대학원

Analysis of HGAX Cycle for Reducing the Generator Temperature and Enhancing the Hot-Water Temperature

Yong Tae Kang[†], Hee Jung Yun^{*}, Hyun Churl Cho^{*}

School of Mechanical and Industrial Systems Engineering, Kyung Hee University, Yong-in 449-701, Korea

^{}Graduate School, Kyung Hee University, Yong-in 449-701, Korea*

(Received November 17, 2001; revision received January 16, 2002)

ABSTRACT: The objectives of this paper are to develop an advanced GAX cycle named HGAX (Hybrid Generator Absorber heat eXchanger) cycle, and to study the effect of key parameters on the cycle performance and the hot-water temperature from the condenser. New types of the HGAX cycle are developed by adding a compressor between the generator and the condenser—Type C (performance improvement and reduction of the generator temperature) and Type D (Hot-water temperature application). The solution temperature in the generator outlet is reduced to 168°C with the COP improvement of 19% compared to the standard GAX cycle. The hot-water temperature from the condenser is raised to 106°C for panel heating (Ondol heating) application.

Key words: Hybrid GAX(하이브리드 GAX), Performance improvement(성능향상), Generator temperature(발생기온도), Hot-water temperature(열수온도)

기 호 설 명

COP : 성적계수
GAXA : GAX 흡수기
GAXD : GAX 발생기
HCA : 수냉식 흡수기
 P : 압력 [kPa]
 Q : 열전달량 [kW]
 T : 온도 [°C]
 UA : 총열관류율 [kW/K]

W : 압축일에 의한 열전달량 [kW]
 x : 용액농도 [%]

하첨자

c : 용축기
 $comp$: 압축기
 d : 발생기
 e : 증발기
 g : 발생기 열원
 $gaxa$: 흡수기
 h : 발생기 출구
 out : 열수 출구

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2990; fax: +82-2-201-8106

E-mail address: ytkang@khu.ac.kr

1. 서 론

산업의 발달에 따라 인간의 삶의 질은 더욱 향상되었으나 그 반대급부로 두 가지 큰 위기에 봉착하게 되었다. 21세기에 기계산업뿐만이 아닌 모든 부문의 산업들이 지속적인 발전과 더불어 해결해야 할 숙제인 환경보전과 에너지절약이 그것이다. 인간의 일상생활에 가장 밀접하게 접해 있는 냉동시스템 산업도 예외는 아니어서 가장 널리 쓰이고 있는 증기압축식 시스템의 냉매로 사용되고 있는 Chlorofluorocarbon(CFC)계 냉매는 이미 사용이 금지되었고 Hydrochlorofluorocarbon(HCFC)계 냉매들은 1997년 교토의정서에 의해 2020년부터 사용이 금지된다. 때문에 오존층 파괴와 지구온난화를 일으키는 CFC 및 HCFC계 냉매를 사용하며 고가의 전기에너지를 다량 소비하는 압축식 시스템을 대체할 대안 중의 하나로 흡수식 시스템이 각광받고 있다. 흡수식 시스템은 자연냉매를 사용하고 천연가스 또는 폐열 등을 열원으로 사용하는 열구동 시스템이다. 흡수식 시스템은 그 필요성에 따라 소형 상업용(암모니아-물 시스템)과 대형 산업용(리튬브로마이드-물 시스템)으로 나뉘어 많은 연구가 진행되어 왔다.

GAX(Generator-Absorber heat eXchanger) 사이클은 기본적으로 1단(single stage) 시스템의 형상을 가지고 있지만 흡수기와 발생기간의 온도 중첩 원리에 의하여 그 어느 단효용(single effect) 사이클보다 높은 성능계수(Coefficient Of Performance, COP)를 제공한다. 일반적으로 암모니아-물 흡수식 사이클에서는 발생기(generator)와 디소버(desorber)를 혼용하여 사용하기도 하나, 본 논문에서는 일관성을 위하여 일반적으로 널리 사용되는 발생기로 명명하기로 한다. 표준 GAX 사이클은 암모니아-물 시스템만이 가지는 특징인 흡수기에서의 방열을 시스템 내부에서 회수함으로써 성능을 높일 수 있고 단일효용시스템과 같이 한쌍의 발생기-흡수기 용액루프를 가지므로 적은 용적과 함께 공랭화가 가능하다. 특수한 목적을 위해서 개발된 차세대 GAX 사이클⁽¹⁾로는 폐열을 열원으로 사용하는 폐열구동 사이클(WGAX⁽²⁾), -50°C 까지 증발온도를 얻을 수 있는 저온용 GAX 사이클(LGAX⁽¹⁾), 온돌용용 사이클(PGAX⁽³⁾), 흡수기와 발생기간의 열전달량 불

일치의 문제를 해결하는 분지형 GAX 사이클(BGAX⁽⁴⁾), 중간압력에서 기류교환을 통해 내부 열회수 효과를 얻는 GAX 사이클(VGAX⁽⁵⁾), 흡수식 사이클에 압축기를 추가하여 성능향상 및 고온 및 저온을 획득할 수 있는 GAX 사이클(HGAX)이 있다. HGAX에는 압축기의 장착위치에 따라 증발기와 흡수기 사이에 장치하는 E/A hybrid cycle과 응축기와 발생기 사이에 장치하는 G/C hybrid 사이클이 있다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 G/C hybrid 사이클에서 필요에 따라 성능향상 및 발생기온도 저감모드(Type C) 또는 고온열수 취득모드(Type D)로 운전할 수 있는 차세대 하이브리드 GAX 사이클을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. HGAX Cycle

2.1 HGAX Type A

이 사이클의 목적은 증발기와 흡수기 사이에 압축기를 첨가시킴으로써 흡수기의 압력을 높여 발생기와 온도중첩 구간을 이용한 내부 열회수(GAX 효과)의 증가를 통해 COP를 향상시키는 것이다. Fig. 1에 HGAX Type A의 개략도가 나타나 있다. 기존의 연구⁽⁶⁾에 따르면 응축기 압력이 1900 kPa, 증발기 압력이 460 kPa일 때 흡수기 압력을 1800 kPa까지 상승시켜 24% 정도의 COP 상승을 얻는 것으로 알려졌다.

2.2 HGAX Type B

이 사이클의 목적은 증발기와 흡수기 사이에 압축기를 첨가시킴으로써 주어진 흡수기 압력에 대하여 증발기의 압력을 하강시켜 저온의 증발온도를 얻는 것이다. Fig. 1에 HGAX Type B의 개

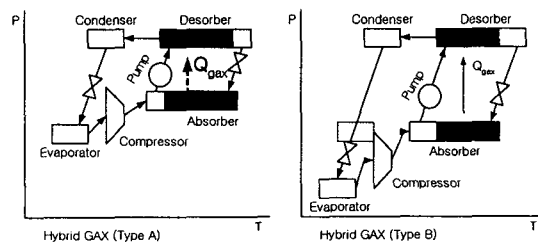


Fig. 1 HGAX (Type A, Type B).

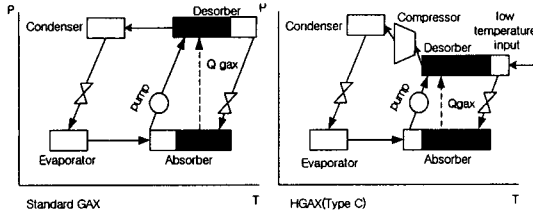


Fig. 2 HGAX (Type C).

략도가 나타나 있다. 기존의 연구⁽⁶⁾에 따르면 응축기 압력이 1900 kPa, 흡수기 압력이 460 kPa일 때 증발기 압력을 10 kPa까지 낮추어 -80°C 까지의 증발온도를 얻을 수 있는 것으로 알려졌다.

2.3 HGAX Type C

이 사이클의 목적은 응축기와 발생기 사이에 압축기를 추가시켜 주어진 응축기 압력에 대하여 발생기의 압력을 하강시킴으로써 발생기와 흡수기의 온도차에 의한 내부 열회수를(GAX 효과) 증가시켜 그에 따른 COP 상승과 발생기 출력의 용액온도를 하강시키는 것이다. 발생기 용액온도를 하강시켜서 고온에서 전열관의 부식 문제를 해결할 수 있는 이점이 있다. Fig. 2에 HGAX Type C의 개략도가 나타나 있다.

2.4 HGAX Type D

이 사이클의 목적은 응축기와 발생기 사이에 압축기를 추가시켜 주어진 발생기 압력에 대하여 응축기의 압력을 상승시킴으로써 고온의 열수를 얻는 것이다. 흡수기에서는 종래와 같은 약 47°C 의 열수를 얻어 공간난방에 이용하고, 응축기에서는 65°C 이상의 고온열수를 얻어 온돌난방에 응용할 수 있도록한 차세대 시스템이다. Fig. 3에 HGAX Type D의 개략도가 나타나 있다.

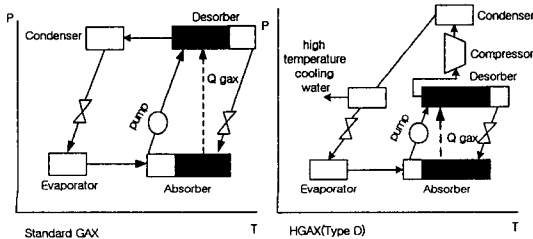


Fig. 3 HGAX (Type D).

3. 사이클 모델링

현재 흡수식 사이클의 대표적인 프로그램으로는 ABSIM(Absorption SIMulation)⁽⁷⁾과 EES(Engineering Equation Solver)가 있다. ABSIM은 모듈타입의 흡수식 전용 모사 프로그램으로 흡수식 시스템을 구성하는 12가지의 열교환기 서브루틴이 포함되어 있고, 물-리튬브로마이드 및 암모니아-물을 포함하여 13가지의 흡수용액을 사용할 수 있도록 각각의 열물성치 서브루틴들이 내장되어 있다. 가장 최근에 개발된 ABSIMW 5.06에는 압축기가 첨가되었고, 자동적으로 감도분석(Parameteric analysis)이 가능하도록 하는 기능이 첨가되었다. 본 연구에서는 ABSIMW를 이용하여 HGAX 사이클을 해석하였고, 작동 유체는 암모니아-물이다.

Fig. 4에 하이브리드 GAX 사이클의 시스템 개략도가 나타나 있다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 암모니아-물의 HGAX 사이클은 수냉흡수기(Hydraulic Cooled Absorber, HCA), 용액냉각 흡수기(Solution Cooled Absorber, SCA), GAX 흡수기(GAX Absorber, GAXA), 가스구동 발생기(Gas Fired Desorber, GFD), 용액가열 발생기(Solution Heated Desorber, SHD), GAX 발생기(GAX Desorber, GAXD), 정류기(rectifier), 응축기(condenser), 증발기(evaporator), 냉매 열교환기(pre-cooler) 및 에어코일(aircoil) 등으로 구성된다. 실선과 점선은 각각 액류(liquid flow) 및 기류(vapor flow)를 나타낸다. Fig. 2와 Fig. 3에 나타난

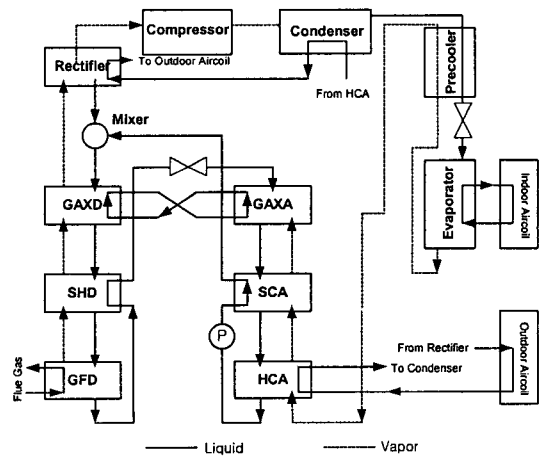


Fig. 4 Schematic diagram of HGAX cycle.

Absorber와 Desorber는 실제 GAX 사이클에서는 Fig. 4에서와 같이 각각 3개의 구성요소들로 나누어진다. ABSIM에서의 구성요소들은 Fig. 4와 동일하게 설정되었다. 본 논문에서 “농용액(strong solution)”은 냉매(refrigerant, 암모니아)가 농축되어 있음을 의미하고, “희용액(weak solution)”은 냉매 즉 암모니아가 상대적으로 희박한 경우를 의미한다. HGAX 사이클에서는 발생기 기둥의 상부에 있는 혼합기(mixer)로부터 농용액이 흘러 들어간다. GFD의 하단으로부터 탈암모니아(desorption) 과정을 거친 희용액은 고온의 상태로 SHD의 셸(shell)측으로 들어가 열교환을 마친 후 냉각되어 GAXA의 상단부로 들어간다. GFD에서 생성된 기류는 SHD와 GAXD에서 생성된 기류와 혼합되어, GAXD의 상단부를 통하여 정류기로 들어간다. 정류기에서 정류된 기류는 고농도상태(약 97% 이상)로 응축기로 유입되고, 응축된 액류는 GAXD의 상단부로 다시 유입된다. 응축기에서 응축된 액류는 냉매 예열기에서 열교환을 한 후 팽창밸브에서 감압되어 증발기로 들어간다. 증발기에서 생성된 기류는 냉매예열기를 거치고, HCA의 하단부를 통하여 흡수기로 들어간다. 흡수기로 유입된 기류는 GFD로부터 SHD의 상단부를 통하여 유입된 희용액과 대향류를 이루며 흡수과정을 거친다. 모든 기류는 HCA, SCA 및 GAXA를 통하여 전부 액류에 흡수되고, 흡수과정을 마친 농용액은 HCA의 하단부를 통하여 용액펌프로 들어가 가압된 후 SCA의 셸측을 통하여 GAXD의 상단부로 유입된다. GAXA와 GAXD 사이의 순환루프(circulation circuit)를 통하여 GAX 흡수기에서 GAX 발생기 측으로 내부열이 전달되어 성능이 향상된다.

본 연구에서 선정된 기준조건은 Table 1에 나타나 있다. 이들 조건은 Type C의 경우 높은 COP를 유지한 상태에서 발생기 출구의 온도가 최저이면서 안정된 상태이며, Type D의 경우 역시 안정된 상태에서 최고의 열수를 얻을 수 있는 열적 조건이다. 하이브리드 GAX 사이클에서는 압축기가 첨가되므로 COP의 정의가 Type C(냉방 COP)의 HGAX 사이클과 Type D(난방 COP)에서 각각 다음과 같이 정의된다.

$$COP_{Type C} = \frac{Q_e}{Q_d + W_{comp}} \quad (1)$$

Table 1 Base line conditions for cycle modeling

Cycle	Type C	Type D
Thermal conditions	P_c : 1500 kPa	P_c : 3450 kPa
	P_d : 860 kPa	P_d : 1700 kPa
	P_e : 500 kPa	P_e : 500 kPa
	T_e : 3.72°C	T_{out} : 95.49°C
	T_h : 168°C	
UA	UA_d : 0.07 kW/K	UA_d : 0.11 kW/K
	UA_{gaxa} : 0.63 kW/K	UA_{gaxa} : 0.6 kW/K
	UA_c : 0.43 kW/K	UA_c : 1.0 kW/K
	UA_e : 1.58 kW/K	UA_e : 1.48 kW/K

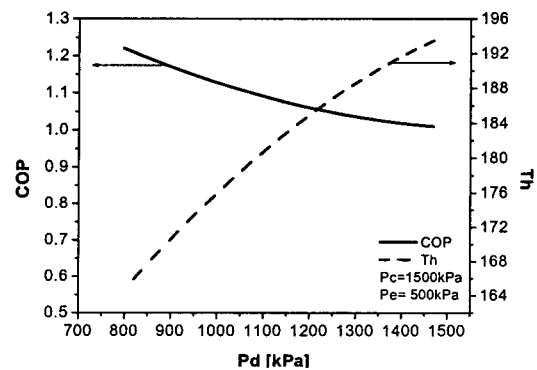
$$COP_{Type D, total} = \frac{Q_c + Q_{HCA}}{Q_d + W_{comp}} \quad (2)$$

$$COP_{Type D, c} = \frac{Q_c}{Q_d + W_{comp}} \quad (3)$$

4. 결과 및 토론

4.1 Type C(발생기 온도 저감형)

Fig. 5에 발생기 압력의 변화에 따른 냉방 COP의 변화와 발생기 출구 용액 온도 T_h 가 나타나 있다. 발생기의 압력이 변하는 동안 증발기의 압력은 500 kPa로, 응축기의 압력은 1500 kPa로 일정하게 유지시켰다. 발생기의 압력이 낮아짐에 따라 COP는 증가하였고, 발생기 출구 용액의 온도는 낮아졌다. 이는 발생기 압력의 감소에 따라 발생기와 흡수기 사이의 온도증첩에 의한 내부

Fig. 5 COP versus desorber pressure, P_d .

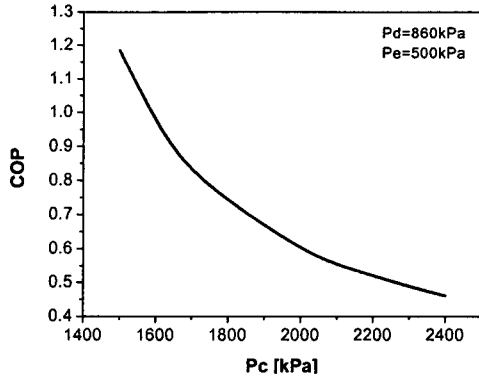


Fig. 6 COP versus P_c (Type C).

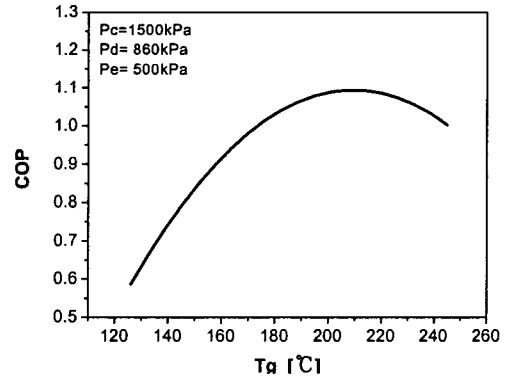


Fig. 7 COP versus hot water outlet temperature in the desorber, T_g .

열회수(GAX 효과)가 증가하고, 증기발생량의 증가로 인해 Q_e , $Q_d + W_{comp}$ 가 모두 증가하나, Q_e 의 증가폭이 조금 더 크기 때문에 COP가 증가한 결과를 의미한다. 또한 발생기의 압력이 내려감에 따라 출구 용액의 온도가 약 168°C까지 낮아진다. 동일한 조건의 표준 GAX 사이클보다 COP는 약 1.0에서 1.19까지 증가되고 발생기의 압력을 낮추어 줄 수 있었다. 발생기의 압력을 낮추어 줌으로써 고온에서 발생할 수 있는 부식현상을 예방할 수 있다.

Fig. 6에 응축기 압력에 따른 냉방 COP 변화가 나타나 있다. 발생기와 증발기의 압력은 각기 860 kPa, 500 kPa로 일정하게 유지시킨 상태에서 응축기 압력이 올라감에 따라 Q_d , Q_e 는 거의 일정한 반면 압축기에서의 압축일은 큰 폭으로 증가하여서 COP가 감소한 결과를 나타낸다.

Fig. 7은 발생기 열원온도 T_g 의 변화에 따른 COP의 변화를 나타낸다. T_g 의 변화에 따라 COP는 계속적으로 증가하다가 210°C 이후에는 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그 이유는 냉매유량의 증가로 인해 Q_e , Q_d 가 다같이 증가하고 발생기 열원온도의 증가에 따라 발생기 내에서 냉매 증기 발생량이 증가하여 일정온도 이상이 되면 주어진 증발기 내에서 증발하지 못하고 흡수기로 들어가 흡수되므로 사이클의 성능이 감소하는 경향을 나타낸다.

Fig. 8에 Type C에서 각 구성부품들 중에서 해당 부품의 UA 값은 변화시키고 나머지는 고정시킨 상태에서 COP의 변화를 나타내었다. 여기서 UA_o 는 각각의 경우에서 최적값(COP가 최대

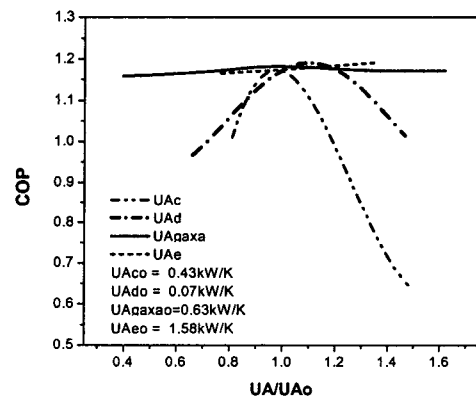


Fig. 8 COP versus UA variation (Type C).

로 되는 값으로 Table 1에 정리되어 있다)으로 취하였다. 최적점에서의 냉동능력 Q_e 는 5.39 kW이다.

응축기의 경우 최적점 이후 UA 값이 증가함에 따라 Q_e , Q_d 가 거의 비슷하게 증가하지만 W_{comp} 가 큰 폭으로 증가하여 COP가 감소하는 결과를 가져왔다. 그 이유는 응축기의 UA 값이 증가함에 따라 응축유량이 증가하고 이것이 냉매유량을 증가시켜 W_{comp} 를 증가시켰기 때문이다. 발생기의 경우 UA 가 증가함에 따라 Q_e , Q_d 는 지속적으로 증가한다. 한편 발생기 출구에서 냉매증기의 온도는 증가하지만 농도는 감소하므로 비체적의 변화에 의해 W_{comp} 가 최적점 이전에서는 감소하고, 최적점 이후에는 증가하여 위와 같은 변화가 나타났다. 기존에 연구된 HGAX Type A⁽⁶⁾의 발

생기의 UA 값 변화에 따른 COP 변화와 비교해 볼 때, Type A의 경우 발생기의 UA 값의 변화에 따른 변화가 소폭인 반면, 본 Type C는 Type A에 비하여 발생기의 압력이 낮은 상태에 있어 냉매의 끓는점이 낮아지므로 입력 열원온도가 고정된 상태에서 UA 값에 따라 민감한 사이클임을 알 수 있다. 흡수기의 경우 UA 값의 변화에 따라 Q_d , Q_e , W_{comp} 가 미소하게 변화하여 COP의 변화는 거의 없다. 증발기의 경우 본 조건 하에서는 증발기 UA 값의 변화는 COP에 거의 영향을 미치지 못하였다. 그 이유는 Q_d , Q_e 및 W_{comp} 가 모두 지속적으로 비슷하게 변화했기 때문이다.

4.2 Type D(고온열수 취득형)

고온열수 취득형 HGAX 사이클에서는 발생기와 응축기 사이에 압축기를 추가하여 응축기의 압력을 높임으로써 고온의 열수를 획득하는 것을 목적으로 하며, 감도분석시의 기준조건들이 Table 1에 나타나 있다. Fig. 9에 응축기 압력의 변화에 따른 난방 COP와 열수 출구온도 T_{out} 의 변화가 나타나 있다. 발생기의 압력은 1700 kPa, 증발기의 압력은 500 kPa로 일정하게 유지시켰다. 본 연구에서는 응축기의 압력을 상승시킴에 따라 최고 93°C의 열수를 획득할 수 있었고 압력 상승에 따른 압축일의 증가에 따라 COP가 하강하는 것을 볼 수 있었다. 여기서 COP_{total} 의 감소폭은 크지만 COP_c 의 감소폭이 작은 이유는 COP의 정의에 따라 COP_{total} 에는 Q_{HCA} 의 변화가 더 추가되어 2700 kPa까지 변화의 폭을 크게 만들었기 때문이다.

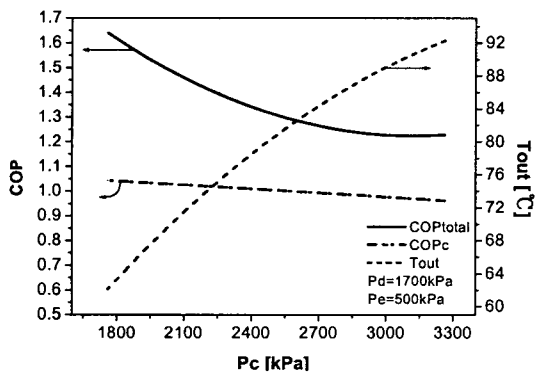


Fig. 9 COP and T_{out} versus P_c .

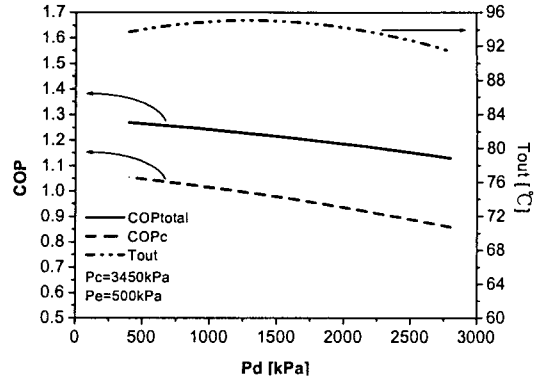


Fig. 10 COP and T_{out} versus P_d .

Fig. 10은 발생기 압력변화에 따른 난방 COP와 T_{out} 의 변화를 나타낸다. 여기서 응축기와 증발기의 압력은 각각 3450 kPa, 500 kPa로 일정하게 유지시켰다. Type C에서 발생기 압력에 대한 COP 영향과 거의 비슷한 경향을 나타낸다. 발생기의 압력이 높아짐에 따라 증기발생량의 감소로 인해 흡수기 쪽으로 내려가는 용액의 유량은 증가하고 이에 따라 Q_{HCA} 가 증가한다. 또한 냉매증기의 유량은 줄어들지만 온도가 올라감에 따라 비체적의 증가로 인해 W_{comp} 의 증가량이 Q_{HCA} 보다 커져서 COP가 점차 감소하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 11에 Type D의 경우 각 구성부품의 UA 값 변화에 따른 난방 COP의 변화가 나타나 있다. 최적조건은 Table 1에 제시되어 있다. 응축기의 경우 UA 값이 증가함에 따라 Q_c 와 W_{comp} 가 동시에 증가하지만, W_{comp} 의 증가량이 약간 크므로 COP가 소폭 감소한다. 발생기의 경우 UA 값

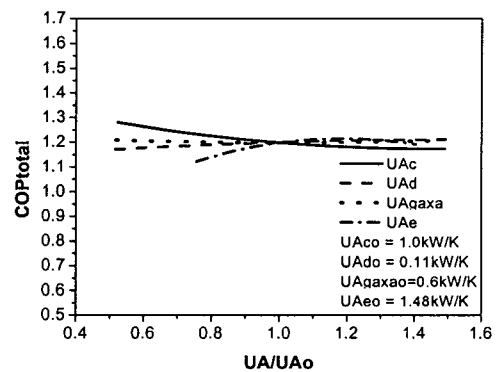


Fig. 11 COP versus UA variation (Type D).

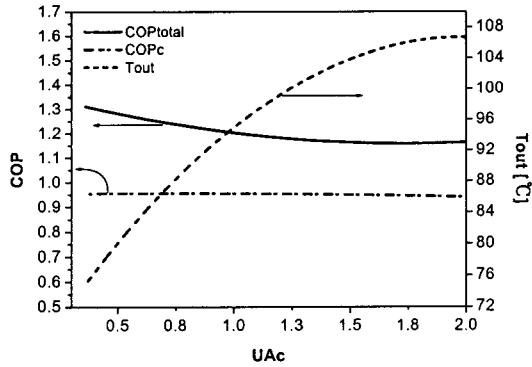


Fig. 12 COP and T_{out} versus UA_c variation.

이 증가함에 따라 Q_c 가 Q_d 의 증가율보다 조금 크고, W_{comp} 와 Q_{HCA} 는 거의 일정하므로 COP가 소폭 증가한다. 흡수기의 경우 UA 에 따라 Q_c , Q_{HCA} , Q_d 및 W_{comp} 의 변화가 거의 없으므로 COP의 변화가 미미하다. 증발기의 경우 Q_c , Q_{HCA} , W_{comp} 는 변화가 미미하지만 최적점 이전의 Q_d 가 점점 감소에 따라 COP가 증가하다가 최적점 이후에는 Q_d 의 변화가 없으므로 COP가 거의 일정하다.

Fig. 12는 응축기의 UA 값에 따른 난방 COP와 T_{out} 의 변화를 나타낸다. 응축기의 압력은 3450 kPa, 발생기의 압력은 1700 kPa, 증발기의 압력은 500 kPa로 유지하였다. UA 값이 커짐에 따라 응축기의 가열능력 Q_c 는 점점 증가하게 되며 T_{out} 도 같이 증가하였다. 본 연구에서 개발된 HGAX Type D 사이클에서는 응축기의 UA 값을 증가시켜 최고 106°C의 열수를 얻을 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 HGAX 사이클에 대한 연구로부터 다음의 결론을 얻었다.

(1) Type C(성능향상 및 발생기 온도 저감형)의 경우 동일한 열적조건에서 표준 GAX에서 최대 얻을 수 있는 1.0의 COP에 비하여 압축기를 이용한 GAX 효과의 증가로 약 19%의 성능향상 효과를 얻으면서 동시에 발생기의 출구 용액온도를 약 168°C 정도에서 작동하여 표준 GAX에 비하여 20°C 이상 하강시켜 고온부식 방지효과를 얻을 수 있다.

(2) Type D(고온열수 획득형)의 경우 압축기를 이용한 응축압력의 상승효과로 성능은 표준 GAX의 수준으로 유지하면서 흡수기에서는 47°C, 응축기에서는 최고 106°C까지의 열수를 획득하여 공간난방 및 온돌난방에 동시에 적용할 수 있다.

(3) Type C와 Type D의 조건을 만족하는 HGAX 사이클의 각 구성부품에 대한 UA 값의 최적치를 제시하였다.

참고문헌

1. Kang, Y. T., Kunugi, Y. and Kashiwagi, T., 2000, Review of advanced absorption cycles: Advanced absorption cycles for performance improvement and temperature lift enhancement, International Journal of Refrigeration, Vol. 23, No. 5, pp. 529-532.
2. Kang, Y. T., Akisawa, A. and Kashiwagi, T., 1999, An advanced GAX cycle for waste heat recovery: WGAX, Applied Thermal Engineering, Vol. 19, No. 9, pp. 933-947.
3. Kang, Y. T., Sambe, Y. and Kashiwagi, T., 2000, An environmentally friendly advanced GAX cycle for panel heating-PGAX cycle, International Journal of Refrigeration, Vol. 23, No. 5, pp. 378-387.
4. Herold, K. E., He, X., Erickson, D. C. and Rane, M. V., 1991, The Branched GAX absorption heat pump cycle, Proceedings of Absorption Heat Pump Conference, Tokyo, Japan, pp. 127-132.
5. Erickson, D. C. and Anand, G., 1996, VX GAX cycle development, Proceedings of International Absorption Heat Pump Conference, Montreal, Canada, Vol. 2, pp. 805-815.
6. Kang, Y. T., Cho, H. C., Hong, H. K., 2001, Hybrid GAX Cycle: Performance improvement and low temperature applications, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 923-929.
7. Grossman, G. and Wilk, M., 1994, Advanced modular simulation of absorption systems, International Journal of Refrigeration, Vol. 17, pp. 131-144.