

## 태양열과 재열기를 사용한 VI heat pump의 성능 특성에 관한 연구

### Heating Performance Characteristics of Heat Pump with VI cycle using Re-Heater and Solar-Assisted

(Received 12 October 2015; accepted 28 December 2015)

이진국\* · 최광환\*\*†

Lee Jin-Kook\* and Choi Kwang-Hwan\*\*†

**Abstract :** In this study, heating performance of the air-cooled heat pump with vapor-injection (VI) cycles, re-heater and solar heat storage tank was investigated experimentally. Devices used in the experiment were comprised of a VI compressor, re-heater, economizer, variable evaporator, flat-plate solar collector for hot water, thermal storage tank, etc. As working fluid, refrigerant R410A for heat pump and propylene glycol (PG) for solar collector were used. In this experiment, heating performance was compared by three cycles, A, B and C. In case of Cycle B, heat exchange was conducted between VI suction refrigerant and inlet refrigerant of condenser by re-heater (Re-heater in Fig. 3, No. 3) (Cycle B), and Cycle A was not use re-heater on the same operating conditions. In case of Cycle C, outlet refrigerant from evaporator go to thermal storage tank for getting a thermal energy from solar thermal storage tank while re-heater also used. As a result, Cycle C reached the target temperature of water in a shorter time than Cycle B and Cycle A. In addition, it was founded that, as for the coefficient of heating performance( $COP_h$ ), the performance in Cycle C was improved by 13.6% higher than the performance of Cycle B shown the average  $COP_h$  of 3.0 and by 18.9% higher than the performance of Cycle A shown the average  $COP_h$  of 2.86. From this results, It was confirmed that the performance of heat pump system with refrigerant re-heater and VI cycle can be improved by applying solar thermal energy as an auxiliary heat source.

**Key Words :** 가스인젝션(Vapor-injection cycle), 히트펌프시스템(Heat pump system), 난방 성능계수(Coefficient of heating performance), 평판형 태양열 집열기(Flat plate solar collector)

\*\*† 최광환(교신저자) : 부경대학교 냉동공조공학과  
E-mail : choikh@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6179  
\*이진국 : 부경대학교 냉동공조공학과 대학원

\*\*† Choi Kwang-Hwan(corresponding author) : Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.  
E-mail : choikh@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6179  
\*Lee Jin-Kook : Graduate School of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.

### Nomenclature

VI	: Vapour-injection	
COP <sub>h</sub>	: Heating coefficients of performance	
COP <sub>c</sub>	: Cooling coefficients of performance	
h	: Enthalpy	[kJ/kg]
Q <sub>u</sub>	: Useful energy gain	[W]
G	: Intensity of solar radiation	[W/m <sup>2</sup> ]
A <sub>c</sub>	: Area of solar collector	[m <sup>2</sup> ]
m	: Mass flow rate	[kg/s]
C <sub>p</sub>	: Specific heat of heating medium	[kJ/kgK]
T	: Temperature	[°C]

### Greek symbols

x	: Quality	[kg/kg]
ρ	: Density	[kg/m <sup>3</sup> ]

### Subscripts

w	: Water
o	: Outlet
I	: Inlet

## 1. 서 론

현재 세계적으로 기후변화 대책 및 환경문제의 중요성이 증대되고 있다. 이에 따라 국가간 온실 가스 배출권 거래 및 청정개발체제(clean development mechanism) 실시 등으로 환경과 관련된 에너지 시장이 새롭게 형성됨에 따라 환경 친화적인 산업구조로의 변화 모색이 필연적인 상황이다.<sup>1)</sup>

태양열과 히트펌프에 대한 국내·외에서의 연구 중 본 연구와 관련된 것을 살펴보면, 태

양열 및 외기 열원식 히트펌프 시스템 시뮬레이션<sup>2)</sup>과 태양열 이용 이중 열원식 히트펌프 시스템 성능분석<sup>3)</sup>, 태양열원식 히트펌프시스템<sup>4)</sup>, 태양열이용 하이브리드 열펌프시스템의 성능특성에 관한 연구<sup>5)</sup>등이 있다. 그리고 히트펌프에 관련된 연구는 냉온수 겸용 축열식 히트펌프 시스템의 설계 및 성능분석에 관한 실험적 연구<sup>6)</sup>,와 직접접촉식 열교환기를 구비한 물-물 히트펌프의 성능<sup>7)</sup>, 해수이용 냉난방 시스템의 현황과 과제<sup>8)</sup>, 고효율 VRF 히트펌프 개발 및 보급평가기술개발 등이 있으며, 신냉매에 대한 연구로는 HFC32/HFC125 혼합냉매의 히트펌프 성능평가<sup>9)</sup> 등이 있다.

그러나 이들 대부분은 태양열을 주에너지로 하고 보조시스템으로 히트펌프가 사용 되도록 하는 연구이다. 위와 같은 시스템들은 이상 날씨에 의해 태양열 축열조에 원하는 열원을 확보하지 못하면 사용측 온수 난방 성능을 저하시키는 문제점이 발생할 수 있다. 그리고 기존의 히트펌프는 단지 폐열이나 저열원을 회수하여 재사용하기 위한 재래식 히트펌프 적용에 관한 연구이다.

또한, 난방용 히트펌프의 경우는 동절기 외기온도 저하에 따른 압축기 흡입냉매 감소로 난방용량이 낮아지게 된다. 이에 대한 방안으로 VI사이클을 적용하면 이러한 히트펌프의 취약점을 어느 정도 보완해 줄 수 있다는 것이 밝혀졌다.<sup>10)</sup> 해당 사이클은 응축기 출구 냉매 일부를 팽창시켜 팽창되지 않은 냉매와 열교환 후 증기 상태가 된 중압 냉매를 흡입하는 VI압축기 특성으로 인해 응축기 출구 냉매가 과냉각되는 사이클로 플래쉬 가스 발생 방지 및 낮은 증발온도에서 효과적인 냉매 순환량을 가진다. 하지만 대부분의 연구는 중저온 냉매 열교환기를 사용하지 않은 상태에서의 연구이다. 그러나 통상의 VI 열펌프 사

이클에서는 중저온 냉매 열교환기를 사용할 경우 성능에 영향을 미칠 수가 있다는 보고가 발표<sup>11)</sup>됨에 따라 이에 관한 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 동절기 고성능 VI사이클 난방용 히트펌프의 최적 설계를 위한 기초 연구로 기존 VI사이클과 달리 응축기 입구의 고온고압냉매와 이코노마이저 출구인 중온냉매를 재열기(re-heater)를 이용해 열교환 시켰을 때 나타나는 VI사이클 성능 확인 및 이러한 재열기를 가지는 VI사이클에서 보조열원으로 태양열 시스템이 사용되었을 때 보이게 되는 난방 성능을 실험적으로 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용한 장치는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같으며, 시스템 흐름 개략도는 Fig. 3에 나타난 바와 같다.

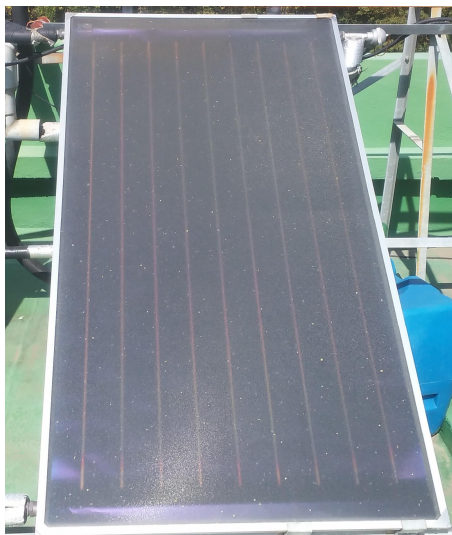


Fig. 1 Flat plate solar collector for hot water

그림에서와 같이 열펌프시스템은 압축기, 유분리기, 실내응축기, 에코노마이저, 팽창밸브, 실외증발기, 재열기(Re-heater), 액가스 분리기 등으로 구성되어 있다. 태양열시스템은 평판형집열기, 집열기 순환펌프, 축열탱크, 그리고 축열탱크 내부 동관코일로 되어 있다. 동절기때는 히트펌프 시스템과 연동하여 작동되고 있다.



Fig. 2 Actual view of experimental apparatus, measurement and data collection

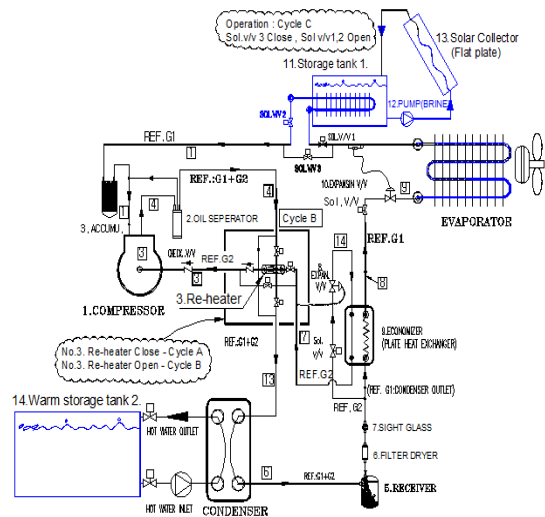


Fig. 3 Schematic of VI compression refrigeration cycle using heat-exchanger and solar collector of flat plate for heating

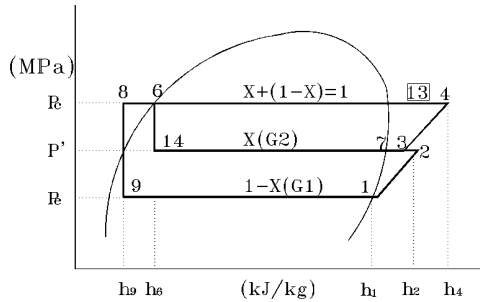


Fig. 4 P-h diagram of VI compression refrigeration cycle

냉매흐름의 경우 Fig. 3에서와 같이 VI(Vapour injection) 냉매는 수액기 출구에서 에코노마이저(9번)와 재열기를 통해 압축기에 흡입분사(injection: 3, 냉매G2)된다. 이때, 주냉매는 과냉되어 팽창밸브, 증발기, 액가스분리기, 압축기, 재열기(Re-heater)와 사용 측 응축기를 거쳐 다시 에코노마이저(9번)에서 열교환되어 순환된다.

Table 1 Specification of experimental apparatus

Power(Comp.)	V	3Ø 330V	
Power(Pump)	V	1Ø 220V	
Heating capacity	W	11,000	
Outdoor Temp.	°C	4°C	
Flux rate(water)	ℓ/min	58.8	
Water Tube size	mm	25	
Warm water storage tank 2	Size(mm)	Ø600x1200H 280ℓ	
Ref.Control		Expansion V/V	
HEX TYPE	Water	Indoor	Plate HEX
	Air	Outdoor	Fin&tube
Com-pressor	TYPE	Scroll	3.5HP (VI)
		Economizer	Plate HEX
Fan	TYPE	FAN	110 W 6P
	Power	V	1Ø 220V
	Airflow	CMM	45 CMM x 2EA
Refrigerant	Type		R-410A
	Charge	kg	6

(HEX : Heat Exchanger), (Dis.:Discharge)

Table 2. Specification of solar collector system

Solar collector	TYPE	Flat plate
	Size(m)	1.01×2.01×0.09(t)
	area(m <sup>2</sup> )	2.03
	slope(°)	45
	efficiency(%)	0.732
Capacity	2.27 kw/m <sup>2</sup> day	
Storage tank 1	Size(mm)	Ø400×1000H 120ℓ
Pump (Brine)	V	1Ø 220V
	Flux rate (Brine)(L/min)	8
	Difference temp(°C)	3
Propylene-glycol (P.G)	Density (%)	40
	Specific heat (C <sub>p</sub> )	3.66 (at 10°C)

이때 축열탱크(11번) 온도감지(10°C 이상)에 의해 증발기 출구 냉매를 축열탱크(11번)로 순환하도록 하였다. 분리형 태양열 집열기(13번)와 축열탱크(11번) 열매체는 인체에 해가 적은 프로필렌글리콜(P.G)용액 40%정도를 사용하였다. 이 과정 중에 판형열교환기인 실내 응축기에서 온수를 얻도록 하였다. 압축기의 제어는 과전류 계전기, 고압스위치(HPS), 저압스위치(LPS)로 하였다. 또한 온도자동팽창밸브(Thermostatic expansion valve; TEV)와 제어기를 통해 증발기로 유입되는 냉매량을 제어 하도록 하였으며, 압축기, 응축기, 증발기, 태양열시스템 등 각 중요 기기에서의 냉매상태와 태양열 축열상태를 알기위해 압력계와 T-type 열전대를 부착하였다.

Table 1과 2는 열펌프와 태양열시스템의 실험장치 주요 기기를 나타낸 것이다.

## 2.2 실험방법 및 조건

본 연구에서는 동일 외기 조건에서 기존 VI(Vapour injection) 시스템과 재열기(Fig.3, 3번 Re-heater)가 적용된 VI 시스템, 그리고 재열기 및 태양열 집열기(Fig. 3, 13번)를 사용

한 VI 시스템 각각의 경우에 대해 비교 실험을 수행하였다. 이를 통해 난방 능력과 성능계수( $COP_h$ )를 확인하고 해당 연구에서 제안한 시스템에 의해 기존 VI(Vapor injection)시스템 대비 얼마만큼의 난방 성능 향상이 가능하게 되었는지를 확인 하고자 하였다. 실험조건은 외기온도 일정 상태에서 사이클(A, B, C) 비교를 수행하였으며, 일사량이  $500W/m^2$ 에 근접한 오전10시 이후부터 일사 변화량이 거의 없는 범위 내에서 실험을 개시하였다.

Table 3 Experimental methods and classification

Use Required data	Heat Exchangers	No Use of re-heater	Use of re-heater	Use of Solar collector with Cycle(B)
		Cycle(A)	Cycle(B)	Cycle(C)
Outdoor Evap. Temp. constancy	$Q_{in}$ :Evap Capacity	0	0	0
	$Q_{in}$ :Cond Capacity	0	0	0
	$A_{in}$ :Comp Capacity	0	0	0
	$COP_h$	0	0	0

세부적인 실험방법 및 분류는 Table 3에서와 같이 외부공기 열원(heat source)을 이용하여 외기온도가 일정 조건일 때, VI 시스템의 응축기 입구냉매가 VI 흡입 냉매를 냉매 재열기(Fig. 3, 3번 Re-heater)로 가열했을 때(사이클 B)와 하지 않았을 때(사이클 A)로 실시하였다. 그리고 증발기 출구냉매(Sol.v/v 3 Close, Sol.v/v1,2 Open)와 축열탱크(Fig. 3, 11번)의 열교환 및 재열기(3번 Re-heater)를 동시에 사용한 실험(사이클 C)을 수행하였다. 열교환은 축열탱크 내부 온도가  $10^{\circ}C$  이상 일 때 수행되도록 하였다. 이때, 각 사이클에서 응축열량과 압축일량을 구해 난방성능계수

( $COP_h$ )를 계산하였다. 시험부의 온도와 압력은 증발기 입·출구 냉매 온도, 응축기 측의 온수 온도 그리고 태양열 집열기와 축열탱크(Fig. 3, 11번) 입·출구 온도, 유량 등을 측정하여 사용측 고온수조(Warm water storage tank 2) 내부 온수 온도가 원하는 온도에 도달하였을 때까지의 데이터 값을 사용하였다. 실험의 기준이 되는 사용측 고온수조(Warm water storage tank 2) 용량은 Table 1과 같으며, 동일한 용량의 축열탱크 내 고온수조의 수온이  $7^{\circ}C$ 에서  $40^{\circ}C$ 까지 상승(약  $10.7kWh$ )하는 시간을 기준으로 각 사이클에 대해 응축열량( $Q_{ch}$ ), 압축일량( $A_{wh}$ ) 및 난방성능계수( $COP_h$ )등을 분석하였다.

### 2.3 데이터 해석방법

히트펌프에 적용된 압축기 입력 전류와 온수유량, 입·출구 온도를 측정된 값으로부터 사용측 응축기의 온수능력( $Q_{ch}$ )과 난방 성능계수( $COP_h$ )를 구하여 기존시스템과 재열기 적용 시스템 그리고 태양열 적용 시스템들을 비교 분석하였다. 이를 위해 먼저, 냉매 R410A 용 P-h선도(Fig. 4)를 참조하여 VI 압축사이클 난방 성능계수( $COP_h$ ) 계산식을 도출하였고, 이때 계산에 필요한 건도(quality,  $x$ )는 장치의 열평형에서 P-h 선도를 사용하여 식(1)~(2) 같이 나타낼 수 있다.

$$xh_{14} + (1-x)h_6 = xh_7 + (1-x)h_8 \quad (1)$$

$$x = \frac{(h_6 - h_8)}{(h_7 - h_8)}, 1-x = \frac{(h_7 - h_6)}{(h_7 - h_8)} \quad (2)$$

따라서 냉동효과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_e = (1 - x)(h_1 - h_9)$$

$$= \frac{(h_7 - h_6)(h_1 - h_9)}{(h_7 - h_8)} \quad (3)$$

응축열량은 Fig. 4의 P-h 선도를 사용해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_c = h_{13} - h_6 \quad (4)$$

압축일량( $A_{wh}$ )은 아래의 식과 같이 표현될 수 있다.

$$A_{wh} = q_c - q_e$$

$$= (h_{13} - h_6) - \frac{(h_7 - h_6)(h_1 - h_9)}{(h_7 - h_8)} \quad (5)$$

$$= \frac{(h_{13} - h_6)(h_7 - h_8) - (h_7 - h_6)(h_1 - h_9)}{(h_7 - h_8)}$$

난방 성능계수( $COP_h$ )는 식(3), (4), (5)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$COP_h = \frac{q_c}{A_{wh}} \quad (6)$$

$$= \frac{(h_{13} - h_6)(h_7 - h_8)}{(h_{13} - h_6)(h_7 - h_8) - (h_7 - h_6)(h_1 - h_9)}$$

실제 난방성능계수( $COP_h$ )는 실내 측 온수 유량과 입·출구 온도데이터를 사용하여 다음의 식으로 계산하였다.

$$COP_h = \frac{\rho_w G_w C_{p,w} (T_{w,o} - T_{w,i})}{P_{Aw} \times 3600} \quad (7)$$

여기서  $P_{Aw}$ 은 아래와 같다.

$$P_{Aw} = \sqrt{3} V_e A_e \cos\theta \quad (8)$$

여기서  $V_e$ 는 전압 (3 $\phi$ /380V),  $A_e$ 는 전류, 그리고  $\cos\theta$ 는 역률을 나타낸다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 시간에 따른 각 사이클 성능특성

Fig. 5는 압축기 입구와 토출 냉매온도를 시간에 따라 비교한 것이며, 같은 외기온도 조건 일 때 사이클 A와 사이클 B의 시간에 따른 압축기 입구 냉매는 비슷한 온도와 흡입압력을 나타내고 있다. 그러나 사이클C의 압축기 입구 냉매온도(□)는 축열탱크(11번) 내부 흡열 영향으로 상온을 유지하고 있다. 압축기 토출온도의 경우 사이클C(t□)온도가 가장 높고 완만하게 상승하면서 운전되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 사이클B(t□)에서의 압축기 토출온도가 사이클 A(t□) 보다 높게 나오는 것을 알 수 있었다. 이는 사이클 B에서 VI 흡입냉매(Fig. 3, 냉매G2, □→□)와 응축기 입구 냉매가스(Fig. 3, 냉매(G1+G2), □→□)가 재열기(Re-heater)에서 열교환하였기 때문이며, 이러한 압축기 토출냉매 가스온도 상승과 높은 응축기 방열로 난방능력 향상에 도움이 되는 것을 알 수 있다. 사이클 C에서는 재열기에서의 열교환과 보조 태양 열의 안정적인 열원 공급으로 다른 조건 보다 높은 압축기 유입 및 토출온도를 확인할 수 있었다.

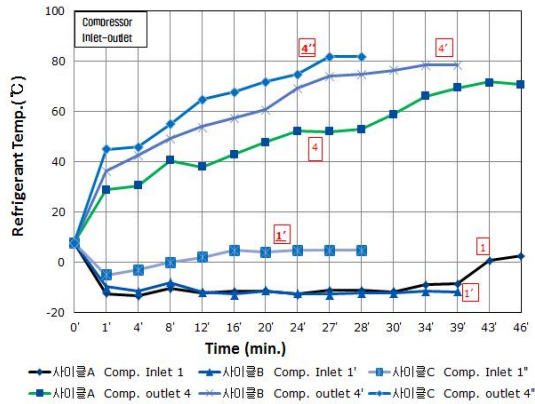


Fig. 5 Change of compressor inlet-outlet refrigerant temperature by time

Fig. 6은 외기온도 일정 조건에서 시간에 따른 응축기 입·출구 냉매 온도를 비교 분석한 그래프이다. 응축온도가 높아야 원하는 온수량 및 온도를 얻을 수 있으며, 사이클A와 B의 응축기 입구냉매( $t_{13}$ ,  $t_{13'}$ )보다는 사이클C의 응축기 입구냉매( $t_{13''}$ )가 좀 더 높은 온도로 흡입되면서 안정적으로 운전되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 재열기를 사용한 사이클B의 응축기 출구냉매( $t_{5'}$ ) 온도도 재열기를 사용하지 않은 사이클A보다 시간에 따른 변화가 더 안정적인 것을 알 수 있었다.

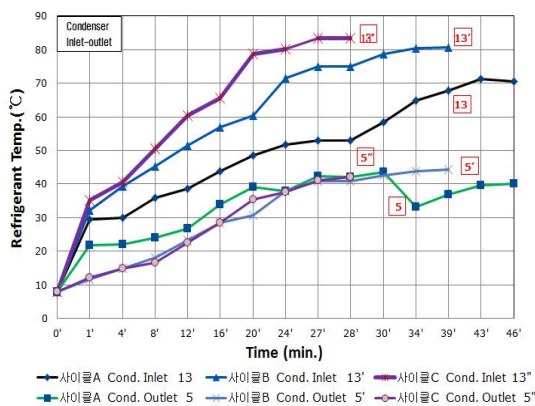


Fig. 6 Change of condenser inlet-outlet refrigerant temperature by time

Fig. 7에는 온수조(Warm water storage tank 2) 내부 수온을 7°C로 고정 한 후 40°C까지 승온되는 모습을 나타내었다.

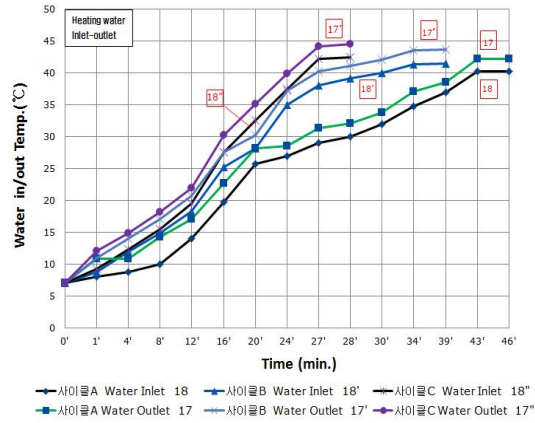


Fig. 7 Change of warm-water inlet-outlet temperature by time

해당 그림에서 시간에 따른 입·출구 수온 변화를 볼 수 있으며, 비교적 일정한 입·출구 온도차를 보이면서 우측 상향으로 일정하게 변함을 알 수 있다. 이때, 압축기 토출 및 응축기 입구 온도 상승으로 사이클 A 입·출구( $t_{18}$  ->  $t_{17}$ ) 수온보다 사이클 B 입·출구( $t_{18'}$  ->  $t_{17'}$ ) 수온이 높은 온도에서 더 안정적으로 변하고 있으며, 온수조 내부 승온 도달 시간도 사이클 B가 더 빨리 도달하는 것을 알 수 있다. 또한, 태양열 집열기에서 축적된 축열탱크(11번) 온도의 영향으로 사이클 C 입·출구 수온( $t_{18''}$  ->  $t_{17''}$ )이 가장 높은 온도에서 가장 안정적인 변화를 보였고, 온수조 내부 승온 도달 시간도 가장 짧은 시간이 걸림을 알 수 있었다.

### 3.2 압력에 따른 각 사이클 난방성능계수

Fig. 8은 압력에 따른 난방성능계수( $COP_h$ )를 나타내고 있으며 온수조(Warm water storage tank 2)에서 순환되는 온수 상승과 비례해서

응축압력 상승과 압축일량 증가로 난방성능계수( $COP_h$ )는 완만하게 하락되고 있는 것을 알 수 있다. 이때 사이클 C의 난방성능계수가 사이클 B와 A보다 더 큰 값을 보여 가장 우수한 성능을 보였으며, 사이클 B는 사이클 A보다 좀 더 높은 성능으로 운전되는 것을 알 수 있었다.

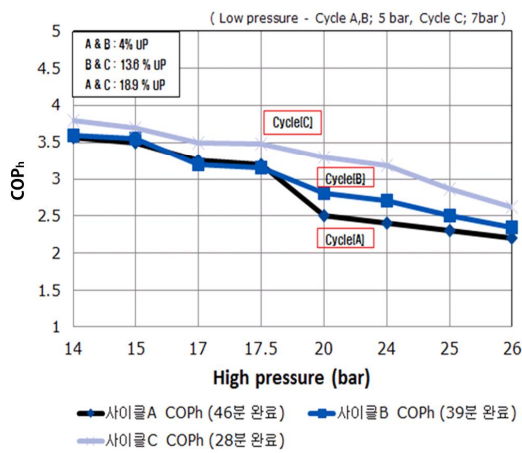


Fig. 8 Change of  $COP_h$  by high pressure (heating)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 외기온도 일정조건에서 온수조 (Warm water storage tank) 내부 수온을 7°C에서 40°C로 승온되는 시간을 기준으로, 기존 VI시스템(사이클 A)과 재열기가 적용된 VI시스템(사이클 B), 재열기와 태양열 집열기를 적용한 VI시스템(사이클 C)의 난방성능을 비교하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 온수 승온(昇溫) 시간을 비교해본 결과 사이클 C(재열기와 태양열 이용 VI사이클, 약 28분), 사이클B(재열기 이용 VI사이클, 약 39분), 사이클A(기존 VI사이클, 약 46분) 순으로 목표 온도에 빨리 도달하는 것

을 확인할 수 있었다.

- (2) 난방성능계수( $COP_h$ )의 경우 평균  $COP_h$  2.86을 보인 사이클 A(기존 VI사이클) 대비 사이클 B(재열기 이용 VI사이클)의 경우 평균  $COP_h$  3.0으로 4% 더 높게 나왔으며, 사이클 C(재열기와 태양열 이용 VI사이클)의 경우 평균  $COP_h$  3.408 정도로 18.9%정도의 향상을 확인할 수 있었다.
- (3) VI(vapour injection) 상태인 중온중압 흡입냉매(Fig.3, G2, ㉓)가 난방능력에 도움이 되고 있으나, 여기에 재열기 및 보조열원으로 태양열을 이용할 경우 기존의 VI사이클 히트펌프보다 더욱 고성능 VI사이클 히트펌프를 구현할 수 있음을 확인하였다.
- (4) 또한, 본 연구에서 사용된 압축기 2.5kW (3.5HP)의 경우 평판형 태양열 집열기의 집열면적이 2m<sup>2</sup>이면 보조열원 공급이 충분히 만족되는 것으로 보였으나, 사용 측 사용시간과 부하에 따라 장치 용량이 달라지게 되므로, 추후 열펌프 용량에 따른 적절한 집열 면적 선정을 통한 해당 시스템의 규격화 및 실용화를 위하여 좀 더 엄밀한 조건에서의 추가 실험을 수행해나갈 예정이다.

#### Reference

1. S.W. Cho, Development of Commercial Heat Pump system for Medium and Large Size, The Magazine of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.41 No.10, pp.27-28, 2012.
2. N.C. Baeck, J.U. Park, B.H. Song, J.K. Lee and H.J. Kim, Simulation of Solar and Ambient-air-assisted Heat Pump, Journal of the Korean Solar Energy



- Society, Vol.20, No.4, pp.17-24, 2000.
3. N.C. Baeck, J.K. Lee and B.H. Song, Performance of Dual Source Heat Pump System with Solar-Assisted Evaporater, Proceedings of the Summer Annual Conference of The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp.1334-1338, 2001.
  4. N.C. Baeck, Heat Pump System with Solar Energy as Heat Source, Journal of the Korean Association of Air conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers, Vol.21, No.2, pp.75-82, 2004.
  5. Y.C. Park, J.Y. Kim and G.S. Ko, A Study of Performance Characteristics on Hybrid Heat Pump System with Solar Energy as Heat Source, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.27, No.1, pp.47-54, 2007.
  6. B.H. Song, An Experimental Study for the Design and Performance Analysis of Cooling and Water Heater Heat Pump system with Thermal Storage Tank, a mater's thesis, Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Republic of Korea, 2002
  7. Y.H. Kim, Performance of water-water heat pump with direct contact heat exchanger, a master's thesis, Department of Bioengineering, Sungkyunkwan University, Republic of Korea, 2011
  8. J.T. Park and K.C. Chang, Present and Future of Heating and Cooling system using Seawater, Korea Journal of geothermal energy, Vol.3, No.1, pp.38-50, 2007.
  9. W.J. Kim, Performance of HFC32/HFC125 Mixtures for Heat Pumps, Proceedings of the Summer Annual Conference of The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp.141-148, 2011.
  10. C.W. Roh and M.S. Kim, Effect of intermediate Pressure on the Heating Performance of a Heat Pump System using R410A Vapor-Injection Technique, Proceedings of the Summer Annual Conference of The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 137-140, 2011.
  11. J.K. Kim, H.K. Oh, C.H. Son, K.W. Suh, K.H. Bahng and D.W. Kim "Heat pump system with renewable energy", Korea, Patent 10-1177430, August 21, 2012