

# 캐스케이드 냉동시스템과 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능 비교

손창효<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 냉동공조공학과

## Performance comparison of cascade refrigerator and two-stage compression refrigerator

Chang-Hyo Son<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University

**요 약** -30℃~50℃ 범위의 저온 증발온도를 얻기 위해서는 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템이나 캐스케이드 냉동 시스템이 필요하다. 하지만 이러한 냉동시스템의 성능 비교에 대한 연구 결과는 대단히 부족한 실정이다. 본 논문은 R744-R404A용 캐스케이드 냉동시스템과 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능을 서로 비교한 것이다. -30℃~50℃의 증발온도 범위에서 2단 압축 1단 팽창식 냉동시스템의 성능계수가 캐스케이드 냉동시스템 보다 약 36%~57% 정도 높다. 하지만, 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 경우 증발온도와 압축효율 감소시에 성능계수의 변화가 커서 안정적이지 못하다. 특히, 압축효율 감소시에 성능계수가 크게 감소하는데, 이는 장기간 냉동 시스템의 사용시에 단점이 될 수 있다. 반면, R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템은 자연냉매를 사용하여 친환경적이며, 고온과 저온 사이클에 사용되는 냉매의 적절한 선택에 의해서 다양한 온도영역에서 고효율 냉동 시스템을 구성할 수 있다. 위의 결과로부터, 성능과 환경적인 측면을 고려하여 용도에 따라 적합한 저온 냉동시스템을 선택하는 것이 좋으리라 판단된다.

**Abstract** In order to obtain a low evaporation temperature ranging from -30℃~-50℃, a cascade refrigeration system and two-stage compression one-stage expansion refrigeration system is required. However, the research results of performance comparison of these refrigeration system are very scarce. This paper were compared the performance characteristics of R744-R404A cascade refrigeration system and R404A two-stage compression refrigeration system. The COP of R404A two-stage compression refrigeration system is about 36 ~57% greater than that of R744-R404A cascade refrigeration system in the range of evaporation temperature of -30℃~-50℃. But R404A two-stage compression refrigeration system is unstable because COP is significantly changed when evaporating temperature and compressor efficiency decreased. In particular, when compressor efficiency decreased, COP is significantly decreased. In this case, not efficient for long-term use. Whereas R744-R404A cascade refrigeration system using natural refrigerants. Therefore, it is environmentally friendly. And this system is high-efficiency refrigeration system. The reason it can be configured by selecting the suitable refrigerant at high-temperature side and low-temperature side. From the above results, select the appropriate low temperature refrigeration system by considering the environmental and performance aspects.

**Key Words** : Cascade refrigeration system, COP, Two-stage compression refrigeration system, R404A, R744

---

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Chang-Hyo Son(Pukyong National Univ.)

Tel: +82-51-629-6183 email: sonch@pkun.ac.kr

Received September 27, 2013 Revised (1st December 18, 2013, 2nd December 30, 2013, 3rd January 6, 2014, 4th January 14, 2014)

Accepted February 5, 2014

## 1. 서론

동결 식품의 저장 등에 사용하는  $-30^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$  범위의 저온 증발온도를 얻기 위해서는 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템이나 2개의 독립된 사이클을 이용하는 캐스케이드 냉동 시스템이 필요하다[1,2]. 우선 이들 저온 냉동 시스템의 특징 및 차이점을 살펴보면, 캐스케이드 냉동 시스템은 고온측과 저온측 사이클에 각각 서로 다른 두 개의 냉매를 사용하는 것이다. 즉, 고온과 저온 사이클에 사용되는 냉매의 적절한 선택에 의해서 다양한 온도대에서 고효율 냉동 시스템을 구성할 수 있다. 반면에 2단 압축 냉동 시스템은 증발기에서 증발한 냉매 가스를 저단 압축기와 고단 압축기를 사용하여 압축하는 방식으로, 증발기 운전조건에 따라 중간냉각기에서 바이패스되는 냉매량을 제어하기 어렵고, 유지 관리가 곤란한 단점이 있다. 따라서 저온 냉동장치용 냉동시스템으로 어떠한 것을 선택해서 사용해야 하는지 명확하지 않다.

지금까지 R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템이나 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템에 사용되어 왔던 프레온계 냉매는 지구온난화와 오존층 파괴로 인해 사용이 제한되어 있다. 따라서 이에 대한 대체 냉매로는 R717(암모니아), R1270(프로필렌), R290(프로판), R744(이산화탄소)와 같은 환경 친화적 자연냉매들이 거론되고 있다[3,4]. 이들 자연냉매 중에 R717은 독성이 강하여 인체에 해롭고, R1270과 R290은 탄화수소계 냉매로서 폭발성이 강하기 때문에 위험하다. 그러나, R744는 독성과 폭발성이 없으며 단위체적당 냉동능력과 열전달 물성치가 대단히 우수하고, 1890년대부터 사용되어 왔기 때문에 지구환경에 미치는 악영향은 이미 검증되었다고 볼 수 있다. 따라서 지구환경 문제 해결에 대한 방안으로서 자연냉매의 사용은 반드시 필요하다.

먼저 본 논문에서 제안하는 R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템의 성능 분석에 대한 현재까지 연구를 살펴보면, Bansal 등[5]은 캐스케이드 냉동 시스템의 냉매에 변화를 주어 성능계수를 분석하였으며, Winkler 등[6]은 R404A-R744 냉동 시스템의 고저온측 사이클에 대해서 성능계수를 분석하였다.

다음으로, R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능 분석에 대한 종래 연구를 살펴보면 Enna 등[7]은 R404A 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템과 R744-R717 캐스케이드 냉동 시스템에 대해서 비교 분석하였고, Liopis 등[8]은 R404A와 R507A 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템에 대해서 분석하였다. 그리고 Torrella 등[9]은 다양한 냉매를 사용하여 2단 압축 냉동 시스템에 대해서 비교 분석하였다. 이상의 종래 연구로부터 알 수 있듯이,

본 논문에서 연구하고자 하는 R744-R404A용 캐스케이드 냉동시스템과 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능 비교에 대한 연구 결과는 전무한 상태이며, 이와 관련된 이론이 명확하게 확립되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 논문에서는 우선 R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템의 COP가 증발온도와 과열도에 미치는 영향을 분석한 후, 이 결과를 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능과 비교한다. 이를 통해 R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템과 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 최적 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 성능 분석

### 2.1 R744-R404A용 캐스케이드 냉동시스템

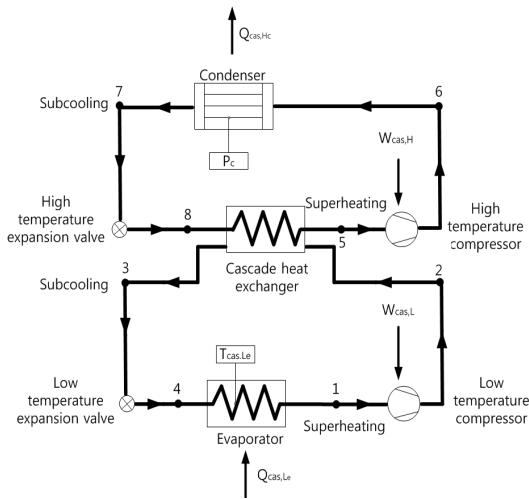
본 논문에서 사용되는 냉매의 열역학적 물성치(엔탈피, 압력, 온도 등)와 성능 분석은 EES (Engineering Equation Solver)[10] 소프트웨어를 이용하여 계산하였다. R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템의 고온 사이클에는 R744 냉매를, 저온 사이클에는 R404A 냉매를 적용하고, 성능 분석을 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 1) 저온과 고온사이클의 압축기내 냉매는 단열압축과정이고, 압축효율과 기계효율은 모두 0.8이다.
- 2) 저온과 고온사이클용 열교환기(증발기, 응축기, 캐스케이드 열교환기)내의 냉매 압력강하와 외부로의 열손실은 무시한다.
- 3) 저온과 고온사이클내 배관의 압력강하와 열손실은 무시한다.
- 4) 저온과 고온사이클의 팽창밸브내 냉매는 단열팽창인 등엔탈피 과정이다.
- 5) 운동에너지와 위치에너지의 변화는 없는 것으로 가정한다.
- 6) 캐스케이드 열교환기내 증발 및 응축 온도( $T_{\text{cas,e}}$ ,  $T_{\text{cas,c}}$ )는 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 중간 압력( $P_m$ )의  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 로 한다.
- 7) 두 시스템의 저단측 냉매 순환량은  $0.1 \text{ [kg/s]}$ 이다.

Fig. 1은 본 연구에서 적용하는 R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템의 상세도를 나타낸 것이고, 분석에 필요한 식들은 Table 1에 정리하였다.

[Table 1] Balance equations for each component of R744-R404A cascade refrigeration system

Cycle	Component	Energy	Mass
High temperature refrigeration cycle (R404A circuit)	Compressor(5→6)	$W_{cas,H} = m_H(h_6 - h_5)/\eta_{cH}\eta_{mH}$	$m_H = m_5 = m_6$ $= m_7 = m_8$
	Condenser(6→7)	$Q_{cas,Hc} = m_H(h_6 - h_7)$	
	Subcooling degree	$\Delta T_{cas,su cH}$	
	Expansion valve(7→8)	$h_7 = h_8$	
	Evaporator(8→5)	$Q_{cas,He} = m_H(h_5 - h_8)$	
	Superheating degree	$\Delta T_{cas,su hH}$	
Low temperature refrigeration cycle (R744 circuit)	Compressor(1→2)	$W_{cas,L} = m_L(h_2 - h_1)/\eta_{cL}\eta_{mL}$	$m_L = m_1 = m_2$ $= m_3 = m_4$
	Condenser(2→3)	$Q_{cas,Lc} = m_L(h_2 - h_3)$	
	Subcooling degree	$\Delta T_{cas,su cL}$	
	Expansion valve(3→4)	$h_3 = h_4$	
	Evaporator(4→1)	$Q_{cas,Le} = m_L(h_1 - h_4)$	
	Superheating degree	$\Delta T_{cas,su hL}$	



[Fig. 1] Schematic diagram of R744-R404A cascade refrigeration system

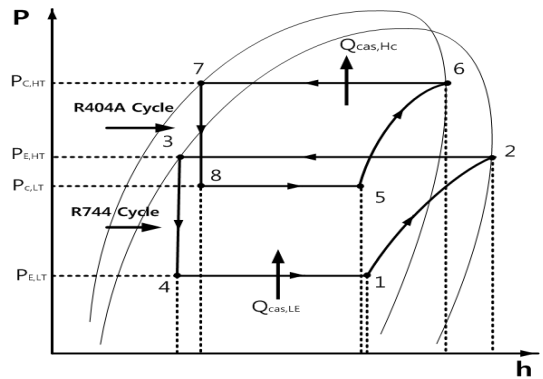
캐스케이드 냉동 시스템의 성능 계수(COP<sub>cas</sub>)는 아래의 식 (1)으로 계산한다.

$$COP_{cas} = \frac{Q_{cas,Le}}{W_{cas,L} + W_{cas,H}} \quad (1)$$

위의 식에서 Q<sub>cas,Le</sub>는 저단축 증발열량, W<sub>cas,L</sub>는 저단축 압축일량, W<sub>cas,H</sub>는 고단축 압축일량을 나타낸다.

Fig. 2는 캐스케이드 냉동 시스템의 P-h 선도이다. Table 2는 본 연구에서 사용되는 캐스케이드 냉동 시스템의 성능 분석 범위를 나타내었다. Table 2의 분석 조건으로부터 캐스케이드 냉동 시스템의 과열도와 증발온도의 인자

들이 COP에 미치는 영향을 알아보려고 한다.



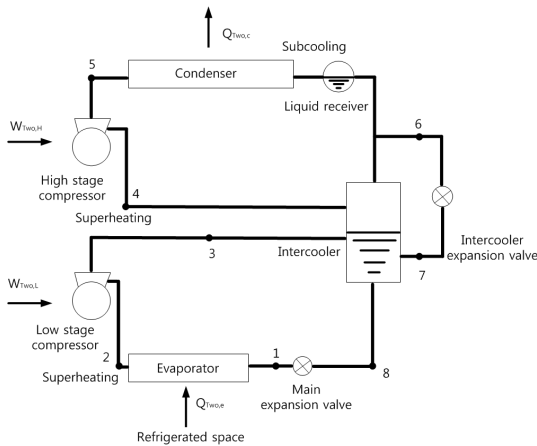
[Fig. 2] P-h diagram of R744-R404A cascade refrigeration system

[Table 2] Performance analysis ranges of R744-R404A cascade refrigeration system

Refrigerant	R744 / R404A
T <sub>cas,He</sub> , [°C]	20 ~ 40
T <sub>cas,≤</sub> , [°C]	-50 ~ -30
$\Delta T_{cas,suc} = \Delta T_{cas,su cL} = \Delta T_{cas,su cH}$ , [°C]	10
$\Delta T_{cas,suh} = \Delta T_{cas,su hL} = \Delta T_{cas,su hH}$ , [°C]	10
$\eta_c = \eta_{cL} = \eta_{cH}$ , [I]	0.5 ~ 1
$\eta_m = \eta_{mL} = \eta_{mH}$ , [I]	0.5 ~ 1
$\Delta T_{cas} = T_{cas,Lc} - T_{cas,He}$ , [°C]	5

[Table 3] Balance equations for each component of R404A two-stage compression refrigeration system

Component	Energy	Mass
Low stage Compressor (1→2)	$W_{T_{wo,L}} = m_L(h_2 - h_1)/\eta_{cL}\eta_{mL}$	$m_H = m_M + m_L,$ $m_M = m_L \left[ \frac{(h_5 - h_7) + (h_2 - h_3)}{(h_3 - h_6)} \right],$ $m_H = m_L \left[ \frac{(h_2 - h_7)}{(h_3 - h_6)} \right]$
Cooling in intercooler (2→3)	$Q_{T_{wo,cooling}} = m_L(h_2 - h_3)$	
High stage Compressor (3→4)	$W_{T_{wo,H}} = m_H(h_4 - h_3)/\eta_{cH}\eta_{mH}$	
Condenser (4→5)	$Q_{T_{wo,c}} = m_H(h_4 - h_5)$	
Intercooler expansion valve (5→6)	$h_5 = h_6$	
Evaporation in Intercooler (6→3)	$Q_{T_{wo,m}} = m_M(h_3 - h_6)$	
Cooling in intercooler (5→7)	$Q_{T_{wo,cooling}} = m_H(h_5 - h_7)$	
Main expansion valve (7→8)	$h_7 = h_8$	
Evaporator (8→1)	$Q_{T_{wo,e}} = m_L(h_1 - h_8)$	



[Fig. 3] Schematic diagram of R404A two-stage compression refrigeration system

### 2.2 R404A용 2단 압축 1단 팽창 냉동시스템

Fig. 3은 본 연구에서 적용하는 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 상세도를 나타낸 것이다. 분석에 필요한 식들은 Table 3에 나타내었다. 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능 계수(COP<sub>Two</sub>)는 아래의 식(2)으로 계산한다.

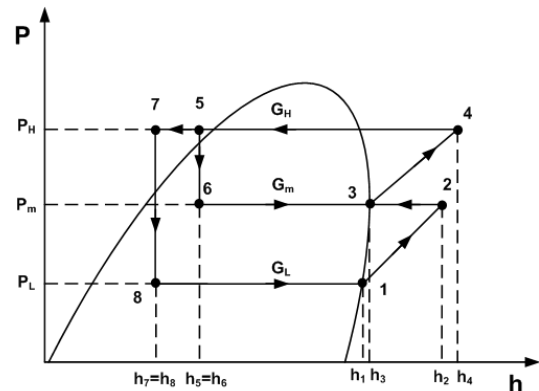
$$COP_{T_{wo}} = \frac{Q_{T_{wo,e}}}{W_{T_{wo,L}} + W_{T_{wo,H}}} \quad (2)$$

위의 식에서 Q<sub>Two,e</sub>는 증발열량, W<sub>Two,L</sub>는 저단축 압축일량, W<sub>Two,H</sub>는 고단축 압축일량을 나타낸다. Table 4에는 본 연구에서 사용되는 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능 분석범위를 나타내었다. 중간냉각기 내의 중간 압력(P<sub>m</sub>)의 경우 다음의 식(3)과 같이 구할 수 있

다. 여기서, P<sub>L</sub>은 저단축 압력, P<sub>H</sub>는 고단축 압력이다. Fig. 4는 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 P-h선도이다.

[Table 4] Performance analysis ranges of R404A two-stage compression refrigeration system

Refrigerant	R404A
T <sub>Two,c</sub> , [°C]	20 ~ 40
T <sub>Two,e</sub> , [°C]	-50 ~ -30
$\Delta T_{T_{wo,suc}} = \Delta T_{T_{wo,sucL}} = \Delta T_{T_{wo,sucH}}, [^{\circ}C]$	10
$\Delta T_{T_{wo,suh}} = \Delta T_{T_{wo,suhL}} = \Delta T_{T_{wo,suhH}}, [^{\circ}C]$	10
$\eta_c = \eta_{cL} = \eta_{cH}, [ ]$	0.5 ~ 1
$\eta_m = \eta_{mL} = \eta_{mH}, [ ]$	0.5 ~ 1



[Fig. 4] P-h diagram of R404A two-stage compression refrigeration system

Table 4의 분석 조건으로부터 과열도와 증발온도의 인자들이 COP에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

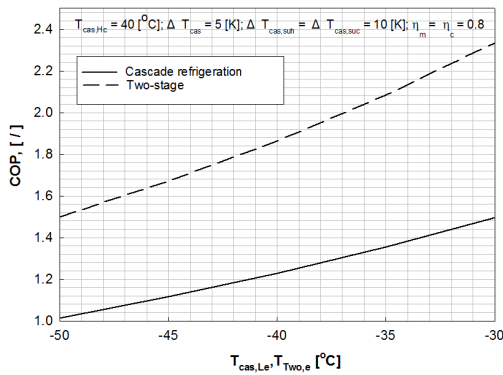
$$P_m = \sqrt{P_L \times P_H} \quad (3)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 냉동시스템 성능 분석 및 비교

##### 3.1.1 증발온도의 영향

응축온도(30°C), 캐스케이드 온도차(5°C), 과열도(10°C), 과냉각도(10°C), 압축효율(0.8), 기계효율(0.8) 등이 일정한 운전 조건에서 증발기의 온도를 -30°C ~ -50°C까지 증가시키면서 R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템과 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능계수를 비교하였다.



R744-R404A cascade refrigeration system			
$T_{cas,L,e}$ [°C]	$W_{cas,L}$ [kW]	$W_{cas,H}$ [kW]	$Q_{cas,L,e}$ [kW]
-30	6.359	8.310	26.030
-35	6.823	9.535	26.920
-40	7.520	11.050	27.540
-45	8.251	12.760	28.130
-50	9.015	14.670	28.710

R404A two-stage compression refrigeration system			
$T_{two,e}$ [°C]	$W_{two,L}$ [kW]	$W_{two,H}$ [kW]	$Q_{two,e}$ [kW]
-30	3.300	7.937	31.260
-35	3.518	8.710	30.950
-40	3.861	9.765	30.630
-45	4.216	10.910	30.310
-50	4.585	12.160	29.990

[Fig. 5] Performance comparison of two refrigeration systems with respect to variation of evaporation temperature

Fig. 5에 나타난 것처럼 캐스케이드 냉동 사이클과 2단 압축 1단 팽창식 사이클의 증발온도( $T_{cas,L,e}$ ,  $T_{two,e}$ )가 증가함에 따라 성능계수가 증가한다. 그 이유는 식(1)과 (2)에서와 같이 증발열량과 전체 압축 일량이 관련되기 때문이다. 수치적으로 살펴보면, 캐스케이드 냉동 시스템의 고단축 일량( $W_{cas,H}$ )은 43.3% 감소하고, 저단축 일량( $W_{cas,L}$ )은 29.4% 감소한다. 또한 증발 열량( $Q_{cas,L,e}$ )도 9.3% 감소한다. 따라서 고단축 일량과 저단축 일량의 감소폭이 증발 열량 보다 더 크기 때문에 성능계수는 상승한다.

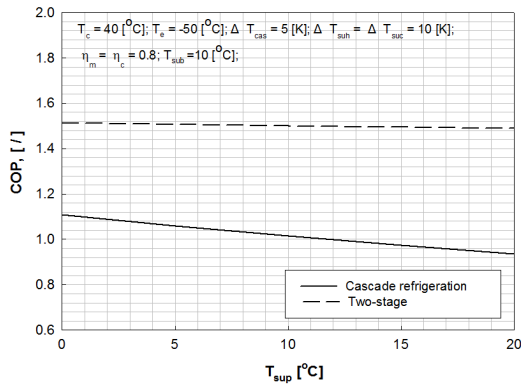
이와 마찬가지로 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 저단축 일량은 28.0% 감소하고, 고단축 일량은 34.7% 감소한다. 그에 비해 증발 열량( $Q_{two,e}$ )은 4.23% 증가한다. 따라서 두 시스템의 증발온도 증가시 성능계수는 증가한다. Messineo[7]은 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템과 R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템의 증발온도에 대한 유사한 연구 결과를 각각 발표하였다, 즉, 그들은 증발온도 상승시 압축비 감소로 인하여 압축 일량이 감소하게 되고 그 결과, 성능계수는 증가한다고 하였다.

성능계수가 2단 압축 1단 팽창식 시스템이 캐스케이드 냉동 시스템보다 더 크다. 그 이유는 캐스케이드 냉동 시스템의 저단축 일량과 고단축 일량이 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 저단축 일량과 고단축 일량 보다 더 크기 때문이다. 이는 증발온도 증가시 고단축 냉매 유량이 캐스케이드 냉동 시스템에서 더 많이 감소하였기 때문이다.

##### 3.1.2 과열도의 영향

캐스케이드 냉동 시스템과 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 과열도 증가시 성능 계수의 영향을 파악하기 위해 증발온도(-50°C), 응축온도(40°C), 캐스케이드 온도차(5°C), 과냉각도(10°C), 압축효율(0.8), 기계효율(0.8)인 조건에서 분석하였다.

Fig. 6과 같이 과열도가 증가함에 따라 캐스케이드 냉동 시스템의 성능계수는 감소하는 반면 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 성능계수는 거의 동일하다. 먼저 캐스케이드 냉동 시스템의 경우 과열도 증가시 저단축 일량은 13.4% 증가하고, 고단축 일량은 28.22% 증가한다. 또한 증발 열량은 약 8.43% 증가한다. 따라서, 식(1)에 의해 저단축 일량과 고단축 일량의 증가율이 증발열량 보다 크기 때문에 성능계수는 감소한다.



R744-R404A cascade refrigeration system			
$T_{cas,sub}$ [°C]	$W_{cas,L}$ [kW]	$W_{cas,H}$ [kW]	$Q_{cas,L,e}$ [kW]
0	9.162	15.20	27.98
5	9.575	16.85	28.46
10	9.854	17.73	28.92
15	10.13	18.61	29.38
20	10.39	19.49	30.34

R404A two-stage compression refrigeration system			
$T_{Two,sub}$ [°C]	$W_{Two,L}$ [kW]	$W_{Two,H}$ [kW]	$Q_{Two,e}$ [kW]
0	4.713	14.18	28.66
5	4.884	14.44	29.12
10	5.005	14.66	29.5
15	5.124	14.87	29.88
20	5.243	15.09	30.27

[Fig. 6] Performance comparison of two refrigeration systems with respect to variation of superheating degree

2단 압축 1단 팽창 냉동 시스템의 경우 과열도 증가시 저단축 일량은 11.24% 증가, 고단축 일량은 6.41% 증가하였다. 또한, 증발 열량은 5.61% 증가하였고 식 (2)에 의해 성능계수를 구해보면 과열도 증가시 소폭 감소하였지만 거의 동일하다. 이는 증발기 입구와 출구의 엔탈피 차는 증가하지만, 압축 일량의 증가율이 엔탈피 차이의 증가율과 거의 동일하기 때문으로 판단된다. Bingming[11]은 응축온도 40℃, 증발온도 -35℃, 캐스케이드 응축온도 -10℃, 캐스케이드 온도차 5℃, 고단축 과열도 5℃, 고단축 과냉각도 5℃, 저단축 과냉각도 5℃의 조건으로 과열도 증가시 성능계수를 분석하였다. 그 결과 본 논문과 동일한 경향이 나타났다.

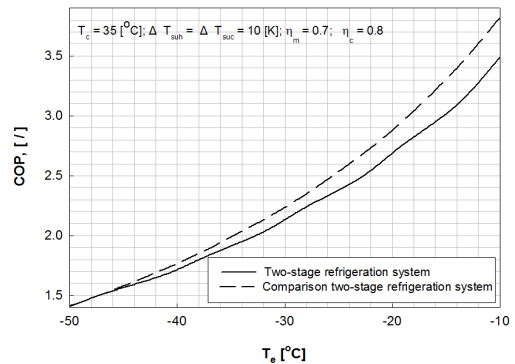
성능계수의 변화율이 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 변화율 보다 캐스케이드 시스템의 변화율이 더 크다. 저단축 일량의 감소율은 두 시스템이 거의 비슷하지

만 캐스케이드 시스템의 고단축 일량의 감소율이 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 고단축 일량의 감소율 보다 더 크기 때문에 캐스케이드 냉동 시스템이 더 많이 감소하는 것이다.

성능계수의 경우 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템이 캐스케이드 냉동 시스템보다 더 크다. 그 이유는 다음과 같다. 먼저 캐스케이드의 저단축 일량과 고단축 일량이 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 저단축 일량과 고단축 일량 보다 크기 때문이며, 캐스케이드 냉동 시스템의 증발열량이 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 증발열량 보다 작기 때문이다.

### 3.2 타 연구자와의 COP 데이터 비교

2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템에 사용된 EES의 정확도를 보이기 위해 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템을 참고문헌 [12]와 같은 조건에서 비교해 보았다. Fig. 7은 응축온도 35℃, 과열도와 과냉각도 10℃, 압축효율 0.8, 기계효율 0.7의 조건으로 증발온도를 -30℃~-50℃까지 증가시키며 비교한 결과이다. -50℃의 경우 오차율 0.28%, -10℃의 경우 오차율 8.6%이다. 오차율이 증가하였지만 비교적 일치함을 알 수 있다. 오차 원인은 비교논문의 경우 중간냉각기에서 고단축기로 유입되는 공기에 대해서 과열공기인지 건포화공기인지 언급이 없다. 본 논문의 경우 건포화공기의 상태로 고단축 압축기에 유입되기 때문에 이 부분에서 오차가 발생한 것으로 판단된다.



[Fig. 7] Performance comparison between other data and this study data with respect to variation of evaporation temperature

## 4. 결 론

지금까지 Table 2와 4의 운전조건에서 R404A용 2단 압축 1단 팽창식 시스템과 R744-R404A용 캐스케이드 냉

동 시스템의 성능 특성 파악 및 성능 비교를 하였다. 그 결과, 성능면에서는 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템이 캐스케이드 냉동 시스템 보다 우수하기 때문에 -30℃~ -50℃의 범위에서 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템을 사용하는 것이 유리하리라 판단된다. 하지만, 2단 압축 1단 팽창식 냉동 시스템의 경우 증발온도와 압축효율 감소시에 성능계수의 변화가 커서 안정적이지 못하다. 특히, 압축효율 감소시에 성능계수가 크게 감소하는데 이는 장기간 냉동 시스템의 사용시에 단점이 될 수 있다. 반면, R744-R404A용 캐스케이드 냉동 시스템은 자연냉매를 사용하므로 친환경적이며, 고온과 저온 사이클에 사용되는 냉매의 적절한 선택에 의해서 다양한 온도대에서 고효율 냉동 시스템을 구성할 수 있다. 향후, 본 연구에 대한 실험장치를 설계 및 제작하여 실험을 통해 얻은 데이터와 분석을 통해 얻은 데이터를 서로 비교하여 성능 우위를 확인할 것이다. 또한, 이러한 실험데이터를 바탕으로 캐스케이드 냉동장치와 2단 압축 1단 팽창 냉동장치의 최종 설계안을 제시하고자 한다.

## References

[1] S. Sawalha, "Theoretical evaluation of trans-critical CO<sub>2</sub> systems in supermarket refrigeration. Part I: Modeling, simulation and optimization of two system solutions," ASHRAE J., vol. 47, no. 8, pp. 26-30, 2005.

[2] S. N. Park and M. S. Kim, "Experiment and simulation on the performance of an autocascade refrigeration system using carbon dioxide as a refrigerant," School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul, pp. 151-742, 1999.

[3] J. A. Dopazo, J. Fernandez-Seara, Sieres, F. J. Uhia, "Theoretical analysis of a CO<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub> cascade refrigeration system for cooling applications at low temperatures," Applied Thermal Engineering, vol. 29, pp. 1577-1583, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.07.006>

[4] A. Messineo and G. Panno, "LNG cold energy use in agro-food industry: a case study in Sicily," Journal of Natural Gas Science and Engineering, vol. 3, pp. 356-363, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2011.02.002>

[5] P. K. Bansal and S. Jain, "Cascade systems: past, present, and future", ASHRAE Trans., vol. 113, no. 1, pp. 245-252 (DA-07-027), 2007.

[6] J. M. Winkler, V. Aute, R. Radermacher and D. Shapiro, "Simulation and Validation of a R404A/CO<sub>2</sub> cascade refrigeration system", Proceedings of the

international refrigeration and air conditioning conference at Purdue, vol. 12, no. 1, p. 2273, 2008.

[7] A. Messineo, "R744-R717 Cascade Refrigeration System: Performance Evaluation compared with a HFC Two-Stage System", Energy Procedia, vol. 14, pp. 56-65, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.896>

[8] R. Liopis, E. Torrella, R. Cabello, D. Sanchez "Performance evaluation of R404A and R507A refrigerant mixtures in an experimental double-stage vapour compression plant", Department of Mechanical Engineering and Construction Campus de Riu Sec, Jaume I University, E-12071 Castellon, Spain, pp. 1546-1553, 2010.

[9] E. Torrella, J. A. Larumbe, R. Cabello, R. Llopis, D. Sanchez, "A general methodology for energy comparison of intermediate configurations in two-stage vapour compression refrigeration systems", Department of Applied Thermodynamics, Camino de Vera, 14, Polytechnic University of Valencia, E-46022 Valencia, Spain, pp. 4119-4124, 2011.

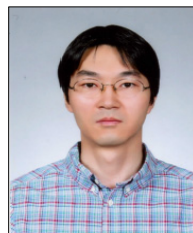
[10] EES: Engineering Equation Solver, fChart Software Inc, 2006.

[11] W. Bingming, W. Guagen, L. Jianfeng, X. Ziwen, "Experimental investigation on the performance of NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> cascade refrigeration system with twin-screw compressor", School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shannxi 710049, China, pp. 1358-1365, 2012.

[12] H. M. Getu and P. K. Bansal, "Thermodynamic analysis of an R744-R717 cascade refrigeration system", Department of Mechanical Engineering, The University of Auckland, Private Bag 92019, Auckland, New Zealand, pp. 45-54, 2008.

## 손 창 효(Chang-Hyo Son)

[정회원]



- 2000년 2월 : 부경대학교 공과대학원 냉동공조공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 부경대학교 공과대학원 냉동공조공학과 (공학박사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 부경대학교 냉동공조공학과 교수

<관심분야>

열공학, 열전달, 열교환기 설계, 초저온공학, 냉동시스템 설계 및 설비공학