

수동식 팽창밸브 조정에 의한 냉동시스템의 성능 분석 Performance Analysis of Refrigeration System by Adjusting Manual Expansion Valve

양형석^{1*}
Hyung-Suk Yang^{1*}

<Abstract>

This study analyzed facts affecting the performance of refrigeration systems after throttling actions, by changing the amount of refrigerant according to adjusting the opening of manual expansion valve to 80%, or 20% with vapor compressional refrigeration training equipment. At opening of 20%, the inlet and outlet temperature of compressor, subcooling and superheat, condenser heat, refrigeration effect, flash gas heat, coefficient of performance were higher, while at 80%, condensing pressure, evaporating pressure, compression work were higher, Thus, we could see changes in the amount of refrigerant affect the performance of the refrigeration system.

Keywords : Compression, Condensing, Evaporating, Expansion valve, P-h Diagram

1. 서 론

냉동시스템은 일반적으로 온도 및 압력제어, 전자밸브제어, 팽창밸브 조정 등에 의해 냉동장치를 순환하는 냉매가스는 그 상태가 끊임없이 변화한다. 그러므로 냉동장치 각 부분에서의 냉매 상태를 예측할 필요가 있으며, 더불어 압력, 온도, 냉매순환량, 부하량, 성적계수등에 많은 영향을 미치게 하여 냉동기의 운전 성능에 매우 중요한 요인이 된다.

최근 전기·전자산업의 발전에 따라 냉동, 공조장치에서 압축기와 열교환기의 팬 용량을 가변시킬수 있는 인버터(inverter)나 전자식팽창밸브(electronic expansion valve)를 적용한 냉동장치의 정상적인 운전상태의 연구가 증가하고 있다. 전자팽창밸브를 이용한 증발기의 냉매유량제어 및 과열도 특성에 관한 연구¹⁾,

Yasuda²⁾ 등은 전자팽창밸브 사용시 증발기 출구 과열도 특성에 관한 연구를 수행하였으며 또한 수동식팽창밸브에 관한 연구는 Jang³⁾의 수동식 팽창밸브의 운전조건 변화에 따른 자동차 에어컨 시스템의 특성 해석과 신 냉매용 자동차 에어컨 팽창밸브에서의 열유동해석 등이 있다.

이러한 냉동시스템에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으며 학술적인 가치를 창조하고 있다. 따라서 이번 연구는 공조냉동 산업체의 냉동장치와 자동제어 시스템의 대부분이 대형이고 내장형으로 구성되어 냉동장치의 원리와 기능 등에 대한 실험이 어렵고 한계가 있었으나 실험, 실습을 할 수 있는 증기압축식 냉동 교육장비를 활용하여 수동식 팽창밸브의 개도를 조정하여 냉매순환량에 따른 냉동시스템의 성능변화를 알아 보았다. 수동식 팽창밸브의 개도를 최

¹정희원, 한국폴리텍VI대학 대구캠퍼스, 산업설비자동화과, 교수, E-mail:hyungsuk820@hanmail.net

¹Dept. of Automation of Industrial Installation, Korea Polytechnic VI College, Daegu Campus, Prof.

대 80%, 최소 20%로 하여 각각의 냉방 운전상태에서 압축기입구 및 출구, 과냉도, 과열도, 저압부(증발)와 고압부(응축)압력, 냉동효과, 압축일량, 응축기 방출열량, 플래쉬가스(flash gas) 열량, 성적계수, 등을 분석하여 알아 보았으며, 냉매 R-22를 사용 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 냉동시스템 기본 구성

냉동시스템의 기본 구성은 압축기, 응축기, 수액기, 팽창밸브, 증발기, 액분리기 등으로 되어 있으며, 팽창밸브를 통과한 냉매는 교축작용에 의해 압력과 온도가 강하하고 증발기로 들어가 주위에서 열을 흡수하여 기화 되며, 기화된 냉매는 압축기로 들어가 압축되어 고온, 고압의 상태로 토출되고 응축기에서 물 또는 공기에 의해 열을 방출하여 액체 상태로 되어 수액기를 거쳐 팽창밸브로 들어가는 하나의 냉동사이클을 형성하여 반복적으로 순환하는 것이다. 팽창밸브에서 증발기, 압축기 사이의 계통을 저압부라 하고, 압축기에서 응축기, 수액기에 이르는 부분을 고압부라 한다.

Fig. 1은 냉동기본 사이클의 개략도 이다.

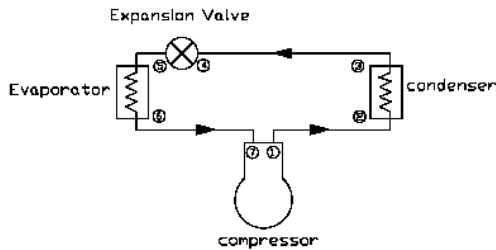


Fig. 1. Diagram of refrigeration cycle.

2.2 냉동장치의 압력-엔탈피선도

Fig. 2는 냉동능력을 계산하는 기본적인 모델이다.

$$q_e = i_7 - i_5 \text{ [KJ/Kg]} \quad (1)$$

식 (1)은 냉동효과로서 냉매 1kg이 증발기에서 흡수하는 열량이다.

$$AW = i_1 - i_7 \text{ [KJ/Kg]} \quad (2)$$

식 (2)는 압축일의 열당량(냉매 1 kg당)으로 엔트로피가 불변이다.

$$q_c = q_e + AW = i_1 - i_4 \text{ [KJ/Kg]} \quad (3)$$

식 (3)은 응축기의 방출열량(냉매 1 kg당)을 구하는 식이다.

$$q_f = i_5 - i_8 \text{ [KJ/Kg]} \quad (4)$$

식 (4)는 플래쉬가스 열량을 구하는 식이다.

$$\text{COP} = \frac{q_e}{AW} = \frac{i_7 - i_5}{i_1 - i_7} \quad (5)$$

식 (5)는 이론적인 성적계수를 나타내는 식이다.

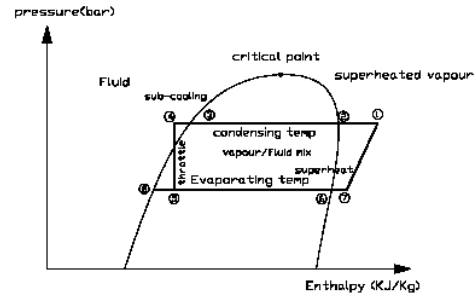


Fig. 2. P-h Diagram of basic calculation model for refrigeration system.

3. 실험

3.1 실험장치

Fig. 3은 전체적인 실험장치를 나타낸 사진으로 실험장치는 압축기→응축기→수액기→전차밸브→수동식팽창밸브→증발기→압축기의 순서로 냉매가 순환되며, 각 부분 상태점의 온도 변화를 확인 할 수 있도록 디지털식 온도제어 스위치가 부착 되어있고 또한 데이터를 얻기 위하여 주요기기들의 입, 출구측에 온도센서(T-type)를 부착하고 얻어진 데이터는 PC 모니터링 성능자동측정 프로그램을 활용하여 분석할 수 있도록 하였다.



Fig. 3. Overview of test equipment.

또한 압력 측정부에 압력계를 부착하여 압력 변화를 확인 할 수 있도록 하였다.

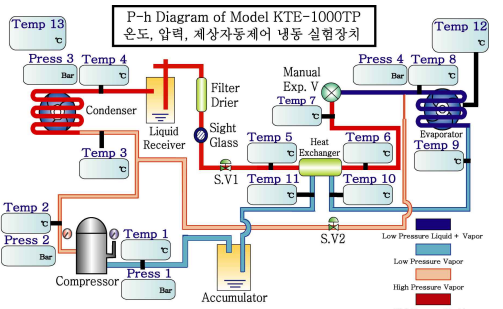


Fig. 4. Schematic of vapor-compression refrigeration system.

Fig. 4는 증기압축식 냉동시스템의 개념도이다.

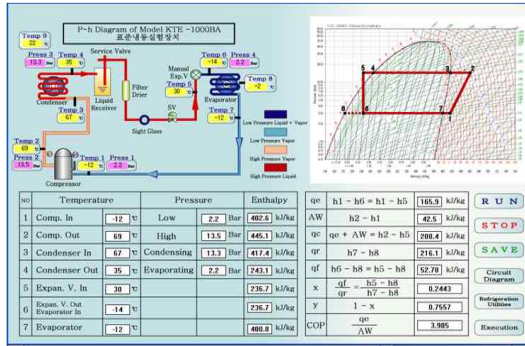


Fig. 5. Program monitoring data acquisition system of refrigerator.



Fig. 6. photo of manual expansion valve.

3.2 실험방법

본 실험은 실험실의 실내온도 22℃, 상대습도 58%인 조건하에서 밀폐형압축기(3/4 hp), 응축기(0.44 kw)와 증발기(0.2 kw)는 핀코일 공랭식

이고 실험의 신뢰도 높이기 위해 약 25분간 냉방 정상운전 과정에서 (1) 수동식 팽창밸브의 개도를 80%로 조정한 상태 (2) 수동식 팽창밸브의 개도를 20%로 조정한 상태에서 수동식 팽창밸브를 통과하는 냉매량을 변화시켜 1) 압축기 입구·출구온도 2) 응축기입구·출구온도 3) 수동식 팽창밸브 입구온도 4) 증발기 출구온도 5) 응축압력과 증발압력 6) 냉동효과 7) 압축일량 8) 응축기 방출열량 9) flash gas 열량 10) 성적계수 등에 대한 데이터를 냉동기 성능자동측정 프로그램을 이용하여 전송받아 모니터링한 후 최적의 성능값을 선택하여 비교, 분석 하였다.

Fig. 5와 6에 냉동기 성능자동측정 프로그램과 수동식 팽창밸브 사진을 각각 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 압축기 입, 출구

압축기의 가동으로 냉매가스가 압축되어 보일(Boyle)의 법칙에 따라 압력이 상승하고 동시에 샤를(Charles)의 법칙에 의해 온도가 상승하게 된다. Fig. 7은 수동식 팽창밸브 개도를 80%와 20%로 조정하여 압축기 입,출구의 온도분포를 나타낸 그래프이다.

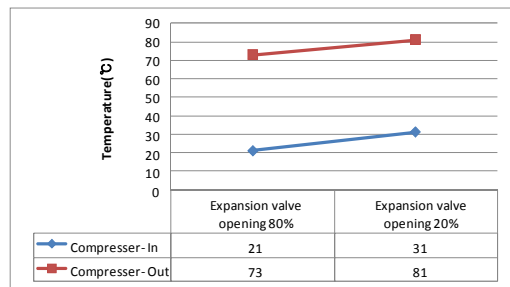


Fig. 7. Temperature distribution of compressor-in and out (opening to 80% and 20%).

팽창밸브 개도에 따른 압축기 입구온도는 20%가 80%에 비해 10℃ 높게 나타난 것은 작은 양의 냉매 액이 증발기로 공급되어 증발기 출구에 이르기 전에 그 내부에서 미리 증발하여 온도가 상승 한채로 압축기로 유입 한것으로 이런 경우 비체적이 증가하게 된다. 출구온도의 경우도 8℃ 높게 나타났는데 압축기에 온도가 상승한 상태로 유입된 냉매량이 압축되어

토출가스 온도가 상승 할 수밖에 없는 것으로 사료 된다.

4.2 응축압력과 증발압력

압축기에서 토출된 고온, 고압의 냉매가스를 응축기에서 헴을 이용하여 실내 공기와 열교환 시켜 응축하고, 팽창밸브를 통과된 저온의 냉매액으로 주위의 온도를 저하 시키는 증발기에 대한 압력으로 Fig. 8은 수동식 팽창밸브 개도를 80%와 20%로 조정하여 응축압력과 증발압력 분포를 나타낸 그래프 이다.

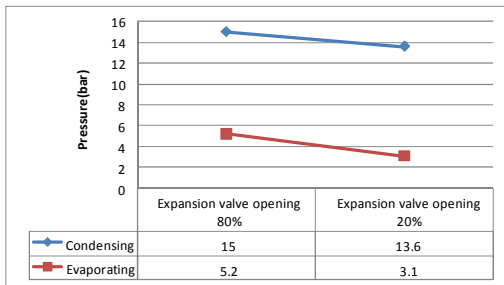


Fig. 8. Pressure distribution of condensing and evaporating (opening to 80% and 20%).

팽창밸브 개도에 따른 응축압력은 80%가 20%에 비해 1.4 bar 높게 나타난 것은 압축기 유입 냉매량이 많은 상태로 정상적인 성능이라 생각되며, 결과적으로는 유입 냉매량에 따라 응축압력의 변화에 영향을 미친다고 생각되고 압축비의 경우 2.89가 된다.

증발압력의 경우는 오히려 20%일때가 2.1 bar 낮게 나타났는데 이것은 개도를 조정하여 증발기 내의 압력을 낮게 한 결과라 생각한다. 이 상태에서는 증발기내의 냉매 순환량이 작은 관계로 실제 증발기 상단부분만 적상 상태가 되는 현상이 나타나게 되며, 증발기 출구온도는 대체적으로 상승하게 되고 압축비의 경우 4.36 이 되어 80%보다 높은 것을 알수가 있다.

4.3 과냉도 및 과열도

응축기로부터 팽창밸브 입구까지 냉매액이 이동하면서 잃어버리는 열을 과냉도라 하며 과냉도 값의 크고 작음에 의해 냉동사이클의 냉동효과와 건조도, 플래쉬가스발생 등에 영향을

초래하고 증발기에서 압축기 입구까지 냉매가스가 이동하면서 얻어지는 열을 과열도라 하는데 이 값도 냉동사이클의 압축일량, 토출가스 온도 등에 영향을 초래한다.

Fig. 9는 수동식 팽창밸브 개도를 80%와 20%로 조정하여 응축온도와 팽창밸브 입구온도 분포를 나타낸 그래프 이다.

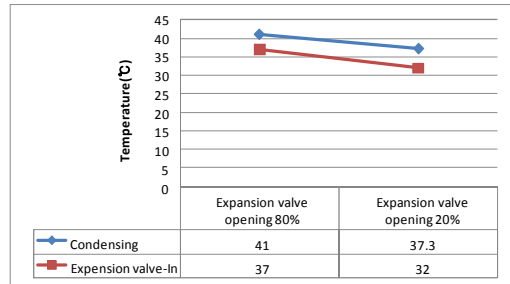


Fig. 9. Temperature distribution of condensing and expansion valve-in (opening to 80% and 20%).

우선 표준이론 냉동사이클에서 과냉도는 5°C 임을 알 수 있다. 개도가 80%일 때 과냉도(41°C-37°C)는 4°C이고 20%일 때 과냉도(37.3°C-32°C)는 5.3°C로 20%일 때가 1.3°C로 약간 높게 나타난 것을 알 수 있다.

이 온도 차이는 작지만 압축기 토출가스 온도에 영향을 받은 것이라 생각되며 다만 실내 온도의 영향은 무시한 상태로서 팽창밸브의 개도 변화에 따른 영향이 작용한 것을 알 수가 있다.

Fig. 10은 수동식 팽창밸브 개도를 80%와 20%로 조정하여 증발온도와 압축기 입구온도 분포를 나타낸 그래프 이다.

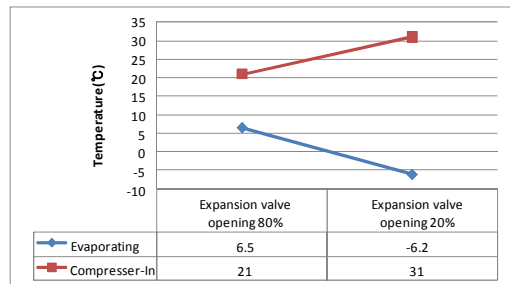


Fig. 10. Temperature distribution of evaporating and compressor-in (opening to 80% and 20%).

개도가 80%일 때 과열도(21℃-6.5℃)는 14.5℃이고, 20%일 때 과열도(31℃-(-6.2℃))는 37.2℃로 80%일 때 보다 22.7℃ 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 냉매액 양이 작은 상태로 팽창밸브를 통과하면 순간적으로 온도가 저하된 상태로 증발기에 유입되어 상단 부분만 적상상태가 되지만, 증발기 출구에 이르기 전에 이미 냉매의 증발이 완료되고 계속 열을 흡수하여 동일 증발압력 상태하에서 온도만 상승한 과열증기 상태로 증발기 출구온도가 높아지게 되고, 압축기에 흡입하게 된다. 20%일 때 압축기 입구온도가 10℃ 높게 나타났다.

따라서 과열도가 높아지는 결과가 발생되어 압축일량, 압축기 토출가스온도 등이 높아지는 과열 압축상태가 되어 냉동시스템의 성능을 저하시키는 요인이 될 수가 있다. 다만 실내온도의 영향은 무시한 상태이지만 팽창밸브의 개도 조절에 따른 영향이 냉동시스템 성능에 매우 크다는 것을 알 수 가 있으며, 가능한 과열도를 낮게 하는 것이 냉동시스템의 성능 향상에 중요한 변수라는 것을 알 수 가 있다.

4.4 냉동효과, 응축기방출열량, 플래쉬가스열량, 압축일량

플래쉬가스는 냉매액이 팽창밸브내의 냉매조절 오리피스(orifice)를 통과하면서 순간적으로 증발하는 것으로 그 발생량은 증발기내로 유입되는 냉매액과 가스의 조성에 영향을 초래한다. Fig. 11은 수동식 팽창밸브 개도를 80%와 20%로 조정하였을 때 냉동효과, 응축기방출열량, 플래쉬가스열량, 압축일량의 분포를 나타낸 그래프 이다.

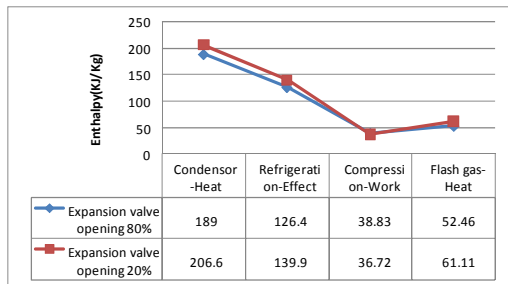


Fig. 11. Performance distribution of refrigeration effect and condenser heat and compression work and flash gas-heat (opening to 80% and 20%).

응축기 방출열량은 개도 20%일 때가 80%일 때보다 17.6(KJ/Kg) 높게 나타났으며 냉동효과는 13.5(KJ/Kg) 높게 나타났고, 플래쉬가스열량도 8.65(KJ/Kg) 높게 나타났다. 여기서 플래쉬가스열량 값이 높은 이유는 작은 양의 냉매액이 팽창밸브의 교축작용에 의해 80%일 때 보다 낮은 온도로 교축되어 토출된 냉매액관 내에서 미리 증발하여 증발기로 유입 되었기 때문이라 생각한다. 따라서 플래쉬가스 발생량은 작을수록 건조도가 작아져 증발기로 유입되는 냉매액량이 많아지게 하는 것이 냉동효과에 좋은 영향을 미친다.

반면에 압축일량은 20%일 때가 80%일 때보다 앞의 식(2)에 의해 2.11(KJ/Kg) 낮게 나타났다. 압축일량이 작으면 성적계수가 좋아져 성능이 향상되지만 이것은 단순히 계산에 의한 결과라 생각한다.

Table 1. Enthalpy data of compressor, expansion valve-out (or evaporator-in) depending on refrigerating

| 개도 \ 엔탈피 | comp-in | comp-out | exp.v-out (or eva-in) |
|----------|---------|----------|-----------------------|
| 80% | 431.1 | 469.9 | 282.5 |
| 20% | 444.4 | 481.9 | 274.5 |

전반적인 냉동시스템의 성능면에서 해석하면 Table 1.에서 보듯이 20%일 때의 압축기 출구 엔탈피 및 입구 엔탈피값이 높게 나타났다. 입구온도가 높으면 과열도가 증가하고, 비체적이 증가하는 원인이 되고 출구온도가 높으면 압축기과열, 오일열화, 응축압력 상승 등으로 인해 성능면에서는 좋지 않다고 생각한다.

4.5 성적계수

냉동사이클의 능력을 나타내는 것으로 압축일량에 비하여 큰 냉동효과가 얻어지는 것이 능력이 좋은 것이며 성적계수가 클수록 성능이 좋은 것을 나타낸다. Fig. 12는 수동식 팽창밸브 개도를 80%와 20%로 조정 하였을 때 성적계수 분포를 나타낸 그래프 이다.

앞의 식(5)에 의해 20%일 때가 80%일 때보다 0.56 약간 높게 나타났는데 역시 계산식의 결과라 생각된다. 성적계수 값이 클수록 성능이 좋지만 Table 1.에서 20%의 값을 보듯이 팽창

밸브 출구 값이 낮지만, 압축기 입구, 출구 값이 높게 나타났다.

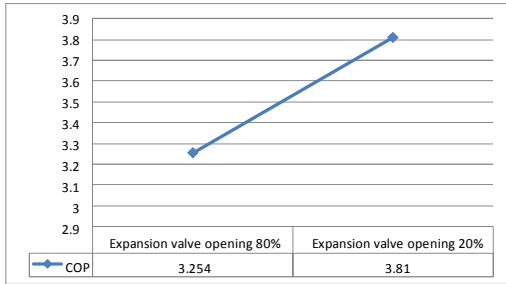


Fig. 12. Coefficient of performance distribution (opening to 80% and 20%).

이것은 과냉이 잘되었다기 보다는 작은 냉매량이 원인이며, 압축기 입구, 출구 값이 높은 것도 냉매량의 영향으로 전반적인 시스템 성능면에서는 계산 값하고 다르게 생각해야 된다고 판단된다.

Fig. 13은 수동식 팽창밸브 개도가 80%일 때의 압력-엔탈피선도 그래프, Fig. 14는 수동식 팽창밸브 개도가 20%일 때의 압력-엔탈피선도 그래프 이다.

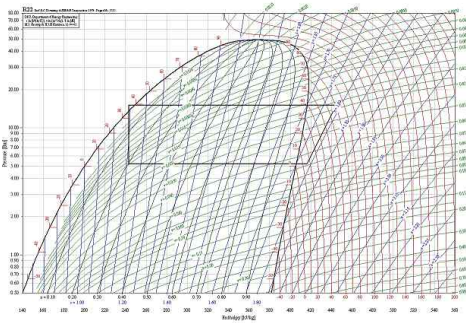


Fig. 13. P-h diagram drawing solution (opening to 80%).

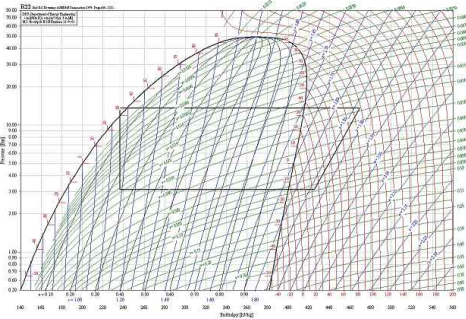


Fig. 14. P-h diagram drawing solution (opening to 20%).

5. 결론

이상과 같은 고찰에서 수동식 팽창밸브의 개도를 80%, 20%로 조정하여 팽창밸브를 통과하는 냉매량이 냉동시스템의 성능에 다음과 같은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

(1) 압축기 입, 출구온도는 20%일 때가 높게 나타났다으며 특히 입구온도가 높으므로 시스템의 과열도가 높게되는 원인이 된다는 것을 알 수 있었다.

(2) 응축압력과 증발압력의 경우는 80%일 때가 높게 나타났다으며, 또한 압축비는 낮게 나타났다. 그것은 20%일 때보다 냉매 순환량이 많은 이유라 생각되고, 정상적인 성능이라 판단된다.

(3) 과냉도 및 과열도의 경우 20%일 때가 높게 나타났는데 팽창밸브 개도에 따른 냉매량의 영향이라 생각되며, 특히 과열도는 그 영향이 매우 크다는 것을 알 수가 있었다.

(4) 응축기 방출열량, 냉동효과, 플래쉬가스열량은 20%일 때가 높게 나타났고, 압축일량은 80%일 때가 높게 나타났으며, 성적계수는 20%일 때가 80%일 때보다 약간 높게 나타났다. 이 경우는 전반적인 냉동시스템의 성능면에서 해석하는 것이 바람직 하다고 생각된다. 본 실험은 증기압축식 냉동 교육장비를 활용한 관계로 장비의 성능 및 보온 등 여러면에서는 산업용 냉동장비와 차이가 있다고 판단되며, 추후 산업용과 병행한 성능해석이 필요하다고 생각된다.

기 호

- qe 냉동효과 [KJ/Kg]
- AW 압축일의 열당량 [KJ/Kg]
- qc 응축기방출열량 [KJ/Kg]
- qf 플래쉬가스열량 [KJ/Kg]
- COP 성적계수
- i 엔탈피 [KJ/Kg]

참 고 문 헌

- 1) 김종수, 김정훈, 양현석, 최순오, *공기조화·냉동공학 논문집* **6, 4**, 380, (1994)
 - 2) Yasuda, H., *Refrigeration in Japanese*, **61**, 701, 244, (1986)
 - 3) Jang, W.W., A study on the characteristics for automotive air conditioning system using HFC-134a based on expansion valve opening, MS thesis, Kyunghee University, Seoul, Korea. (1995)
 - 4) 김철수, 정한식, 정효민, *설비공학논문집* 제18권 제12호 pp. 964-970, (2006)
 - 5) 김철수, “냉동공학이론”, 케이티이엔지, pp. 77-108, (2006)
-
- (접수:2011.05.28, 수정:2011.06.28, 게재 확정:2011.08.24)