

냉매분사식 팽창장치를 적용한 냉동기의 특성에 관한 연구

조 병 옥[†]
 산본공고 중장비과

A Study on the Characteristics of the Refrigerator Using a Refrigerant Injection Type Expansion Device

Byung-Ok Cho[†]

Department of Construction Equipment, Sanbon Technical High School, Kyunggi 435-040, Korea

(Received March 8, 2000; revision received August 31, 2000)

ABSTRACT: Refrigerating ability of vapor compression refrigerator is decided by the harmonic work of it's components such as compressor, condenser, evaporator, expansion device, and so on. In this study, choosing refrigerant injectors as a new one of expansion device, temperature change of the cold room, ice freezing ability, and power consumption on flowrate of injector and refrigerant charging condition are evaluated experimentally. As the results of this study, it is verified that the spray injection type refrigeration system has some merits according to the flowrate and spray pattern of injector and charging quantum of refrigerant. And there are some design factors such as spray pattern and shape of spray chamber to utilize and fabricate this refrigerant injection type refrigerator.

Key Words: Refrigerator(냉동기), Expansion device(팽창장치), Refrigerant spray(냉매분무), Coefficient of performance(성적계수, COP), Injector(인젝터)

기 호 설 명		4	: 인젝터 종류 (650 CCM)
<i>D</i>	: 지름 [μ m]	그리스문자	
<i>L</i>	: 분무도달거리 [mm]	<i>α</i>	: 분무각(spray angle)
<i>N</i>	: 액적 수	<i>ϕ</i>	: 분무 용기의 내경 [mm]
<i>P</i>	: 압력 [bara]	하첨자	
<i>SMD</i>	: Sauter Mean Diameter [μ m]	<i>H</i>	: 고압측
<i>W</i>	: 압축일 [kcal/kg]	<i>L</i>	: 저압측
<i>q_L</i>	: 냉동효과 [kcal/kg]	<i>i</i>	: 액적 크기의 급간
1	: 인젝터 종류 (150 CCM)	32	: SMD order(체적-면적)
2	: 인젝터 종류 (220 CCM)		
3	: 인젝터 종류 (270 CCM)		

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-395-0652; fax: +82-31-395-0654

E-mail address: bocho@hitel.net

1. 서 론

증기압축식 냉동기의 성능은 압축기, 증발기, 응축기 및 팽창장치 등의 장치로 구성된 시스템이 상호적으로 제 기능을 다 함으로써 향상시킬 수 있다. 냉동기의 성능은 성적계수(coefficient of performance, COP)로서 압축기가 한 일에 대한 증발기에서의 냉동효과로 표시하는데, 성적계수를 향상하기 위한 연구와 시스템의 저비용 운전 등에 관한 장치적 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

Sun and Eames⁽¹⁾은 이젝터(ejector)를 이용한 냉동시스템의 연구에서 이중 증발기의 출구에 이젝터를 설치하여 압축 일을 줄임으로써 성적계수를 향상할 수 있음을 이론과 실험을 통하여 밝혔고 Buck et al.⁽²⁾은 팽창장치로서 모세관(capillary tube)의 관경과 길이 등의 선택기준에 대한 연구를 하였으며 Mitsui⁽³⁾은 자동차 에어컨의 냉매유량 제어기술을 연구하였다.

증기압축식 냉동기에서 시스템의 압력을 강하고 순환 냉매의 양을 조절하는 팽창장치로 모세관과 팽창밸브(expansion valve)에 관한 연구로 Hewitt et al.⁽⁴⁾은 감온형 팽창밸브나 모세관 대신 전자팽창밸브(electronic expansion valves, EEV)를 실험적으로 연구하여 EEV가 냉동기의 성능을 개선하는 기능이 있음을 밝혔고, He et al.⁽⁵⁾은 다중 인자 제어방법으로 증발기에서의 열전달을 최적화할 수 있는지를 연구하여 여러 가지 폭넓은 작동 범위에서 장점이 있음을 밝혔으며, Park and Han⁽⁶⁾은 감온 팽창밸브와 모세관의 성능을 예측하는 프로그램을 개발하여 실험결과와 비교 연구하였다.

그러나 여전히 모세관은 유량조절과 자동제어가 어렵고 지름과 길이의 산정이 까다로우며 팽창밸브는 대부분 수입품으로 가격이 비싸고 균압관의 설치로 인해 장치와 작업이 복잡해지는 등의 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 기존의 팽창밸브나 모세관이 아닌 새로운 팽창장치로서 전자식 이젝터(solenoid injector)를 냉동기의 냉매 분사 목적으로 적용하여 냉동실의 온도변화, 얼음 결빙율, 소비 동력 등을 전자 이젝터의 종류와 냉매 충전량에 따라 실험적으로 관찰하고, 이를 적용한 냉동기가 실제 실용성이 있는지의 여부를 검토하였다.

2. 이젝터와 사용 냉매의 특성

2.1 이젝터와 분무의 특성

이제까지 냉동기의 팽창장치로 이젝터가 이용되었다고 보고된 문헌이나 기술 정보는 거의 없는 실정이다.

액체의 분무는 자동차 엔진에서 산업용 노에 이르기까지 연료 연소용 기기를 비롯하여 도장공장, 제철공장, 건조기 및 냉각장치, 제철공장, 농약살포 등 산업 현장에 폭넓게 이용되고 있으며 작용압력에 따라 고압분무와 저압분무로 구분한다. 냉동기에서 이젝터를 사용하는 경우, 이젝터의 슬레노이드에 인가하는 전압을 단속하거나 인가 전압의 펄스 폭(pulse width)을 조절하여 기존의 모세관이나 팽창밸브 방식보다 유량조절 및 자동제어가 용이한 특징이 있다.

이와 같은 이젝터의 종류에는 분사 노즐의 형상에 따라 홀형(hole type), 스로틀형(throttle type), 핀틀형(pintle type) 및 다공형(multi-hole type) 등이 있는데 분무를 이용하는 목적에 따라 선택한다. 본 연구에서 이용한 이젝터는 전자제어식 자동차 엔진(MPI engine)에 쓰이는 일반적인 형식으로서 3.5~4 bar의 비교적 저압으로도 충분히 미립화가 가능하다.

일반적으로 분무의 특성은 분무 액적(spray droplet)의 크기를 나타내는 미립도(atomization)와 분무가 도달하는 거리를 나타내는 관통도(penetration), 그리고 액적 크기의 급간 별 분포 정도를 나타내는 분산도(dispersion)로 표시한다.

분무의 대표적인 특성으로 미립도는 분무의 사용 용도에 따라 여러 가지 방법으로 나타내는데, 본 연구에서와 같이 물질전달이나 반응을 수반하는 경우에는 액적의 체적에 대한 표면적의 비로서 Sauter 평균 입경(Sauter Mean Diameter, SMD)을 사용한다.

Sauter 평균 입경을 정의에 따라 표시하면 다음의 식(1)과 같다.⁽⁷⁾

$$D_{32} = \frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i^2} \quad (1)$$

여기서, i 는 액적 크기의 급간을 나타내고 N_i 와 D_i 는 각각 급간 i 에서의 액적 수와 액적의 지

름이다.

본 연구에서 사용한 인젝터와 동일한 인젝터로 옥탄을 작동유체로 한 분무 구조에 관한 실험⁽⁸⁾에서 분무의 입경(SMD)은 약 50~70 μm이고, 분무의 퍼짐 정도를 나타내는 분무각은 약 23° 정도인 것으로 나타났다.

2.2 냉매의 특성

분무 입경과 분무각은 인젝터의 기하학적 형상과 작동유의 비중, 밀도, 점도 및 표면장력 등의 물성에 영향을 받는다.

작동유를 옥탄, 솔벤트 및 에탄올로 한 분무 실험⁽⁹⁾에서 점도와 표면장력이 작을수록 미립화가 잘 이루어지고 밀도가 높을수록 미립화는 잘 되지 않으나 관통도가 긴 특성이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 사용한 냉매는 Difluoro Chloro Methane(CHClF₂, R-22)으로 옥탄, 솔벤트, 에탄올에 비하여 표면장력은 크지만 점도와 밀도가 상대적으로 작기 때문에 미립화가 어느 정도는 잘 발달할 것으로 판단된다. 냉매 R-22와 비교 작동유체의 주요 물성은 Table 1과 같다.

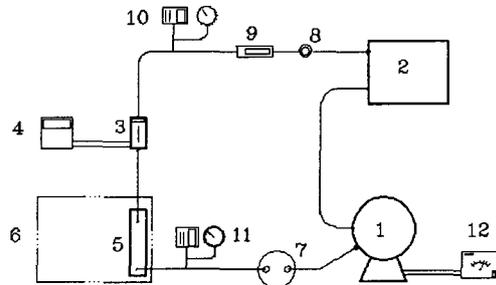
3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

실험에 사용된 냉동기는 증기 압축식으로 팽창장치로 인젝터를 사용하여 Fig. 1과 같이 장치를 구성하였다. 구성 요소는 압축기, 응축기, 증발기 및 팽창장치 등의 주요 장치와 드라이어, 수액기, 사이트글라스, 전자밸브, 온도조절기 및 과부하차단기 등의 부속 기기를 사용하였다.

Table 1 Physical properties of working fluid

Property	Octane	Solvent	Ethanol	R-22
Specific Gravity	0.692	0.772	0.789	1.215
Density (kg/m ³)	690	770	787	1191
Viscosity (×10 ⁻⁶ m ² /s)	1.253	1.210	1.508	0.149
Surface Tension (×10 ⁻⁶ kg/s)	2.653	2.901	2.270	7.653



- 1. Compressor 2. Condenser 3. Injector
- 4. Injector driver 5. Evaporator 6. Cold room
- 7. Accumulator 8. Sight glass 9. Filter drier
- 10. High pressure switch & gauge
- 11. Low pressure switch & gauge
- 12. Watt meter & power supply

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup.

압축기는 0.6마력의 밀폐형 왕복동식이고, 응축유닛의 응축기와 냉동실에 설치되는 증발기는 튜브에 핀이 부착된 형식으로 동일한 용량의 것을 사용하였다. 팽창장치는 앞서 설명한 바와 같이 본 연구에서 인젝터를 사용하였다. 인젝터 작동을 위하여 12 V DC 전원을 공급하는 장치를 제작하였고 전원장치는 공급전원이 냉동시스템의 조건에 알맞은 냉매 분사량을 인젝터에 인가되는 전압의 펄스 폭으로 조절할 수 있도록 회로를 구성하였다.

고압 및 저압 측의 압력을 검지하기 위하여 각 측에 압력계를 설치하고 배관 내의 압력 범위를 압력스위치로 조절할 수 있도록 하였다.

보다 정확한 냉동기의 설계 및 제작을 감안하면 구성 장치의 종류와 크기 등을 구체적으로 결정해야하나 단순하게 인젝터의 팽창장치로서의

Table 2 Specification of refrigerator apparatus

Apparatus	Type	Dimension
Compressor	Hermetic reciprocating type	0.6(HP)
Condenser	Fin & tube	375(kcal/hr)
Evaporator	Fin & tube	375(kcal/hr)
Expansion unit	Electro-magnetic injector	13~14.9(Ω)

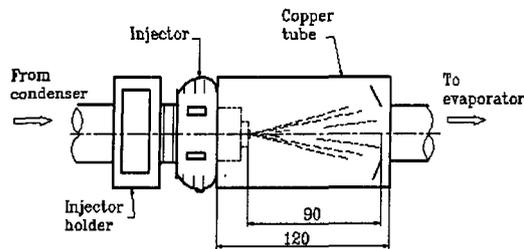


Fig. 2 Schematic diagram of spray injector and its assembly.

기능과 경향을 관찰하고자 하는 데 관점을 두어 정확도 면에서 다소 미흡한 부분이 있을 수 있다. 본 연구에서 채택한 주요 구성 부품의 제원을 표로 나타내면 Table 2와 같다.

인젝터와 분무용기는 저압의 포화 냉매액을 생성하는데 매우 중요하다. 분무 용기의 설계는 분무 형상에 관한 식(2)와 예비실험에서 얻은 경험을 기초로 하였다. 실험에서 선택한 인젝터 분무의 분무각(α)을 옥탄과 같다고 가정하여 23° 로 하고, 용기의 내경(Φ)을 36 mm로 하였을 때 인젝터에서 용기 끝단까지 이르는 분무도달거리(L)는 약 90 mm로 계산된다. 실제로 분사용기의 내부 길이는 이보다 약간 긴 112 mm로 하고 용기 전장은 120 mm로 하였다.

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{(\Phi/2)}{L} \quad (2)$$

Fig. 2는 인젝터와 분무용기를 개략적으로 도시한 것이다. 용기의 입구 측에는 인젝터를 용이하게 고정할 수 있도록 인젝터 홀더를 부착하고 기밀 유지를 위하여 O-ring과 테프론 테이프를 사용하였다. 출구 측에는 분무 액적이 증발기로의 원만한 순환이 가능하도록 내면을 반구형으로 가공한 엔드 캡을 은납 용접하여 용기에 부착하였다.

3.2 실험방법

냉동기는 일반적인 증기압축식으로 팽창장치로 실험에서 선택한 인젝터는 Table 3에 나타난 바와 같이 4가지 종류이다.

유량은 분사압력 3.9 kg/cm^2 에서의 작동유체 가

Table 3 Flowrate characteristics of using injector and its spray pattern

Injector	Type	Flowrate(CCM)	Spray pattern
1	Pintle	150	Solid cone
2	"	220	"
3	"	270	"
4	Multi-hole	650	Liquid column

솔린에 대한 값으로 분당 체적 유량(cubic centimeter per minutes, CCM)이다.

냉동기의 성능을 운전압력에 따라 비교하기 위하여 냉매 주입량을 가감하며 여러 가지 조건에 대하여 고압과 저압, 그리고 냉동실 내의 온도 및 소비전력을 측정하였다.

냉동기의 성적계수를 비교하기 위하여 압축기, 응축기, 팽창장치 및 증발기의 입출구 온도를 측정하고, 과열도(degree of super heated, DSH)와 과냉도(degree of sub cooled, DSC)를 구하였다.

각 조건에 대하여 냉동실 내의 냉동효과를 관찰하기 위하여 200 mL의 물을 냉동실에 넣고 30분 후에 물의 양을 측정하여 결빙된 얼음의 양을 구하였다. 모든 실험은 실험 오차를 줄이기 위하여 동일 조건에 대하여 3~4회 정도 측정하고, 그 평균값을 데이터로 취하였다.

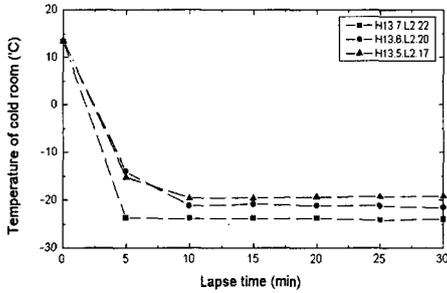
4. 결과 및 고찰

4.1 냉동실내의 온도 변화

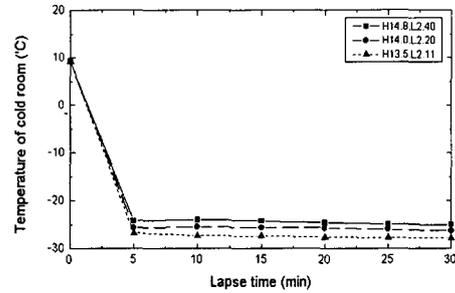
운전 시작 후 30분 동안 냉동실 내의 측정 온도 값을 도표로 나타내면 Fig. 3과 같다. 그림의 (a), (b), (c) 및 (d)는 각각 인젝터 1, 2, 3 및 4를 사용하였을 때의 결과로서 전반적으로 압력이 높은 경우가 낮은 경우에 비하여 낮은 온도 분포를 보였다.

냉동실 내의 온도는 인젝터 2가 가장 낮은 온도를 보인데 대하여, 고압과 고압이 다소 낮은 인젝터 1이나 이보다 저압이 약간 증가한 인젝터 3의 경우의 온도는 더 높게 나타나고 시험 인젝터 중 고압이 가장 높고 저압은 가장 낮은 인젝터 4의 경우에는 가장 높은 온도 분포를 보였다.

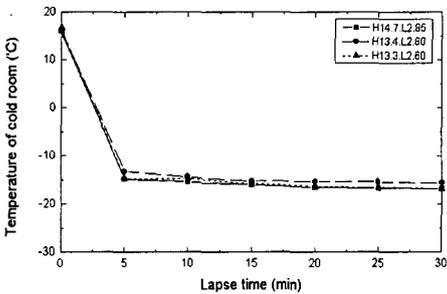
이와 같은 결과는 첫째, 고·저압의 압력 차이가 클수록 압축비가 증가하여 냉매 유량이 감소



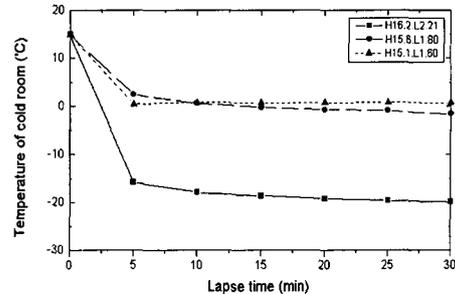
(a) Injector 1



(b) Injector 2



(c) Injector 3



(d) Injector 4

Fig. 3 Temperature change in the cold room.

하기 때문이며, 둘째, 인젝터 4와 같이 분사유량 (CCM)이 크더라도 분무의 질이 나쁘면 냉동기의 냉동효과가 저하하는 원인이 되기 때문인 것으로 판단된다. 실제로 가솔린을 작동유체로 한 자유분무 실험에서 인젝터 1, 2, 3의 분무 형태는 중심 콘(solid cone) 형태로서 미립화가 비교적 잘 발달하였으나 인젝터 4는 액주상의 형태로서 미립화가 잘 발달하지 않는 거동을 보였다.

4.2 성적계수 비교

증기 압축식 냉동기의 표준 냉동 사이클은 증발온도를 -15°C , 응축온도를 30°C 로 하고 과열도를 5°C 로 정하고 있다.⁽¹⁰⁾ 이 과정을 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같으며 응축온도와 증발온도에 해당하는 고압(P_H)과 저압(P_L)을 대략적으로 나타내면 $12.156(\text{kg}/\text{cm}^2\text{a})$ 및 $3.022(\text{kg}/\text{cm}^2\text{a})$ 이고, 과열도 5°C 를 고려하였을 때의 성적계수는 4.587 정도이다.

Table 4에 각 인젝터의 조건에 따른 고·저압과 성적계수를 나타내었다. 냉동효과는 증발기

입구부터 출구까지의 엔탈피 차로 구하고 압축일은 압축기 입구부터 출구까지의 엔탈피 차로 구하였다. 인젝터 1을 제외한 인젝터 2, 3, 4의 대부분 조건에서 표준 냉동 사이클의 성적계수를 상회하였다. 인젝터의 유량에 따라서는 유량이 많을수록 높은 성적계수를 가지며 동일한 인젝터

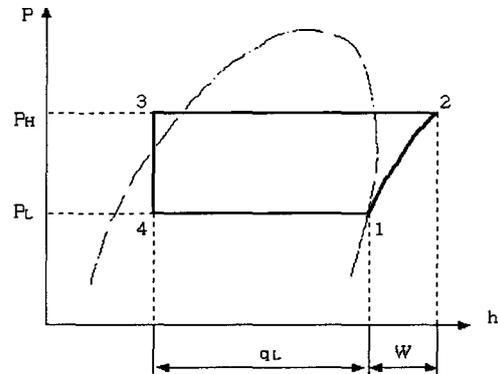


Fig. 4 Schematic P-h diagram of standard refrigerating cycle.

Table 4 Comparison of COP on each cycle

Injector-condition	P _H (bara)	P _L (bara)	q _L (kcal/kg)	W (kcal/kg)	COP
1-1	13.7	2.20	41.6	11.15	3.731
1-2	13.6	2.20	40.5	10.50	3.857
1-3	13.5	2.20	39.9	11.53	3.531
2-1	14.8	2.40	44.0	6.40	6.875
2-2	14.0	2.20	44.7	7.72	5.790
2-3	13.5	2.11	44.4	8.60	5.163
3-1	14.7	2.85	41.0	5.40	7.592
3-2	13.4	2.80	41.0	7.35	5.578
3-3	13.3	2.60	40.9	7.95	5.145
4-1	16.2	2.21	43.0	3.50	12.286
4-2	15.6	1.80	43.0	4.40	9.773
4-3	15.1	1.60	44.5	4.78	9.310

에 대하여는 냉매 주입량이 많아 압력이 높은 경우에 보다 높은 성적계수를 갖는 경향을 보였다.

성적계수를 Fig. 3의 냉동실내의 온도와 비교하면 성적계수가 높다고 해서 반드시 냉동효과가 뛰어나지는 않는 것으로 나타났다. 특히, 냉매 유량이 상대적으로 많은 인젝터 4의 경우에는 분무의 대부분이 분무용기에 액체 상태로 존재하고 실제로 순환되는 냉매는 일부분의 분무와 용기를 넘친 액체일 것으로 생각된다. 이러한 현상은 증발기에서는 포화상태의 냉매가 일찍 증발하여 출구 온도가 높아져 이론 성적계수는 높으나 실제 냉동 효과는 떨어지는 결과를 초래한다.

Table 5는 각 실험에서의 과열도(DSH)와 과냉도(DSC)를 나타낸 것이다. 과열도는 인젝터 2와 4의 경우가 1과 3의 경우보다 상대적으로 높고, 과냉도는 인젝터 2, 4, 3, 1의 순으로 낮아져 전반적으로 인젝터 2와 4의 경우에 높은 과열도와 과냉도를 보였다. 인젝터 1이나 2와 같이 분사 유량이 작은 경우에도 비교적 높은 과열도를 가지는 이유는 증발기에서 포화 증기가 급격히 증발하여 드라이 아웃되어 증발기 출구에 이르러서는 과열상태로 냉매의 온도가 높아지는 것으로 생각된다. 또한 전체 시험 인젝터에서 과냉도가 표준 냉동 사이클에서 정한 5℃보다 작게는 3.8~8.5℃(인젝터 1)에서 크게는 16~19℃(인젝터 2)에 이르기까지 큰 값을 보였는데 이것은 분무 용기에서 이미 일부분의 포화 냉매가 증발하기 때문으로 생각된다.

따라서 보다 효율적인 냉동기를 만들기 위해서

Table 5 Comparison of DSH and DSC

Injector	Condition	DSH(°C)	DSC(°C)
1	1	1.5	13.5
	2	3.0	10.0
	3	3.5	8.8
2	1	11.0	24.0
	2	12.5	22.0
	3	10.5	21.0
3	1	1.0	14.0
	2	0.0	11.0
	3	5.0	10.0
4	1	33.3	19.0
	2	40.0	18.0
	3	50.0	17.0

는 과열도를 낮추기 위하여 분사유량이 적절하고 미립화가 양호한 인젝터를 냉매 순환량에 상당하는 수만큼 병렬로 연결하는 방법과 분무 용기의 형상과 크기를 최적화하여 설계하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

4.3 결빙 효과 및 동력소비율

각 시스템의 냉동효과를 알아보기 위하여 냉동실에 물 200 mL를 넣고 30분 후에 결빙된 얼음의 양을 측정하였다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 결빙된 물의 양은 Fig. 3의 냉동실 내의 온도 분포와 잘 일치하였다. 대체적으로 인젝터 1이나 4와 같이 유량이 적거나 많은 경우에는 압력이 높은 조건에서 결빙률이 높았으며, 인젝터 2나 3과 같이 보통의 유량을 갖는 경우에는 압력이 높거나 낮은 조건

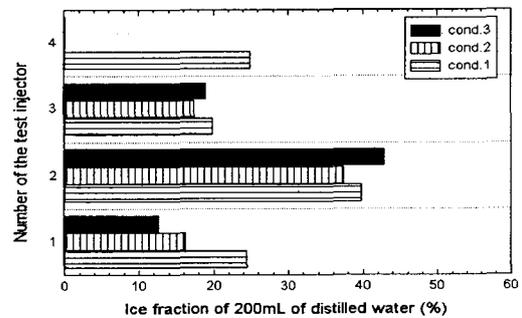


Fig. 5 Fraction of frozen ice on the refrigerant charging condition.

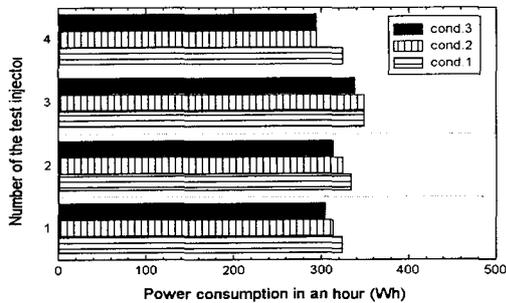


Fig. 6 Comparison of power consumption.

에서 높은 결빙률을 보였다. 인젝터 2의 결빙률이 높는데 대하여 1과 3, 그리고 4순으로 낮았다.

한편, 시스템이 소비한 전력량을 전력계로 측정하여 나타내면 Fig. 6과 같다. 대체로 인젝터 4를 제외하고는 분사 유량이 많을수록, 그리고 고·저압의 압력이 높을수록 소비 전력량도 증가하는 경향을 보였다. 이것은 흡입압력이 감소하였을 때와 같이 냉동량에 대하여 압축일량은 증가하나 압축기의 냉동능력이 감소하기 때문에 결국 전동기에 가해지는 부하는 흡입압력의 감소에 따라 감소함을 나타낸다.

5. 결론

증기압축식 냉동기의 팽창장치로서 인젝터를 사용하여 그 특성을 실험적으로 관찰한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 냉동실 내의 온도는 비교적 적은 유량의 인젝터(인젝터 2 및 1)로부터 많은 유량의 인젝터(인젝터 3 및 4)의 순으로 온도가 높아져 냉동기의 크기 및 능력에 따라 적절한 인젝터를 선택하는 것이 중요하며 냉동기의 팽창장치로서 사용이 가능함을 확인하였다.

(2) 성적계수는 표준 냉동 사이클의 성적계수보다 대체로 높았으나 실제 냉동효과는 분무의 형태와 질에 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히, 냉매 유량이 가장 크고 분무형태가 액주형인 인젝터 4는 과냉도와 과열도가 커서 이론 성적계수는 높았으나 냉동효과는 매우 낮게 나타났다.

(3) 결빙률은 냉매 주입량에 따라 결정되며 인젝터 2가 가장 높았고, 시스템에서 소비한 전력량은 분사 유량이 많을수록, 그리고 고·저압의 압력이 높을수록 증가하는 경향을 보였다.

참고문헌

1. Sun, D. W. and Eames, I. W., 1995, Recent developments in the design theories and applications of ejectors, J. of the Institute of Energy, Vol. 68, pp. 65-79.
2. Buck, R. J., Cummings, L. D., Domanski, P. and Hargraves, D. P., 1994, ASHRAE Handbook, Refrigeration Systems and Applications, ASHRAE, Chapter 44.21-44.30.
3. Mitsui, M., 1987, Improvement of refrigerant flow control method in automotive air conditioners, SAE Paper, No. 870029.
4. Hewitt, N., McMullan, J. and Murphy, N., 1995, Comparison of expansion valve performance, Int. J. of Energy Research, Vol. 9, No. 4, pp. 347-359.
5. He, X., Liu, S., Asada, H. and Itoh, H., 1998, Multi-variable control of vapour compression systems, J. of HVAC&R Research, Vol. 9, No. 4, pp. 205-229.
6. Park, B. S. and Han, C. S., 1999, Development of program for TXV and capillary tube performance simulation, Proceedings of the SAREK '99 summer annual conferences, Vol. III, pp. 1060-1070.
7. Cho, B. O., 1996, A study on the fuel spray characteristics and mixture formation mechanism in an fuel injection type gasoline engine, Ph.D. thesis, Hanyang University, Seoul, Korea. pp. 18-20.
8. Cho, B. O., Lee, C. S. and Im, K. S., 1995, An experimental study on the spray structure of a gasoline engine injector, Korean J. of SAE, Vol. 3, No. 1, pp. 118-128.
9. Lee, C. S., Lee, K. H., Cho, B. O. and Oh, K. S., 1996, A study on the secondary atomization characteristics of liquid fuel in the perforated throttle valve, J. of ILASS-Korea, Vol. 1, No. 1, pp. 55-62.
10. Hong, S. E., Refrigerating Engineering, 1994, 2nd ed., Sejin Publishing Company, Seoul, Korea, p. 149.