

흡수식 냉동기용 엘리미네이터의 압력손실 및 액적유입 특성

정 시 영[†], 류 진 상^{*}, 이 상 수^{**}, 이 정 주^{**}

서강대학교 기계공학과, *캐리어(주), **서강대학교 대학원

Pressure Drop and Refrigerant-Entrainment Characteristics of the Eliminators used in Absorption Chillers

S. Jeong[†], J. S. Ryu^{*}, S. S. Lee^{**}, J. J. Lee^{**}

Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

^{*}Carrier Ltd, 19-7 Nonhyun-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-010, Korea

^{**}Graduate School of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

(Received August 1, 2002; revision received December 18, 2003)

ABSTRACT: The performance of two vertical-blade eliminators (V1, V2) and two horizontal-blade ones (H1, H2) for absorption chillers were tested in terms of pressure drop and refrigerant entrainment. The test was carried out using a wind tunnel with a cross section of 300 mm×300 mm. The pressure drop of four eliminators tested was found to be in the range of 1.0~2.7 mm H₂O at the face velocity of 2 m/s. In the refrigerant entrainment test the vertical-blade eliminators showed much better performance than the horizontal-blade ones. The horizontal-blade eliminators showed satisfactory results at the air velocity of 2 m/s but exceeded the limit value at 3 m/s. Since the cooling capacity of a machine is lowered by about 2.5% at the pressure drop of 1 mm H₂O, more researches are required to reduce the pressure drop in the eliminator.

Key words: Eliminator(엘리미네이터), Pressure drop(압력강하), Refrigerant entrainment(냉매유입)

기 호 설 명

A : 단면적 [m²]
 h : 엔탈피 [kJ/kg]
 h_{fg} : 증발엔탈피 [kJ/kg]
 \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
 P : 압력 [Pa or mmH₂O]
 \dot{Q} : 열전달률 [kW]
 ΔP : 압력손실 [Pa or mmH₂O]

V : 속도 [m/s]

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m³]
 μ : 점성계수 [kg/m s]
 ν : 동점성계수 [m²/s]

하첨자

a : 공기
 El : 엘리미네이터
 Eva : 증발기
 w : 냉매증기

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-705-8633; fax: +82-2-712-0799

E-mail address: syjeong@sogang.ac.kr

1. 서 론

흡수식 냉동기에서는 증발기에서 증발된 냉매 증기는 흡수기로 흘러간다. 이 과정에서 냉매액적이 흡수기 측으로 유입되거나 용액이 증발기 측으로 유입되는 것을 방지하기 위해서 증발기와 흡수기 사이에 엘리미네이터가 설치된다.

증발기와 흡수기 사이의 엘리미네이터의 성능은 액적유입의 차단 정도로 판단할 수 있는데 성능을 평가함에 있어서 액적유입 정도와 함께 고려해야 할 것은 엘리미네이터의 압력손실 특성이다. 냉매증기가 엘리미네이터를 통과하면서 유동에 의한 압력손실이 발생하는데 압력손실이 증가하면 흡수기의 성능이 감소하게 되므로 엘리미네이터에서는 가능한 압력손실을 줄이면서 액적의 유입을 차단해야 된다.

엘리미네이터의 설계는 지금까지 각 흡수식 냉동기 제조업체에서 경험적인 방법에 의하여 실시되어 왔고 성능에 대한 객관적 비교, 분석이 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 현재 사용되고 있거나 새로 개발된 4종류의 엘리미네이터에 대한 압력손실 및 냉매액적 유입량에 대한 실험을 실시하여 이들의 성능을 비교 평가하고, 엘리미네이터의 성능개선 방법을 제안하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 유동의 상사성

증발기에서 흡수기로 들어가는 냉매는 약 5°C의 포화수증기(포화압력 : 872 Pa)로서 공기에 비하여 밀도가 대단히 낮다. 정확한 압력손실과 냉매유입량을 실험하기 위해서는 실제의 흡수식 냉동기를 구성하여 이를 측정해야 하지만 장치의 구성이 너무 복잡해지기 때문에 일반적으로 대기압 하의 공기를 사용한 상사실험을 실시하여 결과를 예측한다.^(1,2) 엘리미네이터를 지나는 유동과정에서 압력손실과 냉매의 유입에 가장 크게 영향을 미치는 것은 유동하는 기체의 운동량이므로 두 경우에 대하여 운동량을 같게 하면 유동의 상사성이 성립된다.

$$\rho_{ww} V_{ww}^2 = \rho_a V_a^2 \quad (1)$$

Table 1 Thermodynamic properties of water vapor and air

Property	Unit	Saturated steam at 5°C	Air 20°C 1 atm
ρ	kg/m ³	6.79×10^{-3}	1.188
μ	kg/m · s	9.34×10^{-6}	18.24×10^{-6}
ν	m ² /s	1.37×10^{-3}	15.35×10^{-6}
h_{fg}	kJ/kg	2424	

$$V_a = \sqrt{\frac{\rho_{ww}}{\rho_a}} V_{ww} \quad (2)$$

냉매증기의 속도는 증발기에서의 에너지 평형식으로부터

$$V_{ww} = \frac{Q_{Eva}}{\rho_{ww} \cdot A_{El} \cdot h_{fg}} \quad (3)$$

로 주어진다. 여기서 ρ_{ww} , V_{ww} , ρ_a , V_a 은 각각 냉매와 공기의 밀도와 속도를 나타내며, A_{El} 은 엘리미네이터의 단면적을 나타낸다. 설계조건에서의 냉매증기와 공기의 물성치는 Table 1과 같다.

캐리어(주)의 자료에 의하면 180 RT 기기의 경우 엘리미네이터의 단면적은 1.884 m²이다. 이러한 조건을 식(2)와 식(3)에 대입하면 설계조건에서의 냉매증기속도는 $V_{ww}=20.4$ m/s이고 이에 상응하는 공기의 속도는 $V_a=1.54$ m/s이다. 그러므로 본 실험에서는 공기의 속도를 0.5~4 m/s 범위에서 변화시키며 실험을 수행하였다.

2.2 실험장치의 구성

본 실험에서는 두 종류의 수직형 엘리미네이터와 두 종류의 수평형 엘리미네이터의 성능실험을 실시하였다. Fig. 1에 표시된 것처럼 수직형은 블레이드가 수직으로 배치되어 있고 수평형은 블레이드가 수평으로 배치되어 있다. 수직형과 수평형은 액적차단방식이 상이하다. 수평형에서는 엘리미네이터 블레이드의 앞면(증발기측)은 엘리미네이터의 액적을 차단하고 뒷면(흡수기측)은 흡수기에서 액적유입을 차단한다. 수평형에서는 증발기에서 블레이드 뒷면으로 넘어간 냉매는 용액에 회석되며 손실로 나타나게 된다. 수직형은 보

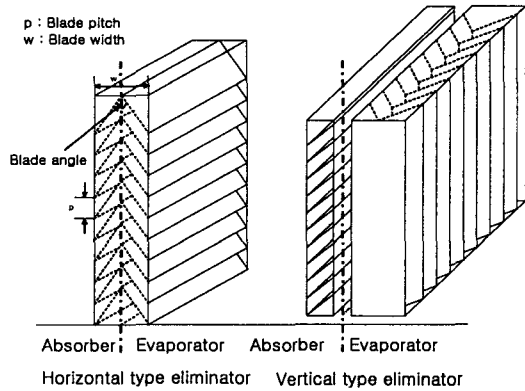


Fig. 1 Horizontal and vertical type eliminator.

조 엘리미네이터(루버)와 함께 사용되며 엘리미네이터는 증발기의 액적차단 역할을 하고 보조 엘리미네이터는 흡수기 용액의 유입을 차단한다.

본 실험에서 사용된 엘리미네이터의 사양이 Table 2에 표시되어 있다. 각 엘리미네이터의 유효 단면 크기는 풍동의 출구 크기와 같은 300×300 mm이다.

실험에 사용된 엘리미네이터 중에서 V1과 H2는 현재 흡수식 냉동기에서 사용되고 있는 형상

이며, V2와 H1은 V1에서 일부 후크가 제거된 형상이다. 블레이드에서 후크는 액적이 흘러가지 못하게 차단하는 역할을 한다.

본 실험에는 풍동 이외에 속도의 측정을 위한 피토티브와 열선풍속계, 압력 차이를 측정하기 위해 정밀압력계를 사용하였으며 냉매유입량 실험 시에는 물을 공급하는 펌프와 물 공급유량을 측정하기 위한 유량계를 사용하였다. 본 실험에 사용한 장치 및 측정기기의 사양이 Table 3에 요약되어 있다.

2.2.1 압력손실 실험장치 및 방법

Fig. 2 (a)에 표시된 것과 같은 아크릴로 가공된 세트를 풍동 출구에 부착, 설치하여 엘리미네이터 전후에서의 정압손실을 측정하였다. 풍동 출구 직후에는 공기의 유속을 측정하기 위한 연결부(A)를 두었다. 연결부 상부에는 엘리미네이터로 들어가는 전면풍속을 측정하기 위해 피토티브와 열선풍속계를 설치하기 위한 구멍이 가공되어 있으며, 양 측면에는 정압측정을 위한 구멍이 가공되어 있다.

엘리미네이터가 설치되는 카트리지 부분(B)은

Table 2 Eliminators tested in the present study

	V1	V2	H1	H2	Louver
Shape					
Blade shape					
Type	Vertical	Vertical	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Blade number	22	22	22	12	20
Blade pitch (mm)	15	15	15	30	15
Blade width (mm)	60	60	60	72	25
Blade angle (°)	104	104	104	90	
Hook number	4	2	1	1	

Table 3 Specifications of the experimental apparatus

Model	Wind tunnel	Mano meter	Pitot tube	Anemometer	Pump	Flow meter
	SaeWon Blow down type	Dwyer model 1430	Dwyer 167-18	Testo 400	LG PW-K134MA	Dwyer Visi-Float
Spec.	Size 300×300 mm Velocity 0~40 m/s Velocity deviation within 1%	Range 0~50 mmAq Accuracy 0.01 mmAq	Diameter 5/16" Insertion length 18"	Range 0~20 m/s Accuracy ±0.2+3% of max. vel.	Range max. 12 L/min	Range 0~20 L/min Accuracy ±2% full scale

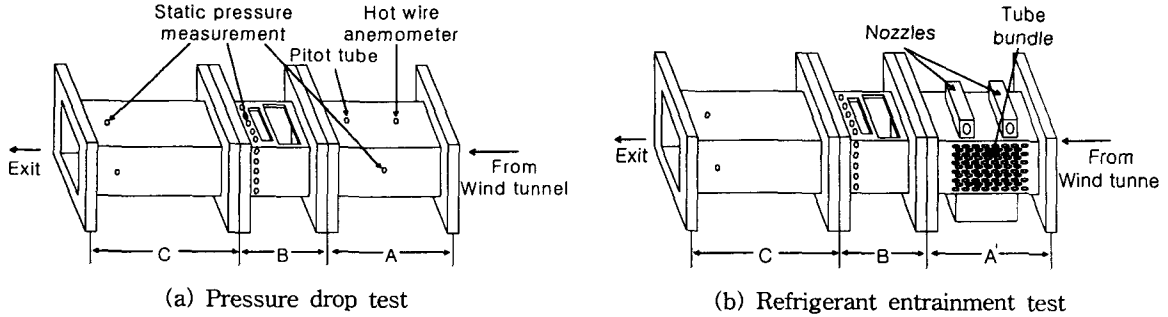


Fig. 2 Experimental set-up.

엘리미네이터와 루버(보조 엘리미네이터)의 탈착이 가능하도록 상부가 개방되어 있다. 엘리미네이터 직후에는 상하좌우의 각 면에 5개씩 총 20개의 압력측정 구멍이 설치되어 있다.

엘리미네이터를 통과한 공기는 출구 덕트(C)를 지난다. 이 부분을 지나면서 공기는 유속이 다소 균일해지고 약간의 압력회복이 일어나는 경우도 있기 때문에 덕트 출구부의 정압은 엘리미네이터 직후의 정압과 약간 다른 값을 나타낸다. 이러한 이유에서 덕트 출구부에도 정압을 측정하기 위한 구멍이 상하좌우에 가공되어 있다.

압력손실을 측정하기 전에 피토포관과 정밀압력계를 이용하여 속도를 계산하는 방법과 열선풍속계를 통하여 풍속을 측정하는 방법에 대한 검증을 실시하였다. 두 가지 방법으로 속도를 측정할 결과 두 방법은 1m/s 이하의 저속 영역을 제외하고는 5% 이내에서 잘 일치하였다. 풍동 출구의 풍속의 균일도는 약 2% 이내의 편차를 보였다. 이와 같이 열선 풍속계의 속도를 검증한 후 속도의 측정은 실험의 편리를 위하여 열선풍속계를 사용하여 측정하였다.

실험시에는 엘리미네이터를 끼운 다음 개방부는 테이프를 사용하여 완전히 밀봉하였다. 엘리미네이터 직후에 설치된 구멍을 이용하여 정압을

측정하여 보았다. 측정결과, 동일한 면에 위치한 5개의 값은 서로 차이가 크지 않았지만 상하좌우의 값은 상당히 차이가 났다. 이처럼 각 면에서의 정압은 차이가 나므로 실험에서는 각 면의 중간에 있는 압력 구멍 4개를 튜브로 서로 연결하여 평균치를 측정하였다.

압력손실(정압손실)은 엘리미네이터 전후의 정압 차이인데 Fig.3에 표시된 것처럼 저압측의 위치를 엘리미네이터 직후로 한 경우(ΔP_1)와 덕트의 출구부로 한 경우(ΔP_2) 두 경우에 대하여 정밀압력계로 측정하였다.

덕트 출구부에서의 정압은 상하 좌우면에서 거의 편차가 없었다.

압력손실 실험에서는 V1과 V2는 뒤에 보조 엘리미네이터를 같이 설치하여 측정하였으며 H1과 H2는 보조 엘리미네이터 없이 측정하였다.

2.2.2 냉매유입량 측정 실험장치

냉매유입량을 측정하기 위한 실험장치는 Fig. 2의 (b)에 표시된 것처럼 구성하였다. 엘리미네이터 카트리리지부(B)와 출구 덕트부(C)는 압력손실 실험장치와 동일하며 연결부분(A)을 노즐과 동관이 설치된 증발기 부분(A')으로 교체하여 구성하였다. 압력손실 실험장치와 마찬가지로 연결부위에 엘리미네이터를 통과하는 공기의 유속을 측정하기 위해 상단에 열선풍속계를 설치할 수 있는 구멍이 나 있다. 동관은 Fig.4와 같은 형태로 배치되어 있으며 배치간격은 실제 흡수식 냉동기 제품에 사용하는 것과 동일하다.

시험부에 물을 순환시키기 위하여 Fig.5와 같은 유로를 구성하였다. 동관 위 부분에는 6개의 노즐을 설치하여 동관으로 물이 분사되도록 하였으며 노즐이 분사하는 방향의 양쪽에는 평판형의

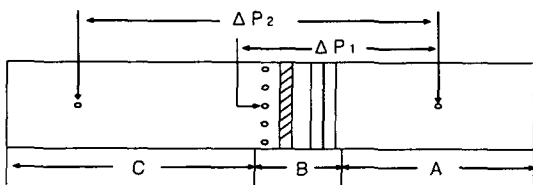


Fig. 3 Locations for the pressure drop measurement.

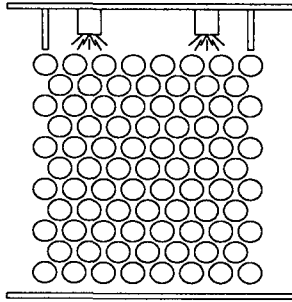


Fig. 4 Tube arrangement in the evaporator.

차단판을 설치하였다(Fig. 4).

분사되는 물의 유량을 측정하기 위하여 펌프와 분배기 사이에 유량계를 설치하였다.

속도의 측정은 풍동 연결 부위에 열선풍속계를 설치하여 측정하였으나 열선풍속계의 센서가 물에 접촉하면 사용할 수 없는 관계로 물은 순환시키지 않은 상태에서 풍속을 조절하여 원하는 풍속에 도달하면 그때의 풍동 회전수를 유지하면서 물을 순환시켰다. 본 실험에서는 각각의 엘리미네이터에 대하여 기준 조건에 가까운 2m/s와 극단적인 경우로 생각할 수 있는 3m/s에 대하여 실험을 실시하였다.

압력손실 실험과 달리 냉매유입량 실험에서는 V1과 V2 후방에 보조 엘리미네이터를 설치하지 않고 실험을 실시하였다. 물의 유량은 11~11.2 L/min 범위에서 실험을 실시하였다. 냉매유입량은 일정시간 동안 풍동과 냉매펌프를 운전한 후 엘리미네이터와 덕트에 부착된 물을 미리 무게를 측정해 둔 흡수지로 닦아내어 무게차이를 측정함으로써 계산하였다. 이 과정에서 중요한 것은 실험시간을 엘리미네이터 후면에 맺히는 물방울이 아래로 떨어지지 않는 범위 내에서 수행하는 것이다. 몇 차례 예비실험 결과 풍속이 2m/s인 경우 5분, 3m/s인 경우 2분이 데이터 취득에 적합한 것으로 판단되었다. 닦아낸 물이 증발하는 것을 방지하기 위하여 흡수지는 밀폐가 잘되는 비닐주머니에 밀봉하여 무게측정시까지 보관하였다.

수평형과 특성상 H2와 H1에서는 냉매유입량은 엘리미네이터의 뒷부분에 젖어 있는 물방울의 양(m1)과 덕트로 넘어간 물의 양(m2)의 합으로 표시된다. 그러나 수직형인 V1과 V2의 경우는 엘리미네이터에 묻은 물은 아래로 흘러 증발기로 돌아가기 때문에 덕트로 유입된 물의 양(m2)만이 냉매유입량이다.

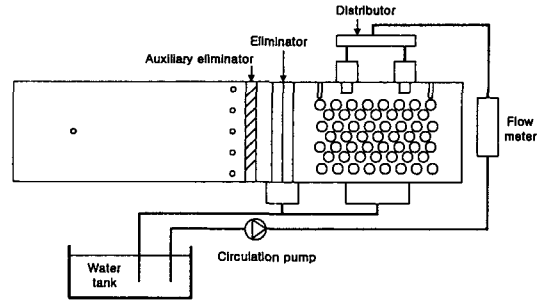


Fig. 5 Refrigerant circulation circuit.

3. 실험결과

3.1 압력손실

Fig. 6에 표시된 압력손실을 살펴보면 압력손실의 크기는 두 경우 모두 루버를 부착한 V1(Table 2 참조)이 가장 크게 나타났다. 이것은 엘리미네이터에서 발생하는 압력손실에 루버에서의 압력손실이 추가되었기 때문에 나타나는 당연한 결과로 생각된다. V1에서 2개의 후크를 제거한 V2는 V1보다 오히려 압력손실이 약간 크게 나타났다. 이로부터 제거된 2개의 후크는 냉매증기의 유동에 큰 영향을 미치지 못한다는 것과 압력손실을 줄이기 위해서는 저항을 크게 발생시키는 후크를 제거해야 함을 알 수 있었다. H1은 V2에서 끝부분의 후크를 제거한 것인데 H1은 V1과 V2보다 압력손실이 상당히 감소되었다. 이상의 두 결과로부터 블레이드를 설계함에 있어서 후크는 블레이드 면에 부착되어 흐르는 액체를 차단할 수 있는 적절한 위치에 배치해야 함을 알 수 있었다. 수평형의 경우에는 비산된 액적이 주로 블레이드의 윗면에 부착되어 흐르기 때문에 H1과 같이 꼭지점에 하나의 후크만 설치해도 액적을 효과적으로 차단할 수 있다. 그러므로 수평형의 경우에는 압력손실의 측면에서 2개 이상의 후크는 바람직하지 않은 것으로 판단된다. 블레이드 수가 적으며 사잇각이 작은 H2의 경우 H1보다 압력손실이 상당히 크게 나타났다. 이러한 결과는 블레이드의 압력손실이 표면에서의 마찰에 의한 것보다는 박리 등의 유동형상에 의해 결정된다는 것을 의미한다. 사잇각이 작아질수록 유동 박리현상이 심해지고 이에 따라 압력손실이 증가한다. 표면에서의 점성에 의한 마찰손실의 영향은 크지 않으므로 블레이드의 개수와 폭은 압력손실에 큰

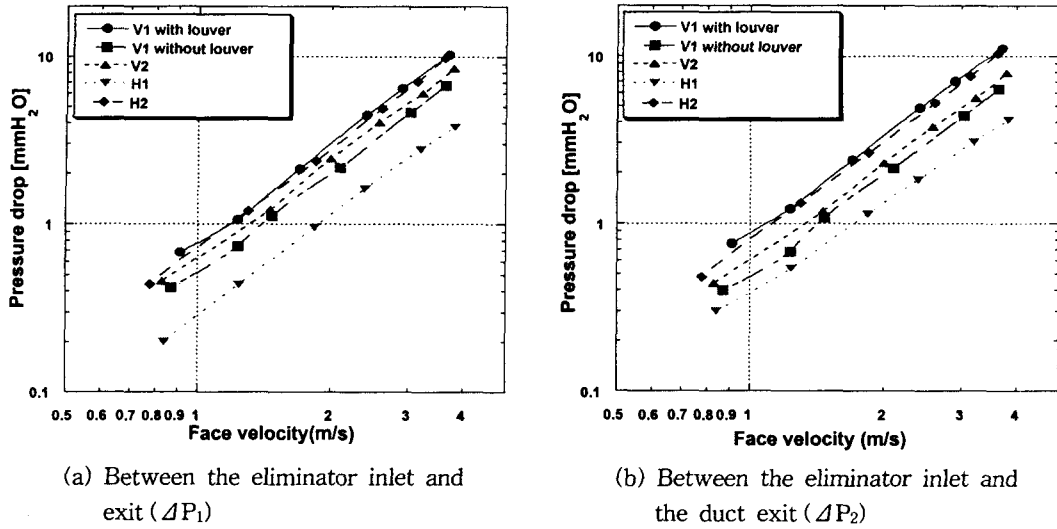


Fig. 6 Pressure drop.

영향이 없을 것으로 판단된다. Fig. 6의 두 그림을 비교하여 보면 그래프의 형태와 압력손실의 차이는 크게 다르지 않게 나타났다.

모든 엘리미네이터에서의 압력손실은 식(4)과 같은 형태로 잘 표시할 수 있으며 Table 4는 이렇게 표시된 식의 계수를 나타낸 것이다.

$$\Delta P = CV^n \quad [\Delta P : \text{mmH}_2\text{O} \quad V : \text{m/s}] \quad (4)$$

여기서 ΔP 는 압력손실을 나타내며, V 는 냉매증기의 풍속을 나타낸다.

엘리미네이터의 압력손실은 흡수기의 흡수 성능에 직접 영향을 주는데 Fig. 7에 압력손실에 의한 흡수량의 감소를 증발온도 5℃, 농도폭 4%(62 → 58%)인 경우에 대하여 계산하여 보았다.

압력손실이 전혀 없는 경우에 62%에서 58%까지 흡수가 되는 데 비하여 5mmH₂O의 압력손실이 있으면 58.48%까지 흡수가 되기 때문에 냉매 증발량(또는 냉동용량) 87.3%로 감소하게 된다. 냉동용량의 감소를 선형적으로 생각하면 2.54%/mmH₂O이라는 감소율이므로 엘리미네이터 설계

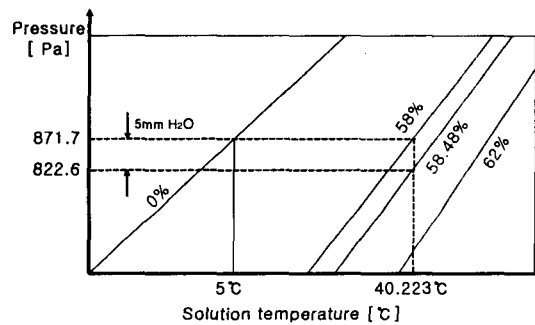


Fig. 7 Cooling capacity loss due to the pressure drop of 5 mmH₂O.

에서 압력손실을 줄이는 것이 대단히 중요하다.

3.2 냉매유입량의 측정

2m/s와 3m/s의 속도에서의 냉매유입량이 Fig. 8에 표시되어 있다.

3m/s의 경우 2m/s에 비하여 10배 이상 유입량이 증가하는 것을 알 수 있으며 두 속도에서 모두 냉매유입량의 크기는 H1>H2>V1>V2의 순

Table 4 Coefficients for the pressure drop equation (Eq. 4)

	V1+루버		V1		H2		V2		H1	
	C	n	C	n	C	n	C	n	C	n
ΔP_1	0.762	1.981	0.524	1.956	0.710	2.013	0.634	1.931	0.288	1.946
ΔP_2	0.867	1.947	0.497	1.959	0.781	1.990	0.607	1.907	0.392	1.756

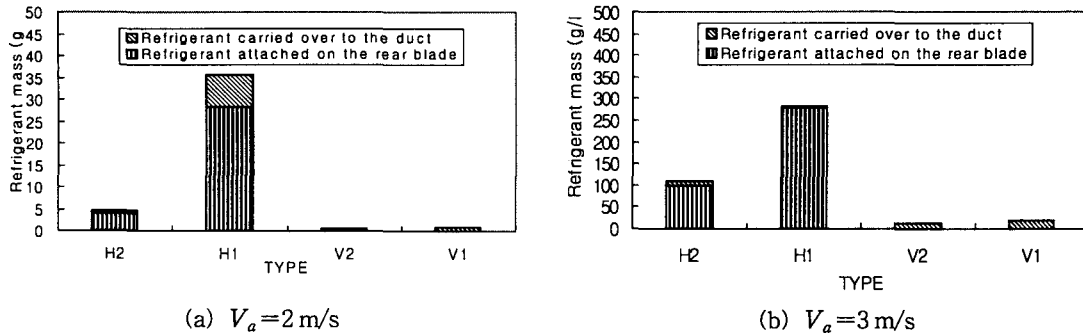


Fig. 8 Rate of refrigerant entrainment.

서로 나타났다. 수직형인 V1과 V2의 경우는 냉매유입량이 수평형보다 상당히 작게 나타났으며, H1과 H2의 경우에는 냉매유입량의 대부분이 엘리미네이터의 뒷면에 묻은 물(m1)에 의한 것으로 나타났다.

180RT의 캐리어사 제품의 엘리미네이터 단면적을 고려하면 본 엘리미네이터는 약 8.6RT에 해당하고 냉매유입 허용치를 냉매증발량의 0.3%라 하면 본 실험에서의 허용치는 133 g/h 정도이다. 이 값을 기준으로 생각하면 수직형의 경우는 냉매유입량이 설계풍속보다 훨씬 높은 3m/s에서도 허용치에 훨씬 미달하는 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 수평형의 경우에는 3m/s에서는 허용치를 초과하는 문제가 생긴다.

4. 결 론

본 연구에서는 4종의 엘리미네이터에 대하여 압력손실 및 냉매유입량 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압력손실은 2m/s의 전면풍속에서 1.0~2.7 mmH₂O 정도로 나타났으며, 블레이드 표면의 마찰손실보다는 박리 등에 의한 유동형상이 지배적인 것으로 나타났다. 후크의 수가 1개인 H1이 가장 작은 압력손실을 나타냈으며, 후크의 수는 1개이지만 사잇각이 작은 H2는 H1에 비해 상당히

큰 압력손실을 나타냈다. 본 연구에 사용된 엘리미네이터에서는 블레이드의 개수와 폭이 압력손실에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

(2) 냉매유입량은 수직형인 V1과 V2는 3m/s의 풍속조건에서도 허용치 이내로 나타났으나, 수평형인 H1과 H2에서는 3m/s에서는 허용기준치를 초과하였다. 수평형 엘리미네이터는 노즐 분사형 증발기/흡수기에는 적합치 않은 것으로 판단된다.

(3) 압력손실과 냉매유입량 중 설계조건(풍속 2 m/s)에서는 압력손실에 의한 성능저하가 더 크게 나타났다. 그러므로 현재의 흡수식 냉동기에서는 압력손실을 줄이는 것이 냉매유입의 차단보다 성능향상에 효과적인 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 캐리어(주)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Carrier, Engineering Standard Work Detailed Procedure, A/E Eliminator Pressure Drop, Neil Jenkins, Dec. 15, 2000.
- Carrier, Interoffice Letter, Refrigerant entrainment tests, Oct. 29, 1999, Darren Sheehan.