

액체-증기 이젝터의 성능에 관한 실험적 연구

박 대 응[†], 정 시 영

서강대학교 기계공학과

An Experimental Study on the Performance of a Liquid-Vapor Ejector with Water

Dae-Woong Park[†], Si-Young Jeong

Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Sinsu-Dong, Mapo-Gu, Seoul 121-742, Korea

(Received July 15 1999; revision received December 20, 2000)

ABSTRACT: In this study, the performance of five ejectors has been investigated with working fluids of water and water vapor. The diameters of nozzle and mixing tube of five ejectors were 1 and 1.5(ejector A), 1 and 2(ejector B), 1 and 2.5(ejector C), 1 and 3(ejector D), 2 and 4(ejector E) in millimeters. The length of the mixing tube was 8-10 times of its diameter. For each ejector, the ratio of mass flow rate of ejected water to that of entrained water vapor, μ , was evaluated in terms of evaporator pressure, mass flow rate of ejected water, and water temperature.

It was found that the performance of an ejector was not stable when the ratio of diameters was too small or too large(ejector A and D) and μ was almost the same for two ejectors with the same diameter ratio(ejector B and E). It was also found that μ increased almost linearly with an increase of evaporator pressure and the ratio μ increased as water temperature decreased. As expected, μ converged to zero as the water temperature approached the evaporator temperature. Finally, a non-dimensional correlation has been developed to predict μ in terms of evaporator pressure and saturation pressure of ejected water.

Key words: Liquid-vapor ejector(이젝터), Motive fluid temperature(구동 유체 온도)

기 호 설 명

\dot{m} : 질량유량 [g/s]

T : 온도 [°C]

p : 압력 [kPa]

Δp : $p_a - p_o$ [kPa]

h : 엔탈피 [kJ/kg]

D : 직경 [mm]

D_r : 직경비 $D_n : D_m$

L : 길이 [mm]

g : 중력가속도 [m/s^2]

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-2244-5682

E-mail address: shock33@hanmail.net

u : 유체의 속도 [m/s]

Re : 레이놀즈 수 $\frac{uD}{\nu}$

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m³]

σ : 표면장력 [N/m]

μ : 질량유량비 [\dot{m}_2/\dot{m}_1]

ν : 동점성계수 [m²/s]

하첨자

1 : 분사 유체 (motive fluid)

2 : 흡입 유체 (suction fluid)

e : 노즐 입구

n : 노즐 출구

m : 혼합 튜브

d : 디퓨저

o : 흡입 챔버 입구

a : 이젝터 출구

sat : 포화상태

1. 서 론

이젝터는 분사되는 유체의 운동에너지를 이용하여 저압을 얻는 장치로서 오늘날 많은 공업분야에 적용되고 있다. 이젝터는 설치비가 적게 든다는 것 외에도 구동장치가 필요 없고 유지비가 낮으며, 또 반영구적이라는 장점을 가지고 있다. 이젝터는 구동유체와 흡입유체의 종류에 따라 증기-증기^(1,2), 액체-액체,⁽¹⁾ 액체-가스(불응축)⁽³⁻⁵⁾ 그리고 액체-증기(응축가능)^(6,7) 이젝터로 나눌 수 있다.

증기-증기 이젝터는 여러 산업의 공정과정에서 흡수, 혼합, 진공, 동결건조, 탈수 등의 목적으로 널리 이용되고 있으며 액체-가스 이젝터의 경우는 상대적으로 증기-증기 이젝터 보다 높은 압축비로 인해 부식 가스, 독가스, 방사능 가스 제거 등 보다 높은 진공을 요구하는 장치에 쓰이고 있다. 현재 이러한 이젝터들은 단순 압축이나 진공장치로서가 아닌 어떤 사이클에서 펌프나 흡수장치를 대신할 수 있는 장치로 적용하는 것에 대

한 연구도 진행되고 있다.

Fluegel⁽¹⁾은 베르누이 방정식과 운동량 방정식을 적용하여 액체-액체 이젝터의 기본적인 해석 방향을 제시하였으며 증기-증기 이젝터의 각각의 상태점을 h-s선도에 도시하였다. Sun and Eames⁽²⁾는 증기-증기 이젝터의 이론 연구와 적용분야에 대한 기존의 연구를 정리하였다.

지금까지 액체-가스 이젝터에 대한 연구는 흡입 유체가 공기일 때 물질 전달과 운동량 전달에 대한 경우가 주를 이루었으며 어느 정도 설계 데이터가 확립되었다. Witte⁽³⁾는 액체-가스 이젝터에 대한 전반적인 설계방법을 이론적으로 다루었으며, Biswas and Mitra⁽⁴⁾는 노즐에 다수의 구멍을 내어 흡입량과 액체와 가스의 혼합 특성을 연구하였다. Mitra et al.⁽⁵⁾은 운동량 방정식과 에너지 방정식을 이용하여 균일 기포 유동인 경우에 유용한 상관계수를 시스템 전체의 손실계수로 정의하였으며 질량 유량비를 서로 다른 변수들의 함수로 나타낸 실험적 상관식을 제시하였다.

그러나 흡입 유체가 응축이 가능한 증기인 액체-증기 이젝터에 대한 연구는 거의 수행되지 않았다. 그러므로 설계 데이터를 찾아보기 힘들고 또한 흡입 증기가 흡입 챔버를 지나 디퓨저로 흡입되어 나갈 때 대부분 응축이 되기 때문에 기존의 액체-가스 이젝터 연구 자료로 흡입량을 예측하기가 불가능하다. 이러한 가운데 Daltrophe and Jelinek⁽⁶⁾는 혼합튜브 내에서 용액의 온도, 압력, 농도의 계산과 초기 조건에서의 디퓨저 형상에 관한 수치해석을 하였다. Wang et al.⁽⁷⁾은 발생기의 압력으로 이젝터를 구동하여 증발기로부터 냉매를 흡입할 수 있는 태양열 흡수식 냉동 사이클에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 흡입 챔버와 디퓨저의 압력차와 질량 유량비에 대한 연구와 분사유체의 온도가 흡입에 미치는 영향에 대한 연구는 아직까지 미비하여 용도에 따른 적합한 이젝터를 설계하기에 어려움이 따른다.

이러한 이유에서 본 연구에서는 액체상태의 물이 분사되며 수증기를 흡입하는 이젝터에 대한 실험을 다양한 조건에서 수행하였다. 그리고 분사되는 물의 온도와 유량이 흡입성능에 미치는 영향과 노즐 출구와 혼합 튜브의 직경비에 대한 영향을 분석하여 액체-증기의 이젝터의 기본적인 설계 데이터를 제시하는데 목적을 두었다.

2. 이젝터의 작동원리 및 액체-증기 이젝터

2.1 이젝터의 작동원리

이젝터는 진공펌프와 압축기의 단순화된 형태로서 피스톤이나 밸브, 등, 기타 어떠한 구동장치를 필요로 하지 않는다. 이젝터는 노즐과 흡입 챔버와 벤츄리 모양의 디퓨저 등 크게 세 파트로 구분되며 이젝터의 형상은 용도에 따라 다양하나 일반적으로 Fig. 1과 같이 표시할 수 있다.

이젝터의 작동 원리는 다음과 같다. 노즐 입구의 높은 압력으로 인해 분사유체가 노즐로부터 빠른 속도로 분출되면서 노즐 출구의 압력이 낮아지게 된다. 이 압력차로 인하여 흡입 챔버로부터 또 다른 유체(흡입 유체)가 흡입이 되고 두 유체는 혼합 튜브를 지나 디퓨저로 흘러가면서 속도 에너지가 압력에너지로 전환이 된다. 이때 흡입 챔버가 대기압으로 고정되고 디퓨저 출구가 분리기로 연결된다면 분리기의 압력이 바로 이젝터의 압축 능력을 의미하며 디퓨저 출구가 대기압이고 흡입 챔버안으로 유체의 출입이 없다면 흡입 챔버의 압력은 곧 이젝터의 진공 능력을 나타낸다.

2.2 액체-증기 이젝터

본 연구에서 다루고자하는 액체-증기 이젝터는 액체-가스 이젝터와는 달리 혼합 튜브에서 운동량 전달뿐만 아니라 흡입 유체의 응축 현상까지 고려해야 하므로 해석이 더욱 복잡하다.

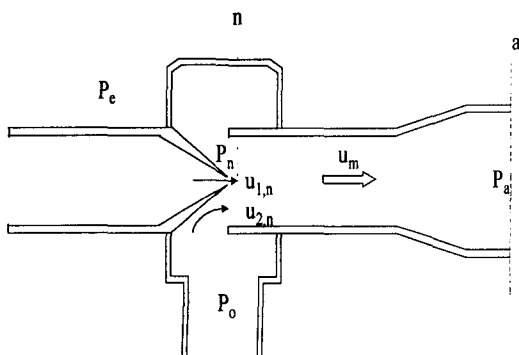


Fig. 1 Schematic diagram of an ejector.

액체-기체 이젝터의 경우, 분사 유체가 노즐을 지나 혼합 튜브에 이르게 되면 흡입된 유체와 혼합이 되면서 운동 에너지가 급격히 감소한다. 이때 혼합 튜브의 압력은 급격히 상승하게 되며 유체의 속도 또한 현저히 줄게 된다. 이러한 현상을 mixing shock이라 한다. Witte⁽³⁾는 그의 연구에서 이러한 mixing shock의 특성을 기술하였다.

특히 흡입유체가 응축이 가능한 경우에는 흡입 챔버에서 분사 유체 온도의 영향으로 흡입 유체가 응축이 되기 시작하면서 혼합 튜브에 이르러서는 mixing shock을 거쳐 완전히 응축이 된다. 따라서 각 구간마다 증기의 밀도와 속도를 예측하기가 쉽지가 않으므로 Mitra et al.⁽⁵⁾의 연구와 같이 시스템 전체의 손실계수로 질량 유량비에 대한 상관식을 제시하기는 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에선 실험을 통하여 μ 와 Δp 그리고 분사유체의 온도에 대한 적절한 상관식을 도출하고자 한다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

전체적인 실험 장치 구성은 Fig. 2와 같다. 분사 유체의 온도를 조절하기 위해 물탱크에 히터를 부착하고 일정 온도의 유지를 위해 컨트롤러를 설치하였다. 또한 분사 유체 유량을 일정하게 유지하기 위해 질소 탱크를 이용해 지속적으로 가압을 해 주었고 정상 상태에 도달하는 시간을 고려하여 부피 설계에 충분한 여유를 두었다.

증발기에는 물의 역류현상을 관측할 수 있도록 가시창을 두었고 흡입 압력과 증발 온도 측정을 위해 $\pm 0.2\%$ 의 오차를 갖는 압력계와 열전대를 각각 부착하였다. 증발기 내의 물의 포화온도와 압력은 $\pm 0.5\%$ 내에서 일치하였다. 그리고 흡입 유체의 유량을 조절하기 위해 변압기를 설치하였다. 즉, 변압기를 통해 히터의 용량을 임의로 조절하여 증발기 내의 증기 발생량을 제어하였다. 또한 물탱크와 이젝터 사이에 $\pm 0.5\%$ 의 정밀도를 갖는 유량계를 설치하였고 이젝터의 입구와 출구에 각각 열전대를 삽입하였다. 열손실을 줄이기 위해 실험장치 전체를 단열처리 하였다.

본 실험에 쓰인 이젝터는 총 5종류로 직경비를 각각 달리하여 스텐레스로 제작하였다. 전체적인

형상은 Fig. 3과 같고 세부적인 치수는 Fig. 4에 나타내었다. 이젝터의 성능을 결정짓는데 가장 중요한 혼합 튜브의 직경과 길이의 비는 Havelka⁽⁸⁾의 연구를 기준으로 설계하였다. 그의 연구결과에 따르면 액체-가스 이젝터일 경우 L_m/D_m 의 비가 0부터 5까지는 μ 가 서서히 증가하는 경향을 보이나 그 이후는 μ 에 대하여 L_m/D_m 의 영향이 그리 크지 않다. 본 실험에 쓰인 이젝터는 흡입 유체가 증기일 경우에도 경향은 비슷하리라는 예상 하에 L_m/D_m 을 8~10정도로 설계하였다. 또한 직경비가 그리 크지 않으므로 분사 유체가 역류하지 않도록 노즐과 혼합 튜브의 간격을 줄이고 중심선이 일치하도록 제작에 주의를 기울였다.

3.2 실험 조건

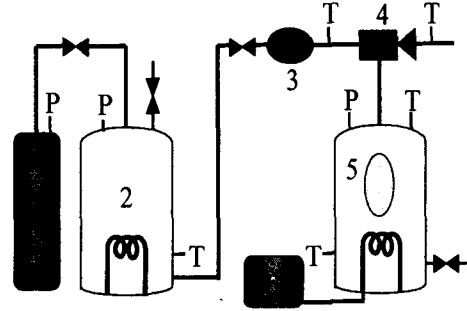
노즐로부터 분출되는 유량을 조절하기 위해 질소탱크로 3부터 8 bar까지 가압하였다. 이때의 유량은 각각 9 g/s, 10.8 g/s, 13 g/s 그리고 15 g/s 정도로 맞추었다. 흡입 유체의 유량은 증발기로부터 가열량 조절을 통하여 0부터 약 1.1 g/s까지 공급해 주었고 분사 유체의 온도는 12°C 부터 62°C까지 약 10°C씩 차이를 두었다. 또한 본 실험은 이젝터의 출구 압력을 대기압으로 고정하였다.

3.3 실험 방법

전반적인 이젝터의 증기 흡입 성능을 알아보기 위하여 다양한 조건을 주어 실험을 수행하였다. 먼저 동일한 유량에서 이젝터의 직경비를 달리 했을 때의 결과를 서로 비교할 수 있도록 하였으며 분사 유체의 온도에 변화를 주어 각 상태에 따른 증기 흡입량을 측정할 수 있도록 하였다. 또한 동일 이젝터에 대해서 유량을 달리할 때와 동일 분사압력으로 직경비를 달리할 때를 비교할 수 있도록 하였으며 흡입량 조절은 증발기 히터에 변압기를 연결하여 임의로 조절하였다. 본 실험의 순서를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 콘트롤러가 부착된 히터로 이젝터로 분사될 물을 원하는 온도까지 가열한다.
- (2) 증발기의 히터에 부착된 변압기를 통하여

간접적으로 흡입 유체의 유량을 결정한다.



p: Pressure gage T: Thermocouple
1. Nitrogen tank 2. Liquid tank 3. Flow meter
4. Ejector 5. Evaporator 6. Transformer

Fig. 2 Schematic diagram of the experiment apparatus.

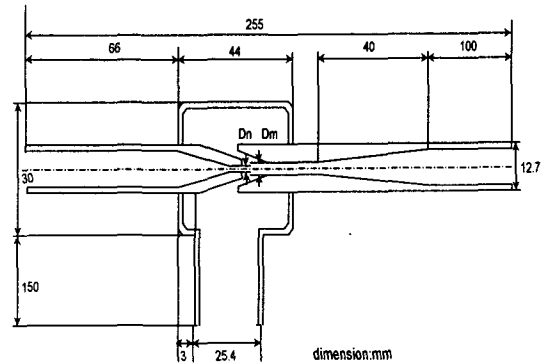
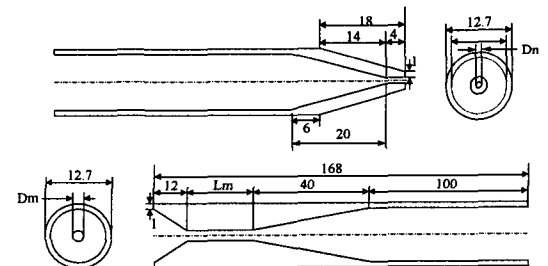


Fig. 3 Schematic configuration of the ejector.



< Diameter ratio of Dn to Dm >
Dn : Dm = 1 : 1.5 (mm) Lm : 16
Dn : Dm = 1 : 2 (mm) Lm : 16
Dn : Dm = 1 : 2.5 (mm) Lm : 25
Dn : Dm = 1 : 3 (mm) Lm : 25
Dn : Dm = 2 : 4 (mm) Lm : 32 dimension:mm

Fig. 4 Details of the nozzle and diffuser.

(3) 질소탱크로 물탱크를 가압하여 분사유체의 유량을 결정한다.

(4) 증발기에서 증기가 발생하기 시작하면 이젝터 입구에 부착된 밸브를 열어 실험을 시작한다.

(5) 시스템이 정상상태가 되어 증발기의 압력이 일정하게 유지되면 분사유체의 온도와 유량, 증발기의 압력, 온도 그리고 이젝터의 입, 출구 온도를 측정한다.

실험을 시작하면 시간에 따라 챔버 내의 압력이 떨어지면서 시스템이 정상상태에 이르게 된다. Fig. 5는 챔버 내의 압력이 직경비 1:2인 경우에 대하여 시간에 따라 정상상태에 도달하는 과정을 나타낸 것이다.

이젝터 출구로 흘러나오는 흡입유체는 mixing shock 이후 거의 응축이 됨을 육안으로 확인하였다. 따라서 외부로의 열손실을 무시하고 정상 상태에 도달된 증기온도, 이젝터의 입구와 출구 온도를 측정하여 \dot{m}_2 는 아래와 같은 에너지 방정식으로부터 구하였다.

$$h_{1,e}\dot{m}_1 + h_{2,o}\dot{m}_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)h_a \quad (1)$$

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 직경비 (D_r)에 대한 μ 의 영향

직경비가 같은 1:2와 2:4의 경우 \dot{m}_2 에 대한 Δp 가 각기 달랐으나, μ 에 대해서는 일정한 경향을 보였다. Fig. 6에서 보면 D_r 이 일정한 경우에 Δp 가 감소함에 따라 μ 가 일정하게 증가함을 보여 준다. 이는 D_r 이 같을 경우 동일한 Δp 에서 흡입 유체의 응축 비율 또한 일정함을 의미한다.

Fig. 7은 같은 조건에서 직경비 1:2.5와 1:2를 비교한 그래프이다. 혼합튜브의 직경이 큰 1:2.5가 최대 μ 에 있어서는 큰 값을 나타내었으나, 증발기 압력이 어떤 지점에 이르게 되면 혼합 튜브 내의 유체가 증발기로 역류하는 현상이 나타났다. 이러한 이유는 mixing shock 이후 상대적으로 큰 직경비로 인해 혼합 튜브에서의 유체의 속도가 현저히 줄어들어 동일 유량인 경우 직

경비가 클수록 역류가 쉽게 일어나는 것으로 보인다. 따라서 적은 유량에서 이젝터가 높은 Δp 를 유지해야 하는 경우 직경비 1:2가 보다 유리하다는 것을 알 수 있다.

직경비 1:3인 경우에는 증발기의 역류 압력이 너무 높았기 때문에 다른 이젝터와 동일한 조건(유량 9~15 g/s)에서 데이터를 얻지 못하였다. 따라서 직경비 1:3은 분사유량을 15 g/s 이상으로 유지해야 이젝터의 성능을 제대로 발휘할 것으로 보인다. 직경비 2:4인 경우에는 증발기와 물탱크의 용량에 비해 직경이 너무 커서 많은 데이터를 얻지 못하였다.

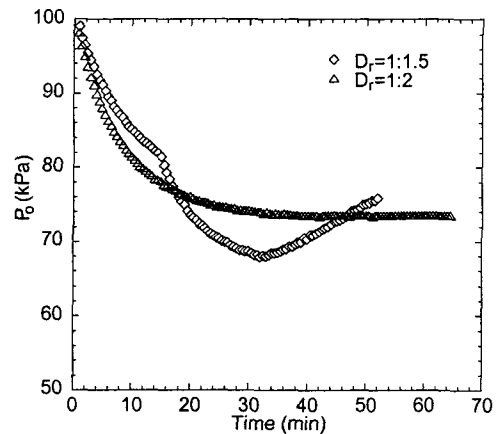


Fig. 5 P_0 variation due to time.

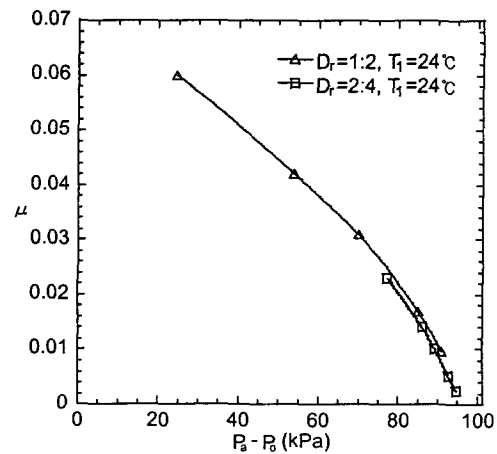


Fig. 6 Effect of Δp on μ with same D_r .

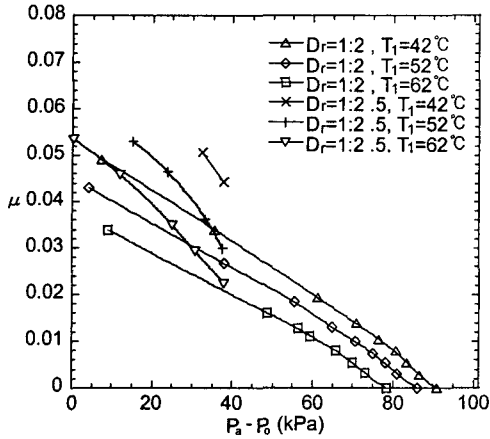


Fig. 7 Effect of Δp on μ with different D_r .

반면에 D_r 이 너무 작은 경우에는 혼합 튜브에서의 마찰 손실이 너무 커서 분사 유체가 완전히 혼합 튜브를 통과하지 못하였다.

Fig. 5는 직경비 1:1.5와 1:2일 때 시간에 따른 p_o 의 변화를 각각 나타낸 그래프인데 직경비 1:2인 경우, p_o 가 시간에 따라 감소하다가 정상상태에 이르게 되면 일정하게 유지된다. 반면에 1:1.5인 경우 p_o 의 변화가 불규칙하게 나타났다. 이러한 경향은 거의 모든 조건에서 나타났고 이것은 분사 유체가 모두 혼합 튜브를 통과하지 못하고 조금씩 역류하는 것으로 풀이된다. 따라서 직경비 1:1.5이하의 이젝터의 성능을 제대로 발휘하지 못하는 것으로 드러났다. 따라서 본 실험은 넓은 범위에서 무리 없이 작동하는 직경비 1:2인 경우를 위주로 수행하였다.

4.2 분사 유체의 온도에 대한 μ 의 영향

Fig. 8의 (a)부터 (d)는 유량이 각각 9 g/s, 10.8 g/s, 13 g/s 그리고 15 g/s일 때 직경비 1:2에 대한 μ 와 Δp 의 관계를 나타낸 그래프이다. (c)와 (d)에서 μ 가 0인 경우는 각각의 분사 온도에 따라서 가열을 하지 않고 증발기의 최저 압력을 측정하여 얻은 데이터이며 (a)와 (b)의 상하 방향 점선은 혼합 튜브 내에서 유체의 역류가점

을 표기한 것이다.

전체적으로 동일한 Δp 에서 분사 유체의 온도가 약 10°C 정도 낮아질수록 μ 는 약 15~20% 정도 증가하는 경향을 보였다. 이러한 원인으로 극단적인 조건에서 생각해 보면 다음과 같다. 분사 유체가 액체인 경우에 이젝터가 도달할 수 있는 최대 Δp 는 p_a 와 분사 유체의 포화 증기 압력 ($p_{1,sat}$)의 차다. 즉,

$$\Delta p_{\max} = p_a - p_{1,sat} \quad (2)$$

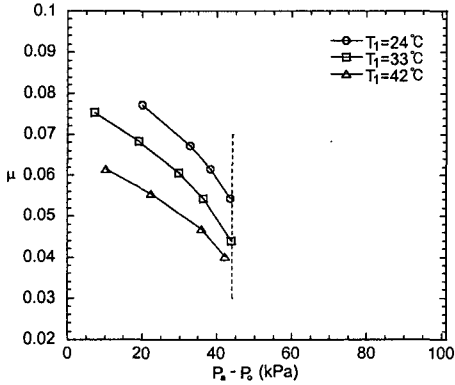
만일 p_a 가 대기압이고 분사 유체가 100°C일 때 포화 증기 압력은 p_a 와 같게 된다. 따라서 Δp_{\max} 와 Δp 가 모두 0이 되므로 흡입이 일어나지 않게 된다. 그러므로 분사의 온도가 낮아질수록 Δp_{\max} 는 커지므로 흡입량은 점점 증가하는 경향을 띄게 된다. 또한 분사 온도가 낮을수록 흡입 유체의 응축 현상 또한 가속화되는 것으로 보인다.

4.3 분사 유체의 유량에 대한 μ 의 영향

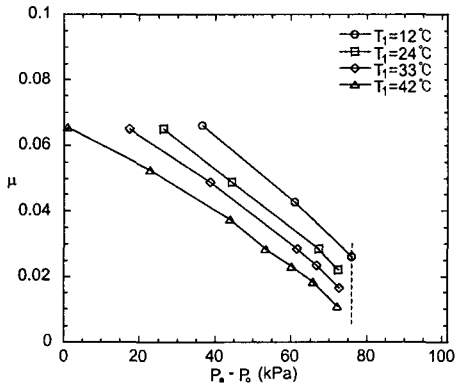
Fig. 8에서 유량이 9 g/s (a)와 10.8 g/s (b)인 경우에는 Δp 가 각각 약 45 kPa과 75 kPa에서 혼합 튜브 내의 유체가 역류하는 경향을 보였는데 이러한 현상의 원인은 흡입 유체가 증기인 경우 가스와는 달리 mixing shock 이후 증기가 완전히 응축되어 혼합 튜브에서 유체의 속도가 더욱 현저히 감소하기 때문이다. 따라서 저 유량일 경우 최대 μ 는 크지만 높은 Δp 에서는 역류가 쉽게 일어나 이젝터가 제대로 작동하지 않음을 알 수 있었다.

반면에 유량 13 g/s (c)와 15 g/s (d)인 경우는 가열을 하지 않았을 때까지(즉, $\dot{m}_2=0$ 일 때) 역류현상이 나타나지 않았으며 15 g/s일 때가 더 높은 Δp 에 도달할 수 있었다. 또한 유량이 증가할수록 μ 가 조금씩 감소하는 경향을 보이는데 이는 분사 유체의 유속이 증가할수록 혼합 튜브내의 마찰손실 또한 증가하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 이젝터가 낮은 Δp 를 유지할 경우 유량이 적을수록 보다 높은 효율을 낼 수 있을

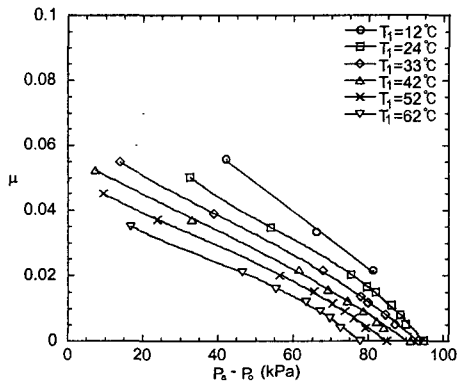
것으로 보인다.



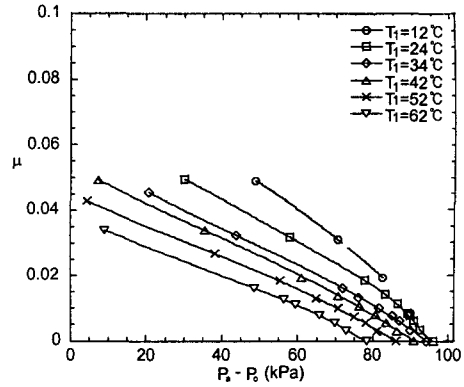
(a) $\dot{m}_1=9$ g/s



(b) $\dot{m}_1=10.8$ g/s



(c) $\dot{m}_1=13$ g/s



(d) $\dot{m}_1=15$ g/s

Fig. 8 Effect of Δp (kPa) on μ with different motive fluid temperatures. ($D_r=1:2$)

4.4 실험 상관식

Mitra et al.⁽⁵⁾의 연구를 참고하여 분사유량에 대한 흡입유량의 비($\mu = \dot{m}_2 / \dot{m}_1$)를 이젝터에서 흡입 유체에 영향을 미치는 변수들의 함수로 표시하면 다음과 같다.

$$\mu = k \left(\frac{u_{2,o} D_o}{\nu_{2,o}} \right)^f \left(\frac{D_m}{D_n} \right)^g \left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2} \right)^h \times \left(\frac{g \rho_1^3 \nu_1^4}{\sigma_1^3} \right)^i \left(\frac{p_o - p_{1,sat}}{p_a - p_{1,sat}} \right)^j \quad (3)$$

여기서 $\left(\frac{p_o - p_{1,sat}}{p_a - p_{1,sat}} \right)$ 은 기존의 Mitra의 상관식에 추가한 것으로 분사 유체의 온도의 영향을 고려하여 무차원 형태로 적절하게 표시한 항이며 $\left(\frac{u_{2,o} D_o}{\nu_{2,o}} \right)$ 는 흡입 챔버 입구에서 흡입 유체의 레이놀즈 수($Re_{2,o}$)이다.

본 연구는 분사 유체가 물일 경우에만 수행하였으므로 $\left(\frac{g \rho_1^3 \nu_1^4}{\sigma_1^3} \right)$ 은 일정하고 D_m/D_n 또한 2일 경우로 한정한다.

Fig. 9는 $\left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2} \right)$ 이 5000이상일 경우에 $Re_{2,o}$

가 감소함에 따라 $\left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2}\right)$ 가 선형적으로 증가하는 경향을 보여준다. 그러므로 식 (3)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mu = k \left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2}\right)^h \left(\frac{p_o - p_{1,sat}}{p_a - p_{1,sat}}\right)^j \quad (4)$$

$\left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2}\right) \geq 5000$, 일 때

최종적으로 k, h, j를 구하면,

$$\mu = 2.1 \times \left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2}\right)^{-0.38} \left(\frac{p_o - p_{1,sat}}{p_a - p_{1,sat}}\right)^{0.46} \quad (5)$$

과 같으며 Fig. 10에 결과를 도시하였다. μ 가 0.02일 때까지는 비교적 실험데이터와 잘 맞았고 그 이상일 경우는 약 30~40% 정도의 오차를 보였다.

Fig. 11은 본 연구와 Mitra et al.⁽⁵⁾의 액체-가스 이젝터의 실험 결과를 비교한 그래프이다. 흡입 유체가 증기인 경우 응축의 영향으로 가스의 경우보다 $\left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2}\right)$ 가 감소함에 따라 μ 는 더 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였다.

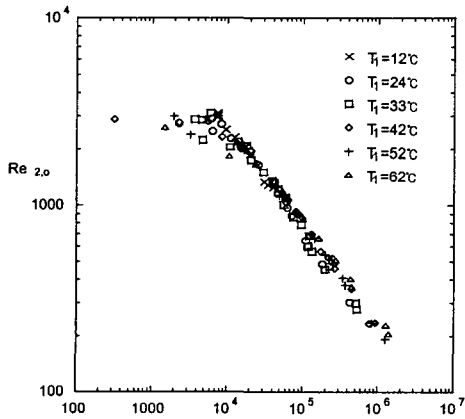


Fig. 9 Effect of $\left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2}\right)$ on $Re_{z,o}$.

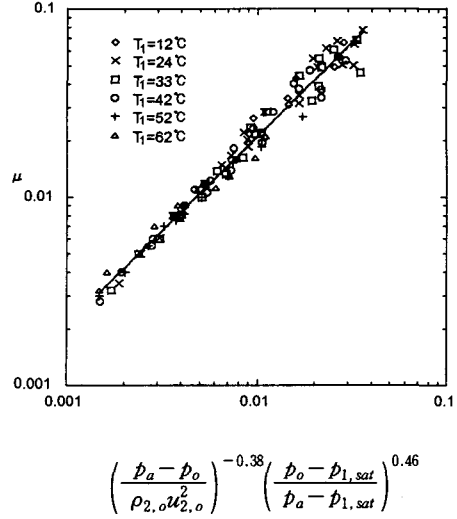


Fig. 10 Correlation for the liquid-gas ejector.

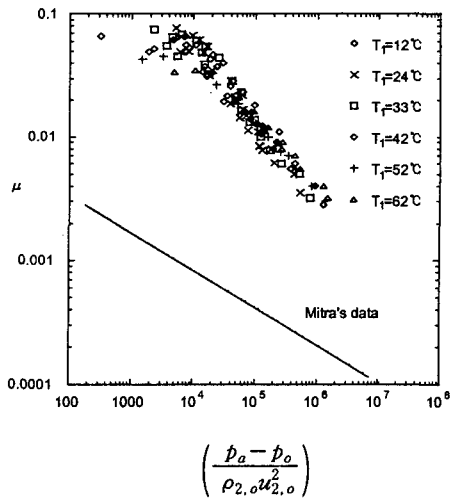


Fig. 11 Effect of $\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2}$ on μ with different ejector system.

5. 결론

본 연구에서는 액체-증기 이젝터의 증기흡입 성능 특성에 대한 실험을 하였고 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 같은 직경비(1:2와 2:4)인 경우 분사유량에

대한 흡입 유량의 비 μ 는 $p_a - p_o$ 에 대하여 거의 동일한 결과를 나타냈다. 이로부터 본 실험 범위 내에서는 직경비가 같은 이젝터 사이에는 상사성이 존재하는 것을 알 수 있다.

(2) 동일 유량에서 직경비(D_r)가 증가할수록 최대 μ 값은 증가하지만 높은 Δp 에서 유체의 역류가능성이 커진다. 직경비 1:2인 경우, 넓은 범위에서 비교적 양호하게 작동하였으나, 직경비 1:2.5와 1:3은 본 실험의 조건에서 쉽게 역류가 일어났다. 반면에 직경비가 너무 작은 경우(1:1.5)에는 혼합 튜브에서의 마찰 손실이 상대적으로 크게 작용하여 원활한 흡입이 이루어지지 않았다.

(3) 분사유체의 온도와 유량이 주어지는 경우에 $p_a - p_o$ 가 증가함에 따라 μ 는 거의 선형적으로 감소한다.

(4) μ 는 분사 유체의 온도가 낮을수록 증가한다. 이것은 분사유체의 온도가 낮을수록 흡입 증기의 응축이 촉진되기 때문이다.

(5) 동일 조건에서 유량이 감소할수록 최대 μ 는 조금씩 증가하지만 높은 Δp 에서 유체의 역류가능성이 커진다.

(6) 실험 결과를 바탕으로 μ 에 대한 다음 상관식을 제시하였다.

$$\mu = 2.1 \times \left(\frac{p_a - p_o}{\rho_{2,o} u_{2,o}^2} \right)^{-0.38} \left(\frac{p_o - p_{1,sat}}{p_a - p_{1,sat}} \right)^{0.46}$$

참고문헌

1. Fluegel, G., 1939, March/April, Berechnung von strahlapparaten, VDI Forschungsheft 395 Ausgabe B Band 10.
2. Sun, D.W., and Eames, I.E., 1995, Recent developments in the design theories and applications of ejectors—a review, Journal of the Institute of Energy, Vol. 68, June, pp. 665-679.
3. Witte, J.H., 1965, Efficiency and design of liquid-gas ejector, British Chemical Engineering, Vol. 10, No. 9, pp. 602-607.
4. Biswas, M.N., and Mitra, A.K., 1989, Momentum transfer in a horizontal multi-jet liquid-gas ejector, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 59, pp. 634-637.
5. Mitra, A.K., Bhat, P.A., and Roy, A.N., 1972, Momentum transfer in a horizontal liquid-jet ejector, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 50, pp. 313-317.
6. Daltrophe, N.C. and Jelinek, M., 1993, Heat and mass transfer in a jet ejector for absorption system, Int. Absorption Heat Pump Conference ASME, AES-Vol. 31, pp. 327-332.
7. Wang, J., Chen, G., and Jiang, H., 1998, Study on a solar-driven ejection absorption refrigeration cycle, International Journal of Energy Research, Vol. 22, pp. 733-739.
8. Havelka, P., 1997, Effect of the ejector configuration on the gas suction rate and gas hold-up in ejector loop reactors, Chemical Engineering Science, Vol. 52, No. 11, pp. 1701-1713.

1. Fluegel, G., 1939, March/April, Berechnung