

에젝터 구동 저압 증발하에서 물의 열교환 특성

신유식* · 이윤환* · 이상철* · 김세현* · 정효민[†] · 정한식**

Heat Exchange Characteristics of Water under the Low Pressure by driving Ejector

You Sik Shin, Youn Hwan Lee, Sang Chul Lee, Se Hyun Kim,
Hyo Min Jeong and Han Shik Chung

Key Words: Heat Exchange(열 교환), Cooling Tower System(냉각탑), Ejector(에젝터), Vacuum(진공)

Abstract

The cooling tower is a device for making a cooling water in the air conditioning system of building, and there are many kinds of cooling tower system for air conditioner. In this paper, we introduced the water cooling system with an enclosed tank and water ejecting system for evaporating the water in tank. The city water was used for a working fluid, and the cooling water is generated by evaporating latent heat in the tank with a 25~50mmHg. The time to reaching this vacuum pressure was about 20~30minutes, and cooling water was obtained the value of temperature difference $\Delta T=7^{\circ}\text{C}$.

하첨자

기호설명

A : 유로면적
d : 직경
P : 정압
 ΔP : 입·출구 압력차
Q : 유량
U : 평균유속

D : 확대관
in, 1 : 입구
out, 2 : 출구
P : 직관부
Z : 노즐

1. 서론

대형공기조화 시스템에서 냉매를 냉각하기 위하여 주로 냉각탑을 사용하고 있다. 이러한 냉각탑은 최소한의 전기에너지를 사용하여 가장 경제적으로 냉각할 수 있는 수단으로서, 냉각수를 재사용함으로써 인해 수자원 부족 및 수질오염을 방지하는데 크게 이바지하고 있다. 그러나 국내·외를 막론하고, 냉각탑은 설비 및 주열원 기계에 비해 그다지 중요성과 관심을 끌지 못해왔다. 냉동기와 냉각탑의 전력소비율을 보면 제품의 특성과 운전방식에 따라 차이는 있으나 냉동기 본체의 압축기에서 소요되는 동력이 압도적이다. 따

그리스문자

ρ : 유체밀도
 ϕ : 확대각도

[†] 경상대학교 기계항공공학부· 해양산업연구소
E-mail : hmjeong@nongae.gsnu.ac.kr
TEL : (055)640-3184 FAX : (055)640-3188

* 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

** 경상대학교 기계항공공학부· 해양산업연구소

라서 냉각탑의 에너지 절약에는 주의를 기울이지 않는 가장 큰 요인이 될 것이다. 그러나 냉각탑의 에너지 절약은 다른 관점에서 고려해야 된다. 즉 냉각탑 단독으로 절약하는 것보다 공조·냉동 시스템에서 냉각탑이 제 기능을 발휘하지 못하여 야기되는 에너지 손실은 실로 막대하여 이를 효과적으로 방지하는 것이 또한 에너지 절약과 직결된다고 할 수 있다.⁽¹⁻⁴⁾

냉각탑의 가장 중요한 특성은 냉각수 액적과 공기간의 직접적인 접촉으로 증발열을 이용하여 냉각하는 기본적인 시스템으로서 몇가지의 문제점을 지니고 있다. 본 연구에서는 냉각탑이 지니고 있는 문제점을 해결하고자 밀폐공간을 진공시킴으로서 물이 증발하게 되어 이 때의 증발잠열이 내부의 물을 냉각시키는 시스템으로 냉각된 물을 공조 시스템의 주냉각수로 공급하는 시스템이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 일반적 이론 및 배경

본 연구에서의 냉각탑의 냉각효과는 저진공을 이용하여 증발잠열을 이용하는 실험으로서 적절한 저진공을 형성하기 위해서는 각종 펌프를 이용할 수도 있지만 진공 형성용의 밀폐 탱크내에는 액체가 초기에는 액적으로 진공펌프로 유입하게 되어 초기에는 적절한 진공이 형성되지만 일정 압력 이하로 진공 유지가 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 물과 같은 고속 분사하는 에젝터(Ejector)를 이용하여 진공을 형성하였다.

에젝터는 고압의 유체를 노즐로 분출시켜, 그 분류 주변의 저압기체와 운동량 교환을 통하여 저압의 유체를 보자 높은 압력까지 압축 수송하는 장치이다. 에젝터는 노즐(Nozzle), 혼합부(Mixing section or Straight pipe) 및 디퓨저(Diffuser)로 구성, 설계되어 있으며, 에젝터 시스템 전체에 어떤 회전부분이나 활동부분을 가지지 않는 유체기계이므로 고장이 적고, 소형임에도 불구하고 대용량의 유체를 압축 또는 수송 할 수 있는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서 사용된 에젝터는 작동유체를 물에 이용하여 진공을 형성시키는 장치로서 에젝터의 성능은 노즐 주변의 압력을 어느 정도까지 저하시킬 수 있는가의 척도가 대단히 중요하다.

에젝터의 가장 중요한 기능은 보다 저압으로 분위기를 조성하는 것이다. 따라서 에젝터의 성능은 결국 디퓨저의 성능과 깊은 관련을 가진다.⁽⁵⁻⁷⁾

디퓨저내부에서는 축방향 하류로 유동이 생기면서 압력이 증가하는 구조로 되어 있다. 즉, 단면적이 동일한 관에서는 디퓨저의 유동과 역현상이 생긴다. 다음과 같이 일반적인 확대관의 유동을 가정하여 본다. 입구에서의 압력, 평균속도 및 면적을 $P_1 U_1 A_1$ 라고 하고 확대관의 출구에서의 값을 $P_2 U_2 A_2$ 라 한다.

연속의 식 및 Bernoulli식에 의하여 다음과 같이 표현이 된다.

$$Q = \rho A_1 U_1 = \rho A_2 U_2 = \text{Const.} \quad (1)$$

$$\frac{\rho U_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho U_2^2}{2} + P_2 = \text{Const.} \quad (2)$$

출구에서의 속도는 $U_2 = (A_1 / A_2) U_1$ 이며, 여기서 면적비 $A_1 / A_2 < 1$ 이므로, 출구에서의 속도는 감소한다. 즉, 출구 속도가 감소하므로 식(2)에서 알 수 있듯이 출구의 압력이 증가한다. 일반적인 관로에서는 흐르면서 저항등 여러 요소에 의하여 압력이 저하하지만 위와 같이 디퓨저에서는 압력이 증가한다. 따라서 이 압력증가를 높이기 위한 방법이 에젝터의 효율을 상승시킬 수 있다.

$$P_2 = P_1 + \Delta P \quad (3)$$

예를 들어 P_2 가 대기압이라고 가정한다면 $P_1 = P_2 - \Delta P$ 이므로 입구에서의 압력은 출구의 대기압보다 ΔP 만큼 더 작다는 것을 의미한다. 따라서 디퓨저 관로내에서의 압력이 상승이 얼마나 잘 이루어지느냐의 문제는 입구에서 어느 정도까지 저압이 가능한가라는 문제와 같다. 이러한 이유로 에젝터의 설계시에 디퓨저의 적당한 설계가 큰 역할을 한다는 것이다.

2.2 실험 장치

Fig. 1은 밀폐형 냉각탑의 실험장치 시스템을 나타내고 있다. 본 시스템은 물과 공기가 들어 있는 밀폐공간(Vacuum tank)을 에젝터로 진공시키게 된다. 증발에 필요한 온도와 압력이 형성되면 내부는 증발을 시작하여 수적분리기(Water/Steam separator)에 의하여 순수한 공기성분

만 에젝터로 흡입이 된다.

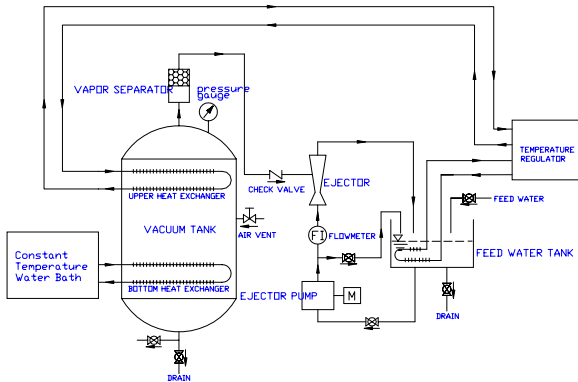


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

에젝터의 구동원은 에젝터 펌프로서 고속의 분류(Water Jet)가 유입된다. 에젝터를 통과한 물과 공기 혼합체는 공급수 탱크(Feed water tank)로 재순환하게 된다, 그리고 에젝터에 의한 저압효과를 도출하기 위하여 각부의 압력측정 개소로서는 에젝터 출구의 확대관 전후 및 밀폐탱크로 하였으며, 압력센서(PSHA0760HAAJ)에 의하여 실시간으로 컴퓨터에 데이터가 저장되도록 하였다. Fig. 2는 실험장치의 사진을 나타낸 것이다.



Fig. 2 Photography of experimental apparatus.

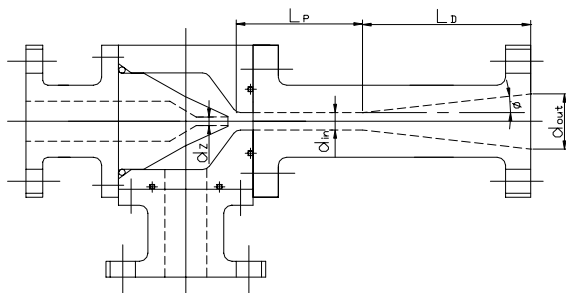


Fig. 3 Drawing of ejector.

Fig. 3은 본 연구에서 진공 형성을 위해 이용한 에젝터의 도면을 나타낸 것이다.

2.3 실험 변수

Table 1 General dimensions of ejector.

Ejector dimension	
Nozzle Outlet d_z (mm)	5.7
Diffuser Inet d_{in} (mm)	15
Diffuser Outlet d_{out} (mm)	32
Diffuser Angle Deg.(ϕ)	6.2
Diffuser Length L_D (mm)	101
Straight Pipe Length L_P (mm)	65

Table 1은 본 실험에서 진공을 형성하기 위해 사용한 에젝터의 제원을 나타내는 것이다. Table 2는 실험을 위한 실험 방법을 나타내는 것이다. 본 연구는 Type1~Type4까지 네가지 방법으로 실험을 진행하였으며, 냉동기를 통하여 공급수 탱크의 냉각과 압력탱크 내부의 공기층의 냉각을 각각 다르게 하여 실험을 진행하였다.

Table 2 General condition of experimental apparatus

	Type1	Type2	Type3	Type4
진공탱크용량(Liter)	568	568	568	568
진공탱크내의 물과공기 용량(Liter)	300L _w 268L _a	300L _w 268L _a	300L _w 268L _a	300L _w 268L _a
에젝터펌프유량(L/M)	50	50	50	50
측정시간간격(min)	1	1	1	1
항온수조유량(L/M)	5.7	5.7	5.7	5.7
냉동기 공급수탱크 유량(L/M)	none	8	none	7.5
냉동기 압력탱크내의 공기응축유량(L/M)	none	none	5.3	4.8

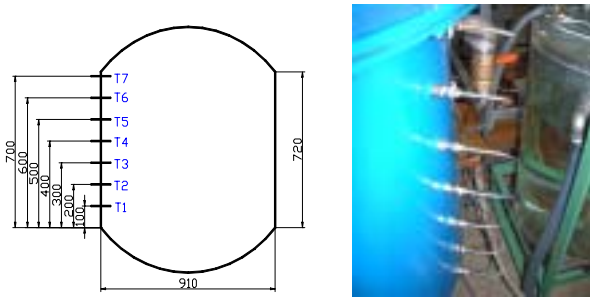


Fig. 4 Drawing and photography of temperature sensor positions.

Fig. 4는 진공탱크내의 온도를 측정하기 위하여 설치한 온도센서(RTD PT100Ω)의 위치를 나타내는 것이며, 온도센서를 저장장치와 연결하여 실시간으로 온도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 네가지 방법의 실험조건을 통하여 에젝터 구동시 저압 증발하에서의 물의 열교환의 최적의 성능을 갖는 시스템을 구축하기 위하여 실험을 진행하였다.

3.1 실험 변수에 따른 압력변화

본 연구에서는 앞에서 언급한 바와 같이 네가지 조건에 대한 압력에 대한 변화를 나타내어 보았다.

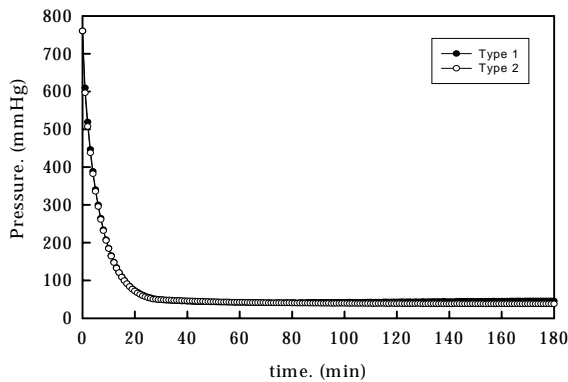


Fig. 5 Vacuumping characteristics with Type1 and Type2.

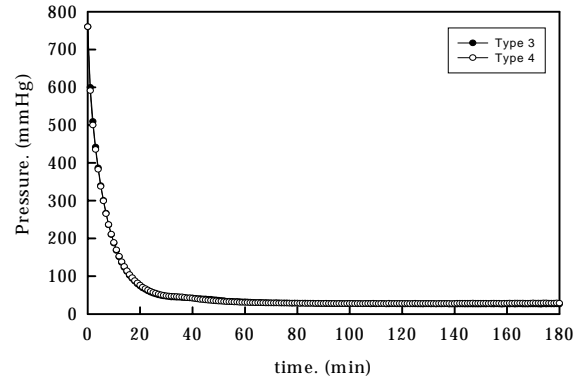


Fig. 6 Vacuumping characteristics with Type3 and Type4.

Fig. 5와 Fig. 6은 에젝터 구동시 진공탱크내의 압력에 대한 그래프이다. 본 연구에서는 진공탱크내에 40℃물 300L를 채워 실험을 하였다. 그 결과 진공탱크내에 공기측부분에 응축을 시켰을 때 진공도 효과가 가장 좋은 것으로 나타나고 있다. 이때의 압력도 약27mmHg를 나타내어 물의 증발효과에 적절한 진공도를 나타내는 것으로 판단된다.

3.2 실험 변수에 따른 온도변화

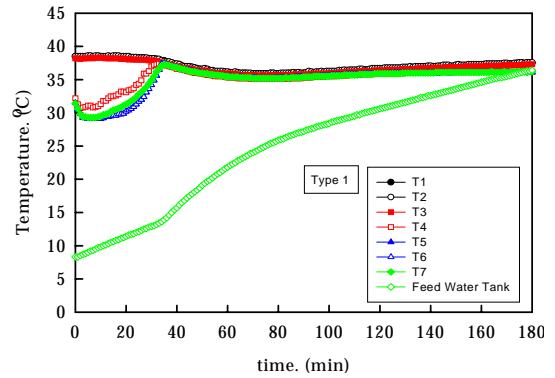


Fig. 7 Temperature distribution of inside vacuum tank at Type1.

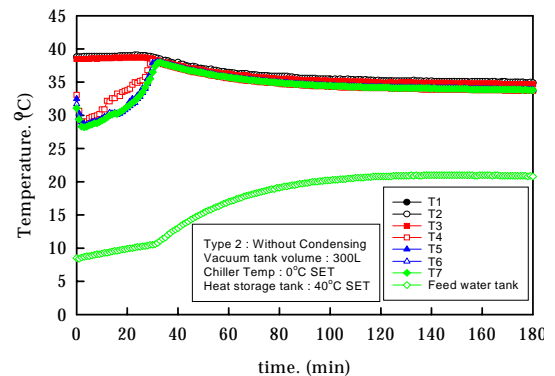


Fig. 8 Temperature distribution of inside vacuum tank at Type2.

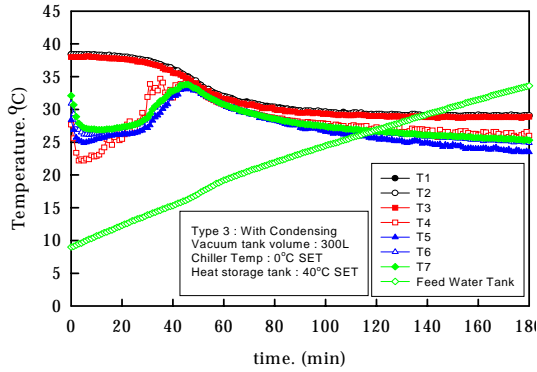


Fig. 9 Temperature distribution of inside vacuum tank at Type3.

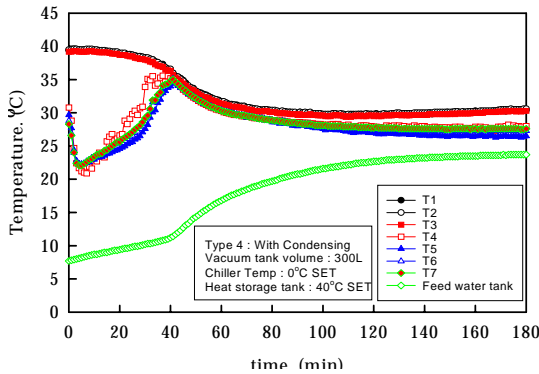


Fig. 10 Temperature distribution of inside vacuum tank at Type4.

Fig. 7에서 Fig. 10은 각각의 온도변화를 나타내는 그래프이다. Fig. 5와6의 그래프에서 나타나듯이 본 연구에서는 물의 증발을 이용하는 실험이므로 진공탱크내의 진공도에 따라 증발압력의 차이가 나타나게 된다. 그러므로 각각의 실험 변수에 대해 온도 변화가 차이를 나타나게 된다. 저압 증발하에서 냉각효과는 약7°C 정도를 나타내고 있다.

3.3 실험 변수에 따른 열교환특성

Fig. 11에서 Fig. 14는 에젝터 구동시 진공탱크내의 열교환과 물공급 탱크의 열교환에 대해 나타내는 그래프이다.

본 연구에서는 네가지 실험변수에 대해 열교환에 따른 변화량을 측정하여 물의 열교환 특성에 대해 연구해 보았다.

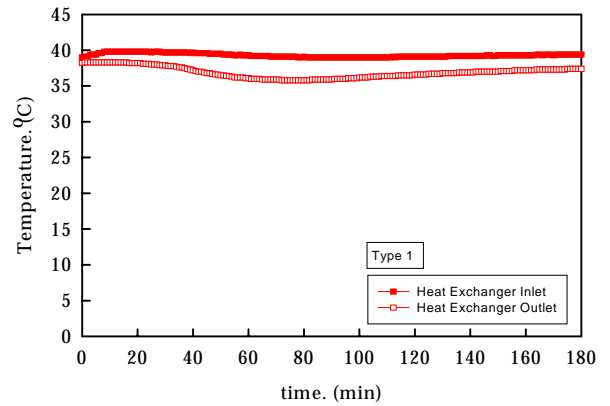


Fig. 11 Temperature distribution of inlet and outlet at Type1.

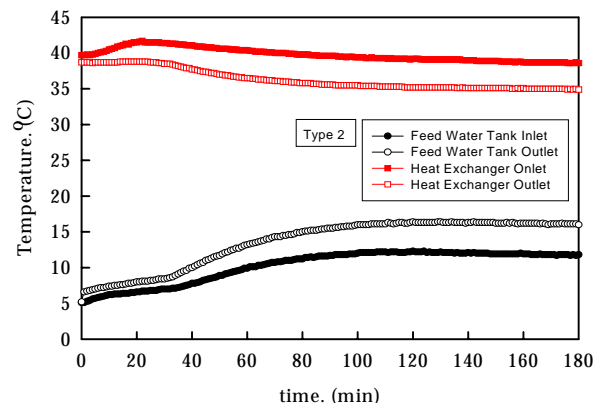


Fig. 12 Temperature distribution of inlet and outlet at Type2.

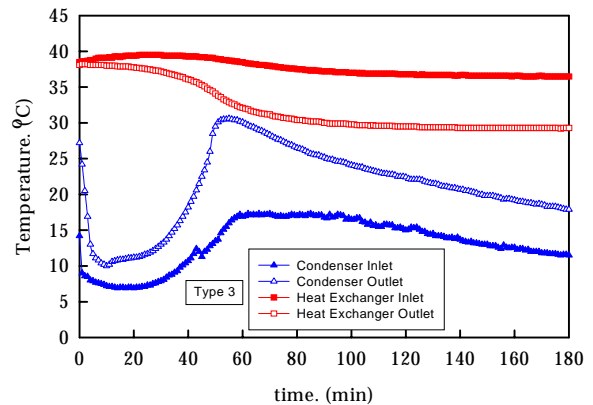


Fig. 13 Temperature distribution of inlet and outlet at Type3.

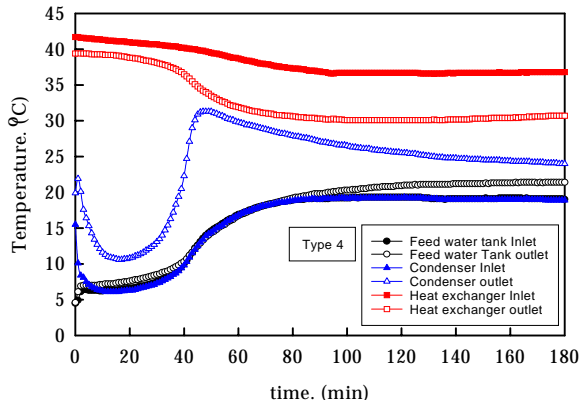


Fig. 14 Temperature distribution of inlet and outlet at Type4.

Table 3 Temperature difference at 180min.

	Type1	Type2	Type3	Type4
ΔT (Water in tank)	2	3	8	10
ΔT (Water in heat exchanger)	2	3	8	8

압력과 온도 변화에서 나타나듯이 열교환에 의한 온도 변화량도 진공 탱크내의 공기측부분에 응축을 시켰을 때 열교환에 의한 온도 변화량이 가장 좋게 나타나고 있다.

4. 결 론

본 연구는 에젝터 구동에 따른 저압 증발하에서의 물의 열교환 특성에 대한 연구를 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서 진공도는 710~735mmHg정도까지 형성 되었다.
- 2) 물의 증발잠열을 이용하여 진공상태에서 증발하는 것을 조사할 수 있었으며, 물이 증발하면서 잠열을 빼앗아 냉각의 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다.
- 3) 진공탱크내의 온도 차이는 7°C 정도의 냉각 효과를 나타내었다.
- 4) 진공탱크내의 공기측부분을 응축시켰을 때 진공도 및 온도의 변화량이 가장 좋게 나타나는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 환경부 차세대 핵심 환경기술개발 사업(2001-11203-3-0)의 지원과 경상대학교 BK21 지역대학육성 사업단의 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) H.C.Lee, K.H.Bang and M.H.Kim, 1998, "Experimental study on the thermal performance of a cooling tower", SAREK, vol.10, pp.88-94.
- (2) K.D.Chu, J.I.Yoon, J.D.Kim, C.J.Lee, S.I.Yu and Y.M.Yang, 1999, "An experimental characteristics of thermal performance of cross flow type cooling tower", SAREK, pp.271-276.
- (3) Y.S.Kim, S.D.Park and S.J.Lee, 2000, "A study on fill development of cooling tower", SAREK, pp.1115-1120.
- (4) K.S.Kim, J.S.Lee, W.N.Kim and K.K.Kim, 1990, "A study on the performance characteristics of the large liquid ejector", KSMME, vol.14, n.1, pp.90-98.
- (5) A.Thakker, 1985, "Evaluation of Conical Diffuser Performance", ASME, pp.85-IGT-27.
- (6) J.Fabri, and R.Siestrunck, 1958, "Supersonic Air Ejectors", Advances in Applied Mechanics, New York, N. Y., Academic Press, Vol.5, pp1~34.
- (7) F.Yamamoto and M.Takebe, 1984, "Measurement of Transient Characteristics of Supersonic Air Ejector", JAMS, Vol50, No.458, pp.2649~2654.