

수 이젝터를 이용한 밀폐형 진공탱크내의 온도저감 특성

김세현[†] · 신유식^{*} · 배강열^{*} · 이윤환^{*} · 정효민^{**} · 정한식^{**}

Characteristics of Cooling Down in the Enclosed Vacuum Tank by Water Driving Ejector

Se-Hyun Kim, You-Sik Shin, Kang-Youl Bae, Youn-Whan Lee,
Hyo-Min Jeong and Han-Shik Chung

Key Words: Cooling tower(냉각탑), Water driving ejector(수 이젝터), Vacuum pressure(진공압력), Evaporating latent heat(증발잠열)

Abstract

The general cooling tower is a device for making a cooling water in refrigerant condensers or industrial process heat exchangers. The present cooling tower have defects with noises, complicated structure and environmental problems.

In this paper, we constituted a new water cooling system by using a evaporating latent heat in an enclosed tank, and this system is consisted of an enclosed vacuum tank and water driving ejector system. Several experimental cases were carried out for improvement methods of high vacuum pressure and water cooling characteristics. The ejector performance was tested in case of water temperature variations that flows in the ejector. Based on the vacuum pressure by water driving ejector, the water cooling characteristics were investigated for the vaporized air condensing effects.

기호설명

L : 탱크 부피[Liter]
 P : 압력[mmHg. abs.]
 Q : 유량[L/M]
 RT : 냉동톤
 T : 온도[°C]

하첨자

a : 밀폐 탱크내의 공기
 E : 이젝터
 hc : 응축부의 열교환기
 he : 이젝터부의 열교환기
 in : 초기값
 P : 이젝터 펌프
 r : 면적비
 T : 밀폐탱크
 w : 밀폐탱크내의 물

[†] 경상대학교 정밀기계공학과 대학원
E-mail : buldog331@hanafos.com
TEL : (055)646-4766 FAX : (055)640-3188

^{*} 경상대학교 대학원

^{**} 경상대학교 기계항공공학부· 해양산업연구소

1. 서론

대부분의 공기조화 시스템과 생산 공정 중에서 열이 발생하게 되는데, 이러한 폐열을 방출, 제거하기 위한 시스템으로 냉각탑이 주로 사용되고

있으며 냉동기와 생산 공정에서 열교환기로부터 폐열을 제거하기 위한 열전달 매개체로는 일반적으로 물이 사용된다. 급수와 수처리 비용이 증가하고 있기 때문에 이러한 목적으로 사용하기 위해서는 많은 비용이 든다. 또한 자연상태에서 얻어지는 냉각수는 온도가 일정하지 않는 등의 문제로 사용할 수 없다. 일반적으로 냉각탑은 수냉식의 냉동기, 냉난방과 산업처리 시스템으로부터 열을 방출하기 위해서 널리 사용되고 있다. 냉각탑 시스템의 물 소비율은 1회 순환시 마다 전체의 약 5%이며 설계 핸드북⁽¹⁾(SAREK, 1987)에서는 냉각탑의 재순환 유량은 780L/RT/hr로 보고하고 있다. 그러므로 냉각탑은 용량이 큰 시스템을 구축해야하며 비례적으로 물의 소비량은 증가하고 냉각탑으로부터 증발하는 물에서 번식하는 레지오넬라균 같은 환경문제도 발생하게 된다.⁽²⁾

현재까지 냉각탑은 냉각탑 시스템에서의 전력 소비량은 2%이하이기 때문에 주요 냉동시스템보다 관심을 가지지 않고 있는 실정이다. 그러나 냉각수 온도가 1.5℃정도 상승하면 압축기에서 소요되는 전력은 거의 10%정도 상승할 수 있다는 점에 주목해야한다. 냉각탑에서 유입되는 냉각수의 온도는 약 37℃이고, 냉각탑으로부터 냉각수가 나갈 때의 온도는 약 31~32℃이다. 그러므로 표준냉각탑 시스템의 온도차는 약 5~6℃로 평가된다. 현재 대부분의 냉각탑은 증발잠열의 효과와 대기에서 현열을 이용하고 있으며 다음과 같은 문제점이 있다. 첫 번째, 냉각 성능은 대기압에서 큰 영향을 받으며 두 번째, 현재의 냉각탑은 레지오넬라균을 예방하기 위하여 약품 투입이 필요하다. 세 번째, 큰 팬과 매우 복잡한 시스템 때문에 전기의 소비와 에너지 소비가 높다. 네 번째, 외부에 위치하고 있기 때문에 외관이 좋지 않으며 소음이 심하다. 냉각되는 물은 노즐, 분사막대 등을 통해 냉각탑 안으로 분사되며 매우 큰 표면적이 대기에 노출되어 있다(DeJong et al., 1999).⁽³⁾ 공기는 스프레이로부터 팬, 대류적인 흐름, 자연의 바람 또는 유도적인 효과에 의해서 순환된다. 현재의 냉각탑은 대향류형과 직교류형의 두가지로 요약할 수 있다. Chu et al.(1999)은 직교류형 냉각탑에서 냉각을 유지하기 위한 공기의 조건에서 적당한 공기의 유량이 있다고 발표하였다.⁽⁴⁾ 냉각탑에서 충전재는 매우 중요하며 전체적인 실행에 영향을 줄 수 있다. 그리고 Kim

et al.(2000)은 대향류형 냉각탑에서의 열기의 실행을 개선하기 위해서 충전재의 두 가지 형태를 개발하였다.⁽⁵⁾

산업분야에서 사용되는 이젝터는 3가지 종류가 있으며 이젝터는 공기, 증기 그리고 물 같은 구동유체에 의해서 분류된다. 수 이젝터는 단순한 설비와 경제적인 비용 때문에 가장 일반적으로 사용되고 있다. 수 이젝터는 두 가지 목적(Kim, 2000, Simizu, 1987)으로 사용되는데 하나는 브라인과 같은 물질을 수송하는데 사용하며 다른 하나는 밀폐탱크(Kim, 2001)내의 진공압력을 만드는데 사용한다.⁽⁶⁻⁸⁾ Choi et al.(2001)은 공기이젝터, 이젝터 목부분, 혼합부와 목부분 면적에서의 아음속/음속을 계산하였으며⁽⁹⁾ Kim et al.(2002)은 이젝터에서의 음속과 아음속 흐름을 연구하였다.⁽¹⁰⁾ 이젝터에 의한 냉각시스템은 Lee et al.(2002)이 냉매 R134a를 갖는 냉동시스템의 경우 COP에 대해서 실험하였다.⁽¹¹⁾

본 논문에서는 현재의 냉각탑의 단점을 보완, 수정하기 위하여 수 이젝터에 의한 밀폐탱크내의 물의 온도 저감 특성을 구하였다.

2. 실험장치

냉각효과는 진공압력에 영향을 받기 때문에 진공을 만들어 주는 장치가 필요하며, 이러한 목적으로 진공펌프를 사용하였다. 그러나 일반적인 진공펌프는 소량의 부피, 고진공을 얻기 위해서 설계되어 있다. 본 논문에서는 밀폐공간에서 진공상태를 만들기 위해 수 이젝터 펌프 시스템을 이용하였다.

Fig. 1은 이젝터의 상세도를 나타내고 있으며, 이젝터는 노즐, 노즐과 디퓨저 사이의 직관, 디퓨저 각도의 주요 3부분으로 구성되어 있다. 노즐의 직경을 5.7mm, 직관의 지름은 15mm하였으며 디퓨저의 각도를 6.2°로 하였다.

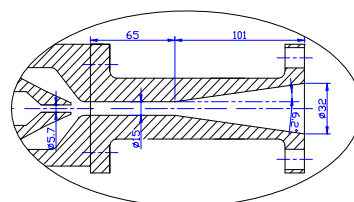
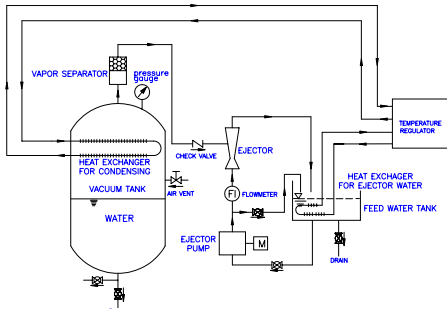


Fig. 1 Drawings and photo of ejector



(a) Schematic diagram of experimental set-up



(b) Photography of experimental set-up

Fig. 2 experimental apparatus for research

Fig. 2는 본 실험의 장치 구성도와 사진을 나타내고 있다. 568L의 용량을 가지는 진공 챔버와 이 부분을 진공상태로 만들어 주는 수 이젝터로 구성되어 있다. 이젝터를 통해서 나간 물은 공급수탱크(Feed water tank)로 흘러 들어가서 이젝터 펌프를 통해 재순환하게 된다. 이젝터 펌프 시스템은 유량계와 유량조절밸브로 구성되어 있고, 압력센서(PSHA0760HAAJ)는 진공탱크의 상부에 설치하였으며 측정된 압력신호는 데이터 로그(DR130, YOKOGAWA)를 통하여 PC로 저장되도록 하였다. 본 실험장치에 설치된 2개의 열교환기 중 하나는 증발하는 증기를 응축하기 위하여 밀폐탱크내 공기측에 설치하였고, 다른 하나는 이젝터에 물을 냉각시켜 공급하기 위하여 공급수탱크내에 설치하였다. 2개의 열교환기의 온도는 항온수조를 이용하여 제어하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이젝터 공급수 온도에 따른 효과

냉각수를 얻기 위해 물은 증발조건에 의해서 증발되어야 하며 이 조건들은 진공에 의해서 이

루어진다. 본 실험에서 수 이젝터는 진공을 형성하기 위하여 사용하였으며 이젝터에 유입되는 물의 온도와 저압성능의 관계에 대하여 연구하였다. Fig. 3은 이젝터에 유입되는 물의 여러 가지 초기값들에 따른 밀폐탱크내의 압력분포를 나타내고 있다. 수평과 수직측은 각각 탱크내의 측정 시간과 절대압력을 나타내었다.

밀폐탱크에는 물을 채우지 않고 568L의 빈 공간의 상태에서 실험을 하였으며 변수로는 이젝터 공급수의 유입 초기 온도로 하였다. 유입 초기 온도 T_E 가 낮을 경우 탱크내의 압력은 높은 진공 효과가 나타났으며 이 압력은 약 90분 지난 후 일정하게 유지되는 현상을 보였다. 그 이유는 이젝터를 통하는 낮은 온도의 물이 이젝터 주위에서 고밀도의 흡입공기를 생성하기 때문으로 생각된다. Fig. 4는 이젝터 공급수의 온도를 나타내고 있으며 이 온도는 파이프와 이젝트 펌프에서의 마찰로 인해서 자연히 상승하는 것을 알 수 있다.

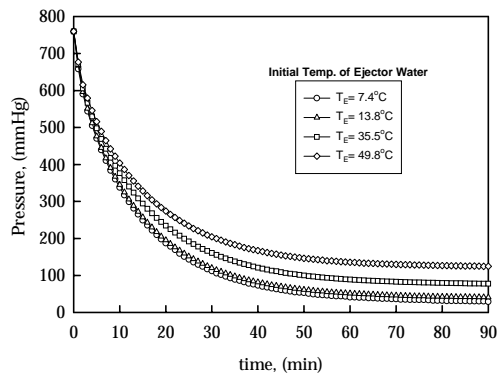


Fig. 3 The vacuum pressure distributions in an enclosed tank for various initial temperatures of ejector

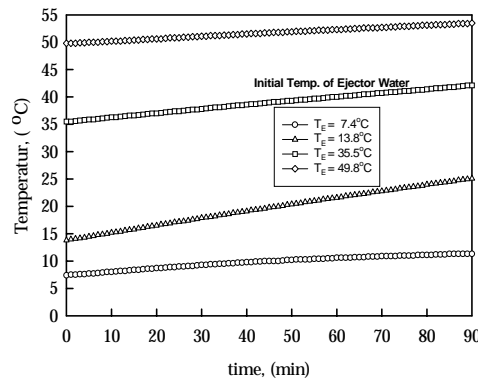


Fig. 4 The temperature variations of ejector water

Fig. 5는 진공압력과 평균 이젝터 공급수와의 관계를 보여주며 수평축의 값들은 Fig. 4에서 50분일 때의 온도를 나타내고 있다. 이 그래프에서 관계식은 $P = 20.09 \times 1.036^{T_E}$ 로 나타났다.

이 관점에서 보면, 이젝터를 통하는 물의 온도와 진공압력은 관계가 있으며 높은 진공압력을 얻기 위해서는 공급수의 온도를 낮게 유지하는 것이 필요하다.

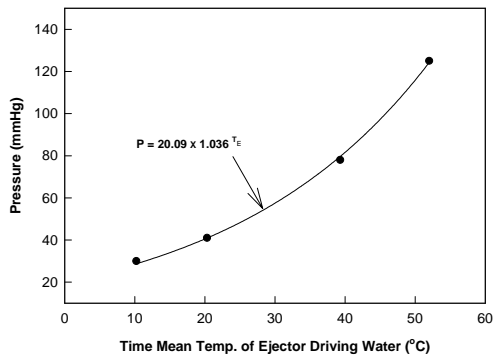


Fig. 5 Relationships between vacuum pressure and mean ejector water temperature

3.2 물의 냉각특성

이젝터내의 저온수의 흐름은 높은 진공압력을 발생시키며 이것은 증발조건이 생기는 것을 의미한다. 증발조건에서의 물은 증발잠열을 흡수하며 물은 냉각되며 여러 가지 실험조건들을 통해서 물의 냉각특성을 연구하였다.

온도는 Fig. 6에서와 같이 밀폐탱크내의 여러점에서 측정하였다. 빈 밀폐탱크는 568L의 용적을 가지며 300L_w는 밀폐탱크내에 300L의 물과 268L의 공기로 가득하다는 것을 의미한다.

실험에서 초기 물의 온도를 37°C로 설정하였으며 이 온도는 일반적인 냉각탑의 온도를 고려하였기 때문이다.

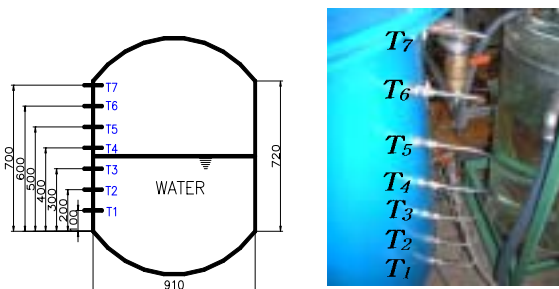


Fig. 6 Schematic diagram and photography temperature measuring points

Fig. 6은 온도센서(RTD PT100Ω) T1, T2와 T3는 수면 아래에 위치하고 있으며 온도센서 T4, T5, T6와 T7은 공기층에 위치한다.

Table 1은 본 실험에서의 변수를 나타내고 있다. Q_{hc}와 Q_{hc}의 값들은 Fig. 2(a)에서처럼 각각 이젝터 공급수 탱크 열교환기의 유량과 밀폐탱크 응축기부 열교환기의 유량을 나타내고 있다.

Fig. 7은 Table 1에서 3가지 실험 변수들에 의한 진공압력분포를 나타내고 있다. 30분이 지났을 때의 압력은 거의 정상상태를 나타내며 Type 1, Type 2와 Type 3의 압력값은 각각 49.4, 48.8 그리고 47.6mmHg. abs.을 나타내었다.

Table 1. Main experimental parameters for water cooling test

	Type1	Type2	Type3
Enclosed tank volume(Liters)	568	568	568
Filled water and air volume(Liters)	300L _w 268L _a	300L _w 268L _a	300L _w 268L _a
Flow rate into ejector pump, Q _p (L/M)	50	50	50
Flow rate in heat exchanger of ejector water, Q _{hc} (L/M)	none	8	none
Flow rate in heat exchanger of condensing, Q _{hc} (L/M)	none	none	5.3

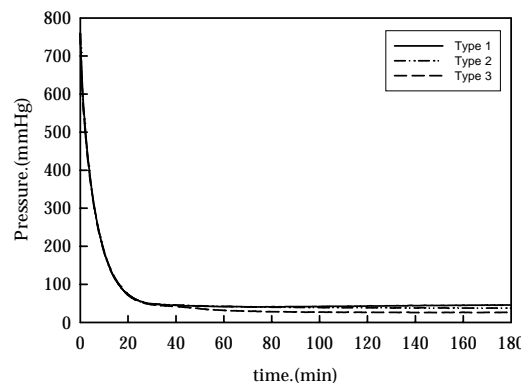


Fig. 7 Vacuum pressure distributions for three type ; Type 1, Type 2 and Type 3

이 압력값은 180분에서 점차적으로 45, 38과 26mmHg로 감소하였다. Type 3의 경우 가장 높은 진공압력을 나타내었으며 이것은 더욱 차가운 냉각수를 유입시키면 물의 증발이 활성화된다는 것

을 의미한다. 진공압력에 대한 냉각수의 효과를 연구하기 위하여 Type 1, Type 2와 Type 3의 경우를 실험하였다. Fig. 8, Fig. 9와 Fig.10은 각각의 경우 밀폐탱크의 온도분포와 이젝터 공급수의 관계를 나타내었다.

이 그림에서 검은색 마크는 수면 아래를 나타내며 흰색 마크는 수면 위를 나타낸다. 온도 T_E 는 이젝터 펌프에서의 온도이며 이 물은 폐회로 순환을 한다. 시간이 30분 정도 경과했을 때 수면의 온도 기울기가 급격하게 나타나고 있으며 이 점에서 증발조건에 도달하였다고 생각된다. 실험에서 T1, T2 와 T3의 온도차는 보이지 않는 것을 확인할 수 있으며 수면 아래의 온도분포는 거의 같은 것으로 나타난다. 공기층의 초기온도는 실험을 시작한 후 30분까지 점차적으로 상승하는 것을 볼 수 있다. 이것은 38°C의 온도에서 물의 일반적인 증발조건이 50mmHg이기 때문이다. 30분이 경과했을 때의 실험압력은 이러한 증발조건을 만족하며 이 현상은 Fig. 8, Fig. 9와 Fig. 10에서 보여지는 것처럼 갑자기 감소하는 온도로부터 더욱 분명하게 나타난다. 공기층 온도 분포는 30분 이후 수중의 온도분포와 일치하는 경향을 보이고 있다. 이것은 물의 증발잠열이 공기층으로 전달되기 때문이다. 그러므로 물과 공기층의 온도차는 나타나지 않는다. 그러나 Fig. 10에서 Type 3의 경우 공기층 온도는 물층의 온도보다 낮다. 이것은 Fig. 2에 있는 밀폐탱크내의 열교환기에 의한 공기의 응축 때문이다. 이젝터 공급수의 온도는 Type 2의 경우 냉각수를 공급하였기 때문에 Type 2를 제외하고 거의 선형적인 증가를 나타내었다.

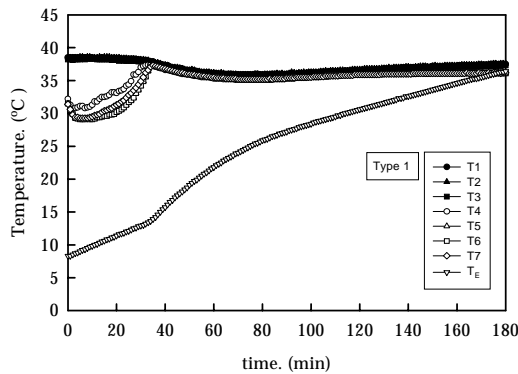


Fig. 8 Temperature distributions of enclosed tank and ejector in case of Type 1

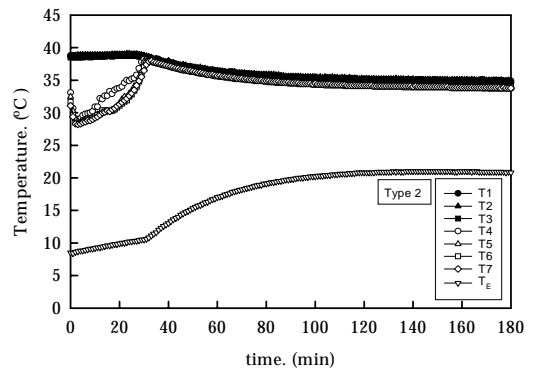


Fig. 9 Temperature distributions of enclosed tank and ejector in case of Type 2

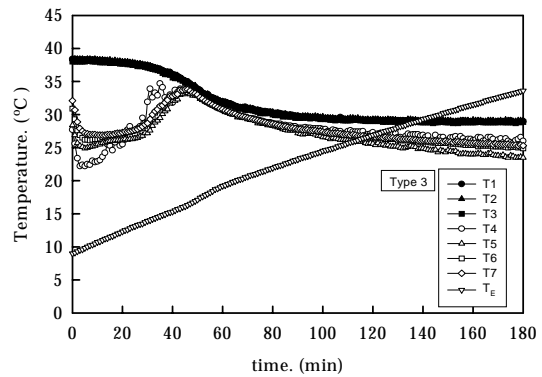


Fig. 10 Temperature distributions of enclosed tank and ejector in case of Type 3

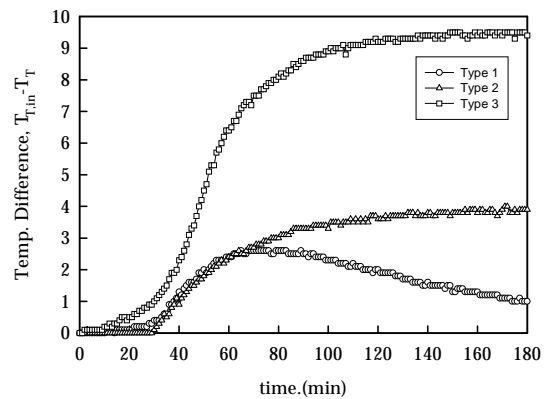


Fig. 11 Temperature difference distributions in enclosed tank

Fig. 11은 밀폐탱크내의 온도분포를 나타내고 있다. 수직축의 값들은 38°C인 초기 물의 온도와 T1의 온도사이의 차를 $T_{T,in}-T_T$ 로 나타내었으며 가장 큰 냉각효과를 나타낸 것은 Type 3의 경우이다. 실험시간을 180분으로 했을 때 Fig. 10과 Fig. 7에서 보여지는 것처럼 이젝터 공급수의 온도가 약 35°C일 때 가장 낮은 진공압력을 나타내었다.

이 결과로부터 낮은 온도의 이젝터 공급수는 높은 진공압력을 얻을 수 있는 특성을 알 수 있었다. 즉, 이젝터 공급수의 온도는 정상상태 압력조건인 시작점에서는 중요하지 않으며 이젝터 공급수 초기온도가 10℃이하일 경우 저압 성능이 양호하다는 것을 알 수 있었다.

Type 1, Type 2와 Type 3의 3가지 경우를 비교하였을 때 Fig. 11에서 나타나는 것처럼 다른 요소들 보다 공기를 응축하는 것이 물의 냉각특성에 더 효과적인 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서 증발잠열을 이용한 냉각탑을 제작하였으며 이 시스템은 밀폐탱크와 수 이젝터로 구성되어 있다. 본 실험을 통하여 이젝터에 공급되는 온도 및 밀폐탱크내의 공기층 응축에 의한 냉각탑의 효율상승을 알 수 있었으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 현재 냉각탑 시스템에서 냉각시켜야하는 물의 온도는 약 37℃이며 이 온도로부터 냉각효과를 얻기 위해서 진공압력을 이용한 강제 증발시스템을 제시하였다.

(2) 이젝터 공급수의 온도가 낮을수록 높은 진공압력을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 이젝터부를 가동하기 위한 초기온도가 중요하며 초기온도가 10℃를 초과하지 않도록 유지하는 것이 요구된다. 그리고 물이 증발하는 최대 진공압력은 50mmHg이하에서 얻을 수 있었다.

(3) 여러 가지 실험조건들에서 물을 냉각하기 위해서 다른 조건들보다 밀폐탱크내의 공기층을 응축하는 방법이 효과적인 것을 알 수 있었다.

후 기

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

참고문헌

(1) Society of Air-Conditioning and Refrigerating

Engineers, Korea, 1987, Handbook of Air-Condition, Refrigeration and Sanitary Engineering, PartIII-174.

(2) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1996, Cooling Tower System and Equipment Handbook, Chap. 36.

(3) N.C. DeJong and A.M. Jacobi, 1999, "Local Flow and Heat Transfer Behavior in Convex-Louver Fin Arrays", Trans. of ASME, Journal of Heat Transfer, Vol.121, No.1, pp.136~141.

(4) K.D. Chu, J.I. Yoon, J.D. Kim and C.J. Lee, 1999, "An Experimental Characteristics of Thermal Performance of Cross Flow Type Cooling Tower", Proceedings of SAREK, 99-W-047, pp.271~276.

(5) Y.S. Kim, S.D. Park and S.J. Lee, 2000, "A Study on Fill Development of Cooling Tower", Proceedings of SAREK, 2000-S-166, pp.1115~1120.

(6) K.K. Kim and S.Y. Choe, 2001, "A Study on Thermal Characteristics of Low Temperature Vacuum Drying by Hot Water Temperature", Journal of Korean Society of Marine Engineers, Vol.25, No.3, pp.158~164.

(7) M.K. Kim, O.B. Kwon, H.G. Kim and C.G. Lee, 2000, "A Study on the Characteristics of Jet Pump Having Exteriorly Connected Multi-Nozzles", Journal of KSPSE, Vol.4, No.1, pp.33~38.

(8) Y. Shimizu, S. Nakamura, S. Suzuhara and S. Kurata, 1987, "Studies of the Configuration and Performance of Annular type Jet Pumps", ASME Journal of Fluids Engineering, Vol.109, pp.205~212.

(9) B.G. Choi, B.S. Koo, H.D. Kim and D.J. Kim, 2001, "Computations of Bleed Pump Type Subsonic/Sonic Ejector Flow", Trans. of KSME, Vol.25, No.12, pp.269~276.

(10) H.D. Kim and B.G. Choi, 2002, "An Experimental Study of Sonic/Supersonic Ejector Flow", Trans. of KSME, Vol.26, No.5, pp.640~647.

(11) W.H. Lee, Y.J. Kim and M.S. Kim, 2002, "Experimental Study in Performance of Refrigeration System with an Ejector", Int. Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol.10, No.4, pp.201~210.