

핀 부착 열교환기에서 습증기(Mist)발생 메커니즘의 파악을 위한 실험적 고찰

박상균* · 최권삼** · 김성태*** · 김명환*** · 오 철***

An Experimental Study on Understanding of Production Mechanism of a Mist from Fin Adhesion Heat Exchanger

S. K. Park*, K. S. Choi**, S. T. Kim***, M. H. Kim***, C. Oh***

Abstract : As an improvement in the standard of living and economic growth, the demand for air conditioning equipment is increasing rapidly. Nowadays, air conditioning equipments are being used for industry, large building, house and car. These equipments was concentrated on improving heat efficiency of economic aspects while they design heat exchanger for cooling and heating. These air conditioning equipments using heat exchanger cause a discomfort to user due to generating mist at the beginning of operating. Therefore, the user demand air of high class and quality. In this experimental study, to acquire elementary data for development of heat exchanger which be able to supply air of high quality, that is to say, possess a restraint effect of mist generation. We estimate an effect on cooling plate kind, supply air velocity, supply air temperature, cooled plate temperature and supply air relative humidity which have an influence on outlet air condition of heat exchanger.

Key Words : Air conditioning equipment(공기조화장치), Heat exchanger(열교환기), Mist(습증기), Relative humidity(상대습도)

1. 서론

경제적 발전과 생활수준의 향상으로 보다 쾌적한 생활환경을 추구하게 되었으며, 그에 따른 공기조화장치에 관련된 기술개발의 노력이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이러한 공기조화장치는 그 수요가 급속도로 증가하고 있으며, 앞으로 인간생활에 없어서는 안될 중요한 제품중의 하나로 자리잡고 있다.

일반적으로 각종 산업용이나 대형건물, 가정 및 자동차에서 사용되고 있는 공기조화용 열교환기에 대해서 열교환기의 성능 및 에너지절약의 측면에서는 많은 연구가 진행되어

왔으며, 특히 핀-관 열교환기에 있어서 공기측 열저항의 가장 큰 비중을 차지하는 핀 효율의 개선 및 열교환기 표면의 서리 성장에 관한 연구는 다양한 형상 및 환경에서 많은 연구가 진행되어 왔다.^{1)~5)}

그러나 습증기(mist)발생에 관한 연구는 종래에 일련의 연구가 되어왔지만 공기조화용 열교환기와는 별개의 산업용 기계에서의 습증기 생성에 관한 연구가 주로 행하여졌고,^{6)~7)} 대형건물 및 자동차용에 관련된 공기조화용 열교환기에서의 습증기 발생 메커니즘에 관한 연구는 극히 적은 실정이다. 습증기 발생 메커니즘에 관해서 Yamada등⁸⁾은

* 한국해양대학교 대학원

** 우진엔지니어링

*** 한국해양대학교 기관시스템공학부

발수성 전열면을 가진 핀에서의 습증기 발생에 관한 실험을 행하여 친수성표면과 발수성표면에 대해서 핀의 간격과 공기의 유속에 따른 습증기 발생량을 실험적으로 비교평가하였으나 습증기 발생량의 정량화에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공기조화장치에서 보다 양질의 공기를 공급할 수 있는 열교환기의 개발과 관련하여 습증기 발생의 기초적 메커니즘의 파악을 위해 열교환기의 출구공기에 영향을 미치는 냉각면의 종류, 공급공기의 유속, 공급공기의 온도, 냉각면의 온도 및 공기의 상대습도의 영향에 대하여 실험적으로 검토하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용되어진 실험장치의 전체 계통도이다. 그림에 나타난 바와 같이 실험장치는 개회로 풍동장치로서 크게 공급공기의 유속을 조절하는 풍량 조절장치,

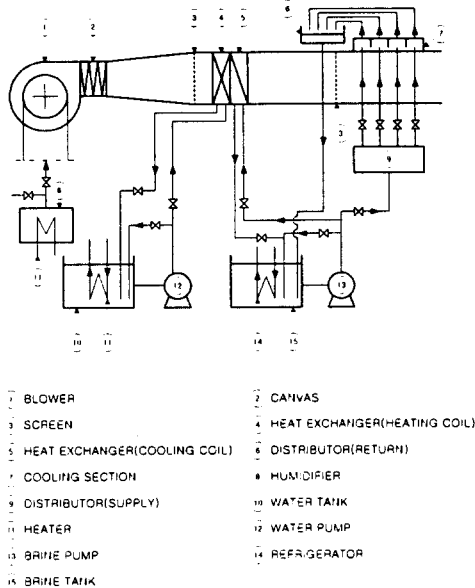


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

공급공기의 온도를 조절하는 가열부 및 냉각부, 공급공기의 습도를 조절하기 위한 가습부, 냉각면의 온도를 조절하기 위한 브라인(brine) 순환부 및 시험부로 구성되어 있다. 냉각면 입출구부의 공기온도를 측정하기 위해 열전대(K-type)를 2개소에 부착하였고, 냉각면의 등온상태 확인을 위해 냉각판에 50mm간격으로 8개소에 열전대(C-A type)를 부착하였다. 냉각면 입출구부에서의 상대습도를 측정하기 위해 습도계(HMP-234)를 부착하였으며, 공급공기의 풍속측정을 위해 피토편(pitot tube)을 냉각면 입구부에 설치하여 덕트내의 풍속을 측정하였다.

시험부(test section)의 냉각면은 두께 3mm의 동판과 알루미늄판을 사용하였고, 냉각면을 소정의 냉각온도로 유지하기 위하여 내부에 격벽과 노즐을 설치하여 냉동기에 의해 온도가 조절된 브라인(에칠렌글리콜 수용액)이 냉각면에 분사되는 구조로 하였다. Fig. 2는 시험부의 상세도를 나타낸다.

가시화부는 냉각면 주위에서 일어나는 습증기 발생현상을 관찰할 수 있도록 두께 20mm의 투명한 아크릴판을 사용하여 제작하였다. 또한 외부와의 단열을 위하여 촬영

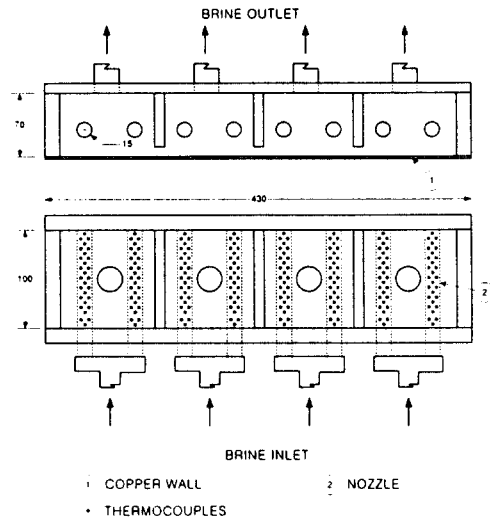


Fig. 2 Detail of test section

부만을 제외한 덕트의 나머지 부분은 단열재로 단열하고 아크릴 부분은 습증기발생의 가시화를 위해 검은색으로 표면 처리하였다.

2.2 실험방법

송풍기에서 공급되는 공기의 풍속을 일정히 유지한 후 대기중의 공기를 냉각, 가열 및 가습하여 공기의 온도 및 습도가 일정한 상태에서 냉각용 브라인을 냉각면으로 보내어 소정의 냉각판 온도로 유지되는 시간을 실험개시 시간으로 하였다.

측정간격은 열교환기에서 초기에 습증기가 발생하는 데에 주안점을 두어 실험개시 후 1분 간격으로 공기입출구온도 및 습도를 기록하였다. 실험중 습증기의 발생거동은 유로 후류부에서 흐름에 평행한 아르곤 레이저광을 조사하여 가시화 하였으며, Digital Video Camera(DCR-VX1000)로 촬영하였다. 냉각면 주위에 발생한 습증기량은 CACTUS 2000 프로그램을 이용하여 정량화 하였으며, 본 실험의 파라메타(parameter)는 Table.1과 같다.

Table.1 An experimental condition

Condition	Range
냉각면 종류	동판, 알루미늄판
공기상대습도	80 ~ 90 %
냉각면온도	- 3 ~ 0 °C
입구공기온도	20 ~ 30 °C
입구공기풍속	0.3 ~ 0.7 m/s

3. 실험결과 및 고찰

3.1 습증기량의 정량화

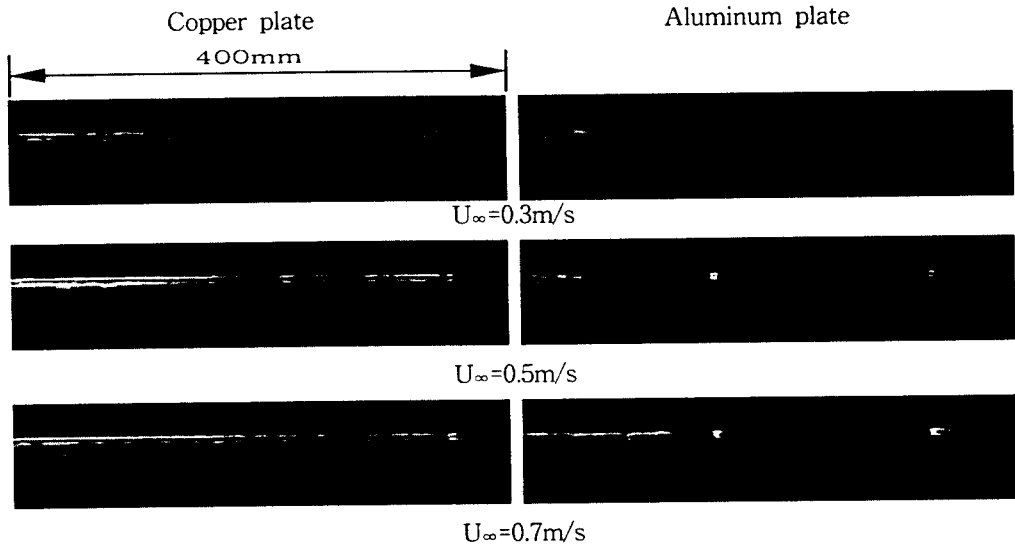
냉각면 주위에서 발생하는 습증기량의 정확한 파악은 상당히 어려운 실정이다. 따

서 본 실험에서는 습증기량이 증가할수록 동일한 밝기에서 산란현상이 증가하는 레이저광의 특성을 이용하여 습증기량을 정량화 하여 비교하였다. 습증기의 산란용 조명으로서 30W의 공랭식 아르곤 레이저에 원통형 렌즈를 부착하여 습증기 발생현상을 Digital Video Camera(DCR-VX1000)로 촬영하고, 여기에 저장된 영상은 이미지보드(DT3155)에 입력하여 원시영상파일로 변환하였다.

냉각면 주위에 발생한 습증기의 흐름은 불규칙하게 변화하므로 5분간 촬영한 영상을 30초가 경과한 시점부터 5초 간격으로 30개의 프레임 설정하여 유동장의 영상을 평균화하였다. 평균화한 프레임에서 냉각면 표면의 서리층 및 응축수의 영향력이 미치는 영역은 배제하고 동일면적(fixel)을 설정하여 히스토그램(Histogram)화 하였다. 본 실험에서는 CACTUS 2000을 이용하여 8비트(256 Grey Level)의 농도영상을 대상으로 히스토그램(Histogram)분석을 행하였다. 여기서 숫자는 가장 어두운 부분을 0, 가장 밝은 부분을 255로 나타내며, 습증기 발생이 없는 상태에서의 농도평균값(Mean value of density)은 2.5이다.

3.2 공기유속에 따른 영향

Fig. 3은 $\phi_{\infty}=90\%$, $T_{\infty}=25^{\circ}\text{C}$, $T_w=-3^{\circ}\text{C}$ 상태에서의 공급공기의 유속에 따른 동판과 알루미늄판에서의 습증기 발생현상을 가시화한 사진이며, Fig. 4는 각각의 조건에서 공급공기의 유속에 따른 습증기 발생량을 정량화한 결과이다. Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 공급공기의 유속이 증가할수록 습증기 발생량이 증가하고 동일한 유속에서 동판이 알루미늄판보다 습증기 발생량이 많음을 알 수 있다. 이는 유속이 증가할수록 열유속의 증가와 냉각면 주위에 발생한 습증기가 후류 방향으로 보내어지기 쉽기 때문이고, 동판이 알루미늄판보다 열전도율이 크기 때문에 동일한 유속에서 동판에서의 습증기 발생량이 많다.



$\varphi_{\infty}=90\%$, $T_{\infty}=25^{\circ}\text{C}$, $T_w=-3^{\circ}\text{C}$
 Fig. 3 Effect on supply air velocity

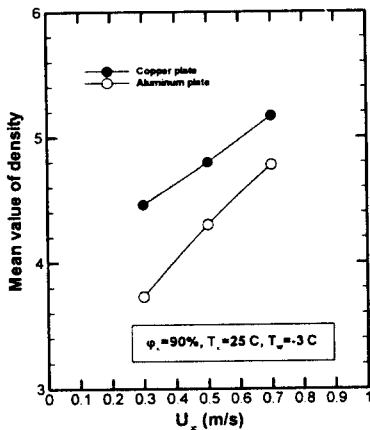


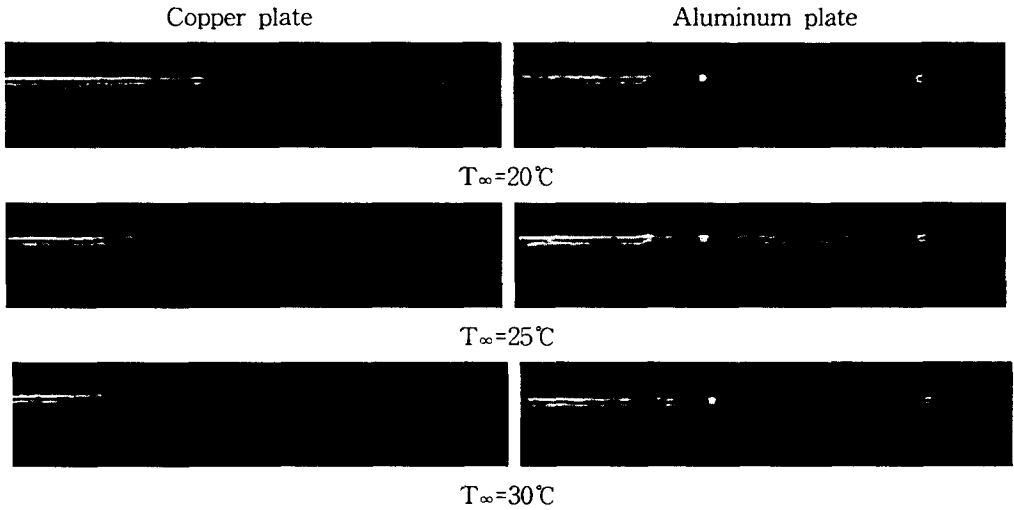
Fig. 4 Effect of supply air velocity on mean value of density at steady state condition.

3.3 공기온도에 따른 영향

Fig. 5는 $\varphi_{\infty}=90\%$, $U_{\infty}=0.5\text{m/s}$, $T_w=0^{\circ}\text{C}$ 상태에서의 공급공기의 온도에 따른 동판과 알

루미늄판에서의 습증기 발생현상을 가시화한 사진이며, Fig. 6은 각 조건에서 공급 공기의 온도에 따른 습증기 발생량을 정량화한 결과이다. Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 공급 공기의 온도가 증가할수록 습증기 발생량이 감소함을 알 수 있고, 동일한 공급공기온도에서 동판이 알루미늄판보다 습증기 발생량이 많음을 알 수 있다. 이는 동일한 조건의 공기에서 공기온도가 낮을수록 수증기 분압이 낮아지기 때문에 냉각면 주위의 공기가 포화되기 쉬운 영향 및 공기온도가 높아질수록 수증기 분압이 높아져서 물질이동의 추진력의 증가로 냉각면에 응축량이 증가해서 냉각면과 공기사이의 열저항의 역할을 하기 때문이며, 동일한 공급공기온도에서 동판이 알루미늄판보다 습증기 발생량이 많은 것은 전술한 바와 같이 동판의 경우가 열전도율이 크기 때문이다.

3.4 냉각면온도에 따른 영향



$\phi_{\infty}=90\%$, $U_{\infty}=0.5\text{m/s}$, $T_w=0^{\circ}\text{C}$
 Fig. 5 Effect on supply air temperature

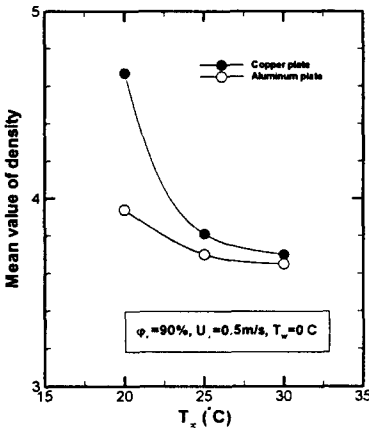


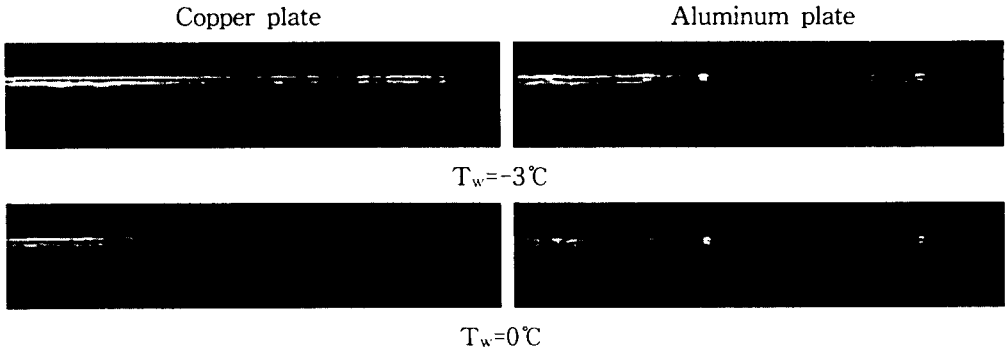
Fig. 6 Effect of supply air temperature on mean value of density at steady state condition.

Fig. 7은 $\phi_{\infty}=90\%$, $U_{\infty}=0.5\text{m/s}$, $T_{\infty}=25^{\circ}\text{C}$ 상태에서의 냉각면온도에 따른 동판과 알루미늄판에서의 습증기 발생현상을 가시화한 사진이며, Fig. 8은 각 조건에서 냉각면의 온도에 따른 습증기 발생량을 정량화한 결과이다. Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 냉각면의 온도가 낮을수록 습증기 발생량이 많아지

며, 동일한 냉각면온도에서 동판이 알루미늄판보다 습증기 발생량이 많음을 알 수 있다. 이는 냉각면의 온도가 낮을수록 온도구배의 증가로 인한 열유속의 증가와 서리층의 열확산 계수가 응축수의 열확산 계수보다 높기 때문이다.

3.5 입구공기의 상대습도에 따른 영향

Fig. 9는 $U_{\infty}=0.5\text{m/s}$, $T_{\infty}=25^{\circ}\text{C}$, $T_w=-3^{\circ}\text{C}$ 상태에서의 공급공기의 상대습도에 따른 동판과 알루미늄판에서 습증기 발생현상을 가시화한 사진이며, Fig. 10은 각 조건에서 상대습도에 따른 습증기 발생량을 정량화한 결과이다. Fig. 10에서 알 수 있는바와 같이 공급공기의 상대습도가 높을수록 습증기 발생량이 많음을 알 수 있고, 동일한 온도에서 동판이 알루미늄판보다 습증기 발생량이 많음을 알 수 있다. 이는 동일한 공기 온도에서는 습도가 높을수록 습공기에 포함되어 있는 수증기의 양이 더 많아 포화되기 쉽기 때문이며, 동일한 상대습도에서 동판이 알루미늄판보다 습증기 발생량이 많은 것은 전술한 바와 같이 동판의 경우가 열전도율이 크기 때문이다.



$\varphi_{\infty}=90\%$, $U_{\infty}=0.5\text{m/s}$, $T_{\infty}=25^{\circ}\text{C}$

Fig. 7 Effect on cooled plate temperature

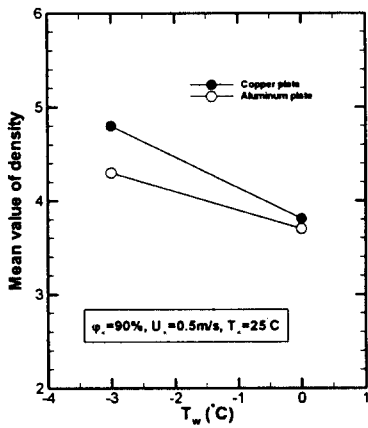


Fig. 8 Effect of cooled plate temperature on mean value of density at steady state condition.

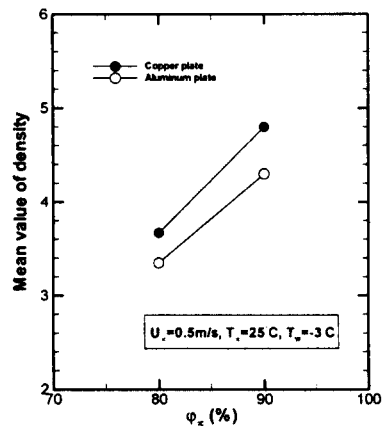
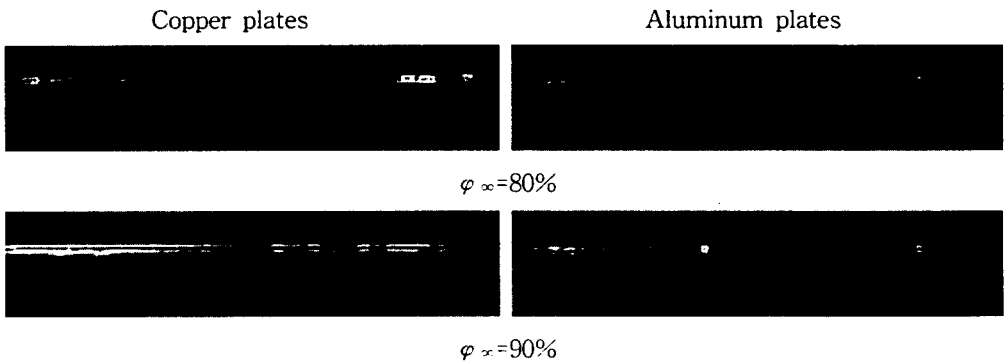


Fig. 10 Effect of relative humidity on mean value of density at steady state condition.



$U_{\infty}=0.5\text{m/s}$, $T_{\infty}=25^{\circ}\text{C}$, $T_w=-3^{\circ}\text{C}$

Fig. 9 Effect on relative humidity

4. 결론

본 연구에서는 습증기 발생의 메커니즘의 파악을 위하여 냉각평판하에서 공급공기의 유속, 공급공기의 온도, 냉각면의 온도, 공급공기의 상대습도, 냉각면의 종류에 따른 영향을 평가하여 본 실험의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 알루미늄판이 동판보다 습증기 발생량이 작다.
- (2) 공급공기유속이 느릴수록 습증기 발생량이 작다.
- (3) 공급공기온도에 따른 영향은 냉각면의 온도가 0℃일 경우 공급공기온도가 높을수록 습증기 발생량이 작아지고, 냉각면의 온도가 -3℃일 경우에는 공급공기온도가 높을수록 습증기 발생량이 증가한다.
- (4) 냉각면 온도가 높을수록 발생 습증기량이 작다.
- (5) 공급공기의 상대습도가 높을수록 발생 습증기량이 증가한다.

참 고 문 헌

1. Padki, M. M., Sherif, S. A. and Nelson, R. M., A simple method for modeling the frost formation phenomenon in different geometries, ASHRAE Trans., Vol. 95, pp.1127-1137, 1989
2. Yamakaky, N., Takahashi, N. and Ohtani, S., Forced convection heat and mass transfer under frost conditions, Heat transfer japanese research, Vol. 1, No. 2, pp. 1-10, 1972
3. Abdel-washed, R. M., Hifni, M. A. and Sherif, S. A., Heat and mass transfer from a laminar humid air stream to a plate at subfreezing temperature, Int. J. Refrigeration, Vol. 7, No.1, pp. 49-55, 1984
4. Nobuhiro seki, Shoichiro Fukusako, Kuniyuki matsuo, Shigehiro uemuea., 着霜の初期挙動, 日本機械学会論文集(B編), 50卷 451号. pp. 825-831, 1984
5. Trammel, G. J., Little, D. C., and Killgre, E. m., A Study of Frost Formed on a Flat Plate Held at Sub-Freezing Temperature, ASHREA-J., Vol. 10, No.7, pp.42-47, 1968
6. Toshiaki Kumada, Katsuhiko Sagae, Ryoji Ishiguro., 乱流氣相におけるミスト發生條件の解析モデル, 日本機械学会論文集(B編), 49卷 446号 pp. 2111-2118, 1983
7. Akria Takimoto, Yujiro Hayashi, Yoshimi Masuda., 加熱上向き面上の自対流場におけるミスト生成, 日本機械学会論文集(B編), 46卷 406号 pp. 1110-1118, 1980,
8. Masahiko Yamada, Shoichiro Fukusako, Tomoyoshi Yamaguchi, Hiromichi Kawabe., 撥水性伝熱面を有するフィンよりのミストの發生機構, 第36回日本伝熱シンポジウム講演論文集, pp. 143-144, 1998
9. Tokura, I., Saito, H., and Kishinami, K., Study on Properties and Growth and Rate of Frost Layers on Cold surfaces, Journal of Heat Transfer, Vol. 105, pp. 895-901, 1983
10. 한홍도, 노승탁, “층류유동 저습도 조건에서의 평행평판형 냉각판 서리성장 실험” 空氣調和・冷凍工學 論文集 第11卷 第4號, pp. 440-447, 1999