

은나노 공조시스템의 열교환기 설계를 위한 노즐의 분무특성 실험

허주영* · 강병하**

An Experimental Study on Nozzle Spray Characteristics for the Design of Heat Exchangers of a Nano-Silver HVAC System

Juyeong Heo* and Byung Ha Kang**

Key Words : Nozzle (노즐), Wetted area (젖은 면적), Nano-silver (은나노), Spray (분무), Heat exchanger (열교환기)

Abstract

Growing attention has been given to sterilizing and antibacterial effects of nano-silver, recently. Nano-silver solution can be applied to the heat exchanger in an air conditioner to prevent bad smell or bacteria. The present study is directed at the nozzle spray characteristics over a heat exchanger. This problem is of particular interest in the design of a nano-silver HVAC system. The effects of nozzle position and flow rate on the spray area over a horizontal surface have been investigated for various nozzles. The results obtained indicate that spray area is increased as the height of spray position is increased or mass flow rate is increased. The wetted area over a practical heat exchanger is also studied at a given nozzle height. It is found that the wetted area is gradually increased with an increase in the flow rate. However, the effect of flow rate on the wetted area is a little affected by flow rate in the range of too much flow rate. It is also found that the wetted area is decreased as the inclination angle of a heat exchanger is increased.

1. 서론

최근 나노기술의 항균, 항습 등의 효과가 입증되고 있으며, 특히 은나노 입자의 효과가 부각되고 있다. 그에 따라 세탁기, 공기청정기 등 여타 생활 용품으로의 은나노 기술 적용 및 개발을 위한 연구가 진행되고 있으며, 또한 은나노 복합소재 수용액을 악취와 부유세균의 운반인 에어컨의 열교환기에 적용시켜 실내 악취 문제와, 호흡기로 들어가 각종 질병을 발생시키는 부유세균 문제를 동시에 해결하고자 하는 연구가 진행되고 있다^{[1]-[3]}. 이에 따른 은나노 복합소재 수용액을 열교환기에 적용시키기 위한 설계 인자에 관한 연구가 필요하다. 실제 에어컨에 설치된 증발기는 성능 향상과 그에 따른 제작비용의 절감, 설치 면적의 감소 등을 목적으로 일정 각도를 가지고 기울어져 있다. 선행 연구에서 노즐의 직경과 분사각도, 종류와 크기 등의 각 요소에 따른 분사 형태가 연구된 바 있다^{[4]-[8]}. 하지만 이 연구들은 일반 표면에 분사 되었을 경우의 결과이며 실제 열교환기는 다소 다른 재질과 표면형상을 띄고 있다. 열교환기를 효과적으로 적시기 위한 분사 방법을 고안해낸 연구도 있지만^[9] 일반적으로 적용시킬 수 있는 노즐을 이용하여 열교환기에 분사를 하였을 경우의 분사 형태 및 젖은 면적의 확인이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 적절한 분사를 위해 노즐의 종류와 분

사 높이에 따른 분사 면적을 실험을 통해 확인 하였으며, 그로 인해 얻어진 결과로 적절한 분사 높이를 고정시키고, 분사유량이 젖은 면적에 미치는 영향, 그리고 열교환기의 기울어진 각도가 젖은 면적에 미치는 영향을 실험을 통하여 확인하였다.

2. 노즐의 분사패턴 분석

2.1 실험 장치의 구성 및 실험 조건

본 연구의 모델인 공조시스템으로의 은나노 수용액의 분사방법에 있어서 고려되어야 할 사항은 적절한 유량과 분사 면적이다. 노즐로 인한 분사면적은 노즐과 열교환기와의 거리에 관련이 있기 때문에 필요 노즐의 개수와 높이를 정하기 위한 실험을 수행 하였으며, 그 장치의 개략도를 Fig. 1 에 나타내었다.

본 실험에 사용된 노즐은 오리피스 직경 1, 2 mm 인 풀 콘 타입 노즐(pull cone spray nozzle)과, 오리피스 직경 2.4 mm 인 플랫 타입 노즐(flat spray nozzle)이며, 분사면적의 확인을 위해 1 mm × 1 mm 구멍 크기의 망에 분사를 하여 젖은 면적의 구역을 식별하여 확인 하였다. 공급수의 유량은 인버터(현대, NI00 plus-00/SF 220V)를 이용하여 펌프(한일, PA-75)의 회전수를 제어하여 조절하였으며, 로타메타(Blue White Co., F-50376LN)를 사용하여 유량을 측정하였고, 정확한 유량의 측정을 위해 초시계와 비이커, 저울, 메스실린더를 이용하여 60초간 측정된 유량의 평균값을 이용하여 유량계를 보정하였다. 이에 따른 유량계의 측정 오차는 ±3% 이내로 나타났다.

*국민대학교 기계공학과 대학원, nadia0307@nate.com

**국민대학교 기계·자동차공학부, bhkang@kookmin.ac.kr

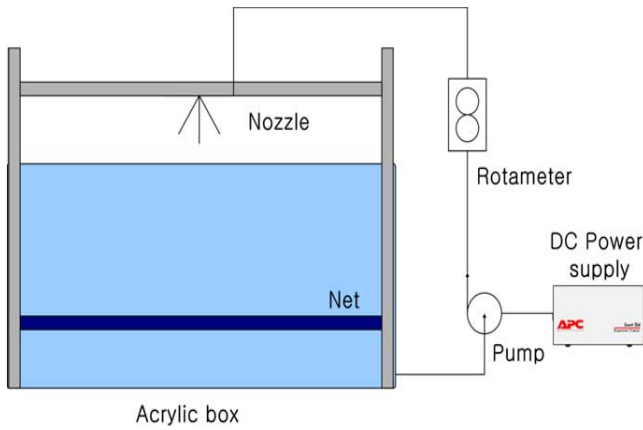


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system.

은나노 수용액과 물의 분무 특성이 유사하다는 판단 하에 작동유체는 물로 정하였으며, 분무 유량은 1.5 l/min 으로 고정 시켰다. 분사 거리는 10 cm, 20 cm, 30 cm 로 하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

직경 1, 2 mm 인 풀 콘 타입 노즐과 직경 2.4 mm 인 플랫 타입 노즐까지 세 종류의 노즐에 10 cm, 20 cm, 30 cm 의 분사 거리를 적용하여 총 9 경우의 실험을 수행하였으며, 그에 따른 각 노즐의 분사면적을 확인하였다. 콘 타입 노즐의 오리피스 직경이 1 mm 인 경우 각 분사 거리에 따른 분사면적은 그 거리가 멀어질수록 넓게 분포 되는 경향을 보였다. 노즐의 오리피스 직경이 2 mm 인 경우에도 역시 분사 면적은 분사 거리에 비례하였다. 플랫타입 노즐의 경우에서도 마찬가지로의 결과를 얻었다. 이를 한눈에 파악하기 위하여 Table 1 에 노즐 오리피스 직경과 분사 거리에 따른 분사면적의 결과를 정리하였다.

노즐의 오리피스 직경과 분사 위치에 따른 분무 특성을 해석하기 위해 총 9 경우의 실험을 수행하였다. 그 결과 콘 타입과

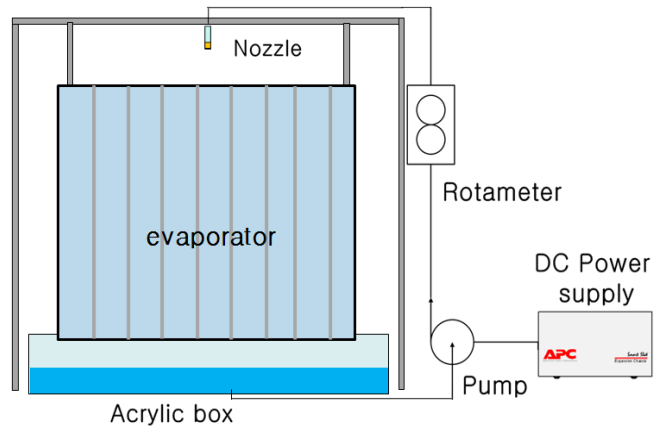


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental system.

플랫타입 노즐 모두 분사높이가 낮은 경우 집중 분사구역의 발생으로 균일한 분사가 불가능함을 확인 하였다. 분사 높이가 높았을 경우 오리피스 직경이 1 mm 인 콘 타입 노즐은 중앙에편 중된 분사면적을 보였으며, 오리피스 직경이 2 mm 인 콘 타입 노즐은 균일한 분사구역을 나타내었다. 따라서 노즐 오리피스의 직경이 커질수록 분사면적이 넓어짐을 확인할 수 있었다. 콘 타입과 플랫 타입 노즐의 비교 분석결과 콘 타입 노즐의 경우 분사면적은 원형에 가까웠으나, 플랫 타입 노즐은 타원형의 형태를 나타내었다. 플랫 타입 노즐의 타원형 분사면적 중 장축의 길이는 콘 타입의 분사면적 직경과 유사했으나, 단축의 길이는 장축의 절반정도로 나타났다. 열교환기의 형태는 상단에서 보았을 때 좌우로 긴 직사각형 모양이고, 전면에서 보았을 때는 상하로 긴 직사각형 모양이다. 어느 곳에 노즐을 위치하건 이번 실험 결과를 통해 노즐의 오리피스 직경과, 분사높이, 노즐 타입을 선정하여 고른 분사를 할 수 있을 것이라고 판단된다.

3. 유량에 따른 열교환기의 젖음 면적 분석

3.1 실험 장치의 구성 및 실험 조건

실제 열교환기에 노즐을 이용하여 분사를 했을 경우 유량에 따른 젖음 면적의 변화를 알아보기 위한 실험 장치의 개략도를 Fig. 2 에 나타내었다.

본 실험에 사용된 노즐은 앞서 실험한 결과에서 채택하였다. 열교환기의 상단에서 분사 할 것이기 때문에 좌우로 긴 직사각형 모양을 띄고 있는 열교환기 상단의 수치를 기준으로 플랫 타입의 노즐을 채택 하였다. 열교환기의 상하 폭이 7 cm 이므로 분사높이는 10 cm로 고정 하였다. 본 실험에 사용 된 열교환기는 15평형 실내 직립식 냉/난방형 에어컨의 증발기 이며(DHP 150M), 이 열교환기의 코일의 직경은 9.52 mm 이고, 웨이브각도가 크지 않은 슬릿 형상의 알루미늄 친수핀이 장착되었다. 사용된 노즐은 오리피스 직경이 2.4 mm 인 플랫 타입 노즐 (flat spray nozzle)이며, 공급수의 유량은 DC power supply(E3634A, Agilent)로 펌프(한일, PA-75)의 공급 전압을 바꿈으로써 조절 하였다. 유량계(Rate-Master 2.4 l/m, Dwyer)를 사용하여 유량을 측정하였고, 정확한 유량의 측정을 위해 초시계와 비이커, 저울, 메스실린더를 이용하여 60초간 측정된 유량의 평균값을 이용하여 유량계를 보정하였다. 이에 따른 유량계의 측정 오차는 ±3% 이내로 나타났다. 젖음 면적의 확인을 위하여 분사되는 물의 온도는 낮게, 열교환기의 온도는 높게 하여 온도 차이를 명

Table 1 The analysis of the nozzle spray area

| Nozzle type | Orifice diameter (mm) | Spray height (cm) | Spray area (cm ²) |
|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Pull cone spray nozzle | 1 | 10 | 15.2 × 14.9 |
| | | 20 | 24.7 × 23.7 |
| | | 30 | 37.2 × 31.8 |
| | 2 | 10 | 23.6 × 22.0 |
| | | 20 | 37.2 × 35.8 |
| | | 30 | 53.0 × 43.7 |
| Flat spray nozzle | 2.4 | 10 | 21.3 × 8.4 |
| | | 20 | 36.8 × 15.2 |
| | | 30 | 51.3 × 25.0 |

확히 함으로써 열화상 카메라(TH7102, NEC)를 이용하여 젖은 면적을 확인 하였다.

유량은 0.5 ~1.6 l/m 의 범위에서 0.1 l/m 의 차이를 두고 총 12 경우에 대하여 실험을 수행 하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

각 유량에 따른 열교환기의 젖은 면적을 확인하기 위한 실험을 수행한 결과 Fig. 3 과 같이 유량이 증가함에 따른 젖은 면적의 증가를 확인 할 수 있었다. 이를 젖은 부분과 젖지 않은 부분으로 구분하기 위하여 온도 히스토그램을 작성하였으며, Fig. 4 와 같이 젖은 부분의 온도영역을 확인 할 수 있었으며, 이를 이용하여 각 유량에 따른 젖은 면적의 계산을 수치적으로 확인하였으며, 이를 Fig. 5 에 나타내었다. 젖은 폭은 상단부에 비해 하단으로 갈수록 줄어든다. 따라서 하단의 젖은 폭을 적용한 노즐 개수의 산정이 필요 할 것이다. 열교환기를 완전하게 젖게 하기 위해서 0.9 l/min 이하의 유량에서는 6개 이상의 노즐 배열이 필요하고, 1.0 l/min 에서는 5개의 노즐배열이, 1.1 ~ 1.4 l/min 범위의 유량에서는 4개의 노즐배열 필요하며, 1.5 l/min 이상의 유량에서는 3개의 노즐배열이 필요함을 알 수 있다.

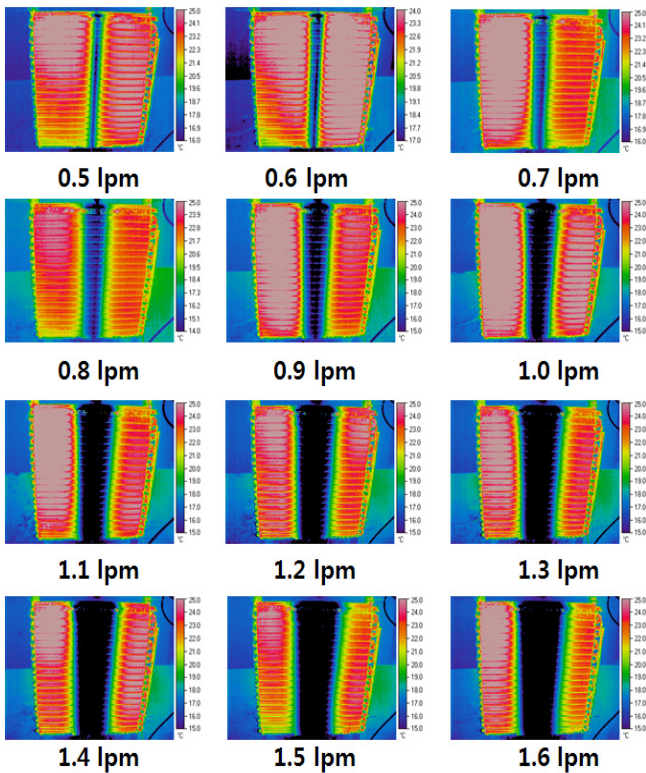


Fig. 3 The effect of flow rate on the wetted area of the heat exchanger.

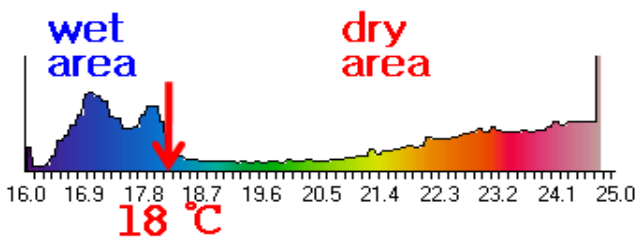


Fig. 4 Histogram of the temperature distribution.

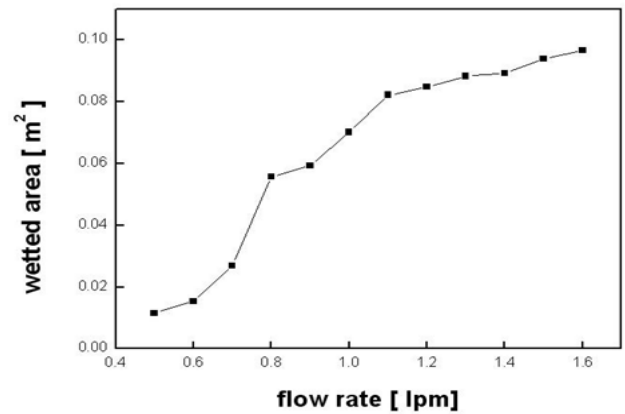


Fig. 5 Effect of the flow rate on the wetted area of the heat exchanger.

4. 열교환기 경사각도에 따른 젖은 면적 분석

4.1 실험 장치의 구성 및 실험 조건

본 실험에 사용된 실험 장치는 열교환기의 기울기가 없었던 3절의 실험과 동일하며, 열교환기의 기울기와 유량의 변화에 따른 젖은 면적을 분석하였다. 실제 에어컨에 적용되는 열교환기는 약 20° 내외의 경사를 가진다. 이 경사가 노즐을 이용한 유체의 분사가 진행 될 때 젖은 면적에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 열교환기가 5°, 10°, 15°, 20° 그리고 25° 의 경사를 가질 때 각 유량에서의 젖은 면적에 관한 실험을 수행 하였다. 그 실험 장치의 개략도는 Fig. 2 와 같으며, 열교환기가 기울기를 가질 때 노즐의 분사방향 역시 같은 기울기를 유지하였다.

4.2 실험결과 및 고찰

열교환기에 노즐을 이용하여 유체를 분무할 경우 열교환기의 경사각도에 따른 젖은 면적을 실험을 통하여 규명한 결과이다. 우선 첫째로 열교환기의 경사각이 증가함에 따른 젖은 면적에 대한 결과를 확인 하였다. Fig. 6 에 나타난 것과 같이 열교환기의 경사각이 증가함에 따라 젖은 면적이 소폭 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 두 번째로 열교환기의 각 경사각에서의 유량의 변화에 따른 젖은 면적의 변화에 대하여 실험을 통해 알아

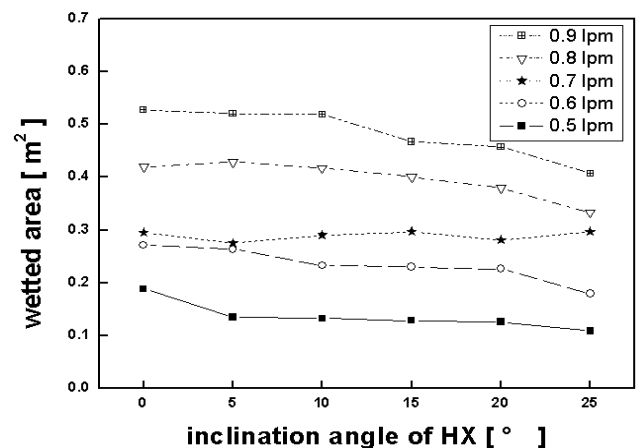


Fig. 6 Effect of the heat exchanger inclination angle on the wetted area of the heat exchanger.

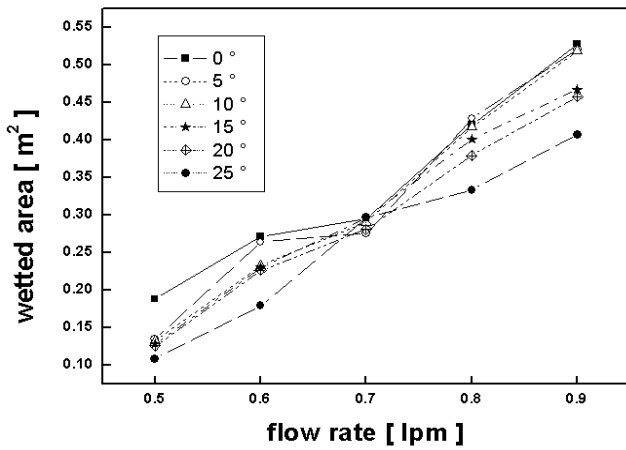


Fig. 7 Effect of the flow rate on wetted area for each inclination angles of the heat exchanger.

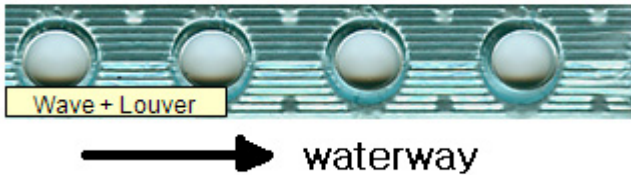


Fig. 8 Fin shape on the heat exchanger.

보았으며, 그 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. 열교환기의 기울기가 없는 경우와 마찬가지로 각 경사에서 모두 유량이 증가함에 따라 젖음 면적 또한 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 경사각이 증가함에 따라서 젖음 면적이 소폭 줄어들기는 하지만 Fig. 7에서 보여 지는 것과 같이 유량의 변화에 따른 젖음 면적의 변화량에 비하면 그 영향은 미미한 것으로 나타났다. 이는 열교환기의 핀 형상이 물이 흐르는 유로를 조성해 주어 경사를 가지고 있기는 하지만 물방울들이 Fig. 8 에서와 같이 원의 형상에 따라 형성된 유로를 따라 흐르기 때문으로 해석된다.

5. 결론

본 실험에서는 노즐의 종류 및 노즐의 오리피스의 직경과 분사위치에 따른 분사면적의 패턴을 확인하여 노즐의 분사 위치 산정에 도움이 되고자 하였으며, 또한 유량의 변화와 열교환기의 기울기에 따른 젖음 면적을 확인하였다.

(1) 노즐의 분사패턴 분석 결과 노즐 오리피스의 직경이 커질수록 분사면적이 넓어짐을 확인할 수 있었다. 콘 타입과 플랫 타입 노즐의 비교 분석 결과 콘 타입 노즐의 경우 분사면적은 원형에 가까웠으나, 플랫 타입 노즐은 타원형의 형태를 나타내었다. 플랫 타입 노즐의 타원형 분사면적의 장축은 콘 타입의 분사면적 지름과 유사했으나, 단축의 길이는 장축의 절반정도로 나타났다.

(2) 유량에 따른 열교환기의 젖음 면적 분석 결과 상부에서 분사를 했을 경우 열교환기의 상단부에 비해 하단으로 갈수록 젖음 폭은 줄어들음을 확인할 수 있었다. 따라서 하단의 젖음 폭을 적용한 노즐 개수의 산정이 필요 할 것이다. 본 실험에서 사용한 열교환기의 길이는 44 cm 이었다. 이 경우 0.9 l/min 이하의 유량에서는 6개 이상의 노즐배열이 필요하였고, 1.0 l/min 에

서는 5개의 노즐배열이, 1.1 ~ 1.4 l/min 범위의 유량에서는 4개의 노즐배열 필요하며, 1.5 l/min 이상의 유량에서는 3개의 노즐배열이 필요하다.

(3) 열교환기의 기울임이 젖음 면적에 미치는 영향을 분석한 결과 열교환기의 상부에서 분사를 했을 경우, 열교환기의 기울기에 따른 젖음 면적이 기울기의 증가에 따라 약간 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 각 기울기에서 유량의 변화에 따른 젖음 면적은 기울기가 없었을 때와 마찬가지로 유량이 늘어남에 따라 젖음 면적이 늘어난다. 기울기의 영향은 유량의 변화에 따른 영향에 비하여 아주 미미하다는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 환경기술개발사업과제의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S.-G. Choi, J.-K. Hong, Y.-B. Kim, C.-M. Yang and M.-K. Park, An Experimental Study on the Sterilizing and Antibacterial Performance of Polybutylene Pipe with Nano-Silver, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 7 (2006), pp. 549-555.
- [2] S. Wang, W. Hou, L. Wei, H. Jia, X. Liu and B. Xu, Antibacterial activity of Nano-SiO₂ Antibacterial Agent Grafted on Wool Surface, Surface & Coatings Technology, Vol. 202 (2007), pp. 460-465.
- [3] H. Q. Tang, H. J. Feng, J. H. Zheng and J. Zhao, A Study on Antibacterial Properties of Ag⁺-Implanted Pyrolytic carbon, Surface & Coatings Technology, Vol. 201 (2007), pp. 5633-5636.
- [4] S. K. Dahikar, S. S. Gulawani, J. B. Joshi, M. S. Shah, C. S. R. Prasad and D. S. Shukla, Effect of Nozzle Diameter and its Orientation on the Flow Pattern and Plume Dimensions in Gas-Liquid Jet Reactors, Chemical Engineering Science Vol. 62 (2007), pp. 7471-7483.
- [5] M. Visaria and I. Mudawar, Theoretical and Experimental Study of the Effects of Spray Inclination on Two-Phase Spray Cooling and Critical Heat Flux, International Journal of Heat and Mass Transfer . J. Heat Mass Transfer, Vol. 44 (2001), pp. 4613-4623.
- [6] Y.-H. Kim, C.-H. Choi and K.-J. Lee, Characteristics on Spray Cooling Performance on the Micro-Porous Coated Surfaces, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 4 (2006), pp. 304-311.
- [7] D. Nuyttens, K. Baetens, M. De Schampheleire and B. Sonck, Effect of Nozzle Type, Size and Pressure on Spray Droplet Characteristics, Biosystems Engineering, Vol. 97 (2007), pp. 333-345.
- [8] T.-B. Chang, Effects of Nozzle Configuration on a Shell-and-Tube Spray Evaporator with Liquid Catcher, Applied Thermal Engineering, Vol. 26 (2006), pp. 814-823.
- [9] S.-Y. Oh and Y.-S. Chang, Frost Prevention of Fin-Tube Heat Exchanger by Spreading Antifreezing Solution, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 6 (2006), pp. 477-485.