

셀룰로오스와 PET 복합체로 만들어진 가습소자의 가습성능

김내현*

¹인천대학교 기계시스템공학부

Performance of Humidifying Element Made of Cellulose and PET Composite

Nae-Hyun Kim^{1*}

¹Division of Mechanical System Engineering, Incheon National University

요약 실내의 습도제어를 위하여 공조기 내에는 가습소자가 설치된다. 지금까지 대부분의 가습소자는 유리섬유로 만들어진 외제품이 널리 사용되어 왔다. 본 연구에서는 이 외제품을 대체할 셀룰로오스와 PET 복합체로 만들어진 가습소자를 개발하고 유리섬유로 만들어진 Glasdek 소자의 성능과 비교하였다. 시험은 소자를 항온항습실 내에 설치된 흡입식 풍동 입구에 설치하고 물질전달량과 압력손실을 측정하였다. 실험결과를 j_m 과 f 인자로 나타내었을 때, 개발품의 j_m 값이 33%~39%크고, f 인자는 개발품이 0%~51% 작게 나타났다. Glasdek에 비하여 개발품의 j_m 값이 큰 이유는 흡수도가 월등히 (50% 가량) 크기 때문이고 f 인자가 작은 이유는 소자 표면이 확연히 매끄럽기 때문이다. 한편, 동일 소비동력 대비 물질전달을 나타내는 $j_m/f^{1/3}$ 의 경우, 개발품이 약 36~63% 크게 나타났다.

Abstract To control the indoor humidity, humidifier is installed in an air handling unit. Up to now, foreign product made of glasswool has been widely used as a humidifying element. In this study, a new humidifying element made of cellulose and PET was tested, and the performance was compared with Glasdek element, which is made of glasswool. Mass transfer rates and pressure drops were measured from the element which was installed at the entrance of the suction-type wind tunnel. Results show that, j_m and f factors of the new element are 33%~39% larger and 0%~51% smaller than those of Glasdek. Large water absorption capacity and the smoothness of the new element appear to be responsible for the large j_m and small f factor. The mass transfer effectivenesses ($j_m/f^{1/3}$) of the new element are 36%~63% larger than those of Glasdek.

Key Words : Cellulose, Dehumidifying element, PET, Performance test

1. 개요

산업의 발달과 산업구조의 변화로 현대인들은 대부분의 시간을 실내 거주 공간 및 사무실에서 보내고 있음을 고려할 때 쾌적한 실내공기환경을 제공하는 것은 매우 중요하다. 실내공기 환경을 결정하는 가정 주된 인자는 온도와 습도이다. 그중 온도제어에 대해서는 많은 연구가 이루어졌고 설비 또한 다양하게 개발되어 있는 반면 습도의 제어는 상대적으로 취약한 편이다. 예를 들어, 거

울철의 경우 쾌적한 실내 온도 및 상대습도 조건은 17°C ~28°C, 40%~70%인데 온도는 조절하기 쉬우나 습도는 상대적으로 조절이 쉽지 않다. 만일 습도 조건을 만족시키지 못하여 건조한 상태가 되면 재실자가 호흡기 질환, 피부질환 등에 노출되게 된다. 이 외에도 습도는 전산실, 반도체, 제약설비 등 산업현장에서도 정밀하게 제어되어야 할 인자 중의 하나이다.

일반적으로 공조기 내에 설치되는 가습장치는 기화식, 분무식, 스팀식으로 구별된다. 이 중 기화식 가습기는 부

*Corresponding Author : Nae-Hyun Kim (Incheon National Univ.)

Tel: +82-32-835-4541 email: knh0001@incheon.ac.kr

Received November 08, 2014

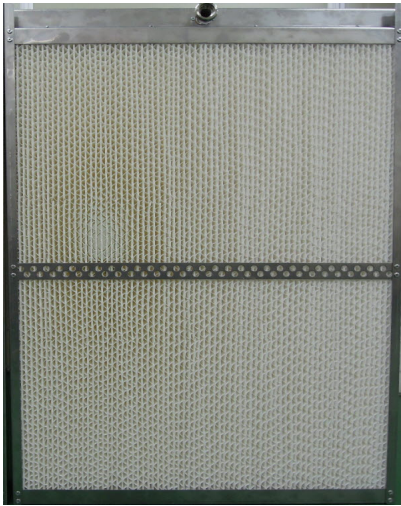
Revised January 06, 2015

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

하에 대해 다소 느리게 반응하는 단점이 있으나 초기투자비 및 유지비가 저렴한 장점이 있다. 또한 물질이 오염 물질을 제거하는 기능도 가져 클린룸과 같이 공기청정도가 필요한 건물에 많이 사용되고 있다[1].

기화식 가습기는 가습소자와 상부의 분무노즐로 구성되는데 (Fig.1참조) 가습소자는 직사각형 소자원단을 절곡한 후 서로 엇갈리게 적층하여 제작한다. 상부의 노즐에서는 물이 분사된다. 분사된 물은 가습소자를 적시고 공기가 그 사이를 통과하며 가습이 이루어진다. 따라서 가습소자의 재질은 노즐로부터 분사된 물이 소자 전체를 잘 적실 수 있는 특성을 가지는 것이 중요하다. 그간 가습소자로 검토된 재질은 크게 유리섬유(Glasdek), 세라믹, PVC스폰지, 와이어 메쉬와 같은 무기질재료와 크라프트 섬유, 아스펜 섬유, 코코넛 섬유와 같은 유기질 셀룰로오스 재료로 구별된다[2-5].



[Fig. 1] Photo of the humidifier

이중 유리섬유로 만든 Glasdek이 가습성능이 우수하여 가습소자로 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 Glasdek의 성능을 능가할 수 있는 새로운 가습소재를 개발하였다. 이 가습소재는 셀룰로오스와 PET가 50%씩 배합된 재질로, 개발된 소재를 사용하여 가습소자를 만들고 기존 Glasdek과 가습성능을 비교하였다. 실험은 전방풍속과 물유량을 변화시키며 수행하였다.

실험 자료는 다음과 같이 정리되었다. 가습소자를 통과한 공기 중의 수분량 \dot{m}_w 은 다음과 같다.

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{air}(W_{out} - W_{in}) \quad (1)$$

여기서 \dot{m}_{air} 는 공기유량(kg/s)이고 W_{in} 과 W_{out} 은 가습소자 전후의 절대습도이다. 가습소자 표면으로부터 공기로 전달된 수분량은 다음과 같다.

$$\dot{m}_w = h_D A W_{LMTD} \quad (2)$$

$$W_{LMTD} = \frac{(W_s - W_{in}) - (W_s - W_{out})}{\ln \left(\frac{W_s - W_{in}}{W_s - W_{out}} \right)} \quad (3)$$

여기서 h_D 는 물질전달계수(kg/m²s)이고 A는 가습소자의 표면적(m²), W_s 는 가습소자 표면온도에서의 포화절대습도로 유입공기의 습구온도와 동일하다.

물질 전달계수 h_D 는 아래와 같이 Colburn j_m 인자로 무차원화 된다.

$$j_m = \frac{h_D}{\rho V_{max}} Sc^{2/3} \quad (4)$$

여기서 V_{max} 는 가습소자 중심에서의 공기유속(m/s)를 나타내고 Sc는 Schmidt수로 공기와 수증기 혼합물의 경우 0.61이다[6]. 마찰계수 f는 다음 식으로 구한다.

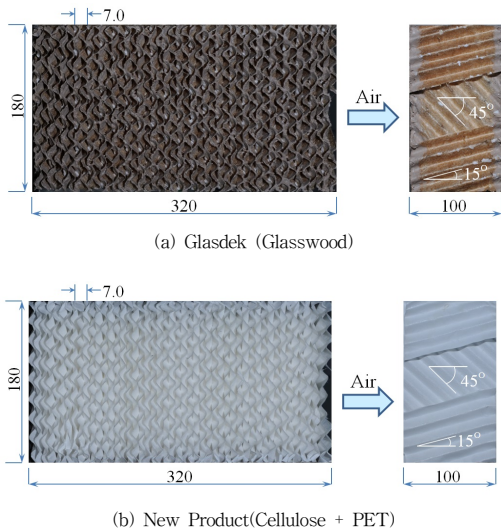
$$f = \frac{A_c}{A_o} \left[\frac{\rho_m}{\rho_{in}} \frac{2\Delta P \rho_{in}}{(\rho_m V_{max})} - (1 + \sigma)^2 \left(\frac{\rho_{in}}{\rho_{out}} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

여기서 A_c 는 가습소자 중심부에서의 유동단면적, A_o 는 시료의 표면적(m²), ρ_{in} , ρ_{out} , ρ_m 은 입구, 출구, 중심부에서의 공기밀도(kg/m³), σ 는 축소계수로 유동단면적을 전방면적으로 나누어 구한다.

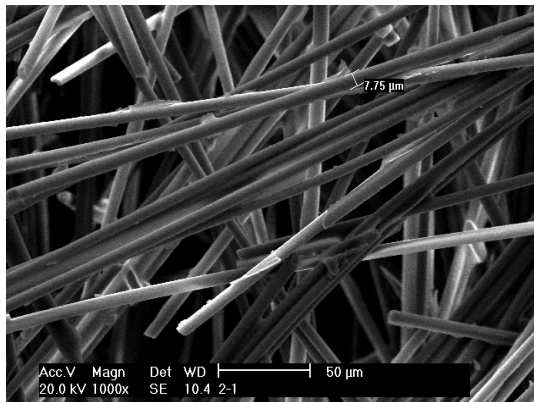
2. 실험장치와 방법

2.1 가습소자 시료

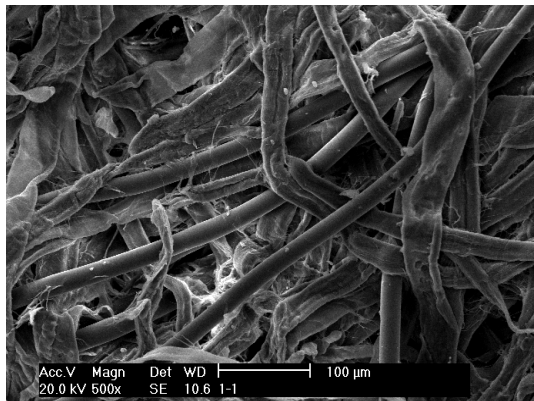
Fig. 2에 Gasdeck과 개발품 시료를 나타내었다. 시료의 외각크기는 폭 320 mm, 높이 180 mm, 깊이 180mm이고 절곡 깊이 7mm인 사각판이 공기측 유동방향과 15°, 물측 유동방향과 45° 각도로 번갈아 적층되어 있다. 이 그림에 나타나 있듯이 두 시료는 원재료만 다를 뿐 형상



[Fig. 2] Humidifying elements (Glasdek and new product)



(a) Glasdek



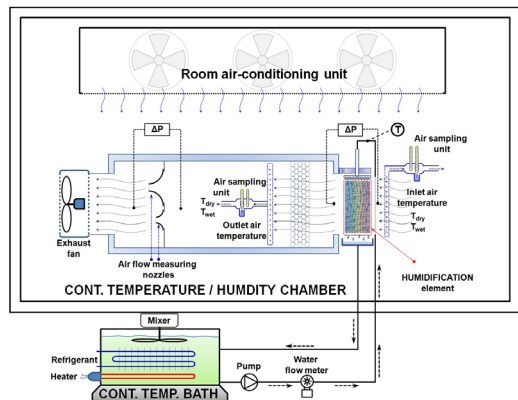
(b) New Product

[Fig. 3] SEM photos of Glasdek and new product

과 치수는 동일하다. Fig. 3에 Glasdek과 개발품의 SEM 사진을 나타내었다. Glasdek 시료는 직경 5~7 μ m인 유리섬유가 촘촘히 얽힌 모양을 보여주고, 개발품은 20 μ m 가량의 굵은 PET에 셀룰로오스 섬유가 서로 얽혀 있음을 보여준다. 개발품에서 PET는 견고한 지지체 역할을 하여 절곡된 형상을 유지하고 셀룰로오스는 물이 잘 퍼지도록 하는 역할을 한다.

2.2 실험장치 및 방법

실험장치의 개략도가 Fig. 4에 나타나 있다. 실험장치는 크게 흡입식 풍동, 수순환 회로, 자료획득장치 등으로 구성되고 항온항습 챔버 내에 설치된다. 가습소자는 흡입식 풍동의 입구에 설치된다. 시료 후방에는 배플이 설치되어 배출공기를 혼합시켜준다. 시료의 입출구 온습도는 ASHRAE 규격 41.1에 따라 측정하였다[7]. 시료의 상부로 항온조로부터 일정온도와 유량의 물이 공급된다. 물의 온도는 정밀도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 정밀 RTD(P_t -100 Ω 센서)로써 측정하였고, 유량은 정밀도 $\pm 0.0015\text{L/s}$ 의 질량유량계로 측정하였다. 공기측 풍량은 흡입식 풍동 후방에 장착된 노즐을 사용하여 측정하였고 (ASHRAE 규격 41.2)[8] 시료의 압력손실은 정밀도 $\pm 0.5\text{ Pa}$ 의 차압 트랜스듀서로 측정하였다. 시험 중 챔버의 온습도와 순환수의 공급 온도 및 공급 유량은 Table 1에 나타나 있다. 실험은 시료 전방풍속을 1.0 m/s에서 2.3 m/s 사이에서 변화시키며 수행하였다. ASHRAE 규격 41.5[9]에 따라 실험오차 해석을 수행하였고 그 결과가 Table 2에 나타나 있다. 마찰계수의 오차는 주로 차압계($\pm 0.5\text{Pa}$)에 의한 것이었고, 물질전달계수의 오차는 주로 습구온도 측정오차 ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)에 기인하였다. 실험오차는 전방풍속이 증가할수록 감소하였다.



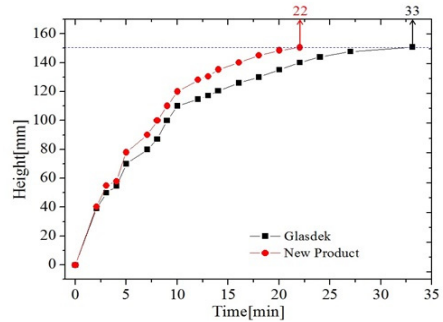
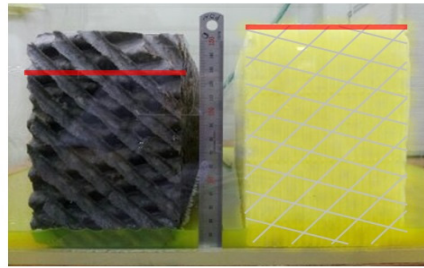
[Fig. 4] Experimental apparatus

[Table 1] Test condition

Air		Water	
Dry bulb (°C)	Wet bulb (°C)	Inlet temp. (°C)	Flow rate (kg/hr)
27	21	21	4.2~7.8

[Table 2] Experimental errors

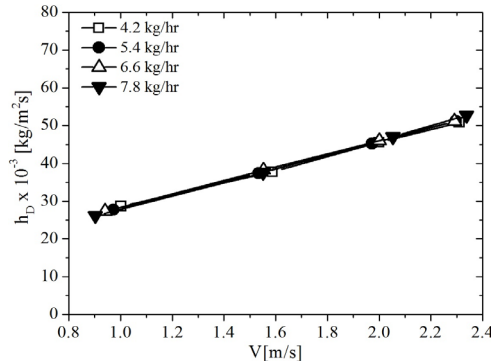
Parameter	Max. Uncertainties
Temperature	± 0.1°C
Differential pressure	± 0.5Pa
Water flow rate	± 1.5x10 ⁻⁶ m ³ /s
V	± 2.0%
f	± 5.4%
j _m	± 12.2%



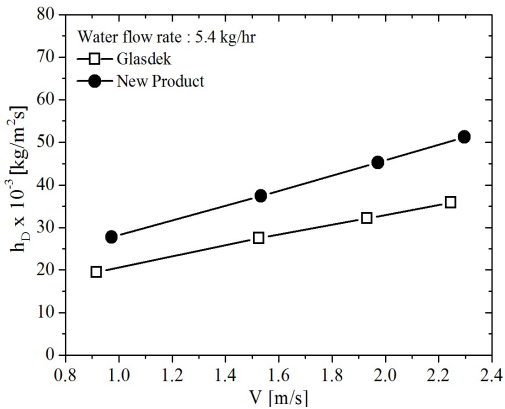
[Fig. 6] Water absorption capacity test

3. 결과 및 논의

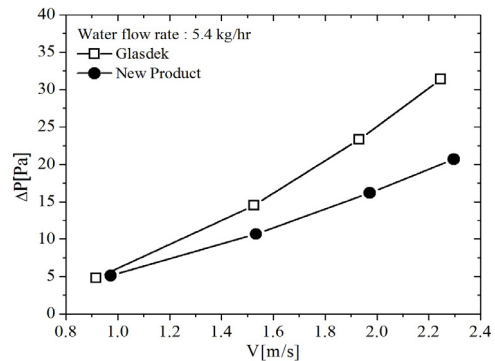
Fig. 5 에 Glasdek 및 개발품에 대하여 전방풍속에 따른 물질전달계수의 값이 나타나 있다. 개발품의 h_D 가 33% ~ 39%를 알 수 있다. 그 이유를 살펴보기 위하여 아크릴통에 노란 염색물을 2 cm 높이로 채우고 개발품과 Glasdek 소자를 담가 물을 흡수하는 정도를 시간에 따라 측정하였다(Fig. 6 참조). Glasdek 소자의 경우 꼭대기 까지 물을 흡수하는데 33분이 걸린 반면 개발품의 경우는 22분으로 물의 흡수력이 월등함을 알 수 있다.



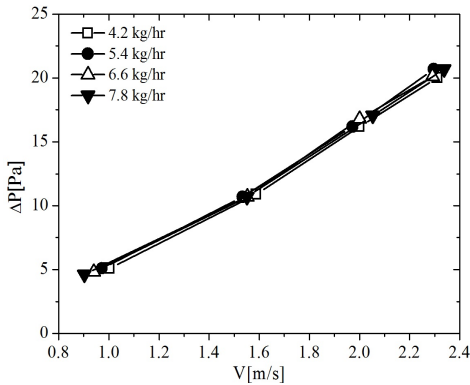
[Fig. 7] Mass transfer coefficient of various water flow rates



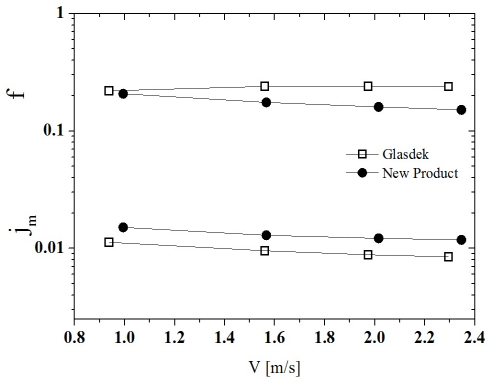
[Fig. 5] Mass transfer coefficient of the two samples



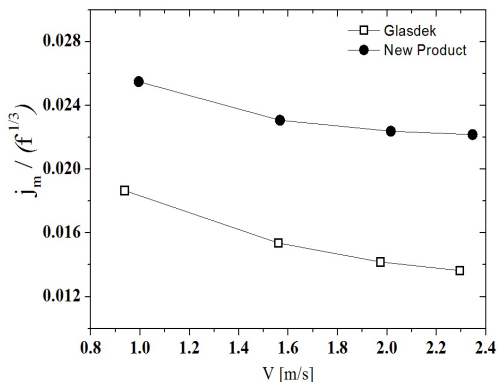
[Fig. 8] Pressure drops of the two samples



[Fig. 9] Pressure drops at various water flow rates



[Fig. 10] j_m and f factors of the two samples



[Fig. 11] $j_m/f^{1/3}$ of the two sample

Glasdek 소자는 유리섬유로 만들어 졌고 개발품은 셀룰로오스와 PET 개발품의 복합체로 만들어 졌는데 셀룰로오스의 흡수력이 유리섬유보다 크기 때문에 판단된다. Fig. 7 에는 공급수량의 변화에 따른 물질전달계수의 변화를 나타내었다.

이 그림은 공급수량이 변화 (4.2 kg/hr - 7.8 kg/hr) 하더라도 물질전달계수가 일정함을 보여준다. 이로부터 소자를 적실 최소공급수량을 넘어서면 유량이 물질전달계수에 미치는 영향은 없음을 알 수 있다.

Fig. 8 에는 Glasdek 소자와 개발품의 전방풍속 변화에 따른 압력손실을 나타내었다. 낮은 풍속(1.0m/s)에서는 두 소자의 압력손실이 비슷한 값을 나타내나 풍속이 커질수록 Glasdek의 압력손실이 크게 나타남을 보여준다. 이는 Glasdek은 유리섬유로 만들어져 표면이 매우 거친 반면 개발품은 표면이 매끈하기 때문이다. Fig. 9 에는 공급수량 변화 시 압력손실을 나타내었다. 공급수량이 미치는 영향은 없음을 보여준다. Fig. 10에는 물질전달과 압력손실을 j_m 과 f 인자로 나타내었다. j_m 인자의 경우 개발품의 값이 33%~39% 크고, f 인자의 경우 개발품의 값이 0%~51% 작음을 알 수 있다.

동일한 전방면적과 길이를 가진 두 소자의 성능을 비교하는 방법으로 $j_m/f^{1/3}$ 을 비교하는 방법이 있다[10]. $j_m/f^{1/3}$ 은 동일한 소비동력이 공급되었을 때 물질전달 성능을 비교하는 인자이다. Fig. 11에 두 제품의 $j_m/f^{1/3}$ 을 나타내었다. 이 그림은 개발품의 $j_m/f^{1/3}$ 값이 낮은 풍속 (1.0 m/s)에서는 36% 크고 풍속이 증가할수록 그 값이 증가함(2.6 m/s에서 63%)을 보여준다. 즉, 개발품이 높은 풍속에서 더욱 효과적임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 셀룰로오스와 PET 복합체로 만들어진 가습소자 개발품의 성능을 측정하고 유리섬유로 만들어진 Glasdek 소자의 성능과 비교하였다.

- (1) 물질전달량과 압력손실을 j_m 과 f 인자로 나타내었을 때 개발품의 j_m 값이 33%~39% 크고, f 인자는 개발품이 0%~51% 작게 나타났다.
- (2) Glasdek에 비하여 개발품의 j_m 값이 큰 이유로 흡수도가 월등히(50% 가량) 크기 때문이고, f 인자가 작은 이유는 표면이 확연히 매끄럽기 때문이다.
- (3) 동일 소비동력 대비 물질전달량을 나타내는 $j_m/f^{1/3}$ 의 경우 개발품이 36%~63% 크게 나타났다.

References

- [1] H. K. Kim, T. I. Ohm, H.K. Yoon and K. Y. Bang, "Numerical study on the humidification efficiency on humidfy module shapes of the evaporative humidifier", Korea J. Air-Cond. Ref. Eng., Vol. 25 No.1, pp. 42-47, 2014
- [2] M. Barsegar, M. Layeghi, G. Ebrahimi, Y. Hamseh and M. Khorasani, "Experimental evaluction of the perfomence of cellulosic pas made of Kroft and NSCC corrugated papers as evaporative media", Energy Convection ovel Management, Vol.54, pp.24-29, 2012.
- [3] J. K. Jain and D. A. Hindoliya, "Experimental performance of new evaporative cooling pad materials", Sustainable Cities and Society, Vol 1. pp. 252-256, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.005>
- [4] C. M. Liao, S. Singh and T. S. Wang, "Characterising the performance of alternative evaporative cooling media in thermal environmental control application", J. Envir, Sci. Health, Vol33, No7, pp.1391-1417, 1998.
- [5] C. M. Liao and K. H. Chiu, "Wisd tunnel modeling the system performance of alternative cooling pads in Taiwan region", Build. Environ. Vol. 37, No.2 pp. 77-87, 2002. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00098-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00098-6)
- [6] J. J, Lee, An Experimental Study on the Dehumidification Effectiveness for Operating Conditions of a Desiccant Rotor, Master's Thesis, Kookmin University, Republic of Korea.
- [7] ASHRAE Standard 41.1, Standard method for temperature measurement, ASHRAE, 1986.
- [8] ASHRAE Standard 41.2, Standard method for laboratory air-flow measurement, ASHRAE, 1986.
- [9] ASHRAE Standard 41.5, Standard measurement guide, engineering analysis of experimental data, ASHRAE, 1986.
- [10] R. L. Webb and N. H. Kim, Principles of Enhanced Heat Transfer, 2nd edition, Taylor and Francis Pub., 2005.

김 내 현(Nae-Hyun Kim)

[정회원]



- 1989년 12월 : Penn. State University Pennsylvania, PA, U.S.A (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

열전달, 공기조화 및 내용