

전산유체역학을 이용한 공압시스템용 제습장치의 형상 개선에 관한 연구 A Study on Shape Improvement of Dehumidifier for Pneumatic System using Computational Fluid Dynamics

정은아¹ · 윤소남^{1*} · 이기윤²

Eun-A Jeong, So-Nam Yun, Kee-Yoon Lee

Received: 19 Feb. 2019, Accepted: 21 May 2019

Key Words : Dehumidification(제습), Dehumidifier(제습장치), Hollow Fiber Membrane Module(중공사막 모듈), Pneumatic System(공압시스템), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학)

Abstract: In this study, flow analysis and dehumidification experiment were conducted on hollow fiber membrane module to determine the dehumidification characteristics of its various configurations. A quantitative analysis of the CFD for four different models with a temperature of 30°C and 30%RH inlet humidity was conducted. Each model has different shape parameters i.e. the number of hollow fiber membranes and the presence or absence of baffles. After comparison between the flow analysis results and dehumidification experiment results, the percentage error was found to be approximately 2%. The moisture removal rate for each model was calculated using flow analysis data. It was found that the moisture removal rate of refined model with three baffles and eight hollow fiber membranes was highest among the four modeled modules of hollow fiber membrane one, i.e. about 60%.

1. 서 론

현재 분리막을 이용한 막 모듈에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 다양한 형태로 제작되고 있다. 분리막은 제작되는 형상에 따라 주로 판형과 중공사형으로 제작되며, 분리막 내부의 기공 여부에 따라 다공성 막과 비다공성 막으로 분류된다. 분리막은 적용분야에 따라 다양한 크기와 다공성도가 결정되는데, 이러한 분리막은 주로 분자크기에 따라 가스를 분리하는 용도와 분리막의 물리적/화

학적 특성인 친수성과 소수성을 이용하여 수분과 다양한 기체를 분리하는 용도로도 사용되고 있다. 최근에는 산업현장에서 공기에 함유되어 있는 수분을 분리하기 위한 용도로 제작되어 사용되고 있다. 또한 많은 연구자들에 의해 분리막 모듈의 형태를 개선하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

분리막 형태를 개선하기 위해서는 이론적인 부분과 실질적인 데이터가 확보되어야 하나 시간적, 경제적 측면에서 다양한 모듈에 대한 실험치를 모두 얻기 힘들기 때문에 수치적인 시뮬레이션이 필요하다. 수치적인 연구는 대표적으로 A. Gurubalan et al 와 K. J. Chua et al에 의해 수행되었으며, 제습장치들이 가지고 있는 단점 중 하나인 잠열부하를 피하기 위한 대안으로 판형 분리막에 데시칸트를 적용하여 수치적인 모델을 제시하였다. 또한 입구 습도와 입구 유량에 따른 수분제거율을 결과로 제시하였다.¹⁻²⁾ 또한 C. Z. Liang와 T. S. Chung은 폴리디메틸실록산과 폴리아크릴로나이트릴로 구성되어 있는 이중층의 중공사막 모듈을 이용하여 습공기의

* Corresponding author: ysn688@kimm.re.kr

1 Energy System Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials, Deajeon 34103, Korea

2 Department of Organic Materials Engineering, Chung-Nam National University, Deajeon 34134, Korea

Copyright © 2019, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수분제거율과 투과성 및 선택성에 대한 결과를 제시하였다.³⁾ K. He et al이 제시한 중공사막 모듈의 열전달에 대한 유동특성 결과에는 단일 모듈에 대한 유동해석이 이루어졌으며, 실험결과와 비교한 결과를 제시하였다.⁴⁾ 위와 같이 중공사막과 판형의 분리막을 이용하여 현재까지 분리막에 대한 수치적인 모델에 대한 결과가 제시되고 있으며, 중공사막 모듈의 실험에 대한 결과는 중공사막 모듈을 하나의 집합체로 간주할 뿐, 실질적으로 중공사막 모듈 형태에 따른 각각의 부품을 통해 흐르는 유동특성에 대한 결과는 찾아보기 힘들다. 이러한 이유는 시뮬레이션을 통해 모의 결과를 얻고자 하여도 중공사막의 외경의 크기가 마이크로 단위이고, 수백개가 충전되어 있기 때문에 각각을 모델링하기는 어렵다. 따라서 시뮬레이션에서는 실제 중공사막 모듈의 중공사막 충전률과 근접한 부피를 가질 수 있도록 모델링하고, 중공사막의 개수를 늘려서 변화를 확인하는 것으로 연구를 수행하고 있다.

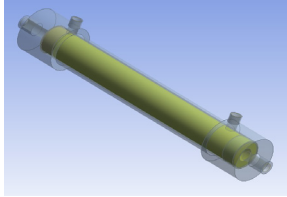
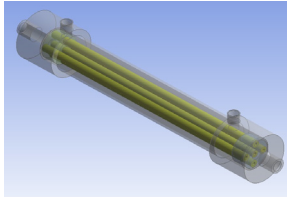
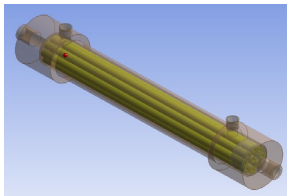
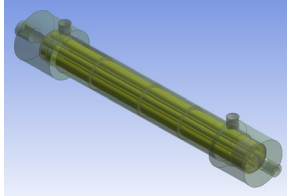
따라서 본 연구에서는 유동해석 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 공압시스템용 제습장치로 사용되는 중공사막 모듈에 대하여 실시된 실험과 유동해석 결과를 비교하였으며, 이를 바탕으로 다양한 형상을 모델링하여 유동해석을 통해서 특성을 분석하였다. 다양한 모델에 대한 제습효율을 제시하였으며, 모듈 내부의 주요 부품인 중공사막의 기공을 통해 흐르는 습공기의 조성도 분석하여 결과를 제시하였다.

2. 중공사막 모듈의 형상 모델링

중공사막 모듈의 내부 형태 변화에 따른 습공기에 포함된 수분의 제거율과 각 중공사막을 통과할 때의 습공기 조성을 확인하기 위하여 유동해석을 수행하였다. 유동해석을 수행하기 전에 중공사막의 수와 배플(Baffle)의 형상을 모델링 변수로 하여 Solidworks 2015를 이용하여 중공사막 모듈을 모델링 하였다. 모델링 된 중공사막 모듈은 Table 1에 나타내었다. Table 1에 제시된 중공사막 모듈의 모델은 실제 실험결과와 비교하기 위하여 MICRODYN-NADIR사의 FB02-FC-FUS0353의 모델을 구입하여 하우징의 사이즈를 동일하게 모델링하였으며, 중공사막이 묶여진 다발의 부피 또한 실험을 통해 검증된 모델과 최대한 근접하게 모델링 하였다. Table 1의 중공사막 모듈의 첫 번째부터 세

번째 모델은 중공사막의 수를 각각 1, 5, 9로 한 것이며, 늘렸으며, 배플은 존재하지 않는 모델이다. 네 번째 모델은 중공사막의 수가 8개 이며, 3개의 배플을 가지고 있다. 또한 배플에 4개의 미세 구멍을 뚫어 압력 부하를 줄일 수 있도록 하였으며, 건조공기의 배출을 원활히 하여 제습효율을 증가시킬 수 있도록 하였다.

Table 1 Boundary conditions for CFD

Model	Characteristics
	Membrane Number
	1
	Membrane Area[m ²]
	Membrane Number
	5
	Membrane Area[m ²]
	Membrane Number
	9
	Membrane Area[m ²]
	Membrane Number
	8
	Membrane Area[m ²]
	0.0198
	Baffle
3	

3. 격자 및 경계조건

3.1 격자 생성

모델링 된 4가지 중공사막 모듈에 대한 격자를 생성하였다. 생성된 격자는 Fig. 1에 나타내었으며, 중공사막 모듈은 다양한 크기와 형태의 주요 부품으로 인해 복잡한 내부 구조를 가지고 있기 때문에 여러 가지 형태의 격자를 사용하여 형성하였다. Fig. 1에 나타낸 중공사막 모듈의 격자는 4가지 모델 모두 중공사막에 해당되는 부품에 대해서는 조

밀한 격자를 형성하여 결과에 대한 오차를 줄일 수 있도록 하였으며, 나머지 부품인 모듈의 케이스와 증공사막 다발을 고정하는 부분에 대해서는 유동해석의 결과에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 증공사막에 사용된 격자에 비해 큰 사이즈를 사용하여 격자를 형성하였다. 다양한 형태를 이용하여 형성한 격자의 수는 Table 2에 나타내었다.

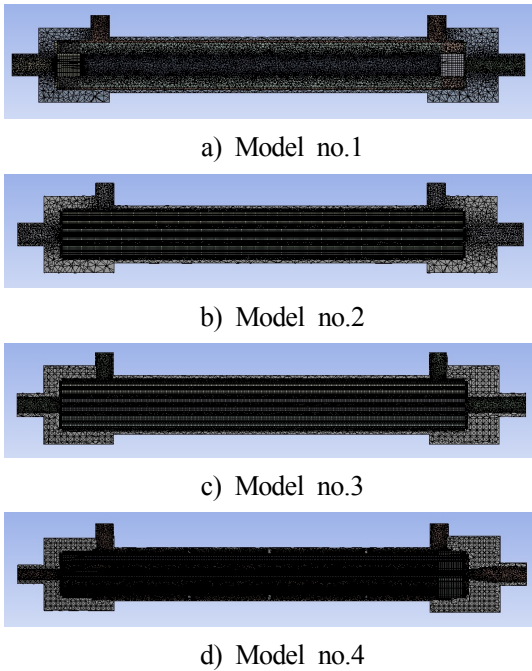


Fig. 1 Mesh of hollow fiber membrane module

Table 2 Mesh generation of hollow fiber membrane module

	Nodes	Elements
Model 1	109162	562243
Model 2	686776	2584671
Model 3	623566	2473052
Model 4	1599585	6872153

3.2 경계조건

증공사막 모듈에 대한 수분제거율과 각 증공사막의 기공을 통과하는 습공기의 조성을 확인하기 위해서 유동해석을 수행하였다. 유동해석을 수행하기 위해 사용한 소프트웨어는 상용 ANSYS FLUNET 14.5이며, 유동해석 과정에서 적용된 해석모델은 증공사막 모듈 입구로부터 습공기가 증공사막을 통과하여 출구로 배출될 때의 습도를 파악하기 위해 상대습도(Relative Humidity)를 확인할 수 있는 모델을 선정하였다. 또한 각 증공사막에서 시간에 따라 변

화하는 습공기 조성을 확인하기 위해 증공사막별 모니터링을 설정하여 데이터를 확보하도록 하였다. 유동해석은 실험조건과 동일한 입구압력 0.53bar의 조건으로 수행되었다. 유동해석에 대한 자세한 경계조건은 Table 3에 나타내었다. 유동해석을 수행하여 30°C의 온도와 30%RH 습도 조건에서 기본 모델(Model no.1)의 실험 결과값과 해석결과인 상대습도 계산값을 비교하였다. 또한 다양한 모델에 대한 수분제거 특성을 분석하기 위해 위와 동일한 조건으로 나머지 3개의 모델에 대한 유동해석을 수행하였다.⁵⁻⁷⁾

Table 3 CFD parameters of dehumidification

CFD Settings	
Software	ANSYS FLUENT 14.5
Model	Species Transport: Mixture-Template: Air/Water Vapor(Species: 2)
Inlet	Pressure Inlet Pressure[bar]: 0.53 Species Mass Fraction: 0.5
Outlet	Pressure Outlet: 0[bar]
Temperature	Inlet: 303[K] Wall: 298[K]
Porosity	0.5

4. 제습 특성 실험

본 논문에서 제습실험의 목적은 습공기가 증공사막 모듈을 거쳐서 출구로 배출될 때의 수분제거율을 확인하는 것이다.

증공사막 모듈의 제습특성을 확인하기 위해서 실험 장비를 구축하였다. 실험 장비는 Fig. 2의 회로도와 동일하게 구축하였으며, 실제 실험장비는 Fig. 3에 나타내었다. 증공사막 모듈로는 MICRODYN-NADIR사의 모델 FB02-FC-FUS0353를 구입하여 사용하였다. 계측장비로는 온도-습도 센서(NHT-150)와 압력 센서(PCH-1MPa), 유량계(F-112AC-M20-ABD-55-V)가 각각 증공사막의 입·출구에 사용되었다. 센서를 설치하기 위해서 지그를 제작하여 사용하였으며, 지그는 직육면체 형태를 가지고 있다. 각 센서의 측정부를 내부에 넣고 고정할 수 있도록 하여 유체가 센서를 통과한 후, 증공사막 모듈의 입구로 바

로 유입될 수 있도록 하였다. 또한, 측정된 데이터를 저장하기 위해 DAQ 장비인 데베트론(Dewetron)을 사용하였다.⁸⁻⁹⁾ 제습특성 실험에서 관심대상은 중공사막 모듈 입구와 출구의 온도 및 습도이며, 이들 변수 변화에 따른 제습특성을 확인할 목적으로 Table 4와 같은 조건으로 실험을 수행하였으며, 본 논문에서는 대표적으로 온도 30℃ 습도 30%RH의 조건일 때의 결과만을 유동해석 결과와 비교하기 위해 제시하였다.¹³⁻¹⁵⁾

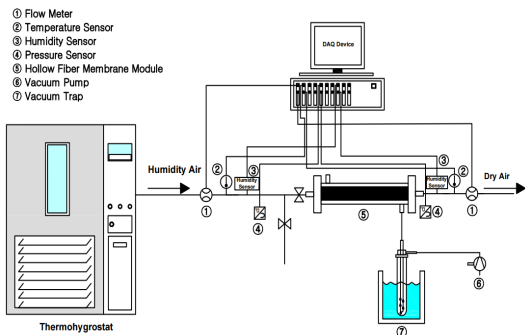


Fig. 2 Schematic diagram of the test rig

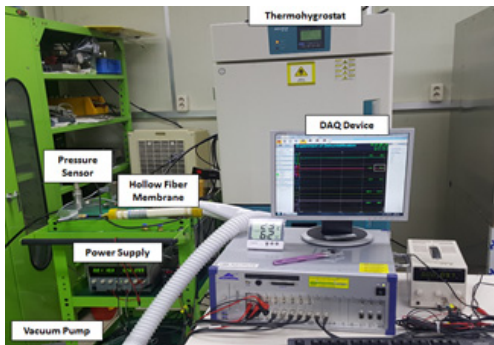


Fig. 3 Experimental setup

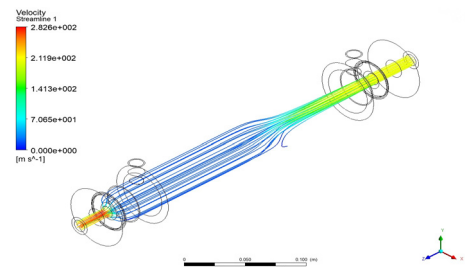
Table 4 Experimental conditions

Temperature[℃]	20, 30, 40
Relative humidity[%]	30, 40, 50, 60, 70
Inlet pressure[bar]	0.53
Inlet flow[lpm]	24
Environment	25℃

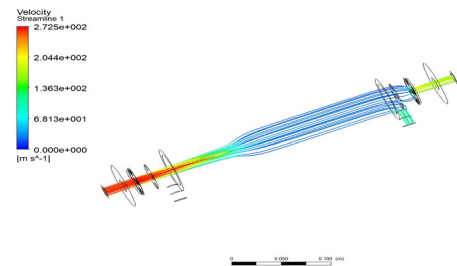
5. 결 과

중공사막 모듈에 대한 제습특성을 확인하기 위하여 실험과 유동해석을 수행하였다. 유동해석 결과로 속도분포 스트림라인을 Fig. 4에 나타내었다. Fig.4에 제시한 중공사막 모듈에서의 스트림라인은

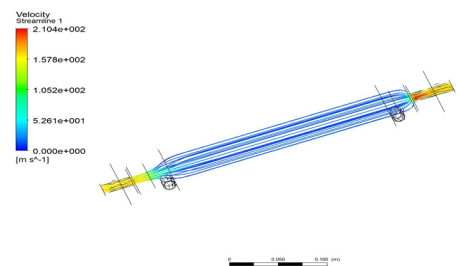
로부터 유입되는 유체의 분포와 배플의 여부에 따른 유체흐름을 확인할 수 있으며, 배플을 가지고 있는 모델에서의 난류발생 지점을 확인할 수 있다. Model No.4와 같이 유입되는 유체가 모듈의 마지막 배플을 지남에 따라 난류가 발생하기 때문에 Fig. 7에 제시된 결과의 원인이 되는 것으로 확인할 수 있다. Fig. 4의 a)는 중공사막의 개수가 1개이며, 중앙에 넓은 중공사막 내경을 가지고 있다. 습공기가 넓게 퍼져서 흐른 후 중앙의 유로로 빠르게 빠져나가는 것을 확인할 수 있다. b)는 중공사막의 개



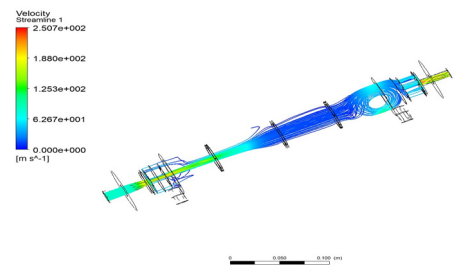
a) Model no.1



b) Model no.2



c) Model no.3



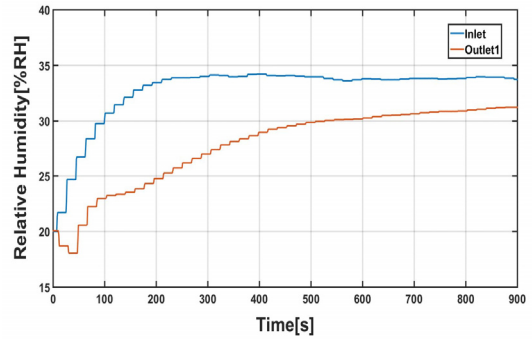
d) Model no.4

Fig. 4 Results of CFD streamline in hollow fiber membrane(Temperature: 30℃, Humidity: 30%RH)

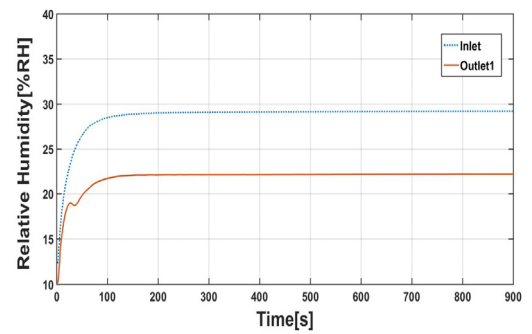
수가 5개로 입구측에서 습공기가 중앙부로 흐르다가 넓게 퍼져서 출구쪽으로 흐르는 것을 확인할 수 있으며, c)는 중공사막의 수가 9개로 입구부에서 출구부까지 습공기가 각 중공사막을 고르게 통과하여 지나가는 것을 확인할 수 있다. d)는 중공사막의 수가 8개 이며, 3개의 배플을 가짐에 따라 입구부 근접한 중공사막의 중앙부로 습공기가 빠르게 흐른 후 3번째 배플을 거침에 따라 난류가 발생하여 습공기가 회전한 후 출구로 빠져나가는 것을 확인할 수 있다.

실험결과와 유동해석 결과를 비교하기 입구에서 유입되는 습공기의 온도는 30℃, 습도가 30%RH의 조건일 때 실험결과와 유동해석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5 a)는 실험결과를 나타낸 것이며, b)는 유동해석결과를 나타내는 것이다. Fig. 5의 a)는 중공사막을 통하여 제습되는 상태를 측정하는 것으로, 중공사막 전후에 설치되어 있는 습도센서를 이용하여 중공사막의 성능을 예측하고자 하였다. 습도를 측정할 시간인 0에서 200초까지는 입구와 출구에서 상대습도가 급격히 증가하다가 200초 이후에는 서서히 일정한 상대습도 차이를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 0에서 200초에서는 입·출구의 차이가 전 구간 중에 가장 크게 나타나는 구간으로 출구부에서도 상대습도가 증가함과 동시에 약 50초 동안 유지하는 것으로 보아 중공사막의 기공에 일부 수분이 흡착되는 구간으로 볼 수 있다.

유동해석 결과는 제습실험결과와 동일하게 온도 30℃와 습도 30%RH의 조건에서 시간에 따른 입구와 출구의 상대습도를 Fig. 5의 b)에 나타내었다. 중공사막 모듈의 유동해석 결과 입구와 출구에서 각각 같은 습도로 시작하여 약 30s 지점에서 출구의 상대습도가 짧은 시간동안 하강하는 것을 확인할 수 있다. 출구에서의 습도가 하강하는 이유는 유입된 공기에 함유되어 있는 수증기는 공기보다 무겁기 때문에 중공사막의 표면과 내부 하우징에 체류할 수 있다. 체류된 수증기는 중공사막 모듈의 압력부하를 발생시키기 때문에 출구에서의 수증기 배출이 원활히 이루어지지 않으며, 하강지점 이후부터는 중공사막에 흡착되어 있거나 체류되어 있는 수증기가 밀려 나옴에 따라 상대습도가 상승하고 있음을 알 수 있다. Fig. 5의 a)의 실험결과에서는 실험장치의 관로 영향으로 인하여 입구에서 약 35%의 상대습도가 나타났으나 해석에서는 30%의 상대습도를 고정으로 하여 해석이 수행되었다. 각



a) Experiment of dehumidification

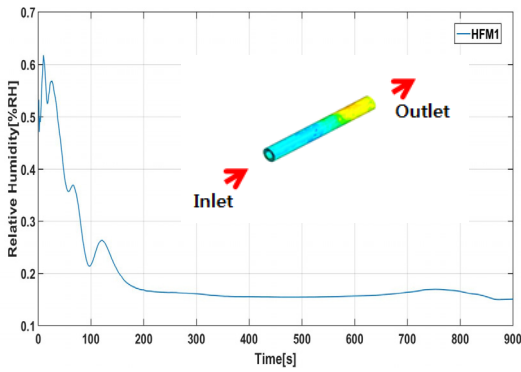


b) Simulation of dehumidification

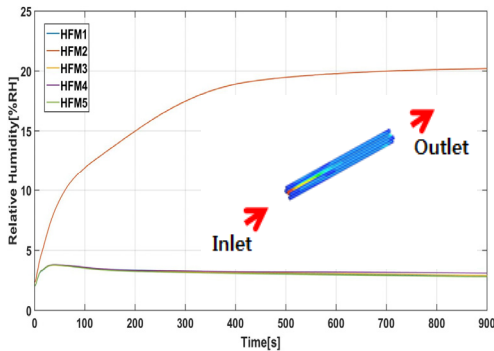
Fig. 5 Experimental results of dehumidification characteristics between inlet and outlet port of hollow fiber membrane module(Temperature: 30℃, Humidity: 30%RH)

결과 그래프에서 과도기를 거쳐 안정화 되었을 때의 결과를 비교하면, 실험과 해석의 오차는 약 5%를 보이는데, 해석에 사용된 중공사막은 실험에 사용된 모델에 비해 적은 수를 사용했기 때문이다.

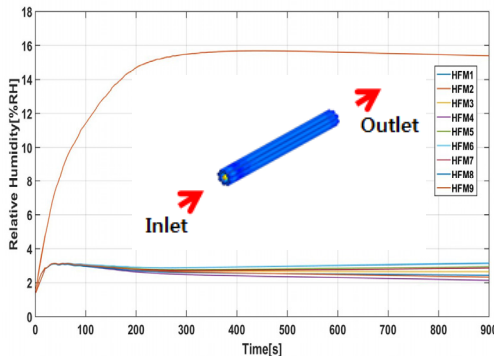
4가지 중공사막 모듈에 대하여 동일한 조건으로 유동해석을 수행하여 중공사막 모듈의 주요 부품에 해당하는 중공사막에서 발생하는 습공기의 유동특성을 나타내었다. 각 모델별 중공사막의 기공을 통과하는 습공기 특성을 상대습도 그래프와 속도분포로 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6의 a)는 한 가닥의 중공사막의 해석결과를 나타낸 것이며, 초기의 습도는 0.6%RH 정도이며, 200초 이후에서는 0.15%RH로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. b)는 다섯 개의 중공사막에 대한 해석결과이다. 중앙부의 중공사막에서 약 19%RH의 습도를 가지고 있으며, 나머지 외부의 중공사막에서는 약 3%RH의 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. c)는 9개의 중공사막에 대한 해석결과이며, b)의 모델과 마찬가지로 중앙부의 중공사막에서 15%RH의 습도를 보이며,



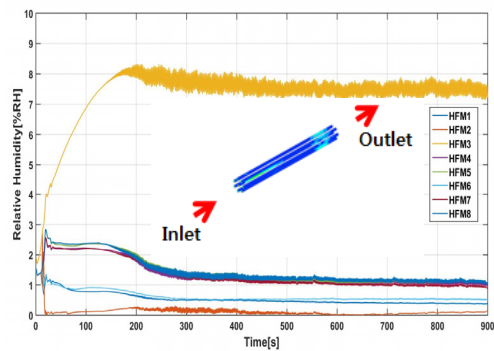
a) Model No.1



b) Model No.2



c) Model No.3



d) Model No.4

Fig. 6 Results of relative humidity and velocity distribution in hollow fiber membrane (Temperature: 30°C, Humidity: 30%RH)

나머지 외부의 중공사막에서는 약 3%의 습도를 갖는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 d)는 중공사막이 8개이며, 3개의 배플을 가지는 모델로 중앙부에서 난류로 인해 연속적으로 흔들리는 값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 중앙부 1개의 중공사막을 제외한 나머지 7개의 중공사막에서의 습공기는 약 2%RH이고, 출구부 근처에서는 모든 중공사막의 습공기 조성이 증가되어 있는 것을 알 수 있다. 본 결과로 습공기의 조성은 중공사막 모델 No.2의 중앙부가 가장 높게 나타났으며, 외부의 중공사막은 모델 No.1을 제외한 모델 모두 유사한 값을 갖는 것을 알 수 있다.

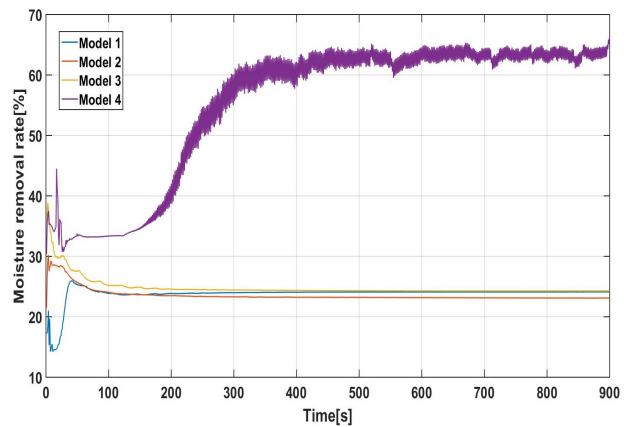


Fig. 7 Results of water vapor removal rate in hollow fiber membrane module (Temperature: 30°C, Humidity: 30%RH)

Fig. 7은 4가지 중공사막 모듈에 대한 수분제거율을 유동해석을 통해서 나타난 것이다. 모델 4번의 중공사막 모듈의 제습효율이 64%로 가장 높게 나타난 것을 확인할 수 있으며, Fig. 4의 d)에 나타난 속도분포에서 출구와 근접한 부분에서 난류가 발생함에 유체가 회전 후 출구로 유출됨에 따라 수분제거율이 일정한 간격을 가지고 연속적으로 흔들리는 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 중공사막 모듈이 가지고 있는 배플 때문이며, 배플을 가지고 있는 중공사막 모듈 또한 실험을 통해 신뢰성을 확인한 모듈과 동일한 조건으로 해석을 수행하여 신뢰성을 가지고 있다고 가정하여 결과를 제시하였다. 배플을 설치함에 따라 중공사막 모듈에서 유체의 분포가 중앙부의 중공사막에 국한되지 않고 넓게 퍼질 수 있어 효율이 증가할 수 있으나 배플로 인해 압력부하가 커지고 제습용량이 줄어들 수 있는 단점을 가질 수 있다.

각 중공사막 모듈의 유동해석 결과로부터 속도분포를 확인한 결과 최종 형상 개선 모델(Model no.4)에서는 중공사막 모듈 내부에서의 유체흐름은 배플의 영향으로 출구부로 갈수록 유체의 분포가 잘 분산되어 있는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 공장시스템용 제습장치로 사용되는 중공사막 모듈에 대한 실험과 전산유체역학을 통하여 제습특성을 파악하고, 중공사막 모듈에 대한 제습효율을 개선하기 위해서 총 4가지 모델을 제시하였다. 이러한 모델 개선 연구 결과를 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 중공사막 모듈의 유동해석결과와 실험결과는 입구와 출구부에서 거의 유사한 형태와 수치로 유체가 움직이는 것으로 확인되어 차기 모델도 실제 모델과 동일한 양상의 결과를 가질 것으로 가정하여 각 모델에 대하여 유동해석을 수행하였으며, Model No.4가 64%의 가장 높은 수분제거율을 보이는 것으로 확인되었다.

2. 중공사막 모듈에 대한 유동해석을 통하여 모델을 개선하였으며, 배플이 존재함에 따라 두 구간에서의 속도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 출구쪽 부분에서 난류가 발생하였으며, 이 난류로 인해서 최종모델의 수분제거율이 일정한 구간내에서 변동을 보이는 것을 확인할 수 있다.

3. 다양한 중공사막 모듈의 유동해석을 통해 제습특성을 확인한 결과 중공사막의 수보다 배플의 유무에 따라 제습효율이 크게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 배플이 존재하는 중공사막 모듈의 No.4은 다른 모델보다 약 2배의 수분제거율을 나타내는 것을 확인하였다.

4. 중공사막의 유동해석을 통해 제습효율을 분석한 결과, 본 연구 모델에서는 중공사막의 표면적에 따라 제습효율이 2~3% 정도의 미세한 차이를 보일 뿐 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

References

1) A. Gurubalan, M. P. Maiya and S. Tiwari, "Performance characterization of membrane dehumidifier with desiccants in flat-plate arrangement", Energy and Building, Vol.156,

pp.151-162, 2017.
 2) K. J. Chua, S. K. Chou and M. R. Islam, "Integrating Composite Desiccant and Membrane Dehumidifier to Enhance Building Energy Efficiency", Energy Procedia, Vol.143 pp.186-191, 2017.
 3) C. Z. Liang and T. S. Chung, "Robust thin film composite PDMS/PAN hollow fiber membranes for water vapor removal from humid air and gases", Separation and Purification Technology, Vol.202, pp.345-356, 2018.
 4) K. He et al., "Fluid flow and mass transfer in an industrial-scale hollow fiber membrane contactor scaled up with small elements", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.127, pp.298-301, 2018.
 5) S. Saneinejad et al., "Coupled CFD, radiation and porous media transport model for evaluating evaporative cooling in an urban environment", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.104-106, pp.455-463, 2012.
 6) E. A. Jeong et al., "Numerical analysis and validation of a multiphase in hollow fiber membrane module for compressed air", Proceedings of 2016 Spring Conference on Drive Control, pp.53-54, 2016.
 7) I. Julián, J. Herguido and M. Menéndez, "Gas permeation effect on the Two-Section Two-Zone Fluidized Bed Membrane Reactor(TS-TZFBMR) fluid dynamics: A CFD simulation study", Chemical Engineering Journal, Vol.305, pp.201-211, 2016.
 8) G. Zhang et al., "Review of experimentation and modeling of heat and mass transfer performance of fin-and-tube heat exchangers with dehumidification," Applied Thermal Engineering, Vol.146, pp.701-717, 2019.
 9) X. Han et al., "A novel system of the isothermal dehumidification in a room air-conditioner," Energy and Buildings, Vol.57, pp.14-19, 2013.
 10) Solidworks 2015, Dassault Systèmes.
 11) ANSYS FLUENT v14.5, ANSYS Korea.
 12) DEWETRON(DEWE-800), DEWETRON Korea.
 13) E. A. Jeong et al., "Numerical analysis and

- validation of a multiphase in hollow fiber membrane module for compressed air”, Proceedings of 2016 Spring Conference on Drive Control, pp.53-54, 2016.
- 14) J. B. Jeong and K. S. Kim, "A Study on Driving Algorithm and Communication Characteristics for Remote Control of Mini Excavator", Journal of Drive and Control, Vol.15, No.4, pp.81-90, 2018.
- 15) Y. X. Yu, E. J. Jeong and K. K. Ahn, "Review of Energy Saving Technology of Hybrid Construction Machine", Journal of Drive and Control, Vol.15, No.4, pp.91-100, 2018.