

환기시스템의 굴절 및 평판형 열교환기 형상에 따른 성능비교

현형호¹, 정병호^{2*}, 김지원³, 이강연⁴
¹(주)삼호엔씨티 대표, ²남부대학교 전기공학과 교수,
³남부대학교 물리치료학과 교수, ⁴조선이공대 전기과 교수

A Comparison of Performance on the Orthogonal and Refraction Heat Exchanger Shape in Air Ventilation System

Hyeong-Ho Hyeon¹, Byeong-Ho Jeong^{2*}, Ji-won Kim³, Kang-yeon Lee⁴

¹CTO, SamhoNCT, Co., Ltd.

²Professor, Dept. of Electrical Engineering, Nambu University

³Professor, Dept. of Physical Therapy, Nambu University

⁴Professor, Dept. of Electrical Engineering, Chosun College of Science & Technology

요 약 최적의 환기시스템 활용과 에너지 절약을 위한 급·배기공기 간의 열교환을 적용시킨 열회수시스템의 활용과 보급은 에너지관리시스템에서 필수적이다. 이러한 기술은 특히, 겨울철과 여름철의 냉난방에너지를 절약할 수 있어 고효율에너지 빌딩의 기반기술의 주요 요소이다. 본 논문에서는 균일한 형상과 동일한 유동조건에서 열교환기 성능을 비교하기 위해 종이, 플라스틱, 알루미늄을 재질로 시뮬레이션을 통한 열전달효율을 검토하였다. 또한 평판형과 굴절형 구조를 갖는 열교환기의 형상에 따른 열전달 효율을 시험하였고, 그 결과를 토대로 열전달 성능과 압력손실에 대해 고성능의 열교환기를 제작하는데 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 환기, 열교환기, 평판형구조, 굴절형구조, 성능분석

Abstract Application of heat recovery system applying air supply and cexhaust ventilation device essential in energy management system for the optimum ventilation system utilization and energy saving.

This is a key element of infrastructure technology for high-efficiency energy buildings, because it can save heating and cooling energy in winter and summer.

In this paper, heat transfer efficiency was simulated using paper, plastic, and aluminum materials that was examined to compare heat exchanger performance under uniform flow conditions. We tested heat transfer efficiency according to the shape of two of that, one is orthogonal and the other is refraction shape. Based on the simulation results, it is expected to contribute to the production of high performance heat exchanger with heat transfer performance and pressure loss.

Key Words : Ventilation, Heat exchanger, Orthogonal type, Refraction type, Performance analysis

*This study was supported by the Research Program funded by the Nambu University in 2018.

*Corresponding Author : Byeong-Ho Jeong(energy@nambu.ac.kr)

Received April 25, 2019

Revised May 23, 2019

Accepted July 20, 2019

Published July 28, 2019

1. 서론

환기시스템이란 주어진 건축공간에서 사람 또는 물품을 대상으로 온도, 습도, 기류속도, 청정도(부유분진, 냄새, 세균, 유해가스 등)를 그 실의 사용목적에 적합한 유지하는 것이며, 쾌적하고 위생적인 환경을 조성하기 위해 재실인원에 따른 외기도입량의 결정하고, VAV(Variable Air Volume) 설치를 통한 공조기 풍량 제어에 의한 부하 및 송풍동력 운전시간을 자동으로 제어하는 시스템이다[1,2].

열교환기는 유체간의 열에너지를 유효하게 전도와 대류를 통하여 이동시키는 개체로 사용된다[4-6]. 하지만 유체의 입출구의 위치 및 형상, 헤드(Head)의 형식, 배플(Baffle)의 형상 및 위치 등 다양한 인자들을 고려하여야한다[3,4]. 특히, 판형 열교환기는 내부의 특이한 형상 때문에 유동 및 열전달 패턴이 복잡하여 설계 시 고도의 지식과 경험이 요구된다[5,6]. 판형 열교환기의 사용범위가 확대되면서 열교환기의 재질 또한 기존의 알루미늄, 스테인리스 스틸, 구리에서부터 작동유체가 기체인 곳에 사용할 목적으로 플라스틱 및 종이, 부직포 등 두 유체를 서로 분리할 수 있는 재질이라면 무엇이든지 열교환기의 재료로 사용되고 있다[7-9].

본 연구에서는 고온의 폐열공기와 저온의 외부 공기가 통과하는 평판형과 굴절형 구조 등 2종의 형상에 대한 열전달효율을 검토하기 위해 3종의 재료 즉, 종이류(Pulp), 플라스틱(PP), 알루미늄(Al)에 대해 동일 형상, 동일 유동조건일 경우에 대한 열교환 성능을 비교분석하여 형상변화에 따른 성능분석을 수행하였다.

2. 열교환기 설계

2.1 환기시스템

재실자의 활동(흡연, 조리, 청소작업 등), 업무(일반건물에서의 복사기의 사용 등), 건축물 자체의 발생원(건축재료와 가구류 등의 오염물질 방출정도)에 따라 다르게 설정될 수 있으며 식 (1)으로 설정치를 제시할 수 있다[11]. 여기서, Q_{total} 은 총환기량, n 은 실내의 재실인원, Q_{person} 은 재실자에 대한 환기량, A 는 실내의 바닥면적, $Q_{building}$ 은 건물에 대한 환기량을 나타낸다.

$$Q_{total} = (n \times Q_{person}) + (A \times Q_{building}) \quad (1)$$

2.2 열교환기 성능해석

판형 열교환기는 주로 소용량 환기 유닛에 적용이 되며 누설율이 적어서 오염된 실내 공기가 실내로 재유입되는 것을 방지하는 장소에 사용된다. 전열교환기에서는 누설률, 온도교환효율, 습도교환효율, 전열교환효율, 에너지 계수 파라미터를 사용하고, 누설률은 폐열회수 환기 유닛의 환기측과 급기측 팬(Fan) 사이에서 누설되는 공기량과 급기량의 비를 나타낸다. Table 1은 열교환기의 재료별 특징을 구분하여 나타내었다.

Table 1. Flat heat exchanger materials.

	Al	PP	Pulp
Features	-Large Capacity -non air leakage	-Medium Capacity	-Small capacity -air leakage
Energy saving	-Excellent	-Bad	-Bad
Maintenance	-semi -permanent	-semi -permanent	-Short life cycle

열교환기의 열전달 성능 해석과 설계방법에는 대수평균온도차(Log Mean Temperature Difference : LMTD) 방법과 유효성(Effectiveness)-NTU(Number of Transfer Units) 방법이 이용되고 있다[10,11]. 대수평균온도차 방식은 입구와 출구의 온도를 계속하여 인식할 수 있을 때 유용하며, 이러한 경우에 LMTD방식이 용이하게 산출되므로 열전달량이나 전열면적, 그리고 총합 열전달계수를 결정할 수 있다[12,13]. 열교환기에서의 유효성은 식 (2)로 정의된다.

$$\varepsilon = \frac{Q_{actual}}{Q_{max}} \quad (2)$$

여기서, Q_{actual} 은 실제 열전달량, Q_{max} 는 가능한 최대의 열전달량이다. 실제 열전달량은 고온의 유체가 잃은 열량 또는 저온의 유체가 얻은 열량을 계산할 수 있으며, 이용가능한 이상적인 최대 열전달량은 식 (3)과 같다.

$$Q_{max} = (mc)_{\min} (T_{hin} - T_{cin}) \quad (3)$$

이러한 관계식을 이용하여 병렬흐름(Parallel flow)와 향류(Counter Flow)에 대해 열교환기의 유효성을 확보할 수 있으며 병류와 향류에 대한 ε 식은 식 (4)와 같다.

$$\varepsilon = \frac{\Delta T(C_{\min})}{\Delta T(C_{\max} - C_{\min})} \quad (4)$$

열교환기의 성능해석과 설계를 위해서 총합열전달계수 U를 획득해야하고 이를 이용하여 열교환기의 열전달 성능의 향상도와 그에 따른 성능평가를 판단할 수 있다 [14,15]. 판형 열교환기의 경우 총합열전달계수는 식 (5)과 같이 열저항과 반비례 관계에 있으며, 이는 식 (6)과 같이 각각의 요소에서 열저항의 합으로 나타내어 총합열전달계수를 구할 수 있다.

$$UA = \frac{1}{R_{total}} \quad (5)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{H_h} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_c} \quad (6)$$

여기서, H_h 와 h_c 는 판의 양면에 흐르는 작동 유체의 대류열전달계수이고, Δx 는 판의 두께, k 는 판의 열전도계수이다. 열교환기의 열전달 성능을 좌우하는 대류열전달계수는 판의 형상과 크기, 유체의 유동 조건에 따라 달라지며 실험식을 사용하여 계산하거나 실제 실험을 통하여 얻을 수 있다.

Table 2. Total heat transfer coefficient of Al and PP.

Thickness (mm)	0.1	0.2	0.5	1
Pulp($h = 50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$)	24.691	24.390	23.529	22.222
Al($h = 50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$)	24.999	24.999	24.998	24.996
PP($h = 50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$)	29.557	29.126	27.907	26.087

Table 2의 알루미늄재료와 PP계열의 전열전달계수에 대한 그래프를 통해 나타내면 Fig. 1과 같다.

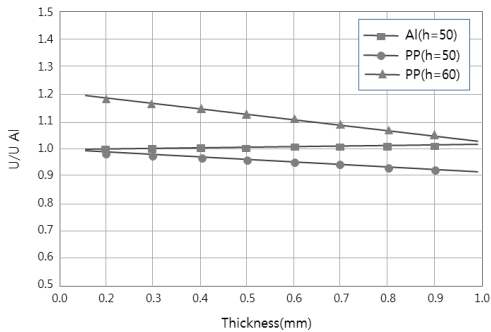


Fig. 1. Comparison of Al and PP total heat transfer

coefficient.

본 연구에서는 고온의 폐열공기와 저온의 외부공기가 통과하는 두께 0.4[mm], 가로 200[mm], 세로 200[mm]의 정사각형 평판에 열전달을 면적을 넓히기 위하여 4.3×4.5[mm]인 사각 층상형상 40개를 다층구조로 결합한 평판형 판과 중심부에 공기체류시간을 늘리기 위한 구조의 굴절형 판 등 두 가지 형상에 대한 열전달 효율을 검토하기 위해 3가지 재료 즉, 종이류, 플라스틱 재료, 알루미늄에 대해 동일 형상, 동일 유동조건일 경우에 대한 열교환 성능을 비교분석하였다.

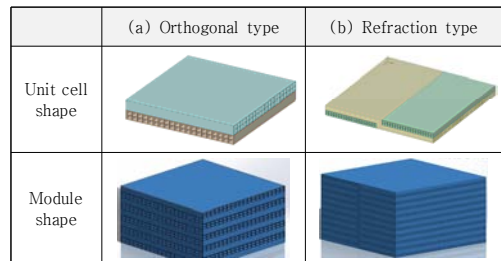


Fig. 2. Heat exchanger shape of orthogonal and refraction type.

2.3 지배방정식

단위 셀 열교환기가 조립된 판형 열교환기 해석에 사용된 연속방정식은 식 (7)과 같다.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (7)$$

운동량 방정식은 식 (8)과 같이 정의된다.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right] - \overline{\rho u_i' u_j'} \right) \quad (8)$$

운동량방정식에서 $\overline{\rho u_i' u_j'}$ 는 Reynolds Stresses이며, Boussinesq의 가설에 따라 정리하면 식 (9)과 같다.

$$\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad (9)$$

난류유동 해석에 있어서는 k-ε모델을 기본적으로 사용하고, 강한 선회류 등의 비등방성 문제는 RSM(Reynolds

Stress Model)와 RNG (Renormalization Grop) 모델을 선택적으로 사용할 수 있다. 본 해석에서는 Power-law 기법과 SIMPLEC 알고리즘을 사용하여 전산해석을 수행하였다. 수렴 판정은 다음의 전 영역 잔류항의 총합이 10^{-5} 이하가 되는 시점을 수렴한 식 (10)으로 표현된다.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{nodesP} | [A_E \phi_E + A_W \phi_W + A_N \phi_N + A_S \phi_S + S_C - A_P \phi_P] |}{\sum_{nodesP} | (A_P \phi_P) |} \leq 10^{-5} \tag{10}$$

2.4 수치해석

뜨거운 배기가스 유량을 100, 150, 200[m³/h]로 설정하였으며, 배출 가스의 유입 온도는 350[K]로 고정하였다. 이때 차가운 회수용 공기 온도는 300[K]로 고정하였으며, 유량을 고온가스와 마찬가지로 유량을 100, 150, 200[m³/h]로 변경 해가면서, 열교환기의 유동채널 내부의 유동 특성과 온도 특성을 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해서 얻은 속도 분포, 압력분포, 입구 출구 압력차, 온도분포 자료는 열교환기 장치의 성능해석에 사용하였다. 전산해석 변수로는 배기가스 유입온도, 폐열 회수용 공기유량 등을 변화시켜 가면서 유동장, 압력장, 온도장, 핀의 온도, 대류 열전달계수를 계산하였으며, Table 2와 Table 3은 시뮬레이션에 적용된 직교형 및 굴절형에 적용된 변수를 각각 나타낸다.

Table 3. Variables of analysis for Orthogonal type.

CASE	Ma.	High Temp. Flow (m ³ /h)	Temp. (K)	Air Flow (m ³ /h)	Air Temp. (K)
CASE 1	Pulp	100	350	100	300
CASE 2		150	350	150	300
CASE 3		200	350	200	300
CASE 4	PP	100	350	100	300
CASE 5		150	350	150	300
CASE 6		200	350	200	300
CASE 7	Al	100	350	100	300
CASE 8		150	350	150	300
CASE 9		200	350	200	300

Table 4. Variables of analysis for Refraction type.

CASE	Ma.	High Temp. Flow (m ³ /h)	Temp. (K)	Air Flow (m ³ /h)	Air Temp. (K)
CASE 10	Pulp	100	350	100	300
CASE 11		150	350	150	300
CASE 12		200	350	200	300
CASE 13	PP	100	350	100	300
CASE 14		150	350	150	300
CASE 15		200	350	200	300
CASE 16	Al	100	350	100	300
CASE 17		150	350	150	300
CASE 18		200	350	200	300

시뮬레이션에서는 각 경우별로 입구에 일정 질량유량, 온도 및 동일한 난류조건을 모든 단계에 똑같이 적용되었다. 이때, 일관성을 유지하며 고찰하기 위하여 각 단계 모두 관성 좌표계를 사용하였으며 X축 방향은 배기가스 유동 방향으로서 배기가스가 유입되는 입구에서 출구 쪽으로 방향을 양(+)으로 하였으며, 난류모델은 k-ε모델을 사용하였고, 난류 강도는 입구속도의 5[%], 난류의 특성 길이는 입구 직경의 10[%]라 가정하였다. Mesh 수가 매우 낮으므로 유동을 비압축성으로 간주하여 압력변화에 따른 밀도의 변화는 무시하였다. Table 5.에 시뮬레이션을 위한 3종의 재료와 공기의 물성치를 나타내었다.

Table 5. Material properties.

Materials	Temp (K)	density kg/m ³	specific heat j/kg · K	coeff. thermal conductivity W/m · K	viscosity coeff. N · s/m 10 ⁻⁵	Pr
Air	300	1.225	1006	0.0242	1.7894	0.707
Al	-	2770	875	180	-	-
PP	-	1470	840	0.15	-	-
Pulp	-	900	1340	0.08	-	-

유동해석 조건 및 경계조건은 Turbulent Model는 k-ε With Scalable Wall Function (wall Y+ : 70) 이며, Inlet는 고온 공기유량 100-300[m³/s]이고, 회수용 공기는 100-300 [m³/s]이다. 난류강도는 5[%]이며, 난류특성길이는 입구직경의 10[%]이며, Working Fluid의 고온 공기온도는 350[K]이며, 회수용 공기온도는 300 [K]이다. 출구는 Outflow

($\frac{dp}{dx}=0, \frac{dT}{dx}=0$)이다. 열교환기 단위 셀 재질은 알루미늄, 플라스틱, 종이를 사용하였고, Solver는 압력을 기반으로 하며, Pressure-velocity coupling는 결합상태이고, Spatial Discretization는 2nd order로 표현하였다.

3. 시뮬레이션 결과

2종의 형상과 3종의 재질을 갖는 판형 열교환기에 대해 입출구 유량(즉, 속도)을 바꾸어가면서 해석을 수행하였다. Fig. 3.에서는 굴절형과 평판형의 시뮬레이션결과를 이미지형상으로 나타냈다. 열교환기의 성능을 좌우하는 열전달계수는 ϵ -NUT(Number of Transfer Units) 법을 사용하게 되는데 직교형, 굴절형 열교환기를 계산한 결과, 유용성 ϵ 은 0.2-0.28 범위를 갖는 것으로 결과가 나타났으며, 유속이 증가할수록 열교환 효율은 감소하였다.

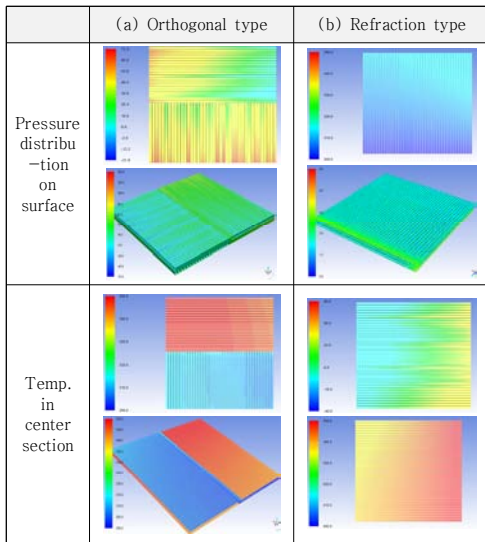


Fig. 3. Computational analysis results.

NUT 값에서 속도가 증가하면 질량유량은 증가하지만, 속도증가에 따른 총합 열전달계수가 영향을 받기 때문에 본 해석에서 2가지 형상에 대해 각각의 전열면적을 고정되어 있다. 각각의 사용된 상수는 \dot{m}_h 는 질량 유동율, $C_{p,h}$ 는 정압비열, $T_{h,in}$ 는 입구온도, $T_{h,out}$ 는 배기가스출구온도, \dot{m}_c 는 회수용 가스 질량 유동률,

$C_{c,h}$ 는 회수용 가스 정압비열, $T_{c,in}$ 는 회수용 가스 입구온도, $T_{c,out}$ 는 회수용 가스 출구온도를 각각 의미한다. Fig. 4.과 Fig. 5.은 직교형과 굴절형 구조의 시뮬레이션에 따른 결과이며 각각의 케이스에 대한 파라미터를 비교하여 나타냈다.

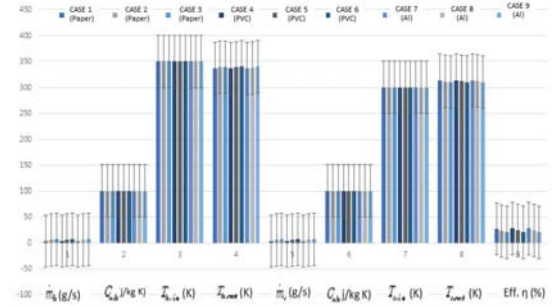


Fig. 4. Simulation result value of Orthogonal type.

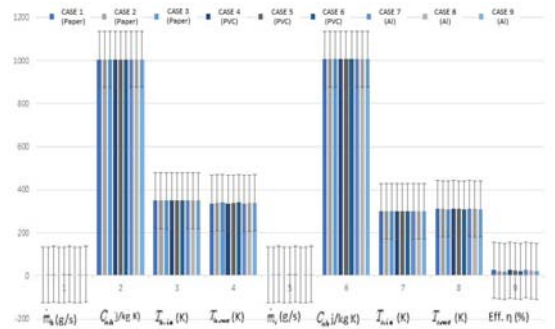


Fig. 5. Simulation result value of Refraction type.

동일 유량, 동일 재질인 경우 열교환기 형태를 달리하여도 효율 차이가 크게 나타나지 않았으며 최대 28% 수준을 나타내었다. 이는 본 연구에서 검토한 열교환기 형상은 유동이 지나는 경로(즉, 유로의 형태)를 달리하였을 뿐 고온부 및 저온부로 구성되어 서로 맞대어있으면서 실제 열교환기 일어나는 면적 자체가 달라지지 않았기 때문이며, 이러한 경우 재료의 변경에도 큰 결과값의 차이가 없음을 보이고 있다. 따라서 열교환기의 효율향상을 위해서는 열교환 면적을 확보해야한다는 결과를 확보하였다.

4. Conclusion

환기시스템 열교환기의 3종의 재료에 따른 직교형과 굴절형 설계를 통해 열교환 성능분석을 시뮬레이션을 통

한 실험을 수행하였고, 결과를 토대로 성능을 비교·분석하였다.

열교환기의 풍량이 증가함에 따라 차압이 증가하는 것은 베르누이 방정식에 의하여 동일한 규격 크기의 덕트 내에서 풍량이 증가함에 따라 공기의 유속이 빨라져 더욱 큰 차이의 압력 차가 발생하는 현상을 확인할 수 있으며 직교형 열교환기에 있어서 압력손실과 평균 열전달 계수는 열교환기에서의 면풍속이 증가할수록 증가하고, 유효성은 면풍속이 증가할수록 감소하였다. 또한, 동일 면풍속에 대하여 압력손실, 유효성은 유로의 높이가 작아질수록 증가하고 평균 열전달계수는 유로의 높이에 대하여 영향이 적어진다는 실험결과를 확보하였다.

향후 본 연구결과를 토대로 열교환기의 형상설계에 활용하여 고효율 열교환기의 설계를 통해 환기시스템에 적용할 경우, 우수한 성능을 확보할 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] H. H. Hyeon. (2019). *A Study on the Optimal Design Technology in the Medical Ventilation System*. Master's thesis. Nambu University, Gwangju.

[2] R. Fehle, J. Klas, & F. Mayinger. (1995) Investigation of local heat transfer in compact heat exchangers by holographic interferometry. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 10(2), 181-194.

[3] V. Saravanan & C. K. Umesh. (2017). Experimental investigation for flow and heat transfer over pin fin heat exchanger. *International J. of Eng. Sci. & Reserach Tech.*, 6(12), 511-518.

[4] S. W. Choi, Y. H. Paik, H. C. Kang & D. Y. Kim. (1997). Calculation of a 2-D Channel Flow with a Dimple. *J. of Mechanical engineering B*, 21(1), 49-56.

[5] S. Y. Yoo, M. H. Chung & Y. M. Lee. (2005). A Study on the Factors Affecting the Performance of Plastic Plate Heat Exchanger. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Eng.*, 17(9), 839-848.

[6] H. Zhao, Z. Liu, C. Zhang, N. Guan, & H. Zhao. (2016). Pressure drop and friction factor of a rectangular channel with staggered mini pin fins of different shapes. *Experimental Thermal and fluid Sci.*, 71, 57-69.

[7] C. A. Rubio-Jimenez, S. G. Kandlikar, & A. Hernandez-Guerrero. (2012). Numerical Analysis of Novel Micro Pin Fin Heat Sink With Variable Fin Density. *IEEE Trans. On Components, Packaging And Manufacturing Giutechnology*, 2(5), 825-833.

[8] Y. Kim & Y. Kim. (2005). Heat transfer characteristics of flat plate finned-tube heat exchangers with large fin pitch. *Int. J. Refrig.*, 28(6), 851-858.

[9] J. Yoo. (2012). *Influence of Chevron Angle on Performance and Life-cycle of the Brazed Plate Heat Exchangers*. Master's thesis. Chungnam National University. Chungnam.

[10] R. Borrajo-Peláez, J. Ortega-Casanova & J. M. Cejudo-López. (2010). A Three-Dimensional Numerical Study and Comparison Between the Air Side Model and the Air/Water Side Model of a Plain Fin-and-Tube Heat Exchanger. *Appl Therm Engineering*, 30(13), 1608-1615.

[11] J. G. Cevallos, A. E. Bergles, A. B. Cohen, P. Rodgers & A. K. Gupta. (2012). Polymer Heat Exchangers-History, Opportunities, and Challenges. *Heat Trans Eng.* 33(13), 1075-1093.

[12] G. Hetsroni & A. Moyak. (1994). Heat transfer and pressure drop in a plastic heat exchanger with triangular channels. *Chemical Engineering and Processing*, 33(2), 91-100.

[13] M. H. Chung. (2002). *Study on the Heat Recovery Performance of Plastic and Paper Plate Heat Exchanger*. Master's thesis. Chungnam National University. Chungnam

[14] K. Aydın, O. V. Guler & A. Keçebaş. (2017). Parameters Affecting the Performance of a Plate Heat Exchanger using the CFD. *Energy Research Journal*. 8(2), 22-31

[15] J. H. Park. (2010). *A Study on the Efficiency of a Heat Exchange by Simulator Experiment for an Aluminium Plate Heat Exchanger*. Master's thesis. Tong-Myong University. Busan.

현 형 호(Hyeong-Ho Hyeon)

[장학원]



- 2018년 2월 : 남부대학교 의공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 ~ 2010년 9월 : (주)일광이엔티 기술부
- 2010년 11월 ~ 현재 : (주)삼호엔씨티 대표이사
- 관심분야 : 의공융합, 환기시스템, 신

재생에너지

· E-Mail : samho3399@hanmail.net

정 병 호(Byeong-Ho Jeong)

[장학원]



- 1999년 8월 : 조선대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : 조선대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 2009년 2월 : (주)기영미다스 선임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 남부대학교 전기

공학과 교수

- 관심분야 : 의공융합, 전력전자공학, 신재생에너지
- E-Mail : energy@nambu.ac.kr

김 지 원(Ji-won Kim)

[장학원]



- 2014년 2월 : 인제대학교 일반대학원 물리치료학과(이학박사)
- 2014년 4월 ~ 현재 : 남부대학교 물리치료학과 교수
- 관심분야 : 운동역학, 의공융합, 운동치료
- E-Mail : rehab@nambu.ac.kr

이 강 연(Kang-Yeon Lee)

[장학원]



- 1999년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 전기과 교수
- 관심분야 : 신재생에너지, 전력전자, 자동화시스템

- E-Mail : space122@cst.ac.kr