

통신 합체 냉각용 플라스틱 재질의 열교환 소자

김내현

인천대학교 기계시스템공학부

Heat Exchange Element Made of Plastic for Cooling of Telecommunication Cabinet

Nae-Hyun Kim

Department of Mechanical Engineering, Incheon National University

요약 합체 내의 발열은 이동통신기기의 회선 처리 능력이 증가함에 따라 계속 증가하고 있다. 이 열을 적절히 외부로 방출해 주지 않으면 중계기 내의 온도가 상승하여 전자장치 오작동의 원인이 된다. 본 연구에서는 통신 합체 냉각 모듈용 알루미늄 및 플라스틱 소자의 성능에 대해 실험을 수행하고 이론 해석 결과와도 비교하였다. 알루미늄 소자는 핏치 4.5 mm의 대향류 평행 채널로 구성되고 플라스틱 소자는 핏치 2.0 mm의 직교류 및 직교 대향류 삼각 채널로 구성되었다. 한편 직교류 소자의 크기는 알루미늄 소자와 동일하고 직교대향류 소자는 알루미늄 소자보다 33% 크다. 실험 결과 플라스틱 직교 대향류 소자의 전열량이 가장 크고 알루미늄 대향류 소자의 전열량이 가장 작게 나타났다. 또한 알루미늄 대향류 소자를 base 소자로 할 때 플라스틱 직교대향류 소자의 온도교환효율은 base 소자보다 평균 56% 크고 플라스틱 직교류 소자의 값보다는 평균 29% 크게 나타났다. 한편 플라스틱 직교대향류 소자와 base 소자의 압력손실은 유사하게 나타났다. 열교환 효율은 플라스틱 직교대향류 소자에서 가장 크고 플라스틱 직교류 소자에서 가장 작게 나타났다. 또한 이론 모델은 소자의 성능을 다소 과대 또는 과소 예측하였다.

Abstract The heat generation rate in a telecommunications cabinet keeps increasing due to the increased usage of mobile devices. Insufficient removal of the heat increases the cabinet temperature, which results in the malfunction of the electronic devices. In this study, tests were conducted on aluminum and plastic heat exchangers for cooling a telecommunications cabinet, and the results were compared with theoretical predictions. The aluminum heat exchanger comprised counter flow parallel channels with 4.5-mm pitch, and the plastic heat exchangers comprised cross or cross-counter flow triangular channels with 2.0-mm pitch. The volume of the cross flow heat exchanger was the same as that of the aluminum heat exchanger, and the volume of the cross-counter heat exchanger was 33% larger than that of the aluminum heat exchanger. The results show that the heat transfer rate is the highest for the cross-counter heat exchanger and lowest for the aluminum one. The temperature efficiency of the cross-counter heat exchanger was 56% higher than that of the aluminum one and 20% higher than that of the cross flow heat exchanger. The pressure drop of the cross-counter heat exchanger was approximately the same as that of the aluminum one. The heat exchange efficiency was the highest for the cross-counter heat exchanger and lowest for the cross flow heat exchanger. The theoretical analysis somewhat overestimated or underestimated the data.

Keywords : Telecommunication Cabinet, Cooling Module, Aluminum, Plastic, Heat Exchanger, Cross-Counter

1. 서론

우리나라는 세계최초로 CDMA 방식의 디지털 회선

접속방식을 상용화하였고 이 후 이동 통신 가입자는 기
하급수적으로 늘고 있다. 단말기에서 나오는 신호를 수
신하고 이를 증폭하여 재송출하는 중계기는 이동통신 시

*Corresponding Author : Nae-Hyun Kim (Incheon Nat'l Univ.)

Tel: +82-32-835-8420 email: knh0001@incheon.ac.kr

Received September 7, 2016

Revised October 4, 2016

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

스텝의 핵심 구성요소이다. 이동통신의 특성상 중계기를 옥외에 설치하는데, 대기 중의 먼지와 같은 오염 물질로부터 보호하여야 하고, 외부의 전자기파로부터 격리하여야 하며, 그 밖의 다른 위해 요소로부터 보호하여야 한다. 이 같은 이유로 중계기의 합체를 밀폐형으로 제작한다.

합체 내의 발열은 이동통신기기의 회선 처리 능력이 증가함에 따라 계속 증가하고 있다[1]. 이 열을 적절히 외부로 방출해 주지 않으면 중계기 내의 온도가 상승하여 전자장치 오작동의 원인이 된다. 일반적으로 중계기 내부에 장착되는 전자소자의 작동 상한 온도는 60°C 정도이다. 중계기에서 발생하는 열은 출력신호가 작은 소형인 경우 수십에서 수백 W이고, 중형인 경우 수백 W에서 1 kW 내외, 광통신에 사용되는 대형인 경우 1~4 kW 정도 된다[1]. 비교적 발열량이 적은 소형 중계기에서는 내부 발열을 합체 외벽에 방열 핀을 부착하여 자연 대류에 의해 처리하고, 중형 중계기의 경우는 방열 핀 또는 열교환기를 사용하여 외기로 합체를 냉각한다. 대형 중계기에 있어서는 외기 냉각만으로는 부족하므로 공조기(에어컨)를 사용하여 합체를 냉각한다[1]. 최근에는 열싸이푼[2], 액체냉각[3,4] 등의 냉각방안이 제시되기도 하였다. 본 연구에서는 열교환기를 사용하여 외기로 합체를 냉각하는 강제대류식 냉각방식에 대하여 검토하였다.

Fig. 1에 강제대류형 냉방 모듈이 설치된 합체의 사진을 나타내었다. Fig. 2에는 대향류 열교환기가 장착된 냉방 모듈의 개략도를 나타내었다. 냉각 모듈의 경우, 합체 내부에 전자 기기를 설치할 공간을 확보하고 합체 외부로 돌출되는 부분을 줄이기 위하여 그 깊이를 최소화한다. 현재 국내에는 독일제 냉각 모듈이 수입, 사용되고 있는데 그 깊이는 30 cm를 넘지 않는다[5]. Fig. 2에는 600 W급 독일제 냉각 모듈에 장착된 열교환기도 나타나있다. 알루미늄 재질로 크기가 350 mm x 140 mm x 600 mm이다. 유동 형태는 대향류이고 평행 평판(핏치 4.5 mm)으로 채널이 구성되어 있다.

본 연구에서는 통신 합체용 냉각 모듈 국산화의 일환으로[6] 상기 독일제 알루미늄 열교환기의 성능을 상회하는 플라스틱 열교환기 개발에 대해 수행하였다. 플라스틱은 알루미늄에 비하여 가격이 저렴할 뿐 아니라 부식문제도 없다. 또한 열교환기 유로 형상도 대향류보다는 직교류를 검토하였다. 직교류는 대향류에 비하여 제조가 손쉬운 장점이 있다. 대향류에 비해 전열능능이 감소하는 문제는 직교류 열교환기를 직렬로 연결하여 직교



Fig. 1. Photo of the telecommunication cabinet.

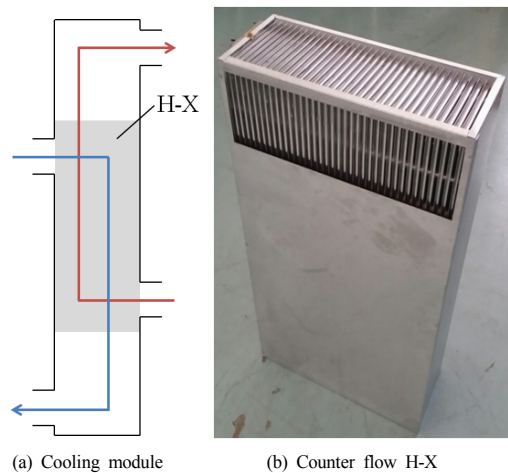


Fig. 2. Sketch of the cooling module with counter flow heat exchanger and a photo of the aluminum counter flow heat exchanger (foreign product).

대향류 형태로 구성하고 동시에 채널 핏치를 감소하여 전열 면적을 증가시킴으로써 해결하였다. 플라스틱 재질로 제작된 직교류와 직교대향류 소자에 대해 성능 시험을 수행하고 알루미늄 대향류 소자와 비교하였다. 또한 실험 결과를 이론적 해석 결과와도 비교하였다. 플라스틱 열교환기는 열 회수 환기 장치, 간접증발냉각기 등에도 적용되고 있다[7].

2. 실험 장치 및 방법

Fig. 3에 본 연구에서 고려한 직교류와 직교대향류 소자의 사진과 채널 형상을 나타내었다. Fig 4(c)는 평행 채널 내부에 물결형 스페이서가 부착되어 있음을 보여준

다. 스페이서는 채널 간격을 유지함과 동시에 전열면적을 증가시키는 역할을 한다. 스페이서의 형상은 Fig. 3(c)에 나타나 있듯이 밀변 9.0 mm, 높이 5.0mm의 꼭지각이 둥근 이등변 삼각형이다. 스페이서의 면적은 실측을 통하여 구하였는데 평행 채널 면적의 1.79배로 나타났다. 직교류 소자의 크기는 300 mm x 140 mm x 700 mm로 알루미늄 열교환기와 동일 체적이고 채널 핏치는 2.0 mm로 알루미늄 소자의 채널 핏치 (4.5 mm)보다 작다. 직교대향류 소자는 300 mm x 225 mm x 300 mm 크기의 직교류 소자 2개가 직렬로 연결되어 있고 채널 핏치는 역시 2.0 mm이다. 직교대향류 소자의 전체 체적은 알루미늄 소자보다 34% 크다. 직교대향류 소자의 크기는 추후 설명될 이론 해석을 활용하여 선정하였다.

Fig. 4는 소자들이 시험 지그에 장착된 개략도를 보여 준다. 지그는 430 mm x 230 mm x 1570 mm 크기로 제작되었다. Fig. 5에 성능 실험 장치를 나타내었다. 실험 장치는 시험부와 두 개의 흡입식 풍동으로 구성되고 시험부는 풍동의 선단에 장착된다. 풍동 내부에는 시험부 출구 공기의 건습구 온도를 측정하기 위한 샘플링 유닛과 풍량을 측정하기 위한 노즐, 그리고 송풍기가 설치되어 있다. 풍동 입구부에는 와이어 메쉬를 설치하여 균질한 유동이 공급될 수 있도록 하였다. 풍량은 송풍기 모터에 연결된 인버터로 조절하였고 시험부 입구측 공기 온습도는 별도의 샘플링 유닛을 시험부 입구에 설치하여 측정하였다. 공기측 풍량은 ASHRAE 41.2 [8]에 된 노즐차압을 이용하여 산정하였고 시험부의 입출구 온습도는 ASHRAE 41.1 [9]에 규정된 샘플링 방법에 의해 측정하였다. 온습도 측정에는 고정밀 Pt-100Ω 센서 (정밀도 ±0.1℃)를 사용하였다. 실험은 실내와 실외측 입구 건습구 온도를 35℃/24℃, 24℃/17℃로 유지하고 풍량을 변화시키며 수행되었다. 이 온습도는 건물 공조시 하절기 설계조건 [10]이다. 이 조건은 실제 함체의 운전 조건과는 상이하나 증계기 함체에 대해 시험 사양이 없는 상황에서 소자의 성능을 상대 비교하는 데는 무리가 없으리라 판단된다. 열교환기의 온도교환효율 ξ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\xi = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \quad (1)$$

여기서 $T_{h,in}$ 과 $T_{h,out}$ 은 함체 입출구 온도 $T_{c,in}$ 은 외기 입구 온도 (K)이다. ANSI/ASHRAE Standard 37 [11]에

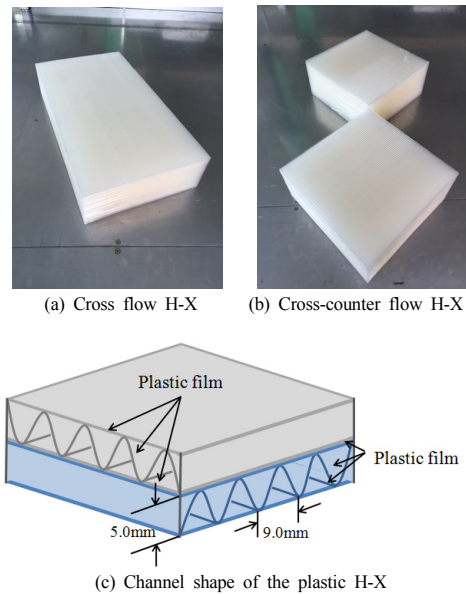


Fig. 3. Photos and channel shape of the plastic heat exchanger.

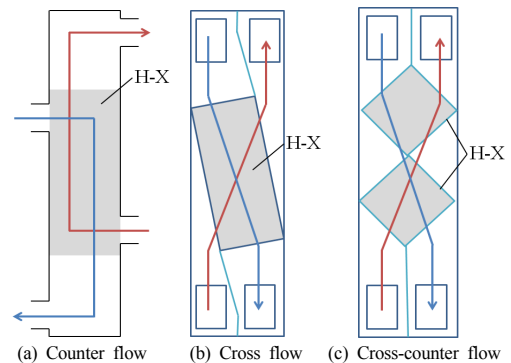


Fig. 4. Sketches showing the samples mounted in a test jig.

따라 오차해석을 수행하였다. 건습구 온도 측정오차 ±0.1℃, 유량측정오차 ±0.2% of full scale, 압력손실 측정의 오차 ±1.0 kPa을 고려하면 온도교환효율의 최대오차는 ±4.9%이고 압력손실의 최대 오차는 ±4.3%이다.

3. 열교환 소자 성능해석

열교환 소자의 전열량 (Q)은 ϵ -NTU 방식으로 구할 수 있다 [12]. 실험 시 함체측 (Q_h)과 외기측 (Q_c)의 전열량은 5% 내에서 일치하였다.

$$Q = \epsilon C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2)$$

$$C_{\min} = \min(\dot{m}_h c_p, \dot{m}_c c_p) \quad (3)$$

$$C_{\max} = \max(\dot{m}_h c_p, \dot{m}_c c_p) \quad (4)$$

여기서 ϵ 는 열교환소자의 유용도, NTU는 전달단위수 (number of transfer units), \dot{m}_h 는 합체 유량 (kg/s), c_p 는 공기의 비열 (kJ/kgK), \dot{m}_c 는 외기 유량 (kg/s)이다. 본 연구의 직교대향류의 ϵ -NTU 해석 결과는 Kakac에 의해 그래프 형태로 제시되었다[13]. 두 채널의 유량이 동일한 경우 ϵ -NTU 곡선을 다항식으로 피팅하면 다음 식이 얻어진다.

$$\epsilon = a + bNTU + cNTU^2 + dNTU^3 \quad (5)$$

$$a = -7.7318, \quad b = 39.689$$

$$c = -6.4658, \quad d = 0.3982$$

동일 유량시 대향류 및 직교류의 ϵ -NTU 관계식은 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{1}{\frac{2}{1 - e^{-NTU}} - \frac{1}{NTU}} \quad (\text{Counter}) \quad (6)$$

$$\epsilon = 1 - \exp[NTU^{0.22} \exp(-NTU^{0.78}) - 1] \quad (\text{Cross}) \quad (7)$$

NTU는 하기 식에서 구한다.

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \quad (8)$$

여기서 U 는 총합열전달계수(W/m²K), A 는 전열면적(m²)이다. 각 채널에 부착된 물결형 스페이서는 핀 역할을 하므로 UA 는 다음과 같다.

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{\eta_{o,h} h_h A} + \frac{t}{kA} + \frac{1}{\eta_{o,c} h_c A} \quad (9)$$

$$\eta_{o,h} = 1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_h) \quad (10)$$

$$\eta_{o,c} = 1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_c) \quad (11)$$

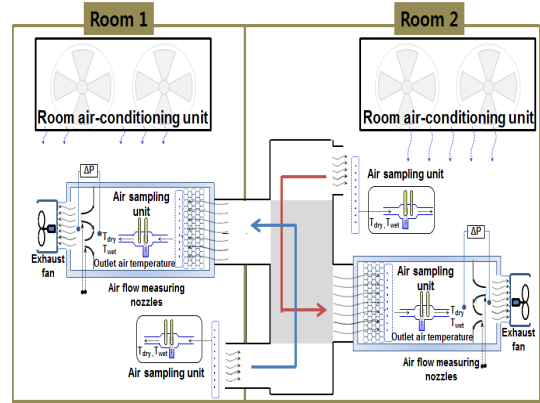


Fig. 5. Schematic drawing of the test facility.

$$\eta_h = \frac{\tanh(m_h L_f)}{m_h L_f} \quad (12)$$

$$\eta_c = \frac{\tanh(m_c L_f)}{m_c L_f} \quad (13)$$

$$m_d = \sqrt{\frac{2h_h}{kt}} \quad (14)$$

$$m_c = \sqrt{\frac{2h_c}{kt}} \quad (15)$$

여기서 A_f 는 핀 면적 (m²), t 는 플라스틱 필름의 두께 (m), L_f 는 핀의 길이 (m), h_h , h_c 은 합체측과 외기측의 열전달계수 (W/m²K), k 는 열전도도 (W/mK), η_c 는 외기측 핀효율, η_h 는 합체측 핀효율이다. 본 연구의 플라스틱 삼각 채널 내 Nusselt 수 ($Nu = h_h D_h / k$ 또는 $Nu = h_c D_h / k$)는 Kim [8]이 그래프 형태로 제시한 바 있다. 그들의 데이터를 Reynolds 수로 피팅하면 다음과 같다.

$$Nu = 4.519 - 2.508E-3 Re + 1.719E-6 Re^2 - 1.500E-10 Re^3 \quad (16)$$

여기서 Reynolds 수 $Re = VD_h / \nu$ 로 V 는 채널 내 유속 (m/s), D_h 는 수력직경 (m)이다. 알루미늄 소자 채널의 열전달계수는 평행 평판의 완전발달된 균일 열유속 조건의 Nusselt 수 (= 8.24)로부터 구하였다 [12]. Johnson [14]은 직교류 열교환기의 경우 균일 열유속 조건을 사용할 것을 제안한 바 있다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 6에 알루미늄 대향류 소자를 base로 플라스틱 직교류, 플라스틱 직교대향류 소자의 전열량을 비교하였다. 전열량은 풍량이 증가할수록 증가함을 보인다. 또한 플라스틱 직교대향류 소자의 전열량이 가장 크고 base 소자의 전열량이 가장 작음을 보인다. 일반적으로 대향류의 열 성능은 직교류보다 우수하다. 또한 알루미늄의 열전도도는 200 W/mK로 플라스틱의 값 (0.1 W/mK)보다 크다 [15]. 하지만 본 연구의 직교대향류 소자의 경우 핏치가 2.0 mm로 base 소자의 4.5 mm보다 크고 또한 직교대향류 소자의 채널에 부착된 물결형 스페이서로 인하여 전열면적이 현저히 (5.3배) 증가된다. 이로부터 직교대향류 소자의 전열면적 증가에 의한 전열량 증가가 유동 방향에 의한 전열량 감소보다 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. Fig. 6은 또한 직교대향류 소자의 전열량이 직교류 소자의 전열량 보다 20% 가량 큼을 보여준다. 이는 직교대향류의 우수한 열 성능과 증가된 전열면적 (직교대향류 소자가 직교류 소자 보다 33% 큼) 때문이다.

Fig. 6에는 3 절의 이론 모델에 의한 예측치도 나타났다. 알루미늄 대향류 소자의 경우 이론 모델은 14~50% 과소예측하고 그 차이는 풍량이 증가할수록 증가한다. 이는 이론 모델의 경우 완전발달 유동을 가정하였는데 실제로는 대부분의 경우 채널 유동이 열전달계수가 높은 입구영역에 속하기 때문이다. 열적 입구 영역의 길이는 $L_h = 0.05 Re Pr D_h$ 로 계산할 수 있는데 (여기서 Pr은 Prandtl 수)[12], 풍량 300 CMH의 경우 0.58 m로 채널 전체 길이 (0.6 m)와 유사하다. 또한 풍량이 증가할수록 입구 영역의 길이가 길어지고 열전달계수는 더욱 증가하게 되어 이론 모델과의 차이는 점점 증가하게 된다. Fig. 6은 직교류와 직교대향류의 경우 이론 모델이 실험 데이터를 8~15% 과대 예측함을 보인다. 이는 소자들이 지그내의 제한된 공간에 장착되어 (Fig. 5 참조) 소자 내로 균일한 유량이 공급되지 않기 때문으로 판단된다.

Fig. 7에는 식 (1)로부터 계산된 온도교환효율을 나타내었다. 온도교환효율은 풍량이 증가할수록 다소 감소함을 보인다. 이는 풍량이 증가하면 NTU가 감소하고 따라서 온도교환효율도 감소한다. 플라스틱 직교대향류 소자의 온도교환효율은 base 소자의 값보다 평균 56% 크고 플라스틱 직교류 소자의 값보다는 평균 29% 크다.

Fig. 8에는 세 종류 시료의 압력 손실 ΔP (Pa)를 나

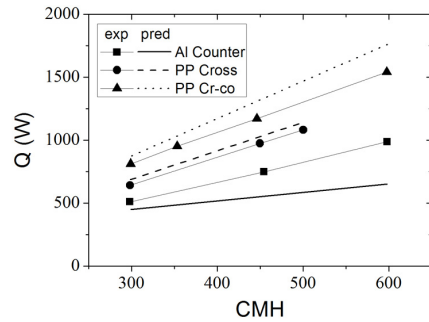


Fig. 6. Heat transfer rate of the samples compared with predictions.

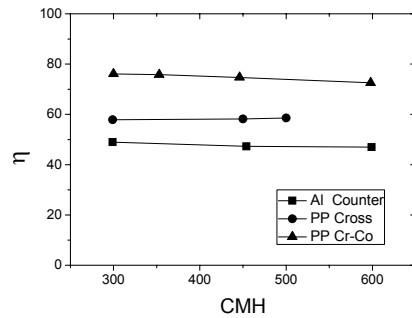


Fig. 7. Temperature efficiency of the samples.

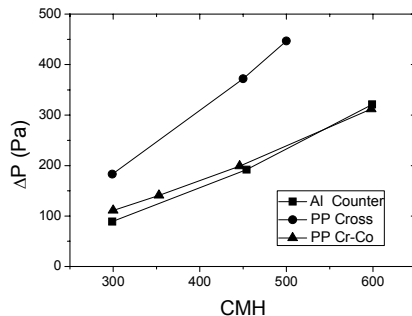


Fig. 8. Pressure drop of the samples.

타내었다. 플라스틱 직교대향류 소자와 base 소자의 압력손실은 유사한 반면 플라스틱 직교류 소자의 압력손실은 현저히 크게 나타났다. 이는 플라스틱 직교류 소자의 수력직경이 1.7 mm로 base 소자의 수력 직경 9.0 mm보다 현저히 작기 때문이다. Fig. 4(b)에 보여지듯이 플라스틱 직교류 소자의 압력 손실 값은 긴 채널 (700 mm)과 짧은 채널 (300 mm)의 두 종류가 있고 긴 채널 값이 짧은 채널 값보다 5배 정도 크게 나타났다. Fig.8에 나타난 압력손실은 긴 채널의 값이다. 한편 플라스틱 직

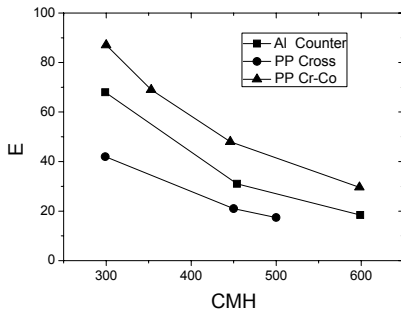


Fig. 9. Heat exchange efficiency of the samples.

교대향류 소자의 경우는 전방 면적이 base 소자에 비하여 38% 크기 때문에 작은 수력 직경에도 불구하고 base 소자와 유사한 압력손실을 보이는 것으로 판단된다.

Fig. 9에는 열교환 효율(E)을 나타내었다. 열교환 효율은 단위 소비동력 (=Γ · ΔP)당 전열량 (Q)의 비로 계산된다.

$$E = \frac{Q}{\Gamma \cdot \Delta P} \quad (17)$$

여기서 Γ는 풍량 (m³/s)이다. Fig. 9는 열교환 효율이 플라스틱 직교대향류 소자에서 가장 크고 플라스틱 직교류 소자에서 가장 작음을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 통신 합체 냉각 모듈용 알루미늄 및 플라스틱 소자의 성능에 대해 실험을 수행하고 이론적 해석 결과와도 비교하였다. 알루미늄 소자는 핏치 4.5 mm의 대향류 평행 채널로 구성되고 플라스틱 소자는 핏치 2.0 mm의 직교류 및 직교 대향류 삼각 채널로 구성되었다. 한편 직교류 소자의 크기는 알루미늄 소자와 동일하고 직교대향류 소자는 알루미늄 소자보다 33% 크다. 주된 결론은 다음과 같다.

- (1) 알루미늄 대향류 소자를 base 소자로 할 때 플라스틱 직교대향류 소자의 전열량이 가장 크고 base 소자의 전열량이 가장 작다. 이는 직교대향류 소자의 전열면적 증가에 의한 전열량 증가가 유동 방향에 의한 전열량 감소보다 큰 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 또한 직교대향류 소자의 전열량은 직교류 소자의 전열량 보다 20% 가량

크다.

- (2) 플라스틱 직교대향류 소자의 온도교환효율은 base 소자의 값보다 평균 56% 크고 플라스틱 직교류 소자의 값보다는 평균 29% 크다.
- (3) 플라스틱 직교대향류 소자와 base 소자의 압력손실은 유사하게 나타났다. 이는 플라스틱 직교대향류 소자의 전방 면적이 base 소자에 비하여 38% 크기 때문에 작은 수력 직경에도 불구하고 base 소자와 유사한 압력손실을 보이는 것으로 판단된다.
- (4) 열교환 효율은 플라스틱 직교대향류 소자에서 가장 크고 플라스틱 직교류 소자에서 가장 작게 나타났다.
- (5) 이론 모델은 소자의 성능을 다소 과대 또는 과소 예측하였다. 개선된 모델은 입구영역과 유동 분배를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Schmidt, R. R. and Shaukatullah, "Computer and telecommunications equipment room cooling : a review of literature," IEEE Transactions on components and packaging technologies, vol. 26, no. 1, pp. 89-98, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCAPT.2003.811482>
- [2] Kang, I.-S., Choi, D.-K. and Kim, T.-Y., "The experimental study on the performance of two-phase loop thermosyphon system for electronic equipment cooling," Trans. B, KSME, vol. 28, no. 4, pp. 415-424, 2004.
- [3] Jeon, J., Kim, Y., Choi, J.-M., Hyun, D.-S. and Yun, L., "Performance characteristics of liquid cooling heat exchangers with MPCM slurry designed for telecommunication equipment," Korean J. Air-Conditioning Refrigeration Engineering, vol. 19, no. 10, pp. 710-717, 2007.
- [4] Kim, Y., Choi, J. M., Kang, H., Yoon, J., Kim, Y., Lee, H. and Choi, K., "Performance characteristics of a hybrid air-conditioner for telecommunication equipment rooms," Korean J. Air-Conditioning Refrigeration Engineering, vol. 18, no. 11, pp. 874-880, 2006.
- [5] <http://www.rittal.com>
- [6] CleanAirNanoTech, "600W telecommunication cabinet cooling module equipped with sensible heat exchanger," Annual Report to KETEP, 2016.
- [7] ASHRAE Standard 41.2, Standard method for laboratory air-flow measurement, ASHRAE, 1986.
- [8] Kim, N.-H., "Performance comparison between indirect evaporative coolers made of aluminum, plastic or plastic/paper," J. Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 16, no. 12, pp. 8165-8175, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.12.8165>

- [9] ASHRAE Standard 41.1, Standard method for temperature measurement, ASHRAE, 1986.
- [10] KS C 9306, Air Conditioner, 2002
- [11] ANSI/ASHRAE Standard 37, Standard measurement guide, engineering analysis of experimental data, ASHRAE, 2005.
- [12] Kays, W. M. and London, A. L., Compact Heat Exchangers, McGraw-Hill Pub., 1984.
- [13] Kakac, S., Boilers, Evaporators and Condensers, John Wiley and Sons Inc., 1991.
- [14] Johnson, J. E., Heat and mass transfer between two fluid streams separated by a thin, permeable barrier, Ph.D. Thesis, University of Minnesota, Department of Mechanical Engineering, 1997.
- [15] Mills, A. F., Basic Heat and Mass Transfer, Irwin Pub., 1995.

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