



종횡비가 큰 사각 덕트내 난류 유동의 대류 열전달 증진 기술에 대한 연구

이 찬 용,^{*1} 신 승 원,² 정 하 승,² 박 승 호²

TURBULENCE HEAT TRANSFER ENHANCEMENT TECHNIQUE FOR SQUARE DUCT WITH HIGH ASPECT RATIO

Chanyong Lee,^{*1} Seungwon Shin,² Haseung Chung² and Seungho Park²

In this study, we develop a method to achieve heat transfer enhancement inside a square duct with high aspect ratio without changing any inner structures. Especially, a method to lower the possible maximum temperature is suggested if constant heat flux is provided to single surface of square duct. Knowing the fact that heat transfer rate is inversely proportional to flow area, we proposed tapered channel concept which uses narrower gap toward the flow exit where the maximum temperature is expected. To maintain equivalent power consumption, inlet section has been enlarged. To verify the proposed concept, experimental tests have been performed.

Key Words : 대형 평행 평판(Large Parallel Plate), 열전달 증진(Heat Transfer Enhancement), 압력 손실(Pressure loss), 테이퍼 형상(Tapered geometry), 냉각 장치(Cooling device)

1. 서 론

일반적으로, 사각 덕트의 내부를 흐르는 유동 및 열전달에 관한 연구는 활발하게 이루어져 왔다[1-2]. 하지만, 종횡비가 크고 한쪽 면에서 발열이 발생하는 사각 덕트 내에서 난류유동이 발열 면에 미치는 대류 열전달에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다. 본 연구에서는 특히 여러 가지 제약조건으로 인하여 덕트의 내부구조를 수정할 수 없는 경우, 외부 형상만의 변화로 위와 같은 사각 덕트 내 발열면의 최고온도를 낮추는 방법을 해석과 실험을 통해 제시하고자 한다.

이를 위해 균일 열 유속이 한쪽 면을 통해 사각 덕트에 공급되는 경우, 고온영역이 예측되는 출구 쪽으로 유동 단면적을 점차적으로 감소시키는 Taper 형상(Fig. 1(b))을 고안하였다. 출구로 접근할수록 유동속도가 증가되고 열전달 계수 역시 커지게 된다[3-4]. 한편, 단면적 감소로 인해 발생하는 압력 손실 및 유량감소에 따른 문제는 저온 영역인 입구의 면

적을 더 넓힘으로써 해결하고자 하였다. 또한 사각 덕트의 출구에서 증가된 유동속도에 기인한 압력 손실을 감소시키고자 가이드 베인을 부착시켰다(Fig. 1(b)). 새로이 제안된 Taper 형상의 효과를 확인하기 위하여 실험을 통하여 최대온도 및 온도분포를 균일한 단면적의 사각 덕트 형상(Fig. 1(a))과 비교하였다. 이를 통하여 주어진 형상이 여러 가지 제약 조건 및 제한된 조건하에 최고온도를 낮출 수 있는 형상인지에 대한 가능성을 파악하였다.

2. 실험 장치 구성 및 결과

본 실험은 Fig. 2 에서와 같이 약 88cm×155cm 크기의 대형 면적을 가지는 사각 덕트에 대하여 수행되었다. 한쪽면에서만 발열이 되며 폭이 매우 작은 사각 덕트 내부의 열전달 현상에 주된 관심이 있기 때문에 발열 판 앞에 대형 유리판을 다양한 두께로 체결할 수 있는 실험 장치를 구성하였다. 이 장치는 Aluminium Plate, Carbon Heating Foil, Glass Wool Clean Board, Thermocouple, Acryl Housing으로 구성되어 있고, 장치 하단에는 입구에 난류유동을 공급하기 위해 88cm × 10cm × 26.5cm 크기의 공랭식 Blower를 설치하였다. 실험용 평행 평판의 온도를 측정하기 위해 25개의 Thermocouple이

1 홍익대학교 대학원 기계공학과

2 홍익대학교 기계시스템디자인공학과

* TEL : 02) 335-1633

* Corresponding author, E-mail: chansman82@gmail.com

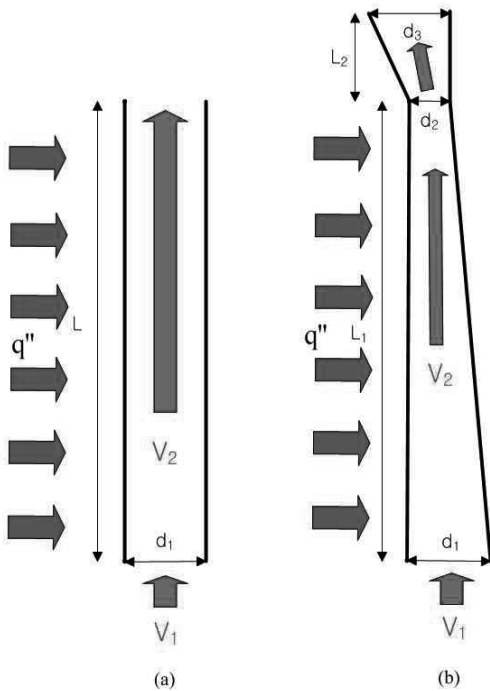


Fig. 1 Tapered concept compare to Parallel geometry: (a) Parallel (b) Tapered with guide vane

Aluminium Plate 안에 Fig. 2 에서와 같이 설치되어 있고, 추가적으로 대형 유리판과 발열 평판 사이로 유입되는 입구 온도를 측정하기 위한 Thermocouple이 설치되어 LABVIEW를 통하여 PC로 저장된다. 발열 평판의 발열량 및 Blower의 동력을 조절하기 위해서 슬라이더와 전력계 장치를 사용하였다. 본 실험에서는 발열표면에 $1400W/m^2$ 의 열량이 공급되었고 Blower의 전력은 120W로 고정하였다. 실험은 시간이 지나면서 발열면의 온도가 정상상태로 이를 때 까지 측정되었고 이때의 압력차 및 유량이 동시에 측정되었다. 본 실험은 균일한 단면적의 사각 덕트 형상과 비교하여 Taper 형상의 효과를 확인하기 위해서 수행되었기 때문에, Fig. 2에서와 같이 발열면과 대형 유리판 사이의 간격이 20mm로 균일한 평행(parallel)형상(Fig. 1(a))과 입구의 간격(d_1)이 20mm에서 출구의 간격(d_2)이 13mm로 줄어들고 여기에 다시 유동방향으로 200mm의 길이(L_2)를 갖고 폭(d_3)이 60mm인 가이드 베인이 설치된 Taper 형상(Fig. 1(b))에 대한 온도분포를 측정하였다. 가이드 베인이 부착된 Taper 형상과 균일한 단면적을 가지는 사각 덕트 형상에 대한 온도분포를 Fig. 3에 보였다. 그림에서 보여 지듯이 Taper 형상의 경우 입구의 온도가 다소 증가하지만 출구로 갈수록 균일한 단면적을 가지는 형상에 비해 온도

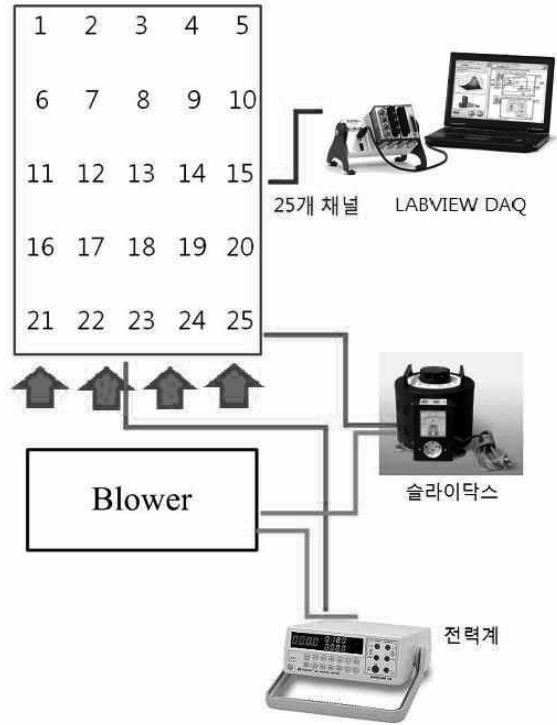


Fig. 2 Schematic diagram of experiment including the location of thermocouples

가 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 끝단의 경우 최대 4°C 정도의 온도 감소효과를 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서 사각 덕트 내 난류 유체가 이동하면서 대류 열 전달 계수 증진시키고자 고안된 Taper 형상에 대한 가능성을 실험으로 확인하였다. 주어진 제한 조건과 동력 하에서 발열면의 온도를 효과적으로 감소시키기 위해 고온영역이 예측되는 출구 쪽으로 유동단면적을 점차적으로 감소시키는 Taper 형상을 구현하였고 출구에서의 운동에너지 손실을 막기 위해서 가이드 베인이 부착되었다. 이러한 조합을 이용해 균일한 단면적을 가지는 사각 덕트의 경우에 비교하여 끝단에서 최대 4°C 정도의 온도감소 효과를 실험적으로 확인하였다. 현재 최적화된 Taper 형상 및 가이드 베인 구조를 파악하기 위한 시스템 해석을 수행 중이고 이에 대한 실험적 검증이 진행되고 있다.

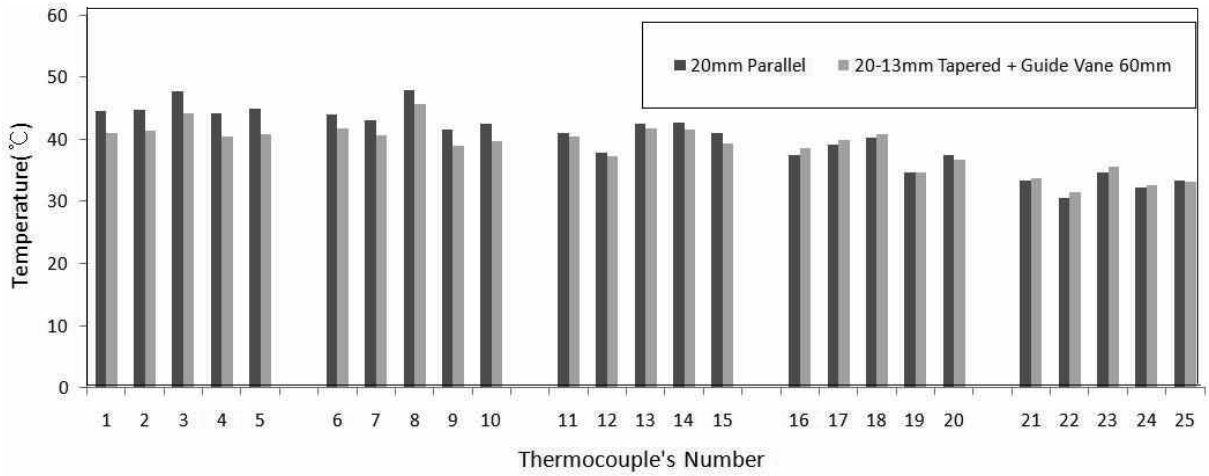


Fig. 3 Temperature distribution of Parallel and Tapered geometry

참고문헌

[1] 1997, Hirota, M., Fujita, H., Yokosawa, H., Nakai, H. and Itoh, H., "Turbulent heat transfer in a square duct," *Int. J. Heat and Fluid Flow*, Vol.18, No.1, pp.170-180.

[2] 2005, Bae, S., Kim, M., Ahn, S., Jin, Y. and Kim, S., "Effect of Number of Rough Walls on Pressure Drop and

Heat Transfer in Square Channel," *KSME*, Vol.29, No.3, pp.340-348.

[3] 2001, Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 5th Edition*, Wiley, United States.

[4] 2004, Dewan, A., Mahanta, P., Raju, K.S. and Kumar, P.S., "Review of passive heat transfer augmentation techniques," *Journal of power and energy*, Vol.218 No.7, pp.509-528.