

사각채널에서 설치된 배플에 의한 열전달 거동에 관한 실험 및 수치해석

강호근⁺, 안수환⁺⁺, 배성택⁺⁺⁺

Experimental and Numerical Investigation for the Effect of Baffles on Heat Transfer Behaviors in a Rectangular Channel

Ho Keun Kang⁺, Soo Whan Ahn⁺⁺ and Sung Taek Bae⁺⁺⁺

Abstract : Experimental and numerical analysis on the heat transfer behaviors and the associated frictional loss in a rectangular channel with two inclined perforated baffles($\approx 5^\circ$) mounted on the bottom plate has been systematically performed. The parametric effects of perforated baffles (3, 6, 9 holes) and flow Reynolds number on heat transfer characteristics of the heated target surface are explored. A combination of two baffles of same overall size was considered and the flow Reynolds number for this study is varied between 28,900 and 61,800. Comparisons of the experimental data with the numerical results by commercial code CFX 5.7 are made. As for the investigation of heat transfer behaviors on local Nusselt number with the two baffles installed at $x/D_h=0.8$ and $x/D_h=8.0$, it is evident that there exist an optimum perforation density to maximize heat transfer coefficients; i.e., the maximum Nusselt number decreases with increasing number of holes.

Key words : Baffle(배플), Heat transfer behaviors(열전달거동), Nusselt number(누셀트 수), CFD(전산유체역학)

1. 서론

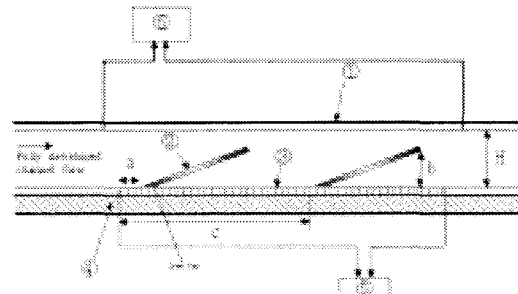
최근 가스터빈은 출력을 증대시키고 연료소비를 감소시키기 위해 연소온도를 높이고 있는 추세이다. 고온의 연소가스는 가스터빈에 사용되는 초강도합금과 내열재의 허용치 온도를 이 상에 노출되어 있다. 이러한 터빈 블레이드를 적절한 작동온도 로 유지시켜주기 위해 블레이드 내부에 공기를 냉각매체로 사 용한다. 공기는 터빈의 중량을 줄일 수 있기 때문에 냉각유체 로 주로 사용되지만, 열전도도가 매우 낮기 때문에 액체보다 열전달 측면에서는 비효율적이다. 이와 같은 블레이드 내부 냉 각부에 있는 기체의 열전달계수를 향상시키는 방법은 다음과 같은 방법들이 많이 이용되고 있다. 즉, ① 블레이드 내부에 거칠기(ribs)를 설치하는 방법, ② 고속제트를 이용하는 충돌 분사(impingement)법 및 ③ 채널내부에 스웰(swirl), 테이프 (tape) 또는 배플(baffle)을 설치하는 방법이다.

본 연구에서는 두개의 경사진 배플에 의한 채널내 공기의 국 부 및 전체의 열전달을 향상시키고, 마찰저항을 감소시켜 최적 설계의 데이터를 얻기 위해, 가열된 바닥면 위에 5°로 경사진 두개의 배플이 열전달과 마찰계수에 미치는 효과에 관해 실험 및 수치해석을 수행하였다.

2. 실험장치 및 이론해석

Fig. 1은 도식적으로 나타낸 실험장치이다. 실험장치는 두 명 아크릴, 절연체, 나무, 압력측정기, 히터, 배플, 압력측정 기, 송풍기 등으로 구성되었다. 투명아크릴로 제작된 시험부 채널의 단면적은 200mm(W)x 40mm(H)이고 두께는 5mm이며 형상 비(W/H)는 5이다. 채널의 총 길이는 3000mm으로 구성되며 시험 부 입구부분에 1200mm의 가열하지 않는 부분을 두어 시험부에 는 충분히 발달된 난류를 얻을 수 있다. 그리고 출구부분에도 850 mm의 가열하지 않는 부분을 별도로 설치하여 외부로부터의 유동간섭 영향을 최소화하였다. 포일(foil)히터로 사용하였 으며 히터는 850mm길이에 설치하였다. 송풍기는 증기를 흡입하 여 사각 터널로 통해 외부로 방출되게 하였다. 가열된 시험부 에 도달하기 전 850mm의 긴 가열되지 않은 부분을 설치하였다. 입구부분에서 400mm 떨어진 곳에서 허니콤을 설치하였다. 송 풍기로부터 유입되는 불균질한 공기가 허니콤을 통하여 균질 유가 되도록 하였다. 히터 위에는 배플을 설치하였다. 히터와 배플이 서로 끝 부분이 맞닿게 되면 스파크가 일어나기 때문에 이 두 부분을 서로 2mm의 간격을 두었다.

또한 수치해석을 하기 위하여 열-유체해석 상용 CFD코드인



- ① Acrylic rectangular channel, ② Baffles
- ③ Foil heater with individual thermocouples
- ④ Insulated bottom (pine wood)
- ⑤ Power supply and thermocouple readout
- ⑥ Pressure drop measuring device

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup.

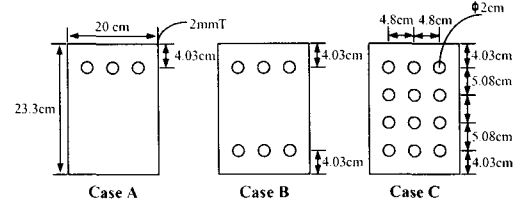


Fig. 2 Configuration of baffles.

CFX-5.7을 사용하였으며, 비정상 3차원 Navier-Stokes방정식 들은 시간의존 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 난 류운동 에너지 방정식 그리고 난류운동량 소산방정식으로 풀 이된다. 해의 수렴판정 조건으로는 전 계산영역에서의 운동량 으로 정규화된 유수의 합이 10^{-4} 이하일 때로 정하였다. 본 연 구에서는 standard $\kappa-\epsilon$ 난류모델을 사용하였으며, 온도 차에 의한 부력효과가 고려되어졌다. Fig. 2는 사각채널안에 설치 된 배플의 형상들 나타내며, 채널의 수력직경 $D_h(=0.0667m)$ 을 대 표 길이로 설정하였다. 이 때 해석영역은 $0 \leq x/D_h \leq 12.5$, $0 \leq y/D_h \leq 3.15$ 및 $0 \leq z/D_h \leq 0.75$ 으로 하였다. 초기조건으로 입 구에서 초기유속 u_0 는 7 m/s~15m/s, 25°C의 공기가 유입된다. 이는 시험부의 수력 직경 D_h 을 기초로 한 레이놀즈수 Re 는 28900~61800에 해당되며, 채널의 가열 면은 80°C의 온도로 균

+ 강호근(경상대학교 해양산업연구소), E-mail: kang88@gaechuk.gsnu.ac.kr, Tel: 055)640-3064

++ 안수환, 경상대학교 기계시스템공학과, E-mail: swahn@gaechuk.gsnu.ac.kr, Tel: 055)640-3125

+++ 배성택, 경상대학교 대학원((주) 태건)

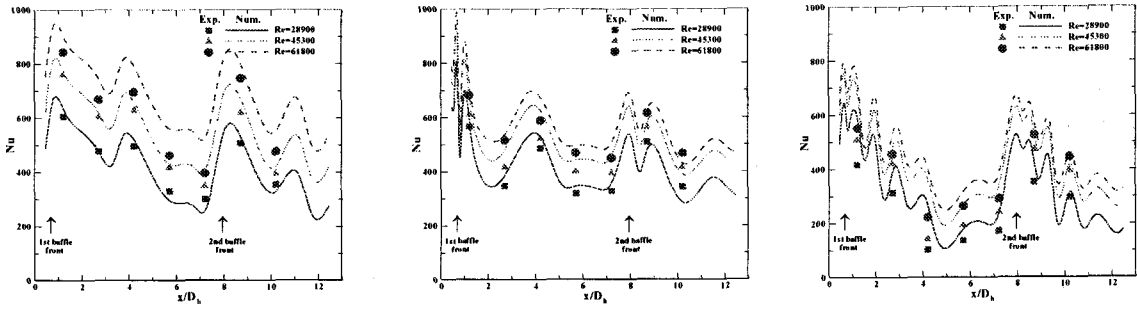


Fig. 3 Local Nusselt number distribution along the channel for each cases at different Reynolds number.

일하게 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 각각의 배플형상이 설치된 채널에서의 유속에 따른 누셀트수의 관계를 보여준다. 입구부분의 온도가 큰 이유는 입구영역에서는 높이에 따른 온도 기울기가 크기 때문에 가열부의 시작부가 높다. 또한, 레이놀즈수 증가에 따라 누셀트수가 증가하는 것은 유속이 증가할수록 열전달 계수와 관련이 큰 난류 혼합이 커지기 때문이다. 또한 국소 누셀트 수의 급격한 감소 경향은 분기하는 구조(divergent chamber)와 유동 재순환(flow recirculation)에 기인하여 $x/D_h=1.2$ 및 8.7 이후에서 급격하게 떨어짐을 알 수가 있다.

Fig. 3(a)에서 $x/D_h=4.2$ 및 10.7의 위치에 편칭되어 있는 구멍으로부터 분사되는 공기에 의하여 국소 누셀트수의 최고점(peak)들은 제트충돌효과(jet impingement effect)를 나타내고 있으며, 이러한 다중충돌(multiple impingement)은 많은 난류 교차흐름(turbulent cross flow)을 발생시키며, 이는 결과적으로 국소 열전달 계수를 증대시킨다. Fig. 3(b) 및 (c)는 구멍이 6개(Case B) 및 12개(Case C)의 배플이 설치되어진 채널에서의 유속 측 흐름 레이놀즈수에 따른 누셀트수의 관계를 보여준다. 여기서의 전체적인 누셀트수가 구멍이 3개인 배플이 설치되어진 채널에서의 경우보다 훨씬 작게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 구멍이 6개 및 9개인 경우가 구멍이 3개인 경우(Case A)보다도 중심부유동(core flow)으로부터 유입되는 공기가 벽면 충돌 강도를 약화 시켰기 때문이라 판단된다. 또한 Fig. 4(b), (c)에서 알 수 있듯이, 배플의 상단과 하단에 설치된 구멍으로부터 유입공기의 방해로 배플 하단에서는 유동재순환(flow recirculation) 현상이 배플형상 A(Case A)의 경우보다 훨씬 심하기 때문에 누셀트 수는 감소된다고 판단된다. 종합적으로 볼 때 배플의 구멍이 많을수록 누셀트수가 작을수록 벽면충돌 강도가 작아진다는 것을 알 수 있으며, 이는 Dutta의 결과[1]에서도 비슷한 경향을 보이고 있다. 즉, 이는 유속이 강할수록 배플에 설치된 구멍으로부터 분

사되는 공기에 의한 효과보다는 중심부유동(core flow)에 의한 냉각효과가 더 크기 때문이라 판단된다.

Fig. 5는 $Re=45300$ ($u=11$ m/s)에 있어 배플판(배플형상 A, B 및 C)이 설치된 사각채널에서의 국소누셀트 수의 분포를 보이고 있으며, 전반적으로 구멍을 3개 갖고 있는 형상이 우수함을 보이고 있다. 때문에 유속, 기공의 수 및 열전달 사이에는 어떠한 관계가 존재하며, 기공의 수의 증가가 반드시 열전달의 향상을 가져올 수 없다고 판단된다. 이러한 결과는 Dutta의 수치 및 실험결과[1] 및 본 실험에서도 명확하게 보여주고 있으며, 열전달 효과를 향상시킬 수 있는 최적의 형상이 존재한다는 것을 확인해 주고 있다. 한편, 하류측의 배플 위치에서의 누셀트 수의 크기는 상류측의 배플에서 측정된 값보다 다소 작음을 확인할 수가 있다. 이러한 이유는 상류측에 설치된 배플로 인한 교란의 결과, 하류측 배플의 상단에서 비교적 약한 유동강도 때문에 누셀트 수의 크기가 전반적으로 작게 나옴을 알 수가 있다. 또한, 이러한 배플의 배치는 부드러운 채널에서 얻어진 결과보다도 4-5배 이상의 국소열전달 계수를 증진시켜주는 유익한 근원으로 판단되어질 수가 있다.

4. 결론

각 채널에서 일정 기울기(경사각=5°)를 가진 배플을 설치하였을 때 시험부에서 그 배플이 가지는 형상, 그리고 유속의 변화가 열전달에 미치는 영향을 실험 및 수치해석을 수행하였다. 그 결과, 배플의 구멍이 많을수록 대체적으로 누셀트수가 감소함을 보였으며, 대체로 배플의 입구부분에서 누셀트수가 급격히 증가하였다. 위와 같은 결과로부터 유속, 기공의 수, 기공의 직경 및 열전달 사이에 어떠한 관계가 존재하며, 기공의 수의 증가가 반드시 열전달의 향상을 가져올 수 없다고 판단된다. 열전달 효과를 향상시킬 수 있는 최적의 배플 형상이 존재한다는 것을 알 수가 있었다.

후기

이 논문은 첨단기계인력양성사업단(NURI)의 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

- [1] P. Dutta and A. Hossain, Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 26, pp. 223-232, 2005.

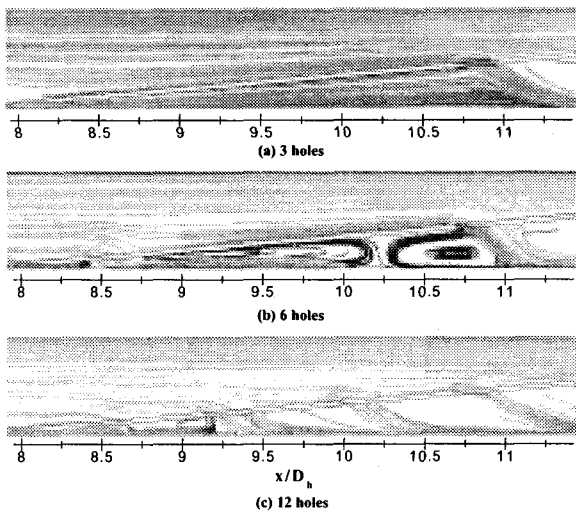


Fig. 4 Streamlines at $Re=45300$.

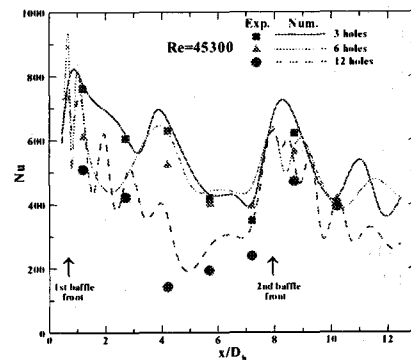


Fig. 5 Comparison of local Nusselt number along the channel for different baffle plates.