

와류발생기의 가진 주파수에 의한 열전달 향상

방창훈[†] · 김정수^{*} · 예용택^{**}

경북전문대학 소방안전관리과 · ^{*}한국산업안전공단 · ^{**}경일대학교 기계공학부
(2005. 8. 3. 접수 / 2006. 3. 10. 채택)

Heat Transfer Enhancement by an Oscillating Frequency of Vortex Generator

Chang-Hoon Bang[†] · Jung-Soo Kim^{*} · Yong-Taeg Yea^{**}

Department of Fire Protection Engineering, Kyungpook College

^{*}Deagu branch, Korea Occupational Safety and Health Agency

^{**}Department of Mechanical Engineering, Kyungil University

(Received August 3, 2005 / Accepted March 10, 2006)

Abstract : A Problem of low-velocity forced convection in a channel flow with heated wall is of practical importance and widely considered in the design of devices such as heat exchangers, and electronic equipments. Therefore, there is an urgent need for improving heat transfer performance of heated wall in the channel. In the present study, an oscillating vortex generator method is proposed to enhance the heat transfer in a channel. In this method, a rectangular bars are set in the upstream of heated region of the channel. The bars are forced to oscillate normal to the inflow, and then actively and largely generates transverse vortices behind the bars. As a result, this apparatus can enhance the heat transfer rates remarkably. Because of the interaction between the flow and oscillating bars, the variations of the flow and thermal fields become time-dependent state.

Key Words : oscillating vortex generator, heat transfer enhancement, time-dependent state

기호설명

d : 와류발생기의 폭[m]
 Nu : 너셀수
 q : 열유속[W/m²]
 Re : 레이놀즈수
 T : 온도[°C]
 t : 시간[s]
 u : 속도[m/s]
 X : 무차원거리[m]
 θ : 무차원온도
 τ : 무차원시간
 υ : 동점성계수[m²/s]

하첨자

c : 대류열전달
 dvg : 와류발생기
 e : 가진주파수
 in : 외기조건
 y : 가열판 수직방향

1. 서론

가열체로부터의 대류 열전달에 있어서 강제진동의 영향은 다양한 분야에서 관심의 대상이 되어왔다. 기계의 작동과 기계 움직임 조건에 따라 발생하는 진동이 다양하고 이에 따른 열전달 특성이 상이하기 때문에 다양한 가진 조건에 대한 열전달의 연구는 차량, 압축기 또는 다른 기계들에 대한 열교환기 및 전자장비를 설계함에 있어 매우 중요하다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
bangch@hanmir.com

시스템의 공진 주파수 부근에서 열전달이 가장 효과적으로 증가하지만 이러한 진동은 시스템의 파괴를 유발^{1,2)}하기 때문에 실제적으로 그러한 조건에서 열교환기 및 전자장비를 운용할 수 없다. 이와 관련하여 다수의 연구들은 공진에 따른 물체의 파괴가 발생할 수 있는 공진 주파수보다 낮은 주파수 영역에서 유동 가진에 의한 열전달 향상을 연구하여 왔다³⁻⁶⁾. 유동가진에 의한 열전달 향상 기법은 기존의 열전달 향상기법에 의해 처리하기 어려운 고열유속까지 처리할 수 있을 뿐만 아니라 구조적으로 간단하게 하고 외부에서 인가하는 동력도 감소시킬 수 있는 다양한 방법들이 개발되고 있다.

따라서 본 연구는 와류발생기의 가진 주파수가 채널 하부벽면의 냉각 특성에 미치는 영향을 조사하여 산업현장에서의 적용성을 판단하고자 한다.

실험에 사용한 가진되는 와류발생기는 폭 5mm, 길이 25mm, 높이 100mm 이다. 실험 범위는 가진 주파수(1.97~8.4Hz), 입력열량(23W), 및 유입 공기의 속도($u_{in} = 0.32\text{m/s}$)이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

실험장치는 상류의 와류발생기가 가진되는 경우와 정지한 경우 열전달 향상 정도를 측정하기 위하여 설계되었다.

Fig. 1은 가진 발생장치가 장착된 전체 실험장치 개략도이다. 실험장치는 크게 실험부[Ⓐ], 데이터처리부[Ⓑ], 전원공급부[Ⓒ], 유동 및 가진제어부[Ⓓ], 가시화 측정부[Ⓔ]로 구성된다.

풍동은 균일 유동이 발생할 수 있도록 제작된 개방형 흡입식 풍동(open-circuit suction type wind tunnel)이다. 채널 입구부는 균일 유동이 발생할 수 있도록 벨마우스와 철망 및 2.7×2.7mm 사각형 허니콤(honey comb)을 부착하였다.

채널의 길이는 375mm, 높이와 폭은 117mm×127mm로 하였다.

이 때 공기의 유속은 채널입구에 열선풍속계(VELOCICALC Plus, TSI, INC.)를 설치하여 측정하고 피토포관으로 보정하였다.

채널의 입·출구에서 압력강하를 측정하기 위한 마이크로마노미터(FCO 12)를 사용하였다. 와류발생기(Vortex generator) 뒷부분에 열선풍속계(KANOMAX anemometer Model 1011)를 설치하여 가진 주파수

와 유동에 의해 생성되는 고유 주파수 및 이들의 상호간섭에 의한 주파수변화 등을 측정하였다.

Fig. 2는 실험부[Ⓐ]를 상세하게 나타낸 측면도 및 가열면의 조립도이다. 가열되는 채널벽면은 길이 270mm, 폭 72mm, 두께 10 μm 의 스테인레스호일을 발사나무(Balsa wood; $k=0.06\text{W/m}^\circ\text{C}$)에 부착하여 만들었으며 하류방향으로 온도변화를 측정하기 위하여 직경 0.7mm k형 열전대를 부착하였다. 스테인레스

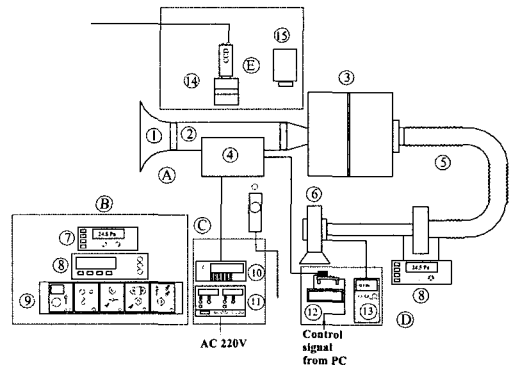


Fig. 1. Schematic diagram of overall experimental apparatus for forced convection.

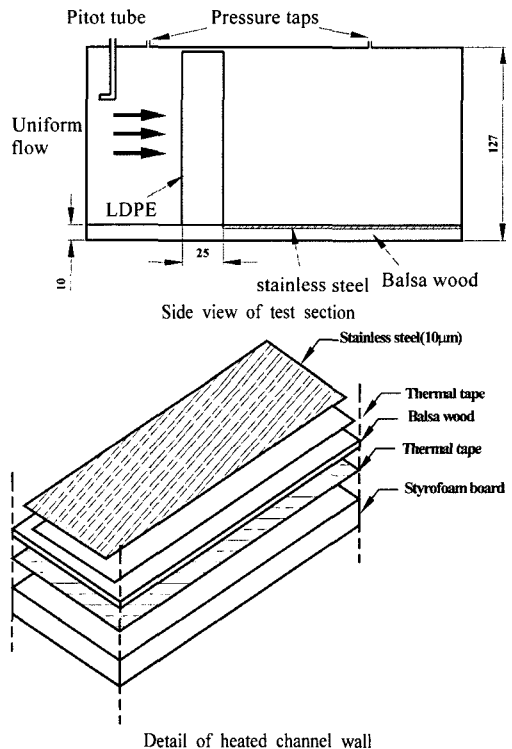


Fig. 2. Detail of test section.

Table 1. Parameters and ranges of experiment

Parameters	Ranges
Input power, Q_{in}	23W
Vortex generator Reynolds number, $Re_{d_{vg}}$	103
Oscillating frequency, f_e	1.5Hz~8.4Hz

호일과 발사나무는 고열전도 접착제(thermal bond, OMEGA BOND 101)로 부착하고 발사나무의 후면으로 손실되는 열을 최소화하기 위하여 스티로폼으로 단열하였다.

열 화상 처리부⑥는 영상처리를 위해서 열 화상 처리장치(NEC, Ltd, thermal tracer, TH 3104MR)와 PC에서 처리하기 위한 영상처리 보드(NEC, Ltd, DIF board, TH31-315)로 구성되어 있다.

2.2. 실험 방법 및 실험 범위

본 실험에서 공급열량은 23W로, 유동속도는 0.32 m/s로 고정하고 가진 주파수를 변화시키며 실험하였다.

본 실험의 채널 레이놀즈수는 $Re_{D_{ch}}=2,452$ 이고 와류발생기의 폭을 기준으로 한 레이놀즈수는 $Re_{d_{vg}}=103$ 이다.

가진 주파수는 실험장치의 제약조건과 공진 주파수에 의한 실험장치의 손상을 고려하여 1.5Hz~8.4Hz로 변화시키며 실험하였다.

2.3. 실험 데이터의 계산

실험에서 주위유체로 사용한 공기의 물성치는 식 (1)로 표현되는 막온도(film temperature)에서의 값들을 사용하였다.

$$T_f = \frac{(T_h + T_{in})}{2} \quad (1)$$

T_{in} 는 채널 내로 유입되는 주위공기 온도이다. 계산에 사용되는 모든 물성치는 Shaukatullah 등⁷⁾의 관계식을 이용하여 구하였다.

가열평판을 따른 무차원 거리 X , 무차원 온도 θ , 무차원 시간 τ 는 식 (2), (3), (4)와 같이 정의하였다.

$$X = x/d_{vg} \quad (2)$$

$$\theta = \frac{T - T_{in}}{T_i - T_{in}} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{t \cdot u_{in}}{d_{vg}} \quad (4)$$

평균 너셀수와 국소열전달계수는 식 (5), (6)에 의해 계산된다.

$$\overline{N}_{d_{vg}} = \frac{q_c \cdot d_{vg}}{(\overline{T} - T_{in})k} \quad (5)$$

$$h_x = \frac{q_c}{T_x - T_{in}} \quad (6)$$

실험에서 구한 데이터를 이용하여 진동하는 와류발생기의 폭(d_{vg})을 기준으로 한 레이놀즈수 $Re_{d_{vg}}$ 를 식 (7)로 정의하였다.

$$Re_{d_{vg}} = \frac{u_{in} d_{vg}}{\nu} \quad (7)$$

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 레이놀즈수가 103일 때, 와류발생기가 없는 경우(F.P), 와류발생기가 고정된 경우(V.G) 및 와류발생기가 무차원 진폭 2.4, 가진 주파수 6.8로 가진 될 경우(O.V.G)에 대한 가열면을 따른 국소 열전달계수의 변화를 보여주는 그림이다.

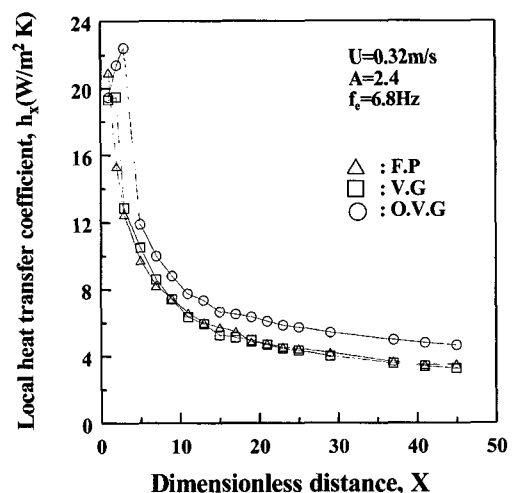


Fig. 3. Comparison of local heat transfer coefficient with dimensionless distance at $Re_{d_{vg}}=103$, $A=2.4$, $f_e=6.8$ Hz for various flow conditions.

와류발생기가 없는 경우는 등열유속의 평판에 대한 열전달 특성과 근사하게 일치하고 있고, 와류발생기가 고정된 경우 와류발생기의 후단에서 하류방향으로 d_{vg} 거리에서 국소 열전달계수는 단일 평판의 국소 열전달계수보다 작게 나타나고 하류방향으로 $2d_{vg}$ 까지 감소 없이 일정하다가 이후부터 단일평판과 유사하게 감소한다. 와류발생기가 일정한 진폭과 주파수로 진동할 경우 하류방향으로 d_{vg} 거리에서는 단일 평판의 국소 열전달계수보다 작게 나타나고 $3d_{vg}$ 까지는 조금 증가한다.

또한 하류방향으로 국소 열전달계수는 단일평판보다 조금 증가하여 나타난다.

전체적으로 와류발생기가 있는 경우가 없는 경우보다 평균열전달계수가 증가하고 진동하는 경우는 고정된 경우보다 평균열전달 계수가 증가한다.

Fig. 4는 상대 진폭이 2.4, 가진 주파수가 8.4Hz, 레이놀즈수가 103일 때, 와류발생기의 후류의 한 위치($X=1, X=3, X=7$)에서 측정된 무차원 시간에 따른 무차원 온도변화를 채널상부 방향($y=4, 9, 15, 22, 30, 40, 50, 65, 80mm$)으로 나타낸 그림이다.

Fig. 4(a)에서 $y=4mm$ 에서는 가진이 시작된 후 미소한 온도감소가 발생하고 있으며 시간에 따른 변화는 거의 나타나고 있지 않다. 그러나 $y=9\sim 22mm$ 에서는 가진이 시작된 후 온도가 크게 감소하고 있으며 $y=30mm$ 이상에서는 다시 온도감소가 미소하게 나타나고 있다.

이는 가열면의 경계조건이 등열유속 조건으로 가진하는 와류발생기에 의해 유동의 변동은 크게 발생하고 있으나 가열면으로부터 지속적으로 열에너지가 공급되고 있어 가열면 부근($y=4mm$)에서 온도감소가 다소 작게 나타나는 것으로 생각된다.

반면 $y=9\sim 22mm$ 에서는 와류발생기의 가진에 의해 발생한 와류가 상부의 차가운 공기를 하부로 유입시켜 온도 경계층을 약화시키고 있음을 보여준다. 즉, 와류발생기가 가진을 할 경우, 유동형태가 3차원 유동으로 변하여 상부의 차가운 공기를 하부로 이동시키는 것으로 생각된다. 반면 일정 높이에서는 온도 경계층이 형성되지 않아 가진으로 인한 영향이 거의 나타나지 않는 것으로 생각된다.

Fig. 4(b)에서 $y=4mm$ 에서는 가진이 발생한 후 온도감소는 $X=1$ 에서 보다 다소 크게 나타나고 있다. 이는 상류에서 발생한 와류가 하류로 이동함에 따라 경계층과 상호작용으로 유동이 난류유동으로 천이되기 때문으로 생각된다. 그러나 온도변화가 주기적으로 나타나는 무차원 시간은 $X=1$ 에서와 같이 거의

동일한 시간에서 발생하고 있어 상류에서 발생한 와류가 $X=3$ 까지 $X=1$ 에서와 거의 동일한 주기로 나타나고 있음을 알 수 있다.

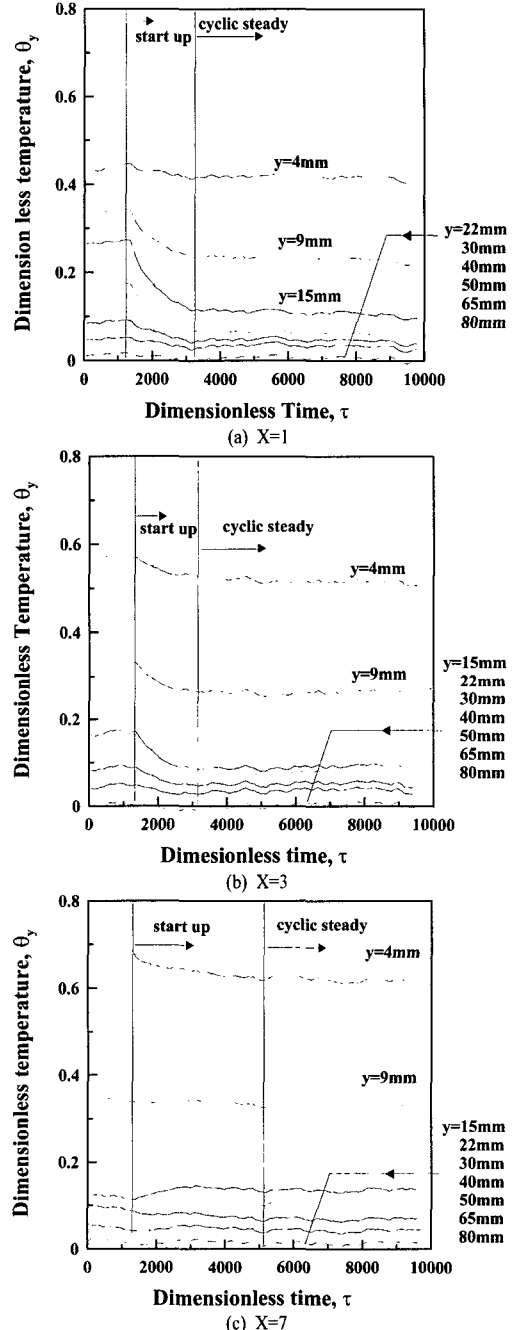


Fig. 4. Dimensionless temperature with dimensionless time at various streamwise positions, $f_e=6.8Hz, A=2.4, Re_{\alpha s}=103$.

$y=9\sim 22\text{mm}$ 에서는 $X=1$ 에서 유사하게 온도감소가 y 방향의 다른 위치에 비해 상대적으로 크게 발생하고 있으나 그 감소폭은 $X=1$ 에서보다 작게 나타나고 있다. 이는 상류에서 발생한 와류의 강도가 하류 이동할수록 감소하고 있어 그 혼합효과가 감소하고 있음을 보여준다.

Fig. 4(c)에서 $y=4\text{mm}$ 에서는 가진이 발생한 후 온도변화는 $X=1, 3$ 과 유사하게 크게 나타나고 있지 않지만 주기적 정상상태에 도달하는 시간은 크게 증가하고 있다. 이는 상류에서 발생한 와류가 하류로 갈수록 강도가 약해지기 때문으로 생각된다.

$X=1, 3$ 일 때와 다르게 $y=9\text{mm}$ 이상에서는 채널내의 온도변화가 미소하게 나타나고 있다. 이는 상류에서 발생한 와류가 하류로 갈수록 강도가 감소하여 나타난 것으로 생각된다.

전체적으로 $X=1$ 에서 $X=7$ 로 이동함에 따라 와류의 영향이 감소하고 있어 하류로 갈수록 열전달은 감소할 것으로 예측된다.

Fig. 5는 $f_c=6.8\text{Hz}$, 와류발생기의 폭(d_w)을 기준으로한 레이놀즈수가 103, $A=2.4$ 일 때, 와류발생기의 후류의 한위치($X=1, X=3, X=7$)에서 가열면의 측면방향으로 측정된 열화상 데이터를 30회 평균하여 온도변화로 나타낸 그림이다.

좌우로 온도변동이 크게 발생하여 국소 너셀수 및 평균 너셀수를 정의할 온도는 중앙부의 온도를 사용하였다.

$X=1$ 에서 전체적으로 좌측 끝단에서 온도가 상승하여 측면방향 -25mm 부근에서 극대 값을 나타내고 감소하여 -8mm 부근에서 극소 값을 나타낸 후 다시 0mm 에서 약간 상승한다. 0mm 에서 8mm 부근까지 감소하여 다시 극소 값을 나타낸 후 25mm 부근에서 극대 값을 나타낸 후 급격히 감소한다. 이는 와류발생기 사이로 유동의 속도가 증가하여 와류발생기 사이의 하류방향으로 국소온도가 감소하고 극대 값을 나타내는 위치는 와류발생기의 후단으로 와류발생기에 의해 유동이 방해받지 않아 재순환 영역을 형성하기 때문이다. 그러나 $x_{\text{span}}=0\text{mm}$ 의 값보다 $x_{\text{span}}=\pm 25\text{mm}$ 부근의 극대 값이 더욱 높게 나타나고 있다. 이는 $x_{\text{span}}=0\text{mm}$ 부근에서는 길이방향 와류에 의해 하강기류가 형성되어 상부의 차가운 공기가 가열면으로 유입되어 감소한 것이고 $x_{\text{span}}=\pm 25\text{mm}$ 부근에서는 상승기류가 형성되어 가열된 고온의 공기가 이 지점에서 상부방향으로 상승하므로 열전달이 감소하여 나타나 결과로 생각된다.

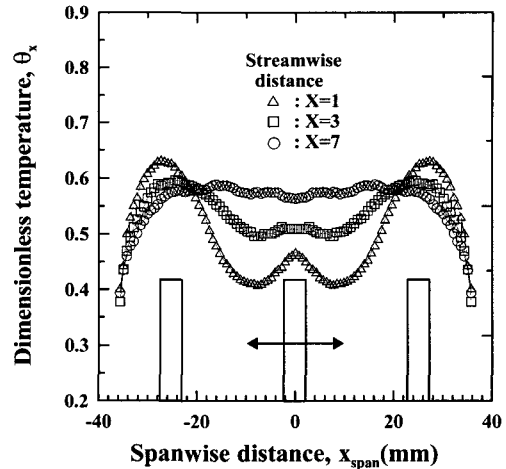


Fig. 5. Dimensionless temperature distribution with spanwise distance at various streamwise positions, $f_c=6.8\text{Hz}$, $Re_{d_w}=103$, $A=2.4$.

또한 $X=1$ 에서 극대 값과 극소 값사이의 차는 0.2235(35.3%)로 나타나지만 $X=3$ 일 때는 0.1(16.7%)로 나타나며 $X=7$ 에서는 극대 값 및 극소 값이 거의 나타나고 있지 않다.

이와 같이 하류방향으로 갈수록 온도분포의 변동폭이 감소하고 전체적인 온도분포는 균일하게 나타나고 있다. 이는 와류발생기의 영향이 하류로 갈수록 감소하기 때문이다. 양끝 단의 온도감소는 측면의 비가열면으로 흐르는 저온의 공기에 의해 온도가 감소하기 때문이다.

Fig. 6은 $A=2.4$, 레이놀즈수가 103이고 가진 주파수가 $f_c=6.8\text{Hz}$, 8.4Hz 일 때, 와류발생기의 후류의 한위치($X=1$)에서 채널상부 방향($y=4, 9, 15, 22, 30, 40, 50, 65, 80\text{mm}$)으로 측정된 무차원 시간에 따른 무차원 온도변화를 나타낸 그림이다.

전체적인 경향은 Fig. 4에서 설명한 것과 동일한 경향을 나타내며 주파수가 증가하면 채널내의 온도감소가 증가한다. 이는 가진 주파수가 증가할수록 와류발생기에 생성되는 와류의 수가 증가하고 이로 인해 상부의 상대적으로 차가운 공기의 유입이 활발해지기 때문이다. 그러나 가진 주파수가 증가하더라도 측정된 가열면 바로 상부($y=4\text{mm}$)에서의 온도변화는 가진 주파수의 증가와 관계없이 거의 비슷한 경향을 보여준다. 따라서 가진 주파수에 의한 가열면의 열전달향상은 크게 나타나지 않을 것으로 생각된다.

또한 가진 주파수가 증가할수록 채널내의 온도분포가 주기적 정상상태에 도달하는 시간이 감소

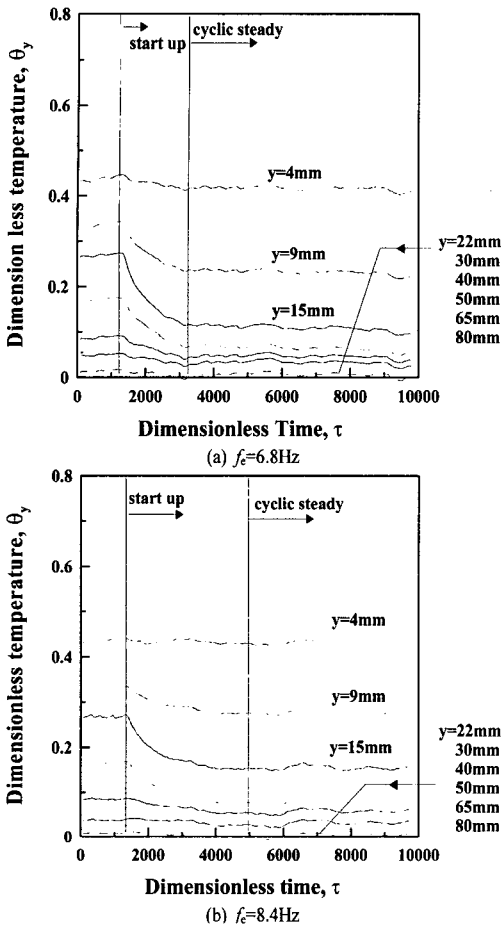


Fig. 6. Dimensionless temperature with dimensionless time at $X=1$.

한다. 이는 주파수가 증가할수록 단위시간 당 한지점을 지나는 와의 수가 증가하고 이에 따라 냉각속도가 증가하기 때문이다.

그러나 주기적 정상상태에 도달한 온도는 가진 주파수가 증가하더라도 크게 감소하지 않는다.

따라서 가진 주파수가 증가할수록 가열면의 냉각은 미소하게 증가할 것이고 정상상태 도달 시간도 짧아질 것으로 예상할 수 있다.

Fig. 7은 가진 진폭이(A) 2.4, 레이놀즈수가 103 일 때, 무차원 하류방향 거리에 따른 국소 너셀수의 변화를 가진 주파수(f_c)에 따라 나타낸 그림이다.

국소 너셀수는 와류발생기의 후단에서 무차원 거리 $X=3$ 까지 조금 상승하여 최대 점에 도달한 후 가열면의 하류로 감에 따라 급격히 감소하였다. 이와 같은 경향은 전체적으로 등열유속의 단일평균

에서 나타나는 경향과 유사하지만 가열면의 상류에서는 와류에 의한 열전달 촉진현상이 뚜렷하게 나타나 $X=3$ 에서 최대값을 갖는 것으로 생각된다. 그러나 가열면의 하류방향으로는 등열유속의 단일평균과는 뚜렷한 차이를 나타내지 못하고 있다. 이는 채널내의 온도분포에서 확인하였듯 와류발생기에서 의해 생성된 와류가 하류로 가면서 경계층의 발달과 함께 가열면에서 점점 멀어져서 와류의 영향이 감소되고 와류발생기가 없는 경우에 비하여 경계층이 더 두꺼워지므로 와류발생기에서 발생한 와류는 어느 정도 거리까지는 영향을 주지만 하류로 갈수록 그 영향이 감소하여 하류영역에서는 등열유속 평판에서의 열전달과 유사한 경향을 갖기 때문이다.

가진 주파수가 증가함에 따라 국소 너셀수는 와류발생기의 하류방향으로 $X=3$ 까지는 명확하게 증가하고 있으나 하류방향으로 갈수록 그 변화는 감소한다. 가진 주파수가 1.5Hz일 때 $X=3$ 에서 국소 너셀수는 3.86을 나타내고 가진 주파수가 8.4Hz일 때 동일 위치에서 국소 너셀수는 4.13으로 증가하고 있다. 가진 주파수가 1.5Hz에 대해 가진 주파수가 증가했을 때 국소 너셀수의 상대적인 증가는 각각 $Nu_{2.5} / Nu_{1.5} = 1.009$, $Nu_5 / Nu_{1.5} = 1.015$, $Nu_6 / Nu_{1.5} = 1.054$, $Nu_{6.6} / Nu_{1.5} = 1.055$, $Nu_{7.5} / Nu_{1.5} = 1.057$ 및 $Nu_{8.4} / Nu_{1.5} = 1.07$ 로 나타났다.

상기 조건에 주파수에 따른 최대 국소 너셀수의 증가는 7%로 나타났다. 또한 가열면을 따른 평균 너셀수는 1.636, 1.652, 1.659, 1.674, 1.676, 1.692, 1.717로 나타났다. 따라서 주파수가 증가함에 따라 평균 너셀수도 증가하고 있어 가진 주파수의 증가에 따른 열전달의 향상을 확인할 수 있다. 그러나 열전달의 향상정도는 크게 나타나지 않고 있어 가진 주파수의 증가에 의한 열전달 향상은 크게 기대할 수 없을 것 같다. 또한 가진 주파수가 유동의 고유 주파수 범위에서 벗어난 상태로 나타난 것이 앞에서 언급했듯 유동의 고유 주파수에 근접할 경우 전체 시스템이 매우 불안정해져 실험을 통해 얻은 데이터를 신뢰할 수 없게 되어 배제하였기 때문이다.

Fig. 8은 $A=2.4$, 레이놀즈수가 103일 때, 무차원 시간에 따른 평균 너셀수를 가진 주파수(f_c)에 따라 나타낸 그림이다.

또한 비교를 위하여 와류발생기가 없는 경우(F.P)와 와류발생기가 고정된 경우(V.G)도 나타내었다.

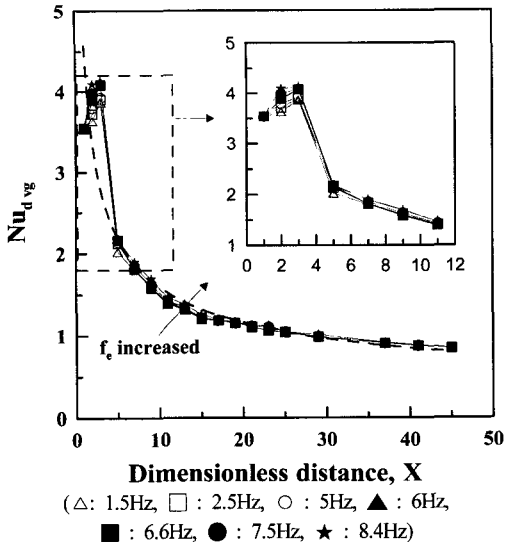


Fig. 7. Local Nusselt number on the heated region of channel under $Re_{dc}=103, A=2.4$ for various excited frequencies.

와류발생기가 가진될 경우 시간이 증가함에 따라 평균 너셀수는 증가하여 일정 시간이 지난 후 주기적 정상상태에 도달하였다. 이는 채널내의 온도변화를 통하여 일정시간이 지난 후 주기적 정상상태에 도달할 것이라는 예측과 일치하고 있다.

평균 너셀수는 가진 주파수가 증가함에 따라 증가하고 있으며 특히 주기적 정상상태에 도달하는 시간을 감소하고 있다.

이는 앞서 유동가시화와 주파수 분석을 통하여 예측한 결과와 일치하는 현상이다. 와류발생기가 있는 경우(V.G)의 평균 너셀수는 와류발생기가 없는 경우(F.P)보다 약 1.6%높게 나타나고 있다.

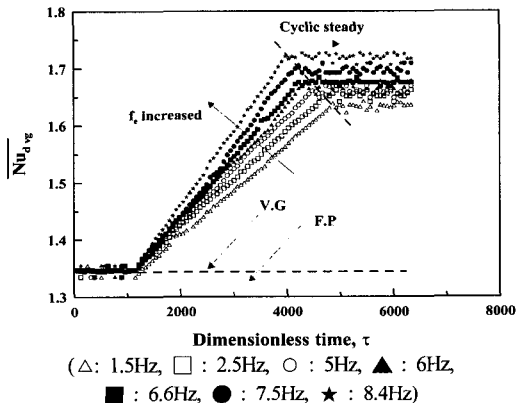


Fig. 8. Average Nusselt number with dimensionless time under $Re_{dc}=103, A=2.4$ for various excited frequencies.

이는 와류발생기에 의해 유동의 불안정성이 증가하여 와류발생기로부터 하류방향으로 $X=2\sim 5$ 까지 열전달이 향상되기 때문이다. 또한 와류발생기가 가진하는 경우(O.V.G)의 평균 너셀수는 와류발생기가 고정된 경우(V.G)보다 가진 주파수에 따라 21.5~27.5%까지 향상됨을 볼 수 있다.

이는 와류발생기가 고정된 경우 유동의 고유 주파수에 의해 유동의 가진이 발생하지만 생성된 와의 범위가 제한적으로 나타난다. 그러나 와류발생기가 가진될 경우 주파수에 따라 다수의 와가 연속적으로 발생하고 이로 인하여 열전달이 향상되기 때문으로 생각된다.

이와 같이 와류발생기가 고정된 경우보다 가진될 경우가 열전달이 향상되는 것은 Yang³⁾의 연구결과와 반대되는 현상이다. 이는 Yang³⁾의 실험조건과 현 실험의 실험조건이 상이하기 때문으로 생각된다. 즉, Yang³⁾의 실험조건은 채널의 상하부가 가열되고 가진되는 와류발생기가 상하로 움직임에 따라 주파수가 증가하는 경우 채널의 상부와 하부에 큰 규모의 역유동을 유발시켜 가열면의 열전달을 감소시키지만 현재의 연구는 이러한 열전달의 감소를 막기 위해 가진되는 와류발생기를 수평방향으로 가진시켜 역유동 자체가 가열면의 옆으로 방출될 수 있게 하였기 때문으로 사료된다. 또한 Yang³⁾의 결과는 주파수에 따른 와류발생기의 속도가 동일한 경우를 비교하였으므로 진폭이 변동하는 결과를 유발하게 된다. 그러나 본 실험에서는 동일한 진폭에서 주파수가 증가시켜 와류발생기의 측면방향 속도가 증가하기 때문으로 생각된다. Yang³⁾의 결과에서도 와류발생기의 진동속도가 증가하면 열전달이 증가하는 결과를 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 채널 하부 벽면이 가열될 때 와류발생기의 가진 주파수가 채널벽면의 냉각 특성에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 와류발생기가 가진되는 경우(O.V.G)의 평균 너셀수는 와류발생기가 고정된 경우(V.G)보다 가진 주파수에 따라 21.5~27.5%까지 향상된다.
- 2) 가진 주파수가 증가함에 따라 국소 너셀수는 와류발생기의 후단에서 $X=3$ 까지 명확하게 상승하고 $X>3$ 에서는 약간 상승한다.
- 3) 평균 너셀수는 가진 주파수에 따라 증가하고

있으며 주기적 정상상태 도달시간은 주파수에 반 비례한다.

참고문헌

- 1) Zdero, R., Turan, O. F., and Havard, D. G., "Toward Understanding Galloping: Near-Wake Study of Oscillating Smooth and Stranded Circular Cylinders in Forced Motion," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 19, pp. 28~43, 1995.
- 2) Mahbub Alam, Md., Moriya, M., Takai, K., and Sakamoto, H, "Fluctuating fluid forces acting on two circular cylinders in a tandem arrangement at a sub-critical Reynolds number," *J. of wind engineering and industrial aerodynamics*, Vol. 91, pp. 139~154, 2003.
- 3) Yang, S. J., "Numerical study of heat transfer enhancement in a channel flow using an oscillating vortex generator," *Heat and Mass Transfer* Vol. 39, pp. 257~265, 2003.
- 4) Fu, W. S., Ke, W. W., and Wang, K. N., "Laminar forced convection in a channel with a moving block," *Int. J. Heat and Mass Transfer* Vol. 44 ,pp. 2385~2394, 2001.
- 5) Fu, W. S., and Wang, K. N., "An investigation of a block moving back and forth on a heat plate under a slot jet, Part II(the effects of block moving distance and vacant distance)," *Int. J Heat Mass Transfer* Vol. 44, pp. 4649~4665, 2001.
- 6) Klaczak, A., "Report from experiments on heat transfer by forced vibrations of exchangers," *Heat and Mass transfer* Vol. 32, pp. 477~480, 1997.
- 7) Shaukatullah et. al., "A Non-Dimensional Correlation for the External Thermal Characteristics of Surface Mount Metal Quad Flat Packs," *InterSociety Conference on Thermal Phenomena*, pp. 80~87, 1994.