

Serrated Fin Tube 후류에 대한 유동가시화 적용 및 근접후류 특성에 관한 연구

부정숙[†] · 김경천^{*} · 류병남^{**}

An Experimental Study of Vortex Formation of a Circular Cylinder with Serrated Fins

Jung-Sook Boo · Kyung-Chun Kim · Byong-Nam Ryu

Abstract

An experimental study is performed to investigate the characteristics of near wake behind a circular cylinder with serrated fins using the constant temperature anemometer and through flow visualization. Previous report(Boo et al., 2001) shows that there are three different modes in vortex shedding behavior. This paper is focused on the identification of the physical reasons why the difference is occurred in vortex shedding. The through flow velocity crossing fins decreases as increasing fin height and decreasing fin pitch mainly due to the flow resistance. Vortex shedding is affected strongly by velocity distribution around fin tube, especially by the velocity gradient. The velocity distribution at $X/d=0.0$ has lower gradient with increasing freestream velocity and fin height and decreasing fin pitch. Those differences in velocity gradients generate different vortex shedding mechanism.

Key Words : Vortex Formation Region(와형성영역), Boundary Layer(경계층) Equivalent Diameter(등가 직경), Effective Diameter(유효직경), Phase Average(위상평균), Strouhal Number(스트로할 수)

기호설명

LB : 와형성영역의 길이
p : 흰 피치(Fin Pitch)
t : 흰 두께(Fin Thickness)

t_s : 노출시간(Exposure Time)
 U_0 : 자유유동속도(Freestream Velocity)

1. 서론

유동중에 놓인 물체에 필연적으로 수반되는 와동(Vortex)을 제어하기 위한 방법으로는 축에 나란히 또는 수직으로 판을 설치하거나 원주를 회전 또는 진동시키는 방법, 와이어를 이용하거나 표면에 흠을 내는 방법, 자력이나 음향을 이용하

[†] 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소
E-mail : jsboo@pusan.ac.kr

^{*} 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

^{**} 부산대학교 대학원 기계공학과

는 방법, 물체에 전후면을 관통하는 홈을 내는 방법 등이 있다. 주로 와류출을 제어하거나 항력을 줄이기 위한 목적을 가지고 있다. 목적은 다르지만 이와같은 제어가 가해질 경우 와형성영역에 영향을 받게 된다. 분리판은 원주후면에 부착되어 있으므로 와류출에 의한 요동에 큰 영향을 미치지만 흰튜브의 경우는 흰튜브 상의 속도구배가 후류에 영향을 미치게 된다. 이미 Ryu 등⁽¹⁻³⁾이 열교환기용 흰튜브를 이용하여 행한 연구에서 흰에 의해 변형된 흰튜브 상의 속도분포에 따라 유입류의 위치 및 강도에 차이가 발생하고 와류출에 변화가 발생하는 것을 연구한 바 있다. 흰튜브의 경우는 흰튜브 상의 속도구배가 후류에 큰 영향을 미치며 열교환기에서 다수의 흰튜브가 설치될 경우 이러한 특성들은 열교환기의 성능을 좌우하게 되며 와형성영역에 대한 데이터 등은 관군의 배열 등에 중요한 자료가 된다. 흰높이가 증가하고 흰피치가 감소하여 일정치에 도달하면 와형성영역의 길이가 급격히 변화하였는데 이러한 영향을 이전의 자료⁽⁴⁻⁶⁾들과 추가적인 실험 등을 통하여 세부적으로 살펴보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

흰튜브의 근접후류특성을 관찰하기 위하여 폐회로 아음속풍동(시험부크기 : 2,000(l)×700(h)×700(w) mm³)에서 스플릿 필름(Split Film, TSI, model 1288)을 이용하여 유속을 계측하였다. 이때 흰튜브의 중심을 원점으로 하여 자유유동에 나란한 방향을 X-축, 그리고 이에 수직인 방향을 Y-축으로 정하였으며 이에 해당하는 순간속도는 U, V로 표기하였다. 자유유동속도, U_∞는 5.0~25.0 m/s 범위에서 수행되었으며, 관외경(d 또는 d_o)을 기준으로한 레이놀즈 수의 최소 및 최대값은 각각 약 17,000, 154,000이었다. 속도측정은 0.8 ≤ X/d ≤ 2.6, -1.0 ≤ Y/d ≤ 0.2 영역에서 스플릿 필름을 이용하여 속도측정이 이루어졌다. 스플릿 필름은 Siddal과 Davies⁽⁴⁾에 의해 제안되었던 수정된 King 법칙을 이용하여 교정하였다. 피치각의 응답에 대한 속도의 의존도를 없애기 위하여 Stock 등^(5,6)이 제시한 무차원함수를 사용하였다.

그리고 가시화에 이용된 수조는 수직형 순환식 회류수조(Vertical Circulating Water Channel)로 12,500(l)×5,200(h)×2,200(w) mm³의 크기를 가지

고 시험부의 크기는 5,000(l)×1,200(h)×1,800(w) mm³이었다. 유속범위는 0.1~2.0 m/s 범위에서 조절가능하고, 시험부에서 속도균일도는 1.0 % 이내, 난류강도는 2.8 % 정도이다. 가시화에는 100~200 μm의 직경을 가지는 비중 1.02인 폴리비닐 클로라이드(Polyvinyl Chloride)를 사용하였고, 조명은 4.0 W의 아르곤-이온(Ar-Ion) 레이저(Coherent, Innova-70)를 사용하였다. 가시화 이미지는 스틸카메라(Still Camera)를 이용하여 저장하였다.

본 실험에 사용된 모델은 열교환기에 사용되는 상용제품으로 톱니모양의 흰을 원형파이프 주위에 나선형으로 부착시킨 것이며 이의 형상, 치수를 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 총 10 개의 모델이 사용되었으며, 모델은 직경 51 mm, 길이 700 mm의 일반 파이프(Model #0, 이하, 원주)에 12~21 mm의 높이의 흰이 부착되어 있으며 모델의 외경을 기준으로 한 폐쇄비는 모델에 따라 7.5~13.7 %이었다.

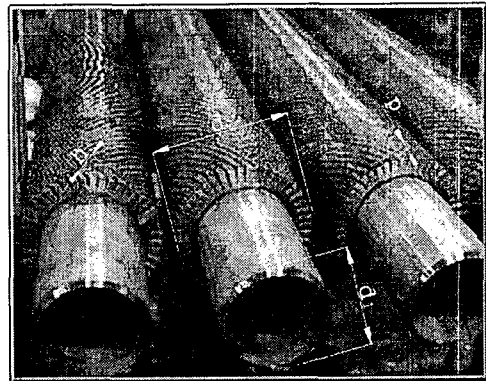
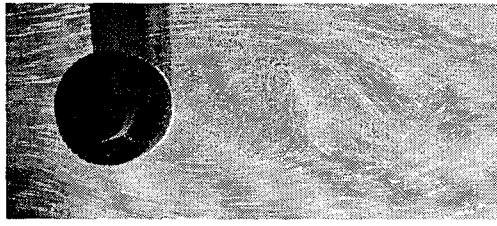


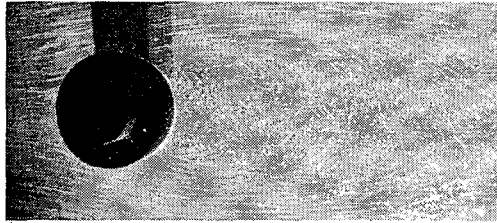
Fig. 1 Configuration of the model

Table 2 Geometry of the models [mm]

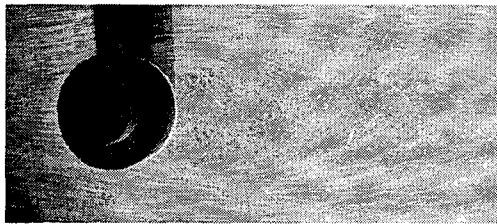
Model	d _i	d _o	h	t	p	Remark
0	51	51	0	0	-	Circular Cylinder
1	51	75	12	1.0	8.45	
2	51	75	12	1.0	5.62	
3	51	85	17	1.0	6.76	
4	51	87	18	1.2	6.76	
5	51	87	18	1.2	5.62	
6	51	87	18	1.2	4.81	
7	51	87	18	1.2	4.05	
8	51	93	21	1.3	5.62	
9	51	93	21	1.3	4.05	



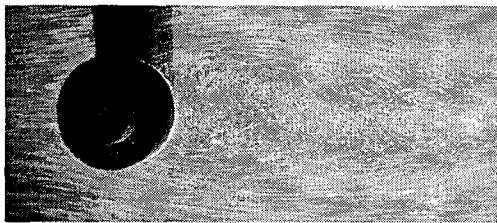
(a) $U_0=0.33$ m/s, $t_s=1/2$ sec



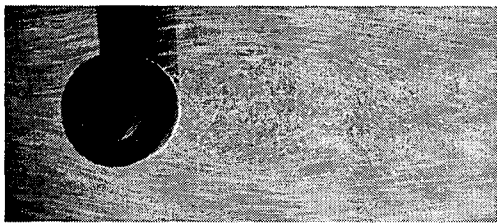
(b) $U_0=0.66$ m/s, $t_s=1/2$ sec



(c) $U_0=0.99$ m/s, $t_s=1/2$ sec

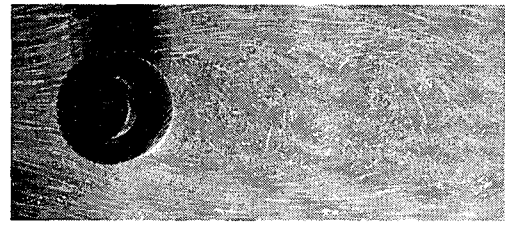


(d) $U_0=1.33$ m/s, $t_s=1/4$ sec

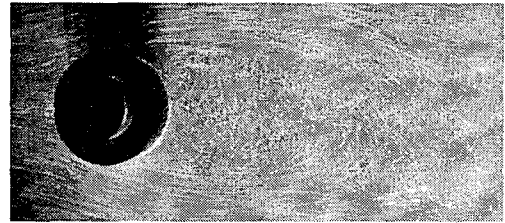


(e) $U_0=1.66$ m/s, $t_s=1/4$ sec

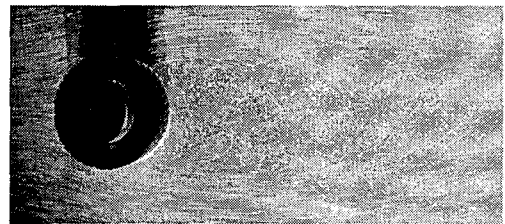
Fig. 2 Results of flow visualization for Model #8



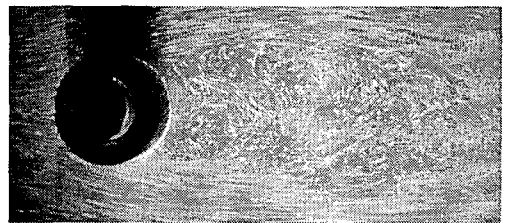
(a) $U_0=0.33$ m/s, $t_s=1/2$ sec



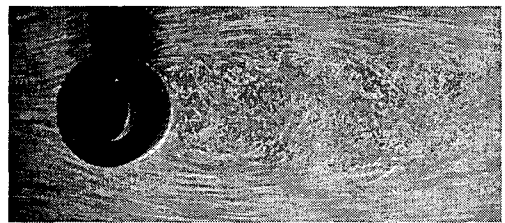
(b) $U_0=0.66$ m/s, $t_s=1/2$ sec



(c) $U_0=0.99$ m/s, $t_s=1/2$ sec



(d) $U_0=1.33$ m/s, $t_s=1/4$ sec



(e) $U_0=1.66$ m/s, $t_s=1/4$ sec

Fig. 3 Results of flow visualization for Model #9

3. 실험결과 및 고찰

가시화실험시 회류수조의 유속은 풍동에서의 실험조건과 레이놀즈 수를 같게하여 스틸카메라로 촬영하였으며 본 논문에서 나타낸 결과에서 노

출시간(t_s)은 1/2과 1/4 초이었다. 전체적으로 흰높이가 증가하고 흰피치가 감소할수록(이하, 흰밀도가 증가할수록) 와형성영역이 증가⁽⁹⁾하였는데 그 중에서도 모델 #8보다 피치가 조금 감소한 모델 #9의 경우는 와형성영역의 길이가 눈에 띄게 증가하였다. Fig. 2와 3은 모델 #8과 #9에 대한 가

시화실험결과를 나타낸 것이다. 사진을 통하여 와형성영역을 판가름하기가 어려우므로 두 모델의 조건이 같은 상황의 결과를 비교하기로 한다. Fig. 2의 모델 #8의 경우 와형성영역이 Fig. 2 (c)의 자유유동속도 0.99 m/s까지 조금씩 감소하다가 이후 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3의 모델 #9의 경우도 Fig 3 (b) 자유유동속도 0.66 m/s까지 와형성영역이 감소하다가 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3 모델 #9의 경우 Fig. 2 모델 #8에 비해서 와형성영역의 길이가 대체로 큼을 알 수 있다. 와형성영역이 크게 증가한 Fig. 3 (e)의 경우 와형성영역으로 유입되는 입자가 Fig. 2 (e) 모델 #8에 비해 작음을 알 수 있다. 이는 같은 자유유동속도와 노출시간에 대한 결과이므로 상대비교가 가능한데, 경계층과 자유유동간의 운동량교환이 감소해 발생한 결과로 생각된다. 그리고 대체로 모델 #8의 경우보다 모델 #9의 Y-방향 유선간의 폭이 약간 큰 것으로 보여 모델 #9의 경우 흰사이로 통과하는 유체가 적음을 유추할 수 있다.

와형성영역을 정량적으로 살펴보기 위하여 스플릿 필름을 이용하여 흰튜브에 대한 와형성영역을 측정하였다. U-속도성분만을 측정하였으며 역류를 측정하기 위하여 스플릿 필름을 90° 회전시켜 측정하였다. $0.8 \leq X/d \leq 2.6$, $-1.0 \leq Y/d \leq 0.2$ 영역에서 구한 U-속도를 이용하여 등속도선을 그리고 후류중심선($Y/d=0.0$)과 $\bar{U}/U_0=0.0$ 선이 만나는 지점을 와형성영역의 끝지점으로 정하였다. 측정결과 원주의 경우, 자유유동속도를 5.0~20.0 m/s($17,000 \leq Re \leq 68,000$)로 증가시 와형성길이는 1.07, 0.90, 0.88, 0.85로 감소하였다.

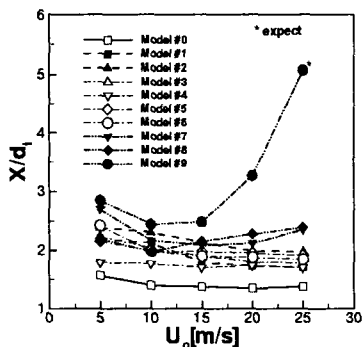


Fig. 4 Vortex formation length of various models, normalized by d_i

4. 결론

이상과 같이 가시화실험 결과와 스플릿 필름을 이용한 와형성영역의 길이를 비교한 결과가 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있었다.

9 가지의 흰튜브 모델의 가시화 실험에서 전체적으로 살펴볼 때, 흰밀도가 증가할수록 흰 사이의 속도감소로 속도구배를 완만하게 변화시키고 유입류의 위치를 좀 더 하류로 이동시키며 와류 출주파수가 감소되는 것을 알 수 있었으며, 이러한 경향은 속도분포에서 더욱 확연히 나타났다.

그리고 특정 흰밀도(모델 #9)와 자유유동속도를 넘어서면서 급격히 와형성영역이 증가되는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- 1) Ryu, B. N., Kim, K. C. and Boo, J. S., 2002, "Characteristics of Near Wake behind a Circular Cylinder with Serrated Fins (II) : Comparison of Time Mean Flow Fields," *Transactions of the KSME, B*, pp. 1191-1200.
- 2) Ryu, B. N., Kim, K. C. and Boo, J. S., 2002, "Characteristics of Near Wake behind a Circular Cylinder with Serrated Fins (I) : Mechanism of Vortex Shedding," *Transactions of the KSME, B*, pp. 1183-1190.
- 3) Ryu, B. N., Kim, K. C. and Boo, J. S., 2001, "Characteristics of Vortex Shedding behind a Circular Cylinder with Serrated Fins," *Transactions of the KSME, B*, pp. 1077-1086.
- 4) Siddal, R. G., and Davies, T. W., 1972, "An Improved Response Equation for Hot Wire Anemometry," *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 367-368.
- 8) Stock, D. E., Wells, M. R., Barriga, A. and Crowe, C. T., 1977, "Application of Split-Film Anemometry to Low-Speed with High Turbulence Intensity and Recirculation as Found in Electrostatic Precipitators," *Proc. Fifth Biennial Symp. on Turbulence*(University of Missouri, Rolla), pp. 117-123.