

90° 분기덕트에서 분기부의 내·외벽의 속도분포

· 이 행 남*, 박 길 문*, 손 현 철***, 이 덕 구**, 이 종 구**, 김 대 옥**

The Velocity distributions of Dividing Region to Internal Wall and External Wall in 90° Dividing Duct

Haeng-Nam Lee, Gil-Moon Park, Hyun-Chall Lee, Duck-Gu Lee, Jung-Gu Lee,
Dae-Uk Kim

- * 조선대학교 기계공학부 기계전공 교수
- ** 조선대학교 기계공학부 기계전공 겸임 교수
- *** 조선대학교 대학원 기계공학과

Abstract : The flow characteristics in a bifurcated duct are investigated experimentally. Physical properties such as mean velocity vectors, mean vorticity and total pressure distributions are obtained for three different Reynolds numbers(578, 620, 688) using PIV measurements and CFD analysis. Also, dividing duct 90° were selected for study.

The results of this study would be useful to the engineer in designing the flow systems for heating, ventilation, air conditioning and wastewater purification plants.

Key words: PIV(입자영상유속계), CFD(전산유체역학), The Velocity distributions(속도분포)

기호설명

- Re : 레이놀즈 수
- Q_1 : 분기덕트 입구 쪽의 초기 유량
- Q_2 : 분기덕트의 분지부 주관의 평균 유량
- Q_3 : 분기덕트 분지부 지관의 평균 유량
- U_1 : 분기덕트 입구 쪽의 초기 속도
- U_2 : 분기덕트 분지부 주관의 평균 속도
- U_3 : 분기덕트 분지부 지관의 평균 속도
- U_m : 분기덕트 분지부 주관외벽의 속도
- U_{bi} : 분기덕트 분지부 지관내벽의 속도
- U_{be} : 분기덕트 분지부 지관외벽의 속도

1. 서 론

사각 분지 유동은 복합 관로계에서 열, 통풍, 공기조화 등과 결합되어지는 장치와 폐수처리장

치 및 수로계 유동에 응용되어지고 있다.

기존 연구들은 공기나, 물 등과 같은 유체로 실험을 했고, 분기관내에서 정상, 비정상 층류 유동에 관하여는 많은 연구가 이루어지지 않았으며, 분기부 유동에 관한 연구는 대부분 난류 유동에 관한 산업적 응용을 바탕으로 연구가 진행되어 왔다.

최근 PIV는 정밀한 가시광 레이저와 광학 장치 사용으로 전체 유동장의 순간 속도분포, 난류강도, 운동에너지 및 와류 등을 잘 재현할 수 있으며, PIV는 입력장치를 통한 실험부의 연속적인 해석이 언제라도 가능하여 보다 정확한 분지부 유동특성을 규명할 수 있다.

또한 1980년대 후반부터 전자계산기의 대용량화 및 고속화에 따라 수치해석에 관한 연구가 활발하게 이루어졌고 주로 전산유체역학 연구와 실험적 연구가 함께 이루어졌다.

본 연구에서는 사각 분기덕트의 주관과 지관의

90° 분기덕트에서 분기부의 내·외벽의 속도분포

유속을 변화시키면서 PIV를 이용한 유동가시화를 통해서 평균 속도벡터, CFD를 이용한 분기부 주관의벽 근처와 지관의 내·외벽 (벽에서 5mm떨어진 부분) 속도분포를 규명 하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

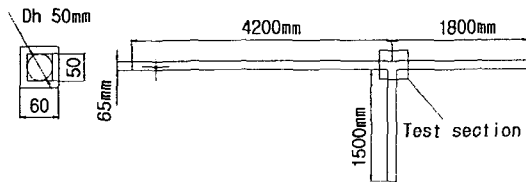


Fig. 1 Tested Dividing Rectangular Open Duct

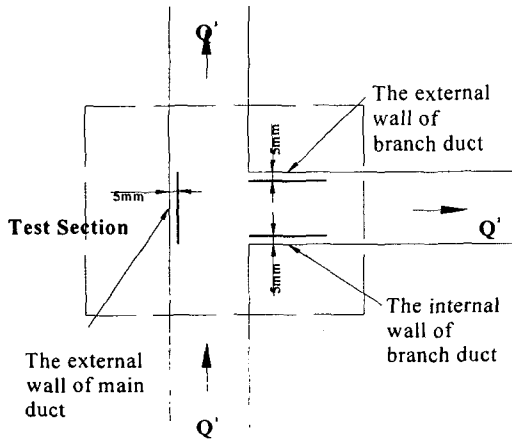


Fig. 2 Schematic diagram test-section of the experimental apparatus

Fig.1과 Fig.2는 본 연구를 위한 개방된 분기 사각덕트와 Test-Section을 도시하였다.

본 실험에 사용한 개방된 분기 사각 덕트는 두께가 7.5mm인 가시화를 위해서 투명아크릴로 제작했으며, 내부 단면적이 50mm×50mm, 수력직경은50mm, 입구 쪽 에서 분기부 까지거리를 4.2로 잡았고, 분기부에서 출구 쪽 길이는 1.8m이다. 주관의 총 길이는 6m이며, 지관의 길이는 1.5m이다. 또한 충분히 발달된 유동을 만들기 위한 입구 길이는 4m이다.

본 실험의 가시화를 위하여 사용된 장치로는 아르곤 가시광 레이저(최대 7W), 고속도 카메라(최대 240pps, 흑백, 640×240픽셀), 고속도 카메라 Controls(최대160MB저장), 송풍팬(최대1400rpm), Optical Fiber Cable(5m), LLS Probe(Laser Light Sheet), 가시화 화상 분석은 DT3152Board를 사용했으며, 입구로 유입되는 작동유체는 상온의 공기(20℃±1℃)이며, 가시화 입자로 Pine pollen(산란 입자의 크기 :10~25µm)을 사용했다.

2.2 PIV 계측

Table 1 Experimental Condition of flow visualization tests

	Item	Specification
Visualization Equipment	Image Board	DT3152 640×480 pixel
	Light Source	7W Argon-Ion Laser
	Sheet Light	LLS probe
Measuring Condition	Working Fluid	Air
	Temperature	26℃ ±1
	Particle	모기향 (0.1~0.3µm)
	Time Resolution	1 / 60 sec
Image Processing	Host Computer	PentiumIII PC (CPU 450MHz RAM128M)
	Calculation Time	30 frames/sec
	Idenification	Cactus'2000(grey-level cross correlation algorithm)
	Number of data for time-mean	135frames

Table. 1은 실험조건과 실험장치의 설정을 보여 주고 있다.

실험하는 동안의 온도는 20℃이고, 온도의 변화는 ±1℃ 이하로 유지했으며, 사각 분기관 주관 입구 쪽에 송풍기를 사용하여 작동 유체를 유동하고, 송풍기의 일정한 회전수를 위해 220V 정전압 트랜스를 이용하였고, 유량 및 Re 수는 Q=28.11 l/min 일 때 Re₁=578 이고, Q=28.11 l/min, 일 때 Re₂=620 이며, Q=31.17 l/min Re₃=688 이다.

고속도 카메라에 실제로 포착한 부분의 Test Section은 주관과 지관을 120mm×175mm로 잡았다.

본 실험은 고속카메라를 사용하여 유동을 촬영했지만, 유량변화량 값들이 그다지 크지 않기 때문에 일반 CCD카메라와 같은 분석을 위해서 Field Selection에서 1st Frame에 Odd와 Even를 선택하여 입자의 최대 이동거리와 계조치상호상관법을 적용하였다.

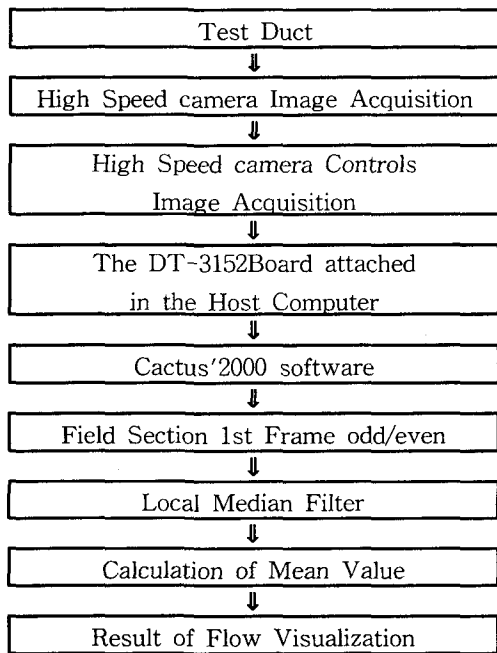


Fig. 3 Flow chart of PIV processing

2.3 CFD 분석

본 연구에서는 PIV계측 실험을 바탕으로 실제적인 실험과 동일한 조건으로 90°의 분기관내의 속도분포 CFD로 분석하였다.

분지부내의 유동이 저속이므로 열 전달과 압축성 효과를 무시했으며, 해석 알고리즘으로 SIMPLE를 사용했다. SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations)알고리즘은 준 암시적이라는 용어를 사용한 것으로 속도에 관한 압력의 간접적 또는 암시적인 영향을 나타낸다. 인접한 위치에서 압력수정은 인접 속도에 영향을 줄 수 있으며, 고려중인 위치에서 속도수정의 원인이 된다. SIMPLE알고리즘은 많은 장점을 가지고 있다. 그 장점 중에 각각 방향의 속도에 연속성을 만족시키며, 이러한 합리적인 속도에 관하여 하향 이완을 하는 것은 각각 방향에 대한 속도의 타당성을 유지시키면서 질량생성을 작게 유지하는 데

도움이 된다.

3. 결과 및 고찰

90°의 분기관에서 입구 쪽으로부터 유량을 각각 $Q=26.11 \text{ l/min}$, $Q=28.11 \text{ l/min}$, $Q=31.17 \text{ l/min}$ 로 변화시켜, 분지부의 Test Section에서 주관의벽과 지관의 내·외벽의(벽에서 5mm)속도분포를 CFD를 통해서 얻었다.

이때 입구 쪽 유량 값에 대한 Re수는 각각 $Re_1=578$, $Re_2=620$, $Re_3=688$ 이며, 분기관 입구 쪽 평균속도 U_1 가 0.178m/s, 0.187m/s, 0.2m/s 일 때 분지부 주관을 지나는 평균속도 U_2 0.0909m/s, 0.0956, 0.1201m/s와 분지부 지관을 지나는 평균 속도 U_3 0.0871m/s, 0.0914m/s, 0.0979m/s 이다.

Fig. 2의 (a), (b), (c)는 PIV 계측실험을 통한 입구 쪽 레이놀즈수 변화에 따른 평균 속도 벡터장을 보여준다. (a)평균속도 벡터장 분포도에서 나타나듯이 본 실험에서 낮은 유량 및 레이놀즈수에서는 분지부 주관과 지관에서는 그다지 큰 변화가 없지만, 지관 쪽 내벽에 와류 및 재접착(박리 종결지점)이 매우 작게 나타남을 알 수 있다. 하지만 (b)와 (c)로 갈수록 유량과 Re수가 증가되면서 지관부의 외벽에 강한 속도 값을 갖는 것을 알 수 있으며, 이것은 유량과 Re수가 증가할수록 분지부의 주관과 지관으로 들어가는 2차유동의 영향이 크기 때문에 발생된다고 사료된다.

속도는(a)에서0.1923m/s, (b)에서 0.2070m/s이며 (c)에서는 0.2205m/s이다. 또한 분지부의 지관 쪽의 외벽에 Re수가 증가할수록 와류의 재접착점 위치와 빠른 속도 벡터가 발생됨을 알 수 있다.

Fig. 3는 CFD로 처리한 90° 분지부의 속도벡터량을 보여 주고 있다. PIV를 통한 실험은 실제적인 형태에서 발생되어지는 여러 가지 손실에 의해서 입구 쪽의 레이놀즈수와 유량의 변화에 따라 분지부의 속도벡터장의 형태가 변화되고 있지만, CFD 사용한 분석은 입구 쪽 레이놀즈수와 유량 값이 변화해도 속도 벡터장의 형태가 거의 변화하지 않음을 알 수 있다. PIV를 사용하여 분석한 (a)에서 최대속도 값 0.1923m/s이고, CFD로 분석 한 최대 속도는 0.1929m/s이며, (b)의 PIV분석 값은0.2070m/s이고, CFD분석한 최대속도 값은 0.2073m/s이며, (c)의 PIV 분석 값은

90° 분기덕트에서 분기부의 내·외벽의 속도분포

0.2205m/s이며, CFD 분석최대속도 값은 0.2217m/s를 얻었다. 분기부의 PIV분석한 최대속도 값과 CFD로 분석한 최대 속도 값의 일치도는 평균 99.67%의 일치함을 알 수 있다.

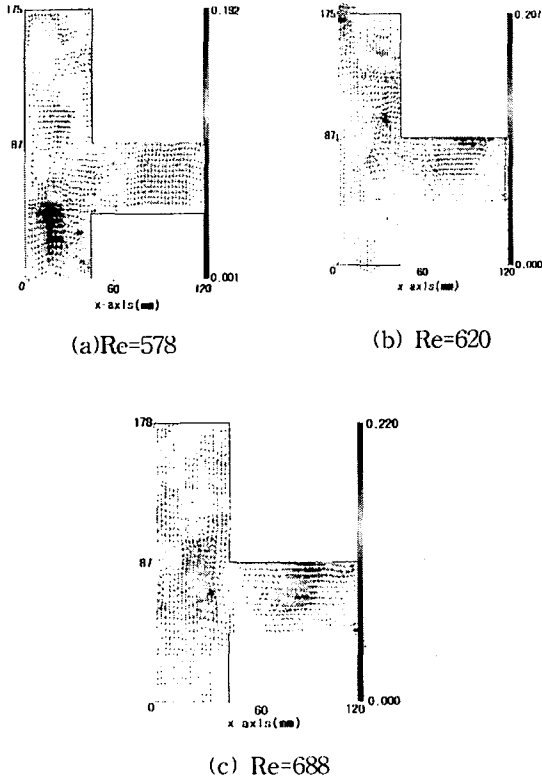


Fig. 4 Mean Velocity Vector Field by PIV

Fig. 5부터 Fig. 7까지는 90° 분기관에서 CFD분석을 이용한 Re수가 변화 할 때 분기부 주관외벽과 지관의 내·외벽(벽에서 5mm 근처)에서의 속도분포를 보여주고 있다.

Fig. 5는 분기부의 주관외벽의 속도 값을 보여주고 있다. 90도 분기관에서는 유량 및 Re수가 증가하더라도 속도 값들은 비슷한 형태로 감소됨을 알 수 있으며, Re수가 증가에 따른 U_1 속도변화에 따른 Re수가 620일 때 증가되는 U_2 값이 상대적으로 다른 U_m 값에 비교 할때 적게 증가됨을 알 수 있다. 그래서 Re수가 688일때보다 큰 무차원 속도 분포를 가짐을 알 수 있다.

Fig. 6은 분기부의 지관내벽의 속도 값들을 보여주

고 있다. 90도 분기관은 벽에서 5mm~2cm까지는 급격히 속도가 감소하고, 그 이후부터는 완만한 감소를 나타냈다. 그 이유는 5mm~1cm까지는 분기부에서 지관내벽으로 들어가는 입구에 해당되는 부분이어서 재 부착점이 시작되는 지점이기 때문에 2차 유동에 의한 현상이라고 고찰된다. 이때 속도분포는 지관의 내벽의 위가 지관쪽 출구로 갈수록 재 부착지점이 끝나는 지점까지는 속도가 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 분기부의 지관외벽의 속도 값들을 보여주고 있다. 분기부 지관외벽 속도에서 90° 분기관의 속도 값은 본 실험 Fig. 2의 PIV계측실험의 분석과 마찬가지로 최대속도 값이 나왔으며, 90도 분기관에서는 속도분포가 외벽 5mm~2cm까지는 증가하다가 그 이후부터는 일정하게 매우 작은 값으로 감소됨을 알 수 있다.

그 이유는 분기부에서 지관외벽으로 들어가는 지점에서 2차 유동현상에 따른 원심력에 의한 속도분포가 증가함에 따른 현상이라 사료된다.

또한 지관의 내·외벽에서도 Re수가 620일 때 가장 큰 무차원 속도분포를 가짐을 알 수 있다.

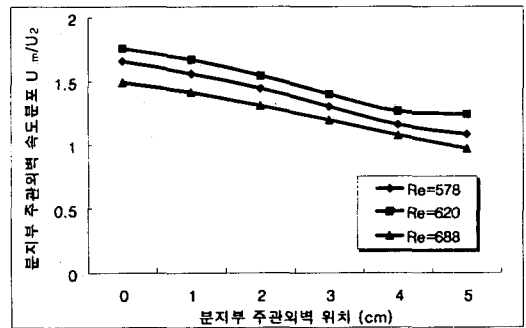


Fig. 5 Mean Velocity along the external wall of main duct

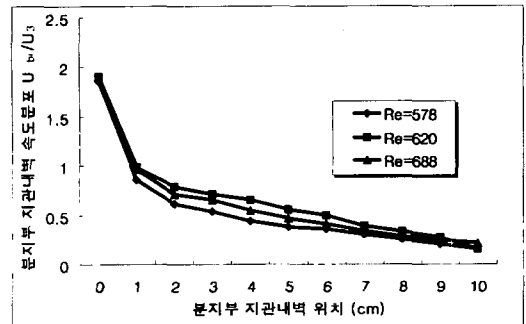


Fig. 6 Mean Velocity along the internal wall of branch duct

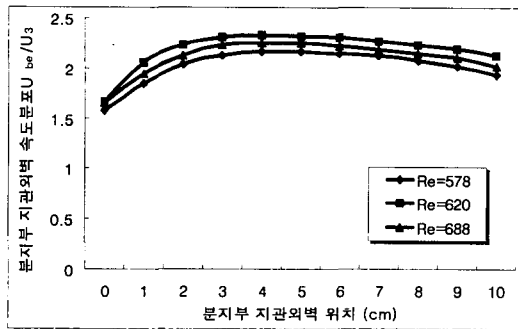


Fig. 7 Mean Velocity along the external wall of brunch ducts

4. 결론

90° 분기 사각덕트의 주관과 지관의 유속을 변화시키면서 PIV계측 실험을 이용한 유동가시화를 통해서 평균 속도벡터와 CFD분석을 이용하여 분기부 주관의벽 근처 와 지관의 내·외벽(벽에서 5mm떨어진 부분) 속도분포를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

[1] PIV 실험 계측에 의한 최대속도 값과 CFD 분석한 최대 속도 값은 평균 99.67% 일치하였다.

[2] 90° 분기관에서 분지부의 주관외벽과 지관의 벽과 비교할 때 지관내벽에 상대적으로 작은 속도분포가 나타남을 알 수 있다.

[3] 90° 분기관에서 본 연구에서의 3가지 Re수 변화에 따른 속도 분포에서 Re수가 620일 때 분지부 주관외벽과 지관 내·외벽에서 큰 무차원 속도분포를 가짐을 알 수 있다.

참고문헌

[1] Ito, H., and Imai, k. "Energy losses at 90degree pipe junction" J. Hydr. Div., ASCE, 99(9), pp.1353-1368, 1973
 [2] Blaisdell, F.W., and Manson, P. W. "Loss energy a of sharpedged pipe junction in water conveyance systems." Tech. Bull, US Department of Agriculture, Washington, D.C, pp.1283-1291,

1963

3) Gardel, A "Les pertes de charge dans les ecoulements au travers de branchments en Te."["Pressure drops in flows through T-shaped pipe fitting] Bull Tech. Suisse Rom, 83(9), pp.123~130(in French), 1957
 4) 김진형, 양창조, 김정환, 이영호, "PIV에니메이션에 의한 가정용 냉장고 냉동실의 냉기순환 해석", 대한기계학회, 춘계학술대회 논문집B, pp.689-691, 2000
 5) 이행남, 박길문, 이덕구, "T-type 사각덕트내의 유동특성연구", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집E, pp.702-707, 2001
 6) Hager, W. H "Discussion of Separation zone a of open-channel junctions, by James L. Best and Ian Reid", J. Hydr. Engrg., ASCE, 133(4), pp.539-543, 1987
 7) Bockchoon Park, Young I. cho & Stephen Choi, "Separation and reattachment of non-Newtonian fluid flows in a sudden expansion pipe", J. non-Newtonian fluid Mechanics, 37, pp.175-199, 1990