

사각덕트내의 유체유동에 관한 수치계산과 실험의 비교

윤영환*·배택희**·박원구*

The comparison between Numerical Computation and Experiment on Fluid Flow in Rectangular Duct

Young-Hwan Yoon*, Taeg-Hee Bae** and Won-Gu Park*

Key Words : Fluid flow(유체의 흐름), Rectangular duct(사각 덕트), 90° mitered elbow(직각 엘보우), Two branches(두개의 가지관), Laser doppler velocity meter(레이저 도플러 유속계), 3-D numerical computation(삼차원 수치계산)

Abstract

Fluid flow in a rectangular duct system are measured by 5W laser doppler velocity meter, and also computed by commercial software of STAR-CD for comparison between them. First, for a rectangular duct with 90 degree metered elbow, the fluid flow with Reynolds numbers of 1,608 is predicted by assumption of both laminar and turbulent models. But, even though the Reynolds number is less than 2,300-3,000, the computation by turbulent model is close to the experimental data. Moreover, the computation by turbulent model for Reynolds number of 11,751 also predicts the experimental data satisfactorily. Second, for a rectangular duct with two branch ducts, the ratios between flow rates in the two branches are invariant to Reynolds number according to both of numerical and experimental results.

1. 서론

공기조화용 덕트내의 유동은 배관에서 압력강하 및 유량 분배면에서 미리 예측하는 것이 중요하다. 우선 압력 강하를 정확히 평가하여 적절한 송풍기를 선정하여야 하며 설계자의 의도대로 유량배분이 되어야 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 90° 직각 덕트내의 3차원 유동에 대해 Laser Doppler 유속계로 측정된 실험 결과와 상용 software인 STAR-CD 를 이용해 계산 결과와 비교하여 수치해석의 정확성을 평가하고자 한다.

덕트의 구조는 먼저 L자형 곡관에 대해 Reynolds수가 1,608 및 11,751의 두 가지에 대해 수행하였다. Reynolds 수가 2,300-3,000보다 적으면 통상 층류라고 간주하고 계산한다. 그 예로 Lee⁽¹⁾ 등은 환기용 열교환기내의 유동을 계산할 때 층류 유동으로 가정하였다. 본 논문에서는 비록 Reynolds수가 낮더라도 층류 및 난류 모두 가정하여 비교하였다.

다음 덕트의 구조는 두 개의 분지관을 가진 직사각형 덕트로 Reynolds수 4,226, 8,920, 12,532 및 17,491 등 4가지를 수행하였다. 유동계산에서 입구 경계조건은 일반적으로

Kim과 Kim⁽²⁾에서 균일한 유속 분포로 계산하고 있다. 그러나 본 연구에서는 실험에서 구한 평균유속 분포와 같은 유량의 균일한 유속분포의 두 가지 입구 경계조건들에 대해 계산하여 서로 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

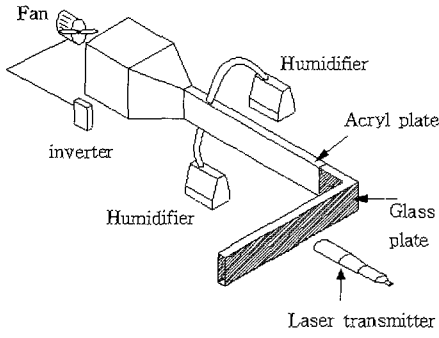
본 실험 장치는 Fig. 1과 같이 송풍팬에 의해 공기가 송풍되며 모터는 인버터의 회전수 변경으로 풍량은 제어할 수 있다. 본 실험에 사용된 유속은 5W용 Ar-Ion laser 유속계로서 그림에서 유리로 된 덕트의 입구와 출구 단면에서 각각 측정하였다. 각 단면의 크기는 모두 (6cm×20cm)로서 등간격으로 가로 5지점 및 세로 7지점으로 총 35개 지점에서 유속을 측정하였으며 아울러 유속 분포와 계산 결과를 비교하는 선분은 등간격으로 11지점에서 유속을 측정하였다. 구체적인 실험방법은 Yoon⁽³⁾에 자세히 기술되어 있다.

3. 수치해석

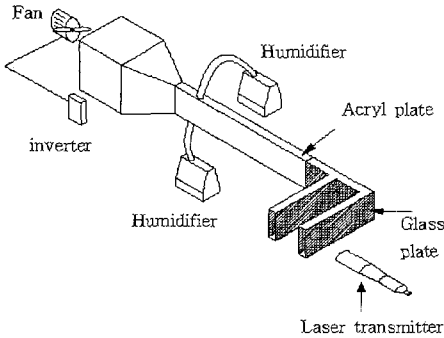
본 계산은 비압축성 상업용 프로그램인 STAR-CD를 사용하여 층류 및 난류로 계산하였는데 난류계산은 k-ε 표준 난류 모델을 사용하였다.

* 창원대학교 기계공학과, yhyoon@sarim.changwon.ac.kr

** 장신대학 건축설비과, thbae@changshin-c.ac.kr



(1) L type duct



(2) Duct with two branches

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

먼저 입구의 평균 유속분포는 본 논문에서 2차원 LDV 유속 장치로 측정하여 주 속도 방향 U 와 변 20cm 방향 유속인 W 를 측정하고 변 6cm 방향 유속 V 는 측정하지 않았으나 W 유속이 거의 영에 가까우므로 V 유속 성분은 영으로 가정했다.

다음 입구의 난류운동에너지 k 는 다음 식으로 표시된다.

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'}^2 + \overline{v'}^2 + \overline{w'}^2) \quad (1)$$

위 식(1)에서 $\overline{u'}$ 는 LDV 유속계에서 측정한 x 방향 유속 U 의 표준편차인 U_{RMS} 값을 취하였다. 그리고 y 방향의 난류성분인 $\overline{v'}$ 의 V_{RMS} 와 z 방향의 난류성분인 $\overline{w'}$ 의 W_{RMS} 는 거의 같다고 가정하여 아래 식과 같이 입구 경계조건을 취하였다.

$$k = \frac{1}{2} [(U_{RMS})^2 + 2 \cdot (W_{RMS})^2] \quad (2)$$

입구의 난류소산에너지 ϵ 는 식 (3)과 같으며 이 식에서 난류상수 C_μ 는 0.09이고, 난류 혼합길이 l 은 실험장치의 유동 폭의 10%인 0.006m로 하였다.

$$\epsilon = C_\mu^{0.75} \times \frac{k^{1.5}}{l} \quad (3)$$

그리고 모든 벽면은 non-slip condition으로 하였으며, 또한 벽면에서 난류 경계조건은 STAR-CD 프로그램에서 wall function model을 사용하였고, 출구경계조건은 Neumann 조건이다.

4. 실험결과 및 계산결과

Fig. 2는 Fig. 1의 (1)에 대한 것으로 L자형 곡관 안쪽 90°교점으로부터 전방 19cm 지점의 입구단면 (그림 a), 그 교점으로부터 19cm하류 중간 지점의 단면 (그림 b), 그리고 38cm 하류의 출구단면 (그림 c)에서 유속분포를 나타내었으며 각 단면에서 $z=6, 10, 16$ cm는 (6cm×20cm) 단면에서 20cm 변의 상부, 중부 및 하부의 유속 분포를 말한다.

먼저 Fig. 2의 (1)은 Reynolds수 1,608인 경우로서 층류로 해석한 유속분포 및 난류로 해석한 유속분포를 나타낸 것인데 Reynolds수가 낮은데도 불구하고 난류로 해석한 유속분포가 실험값에 근접함을 볼 수 있다. 다음 Fig. 2의 (2)는 Reynolds수가 11,751인 경우로서 유체가 90°회전 후 회전 안쪽은 느러지고 바깥쪽은 빨라졌다가 하류로 갈수록 평준화하는 경향을 수치해석 결과가 비교적 잘 묘사하고 있다.

다음 Fig. 3은 Fig. 1의 (2)에 대한 것으로 배관의 입구 유량을 100%로 하였을 때 입구와 가까운 제1분지관 (branch 1)과 입구와 먼 제2분지관(branch 2)으로 분배되는 유량들의 백분율로서 실험값과 계산값들을 Reynolds수에 따라 도시하였다. 그림에서 computation(1)은 입구경계조건을 실제 측정한 유속분포를 사용하여 계산한 것이고 computation(2)는 같은 유량을 가진 균일한 유속분포를 입구 경계조건으로 한 것이다.

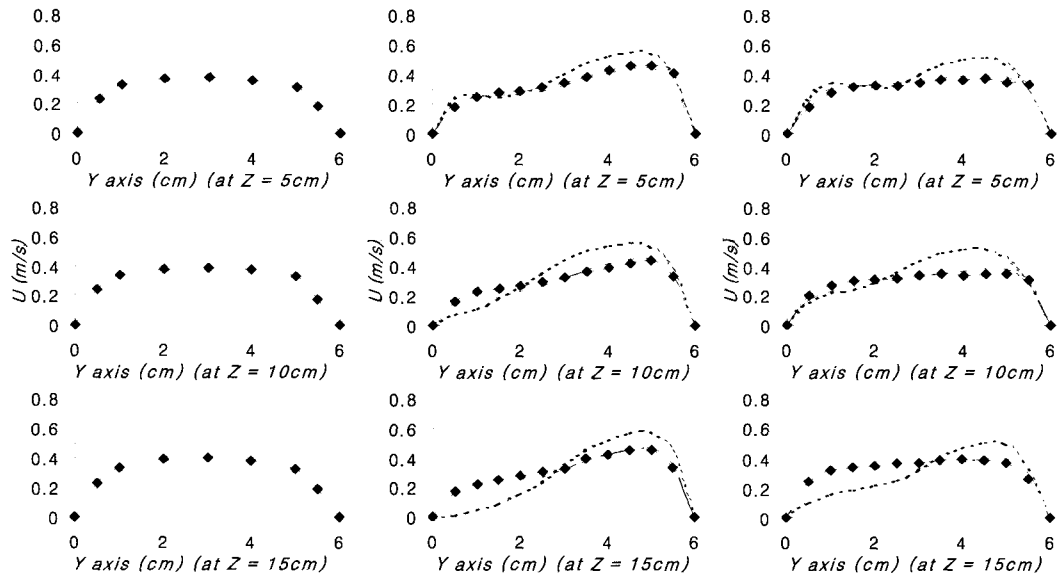
우선 실험값을 보면 제1분지관으로 평균 37.65%가 흐르며 제2 분지관으로 평균 62.23%가 흐르며 위의 두가지 계산 모두 실험값과 근사한 값을 나타내고 있다.

5. 결론

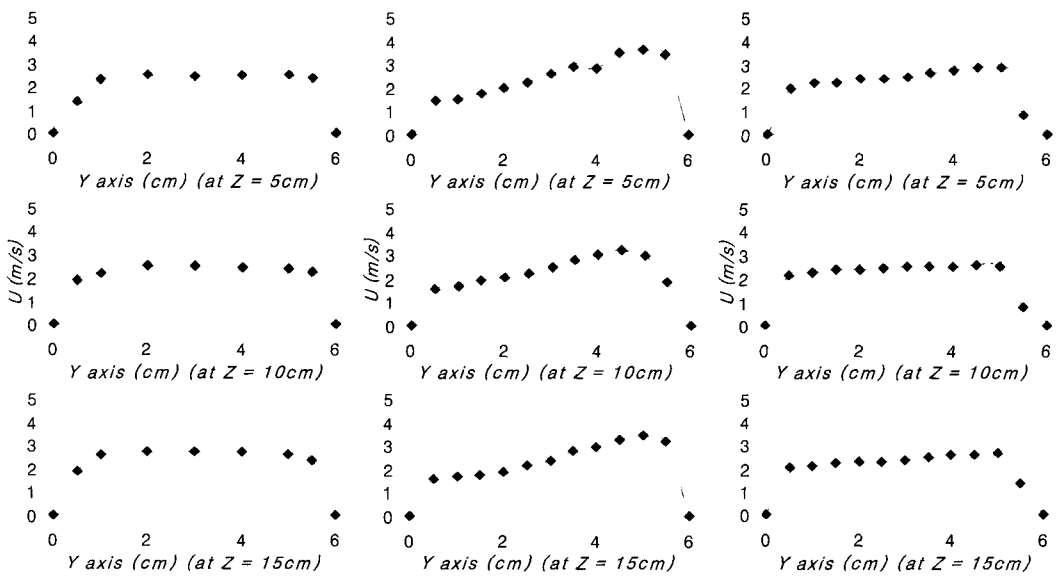
사각 덕트내의 유동에 대해 레이저 도플러 유속계로 측정 한 실험결과와 수치해석 결과와 비교하고자 한다.

(1) L자형 덕트에서 Reynolds수가 낮은 1,608에서 출구 유속분포를 비교한 결과 난류로 해석한 결과가 층류로 해석한 결과보다 실험 결과와 더욱 일치하였으며 이는 비록 Reynolds수가 낮더라도 송풍팬으로부터 상당한 난류 성분을 가지고 유입하기 때문이라고 생각된다. 그리고 Reynolds수가 11,751인 경우에는 난류모델로 수치 해석하였는데 비교적 실험값에 근접한 유속분포를 얻었다.

(2) 두개의 가지관을 가진 덕트에서 그 형상이 일정하면 Reynolds수에 관계없이 제1 분지관으로 입구유량의 평균 37.65%가 흐르고 제2 분지관으로는 평균 62.23%가 흐르며 거의 같은 비율로 분배된다고 추정할 수 있다.



(a) Inlet (b) 19cm downstream (c) 38cm downstream
 (1) $Re = 1,608$



(a) Inlet (b) 19cm downstream (c) 38cm downstream
 (2) $Re = 11,751$

Fig 2 Comparison of x-direction velocity between experimental data and 3-D computation data

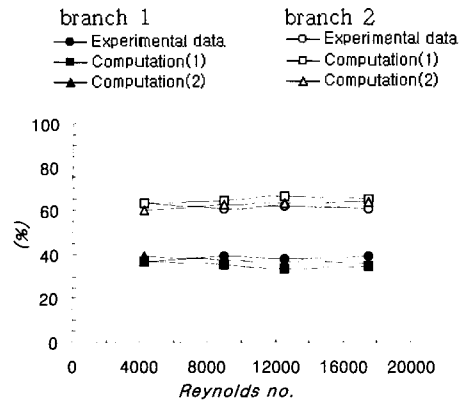


Fig. 3 Percentage of flow rates at each branch of the duct system.

참고문헌

- [1] Lee, C. W., Lee, K. S., Koh, D. Y. and Yeom, H. K., 2001, "Design and test of heat recovery ventilator with total heat exchanger", Proceedings of the SAREK, Summer Annual Conference(I), pp. 512-516.
- [2] Kim, H. M. and Kim, K. Y., 1998, "A Study on turbulence models for the analysis of 3-dimensional flow", Proceedings of the SAREK, Winter Annual Conference(I), pp. 384-389.
- [3] Yoon, Y. H., Bae, T. H. and Park, W. G., 2001, "Velocity Measurement in a Rectangular Duct with 90°Mitered Elbow", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1184-1195.