

CFD해석에 의한 짧은 90° 분기관에서 와류식 류량수감부의 합리적인 설치위치결정

전봉필, 윤순철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자, 기술자들은 현실에 튼튼히 발을 붙이고 사회주의건설의 실천이 제기하는 문제들을 연구대상으로 삼고 과학연구사업을 진행하여야 하며 연구성과를 생산에 도입하는 데서 나서는 과학기술적문제들을 책임적으로 풀어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 492페이지)

일반적으로 90° 분기관에서는 류체흐름의 복잡성으로 인하여 분기점으로부터 직선관로의 길이가 분기관직경의 20배이상 되는 위치에 류량수감부를 설치하여야 한다.[3] 그러나 현장상태가 이러한 조건을 만족시킬수 없는 경우에는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석에 의한 류체의 흐름구조를 평가하여 합리적인 위치를 결정하는것이 필요하다.

여기서는 분기관의 길이가 짧은 경우에 와류식류량수감부의 합리적인 설치위치를 결정하기 위한 한가지 방법을 론의하였다.

1. 기본방정식과 계산방법

그림 1에서는 짧은 90° 분기관에서 류체가 기본관으로 V_{in} 의 속도로 흐르다가 분기관에서 V_1 의 속도로 갈라져 흐르는 과정을 보여준다.

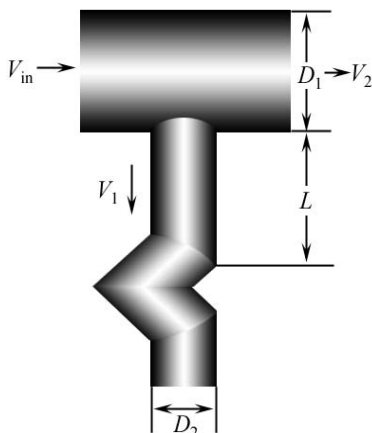


그림 1. 짧은 90° 분기관에서
류체의 흐름과정
 D_1 은 기본관직경, D_2 는 분기관
직경, L 은 분기관길이

그림 1에서 $D_1=450\text{mm}$, $D_2=150\text{mm}$, $L=600\text{mm}$ 로서 분기관로에서 직선관로의 길이가 요구되는 길이(3 000mm)보다 아주 짧다. 이 경우에는 그것의 흐름구조를 평가하여 합리적인 수감부의 설치위치를 결정해야 한다.

비압축성류체의 정상란류에 대한 N-S방정식은 다음과 같다.[1]

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = \rho f_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_e \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

여기서 u_i , u_j ($i, j=1, 2, 3$)는 속도의 자리표성분, ρ 는 밀도, P 는 압력, μ_e 는 유효점성결수($\mu_e = \mu + \mu_t$)인데 μ 는 분자점성결수, μ_t 는 난류점성결수이다.

란류모형으로는 다음의 표준 $k-\varepsilon$ 모형을 리용하였다.

$$\frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

여기서 G_k 는 레이놀즈응력텐소르와 속도구배량의 적을 의미한다. 난류점성계수 μ_t 는 난류맥동에너지 k 와 난류산일량 ε 을 리용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

여기서 C_μ 는 상수(=0.09)이며 다른 모형상수들은 다음과 같다.

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3 \quad (6)$$

이 문제의 흐름해석을 위하여 약 25만개의 4면체그물을 작성하였고 수렴판정기준으로 오차가 10^{-5} 보다 작게 정하였다. 계산도식으로는 SIMPLE방법[2]을 리용하였다.

결과 약 600회의 반복후에 요구하는 풀이를 얻을수 있었다.

2. 결과 분석

기본관의 평균속도가 $V_{in}=2.5\text{m/s}$ 인 경우 분기관의 흐름량이 기본관의 흐름량의 5~30%($V_1=1.12\sim 6.73\text{m/s}$)사이에서 계산이 진행되었다.

CFD해석결과들은 분기관의 시작부근에서 각이한 크기의 리탈구역이 흐름방향쪽에 형성되며 그 크기는 분기관의 흐름량이 커지면 작아진다는것을 보여주었다.

분기점으로부터 직경의 3배 되는 위치에서는 리탈구역의 영향이 적고 속도분포는 거의 선형에 가깝다는것을 알수 있다. 이 위치의 대칭면상에서 계산된 속도분포는 그림 2와 같다.

그림 2에서 가로축 z 는 관의 중심축으로부터 반경을 표시한다.

계산결과들은 기본관의 흐름량에 대한 분기관의 체적류량비가 작을 때에는 분기관의 중심에서의 속도가 평균속도와 근사적으로 같지만 체적류량비가 커지면 평균속도로 되는 위치가 중심으로부터 주관에서의 흐름방향쪽으로 이동한다는것을 보여주었다. 여기서 계산한 류량범위에서는 평균속도로 되는 위치가 관의 중심으로부터 주관의 흐름방향쪽으로 18mm내에서 변하였다. 따라서 수감부직경이 40mm인 류량계수감부의 중심을 분기관의 중심으로부터 9mm 떨어진 위치에 설치하면 류량을 정확히 측정할수 있다.

실험은 지열설비의 직경이 150mm인 순

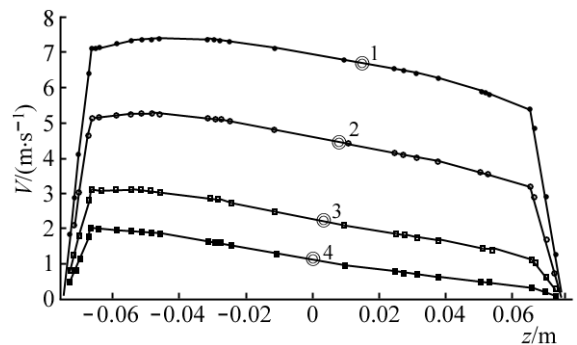


그림 2. 분기점으로부터 직경의 3배 되는 위치에서의 속도분포

1-4는 Q_1/Q_m 이 각각 0.30, 0.20, 0.10, 0.05인 경우

환수관로에서 분기점으로부터 450mm 되는 위치에 와류식류량계를 설치하여 진행하였다. 순환수관로에 있는 발브를 조절하면서 류량을 측정한 결과 류량값이 발브열림도에 따라 $65 \sim 230 \text{ m}^3/\text{h}$ 사이에서 선형으로 변화되었다. 류량측정값의 정확도는 초음파류량계(《SL1188-C1》형)를 리용하여 확정하였다.

맺는 말

CFD해석으로 분기관에서 평균속도의 위치가 중심으로부터 18mm까지 변하는것을 확정한데 기초하여 수감부의 직경을 20~40mm로 취하고 설치위치를 9mm로 정하였다.

CFD해석에 의하여 류체의 흐름마당을 해석하면 짧은 90° 분기관에서 와류식류량계를 리용하여 류량을 정확히 측정하기 위한 합리적인 설치위치를 결정할수 있다.

참고 문헌

- [1] D. C. Wilcox; Turbulence Modeling for CFD, DWC Industries, Inc. La Canada, 87~89, 1994.
- [2] Fluent User's Guide, Fluent Inc, 121~250, 2011.
- [3] 李金海 等; 流量计量, 中国计量出版社, 131~140, 2000.

주체104(2015)년 10월 5일 원고접수

Determination of the Rational Position of the Vortex Flowmeter Sensor in a Short 90° Branch Pipe by CFD Analysis

Jon Pong Phil, Yun Sun Chol

If the rational position to set up a vortex flowmeter sensor is determined using the evaluation method of structure of fluid flow by CFD analysis, the accuracy of flow rate measurement can be increased even in the short 90° branch pipe.

Key words: vortex flowmeter, CFD