

습식 다회선 초음파유량계의 특성평가 연구

이동근* · 조용*† · 고재명* · 박태진* · 박종호**

A Study on Performance Characteristics of Wetted-type Multi Path Ultrasonic Flowmeter

Dong-keun Lee*, Yong Cho*†, Jae-myung Ko*, Tae-jin Park*, Jong-ho Park**

Key Words : Wetted-type multi path ultrasonic flow meter(습식 다회선 초음파유량계), Flow-rate error(유량 오차율), 90° double elbow pipe(90° 연속 곡관), Gate valve(게이트 밸브), Butterfly valve(버터플라이 밸브)

ABSTRACT

An experimental investigation has been carried out in order to evaluate characteristics of wetted-type multi-path ultrasonic flowmeters. The multi-path ultrasonic flowmeters were installed at various entrance and exit locations for several cases of pipe fitting(straight, 90° double elbow) and valve(gate valve, butterfly valve). We measured the flow-rate at each location. The measurement data of test flowmeter were compared with the measured data of reference flowmeter. The uncertainties of reference flowmeter and test flowmeter are 0.3 %, 0.4 %, respectively. The results demonstrate the effects of flowmeter location as well as the measurement errors in flow rate. The distance between the flow disturbance factor and a flowmeter was an important element of the test.

1. 서 론

급속한 산업의 발전은 소비 성향의 변화로 인하여 제품의 소형화가 진행되고 있지만, 소비량의 증가로 인하여 공급되는 양은 기하급수적으로 증가하고 있다. 특히 수자원의 경우는 대도시와 대규모 산업체에 용수를 공급하기 위해 대구경 관로를 설치하여 수요를 충족시키고 있다. 이에 따라 공급되는 양을 정확히 측정할 센서의 필요성이 높아지고 있다.

크기의 제약으로 인해 대구경의 경우는 전자기 유량계와 초음파 유량계를 사용하고 있다. 근래에는 사용의 편의성과 유지보수의 이점이 있는 초음파 유량계의 사용이 늘고 있는 실정이다. 초음파 유량계는 관로에 부착하는 방법에 따라

건식(clamp-on type)과 습식(wetted type)으로 구분된다. 건식의 경우는 현재까지 많이 사용되는 방식이긴 하지만, 설치의 간편성에 비해서 부착 위치와 방법에 따른 측정 오차가 생길 수 있고, 관 내부의 유속 변화에 따른 영향도 측정오차를 키우는 주된 요인이 되고 있다. 이에 반해 습식의

경우는 센서를 유량계에 고정하여 측정오차를 줄이고, 다회선으로 설치가 가능하여 배관 내 유속분포에 따른 오차를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다.

습식 다회선 초음파유량계에 대해 많은 연구가 진행되고 있으나, 주로 성능을 알리기 위한 형식에 관한 것들이고⁽¹⁾, 조건을 다양하게 하여도 설치에 따른 영향 판단을 하는 정도이다.^(2~4) 유체의 다양한 흐름조건에 대한 성능에 관하여는 미약한 편이었다.^(5~8)

본 연구에서는 유량 측정의 오차를 최소화할 수 있는 습식 다회선 초음파유량계에 대한 직관부에서의 유량에 따른 오차와 곡관이 설치된 경우에 대해 유량별, 설치위치별 오차를 분석하였다. 또한, 밸브가 설치된 경우에 대해 밸브와의 이격거리별, 밸브의 개도별, 유량별 오차를 분석하였다.

2. 이 론

Fig. 1은 초음파 유량계의 원리를 나타낸 것이다. 관로에

* 한국수자원공사 K-water연구원 (K-water Institute, Korea Water Resources Corporation)

** 충남대학교 기계공학과 (Dept. of Mechanical Eng., Chungnam National University)

† 교신저자(Corresponding Author), E-mail : ycho@kwater.or.kr

서로 마주보게 하여 검출기(A, B)를 설치하고, A, B에서 각각 방출되는 신호를 주고받는다. 이때의 시간은 수 ms로 짧은 시간에 신호 전달이 이루어진다.

관로 내 유동이 흐르지 않는 경우, 검출기에서 방출된 신호는 유체 내에서 초음파 경로 길이(L)을 음속(C)으로 전달된다. 따라서, 검출기 간에 전달되는 신호의 도달시간(t)은 L/C로 나타낼 수 있다.

한편, 관로 내 유체가 평균유속(V_m)으로 흐르는 경우, 초음파의 전파 속도는 음속(C)에다가 평균유속에 의한 영향($V_m \cos\varphi$)만큼 증감이 되어 검출기 간의 신호 도달시간 t_1 , t_2 는 식(1, 2)로 나타내어진다.

$$t_1 = \frac{L}{C + V_m \cos\varphi} \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{L}{C - V_m \cos\varphi} \quad (2)$$

여기서 L : 유체 중의 초음파 전파 경로 길이
 V_m : 관로 내 평균 유속
 φ : 유속 방향과 음향 경로 사이의 각도

식 (1), (2)를 유속에 대하여 정리하면 다음과 같이 정리된다.

$$V_m = \frac{L}{2\cos\varphi} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (3)$$

따라서 검출기 간의 신호 전달 시간을 측정하면 관로 내 유속을 예측할 수 있다. 여기에 단면적(A)과 유량보정계수(K)를 곱하여 식 (4)와 같이 유량을 구할 수 있다.

$$Q = \frac{L \cdot A \cdot K}{2\cos\varphi} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (4)$$

여기서 유량보정계수(K)는 유량계 교정을 통하여 허용 오차 범위 2.0% 이내를 유지할 수 있도록 보정된다.

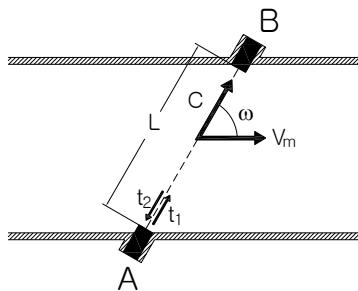


Fig. 1 Principle of an ultrasonic flow meter

3. 시험 장치 및 시험 방법

시험배관의 구성은 Fig. 2와 같고, 습식 다회선 초음파 유량계는 중량 측정 방식에 의해 교정된 기준 유량계와 일정시간 후에 적산 유량을 비교하여 오차로 나타낸다.

기준 유량계와 시험유량계는 K-water연구원 유량계 교정센터에서 중량 측정 방식을 이용하여 교정하였고, 측정불확도는 각각 0.3 %, 0.4%이다. 기준 유량계, 시험 유량계 및 유동교란 요인(90° 연속 곡관, 밸브) 이외의 교란 요인을 없애기 위해 시험 설비 전후의 직관 거리가 30D를 초과하도록 하였다. 본 연구에서 초음파 유량계의 관내경(D)는 300 mm로 하였다.

유속별 오차를 파악하기 위하여 유량계에서의 실험 유동율을 1,000 · 750 · 500 · 250 · 100m³/h로 유량을 조절하면서 측정시간은 100초로 측정하여 기준유량계와 시험 대상 유량계인 습식 다회선 초음파유량계의 유량을 비교하였다. 시험은 각 유량별로 실시하여 그 평균값을 그 유량에서의 대표값으로 취급하였다.

Fig. 3은 유속 분포에 영향을 주는 요소를 유량계의 전단 및 후단에 배치하여 이격 거리에 따른 영향을 알아보기 위해 각 요소 간의 거리를 표시한 것이다. 실험에 사용된 밸브는 게이트 밸브와 버터플라이 밸브이고, 밸브의 개도율이 25, 50, 100%의 경우에 대하여 실험하였다.

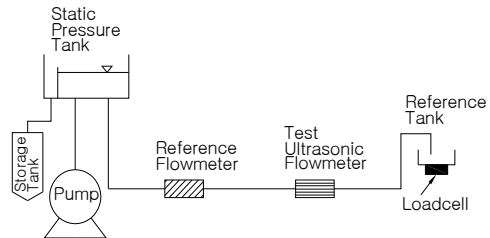


Fig. 2 Configuration of flowmeter test facility

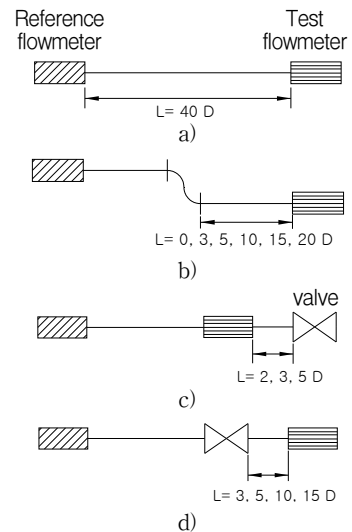


Fig. 3 Schematic diagram of the valve and flow meter

4. 실험 결과 및 고찰

유량계의 전·후단에 위치한 90° 연속 곡관, 벨브 등에 의해 관로 내의 유동 특성의 변화가 이루어지면 초음파 유량계는 단회선의 경우 이에 대한 영향을 수치로 환산하지 못하고 있지만, 다회선의 경우는 각각의 검출기에서 유속을 계산하고 각 유속의 평균값으로 식 (4)를 이용하여 유량을 계산한다.

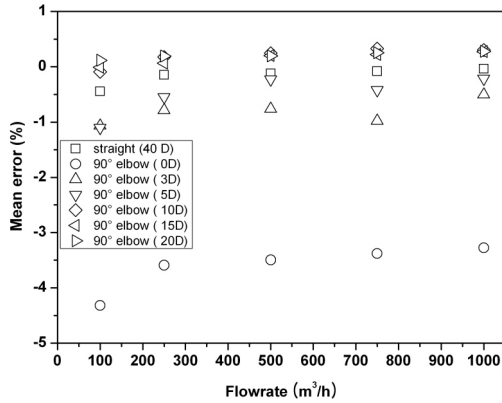
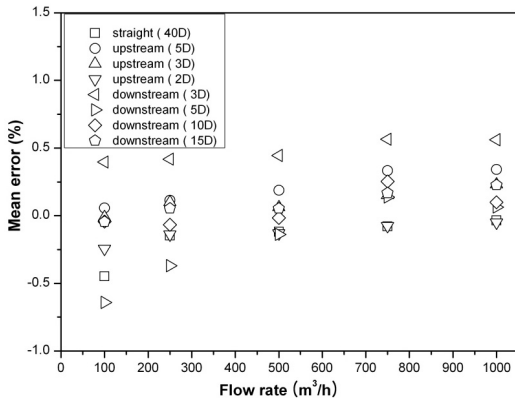
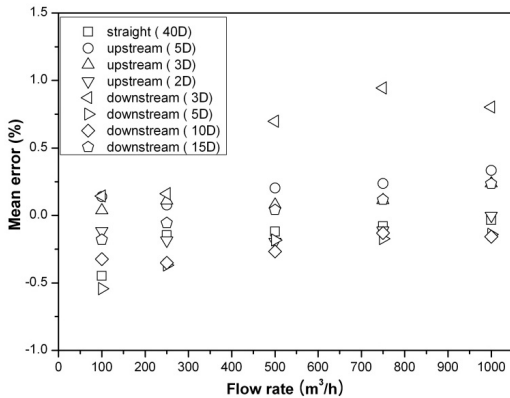


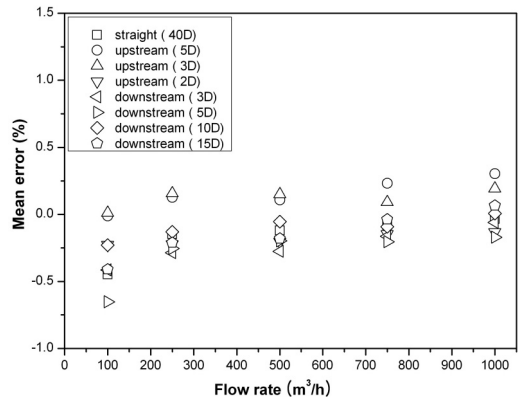
Fig. 4 Mean error for various flow rate at the straight pipe and the downstream of 90 ° double elbows



a) 25 % open



b) 50 % open



c) 100 % open

Fig. 5 Mean error for various flow rate at the straight pipe and the upstream and downstream of the gate valve

기준 유량계와 초음파 유량계의 유량 오차를 알아보기 위해서 40D의 이격 거리를 갖는 직선 배관에 연결하고 규정된 유량에서 실험한 결과는 100 m³/h에서 최대 평균 오차 (-0.45 %)가 나타났고, 유량이 증가할 수록 0 %에 근접하는 것을 알 수 있다. 이 같은 결과는 유동 교란 요인과 비교되도록 모든 그래프에 나타내었다.

90° 연속 곡관일 때 각 시험 유량에 따른 오차율을 Fig. 4에 나타내었다. 곡관과의 이격 거리는 적어도 5D 이상은 되어야 오차가 0.5 % 이내로 작아지는 것을 알 수 있다. 0D의 경우는 최대 -4 %까지 오차가 커지는 것을 알 수 있고, 250 m³/h 이상에는 -3.5 %의 오차가 발생하고 있다.

이는 곡관을 지난 후에 내부에서 유속이 느려지는 구간이 발생하고 이는 평균 유속의 저하로 나타나고 5D 이상이 되었을 때에 유체가 완전 발달된 것으로 판단된다.

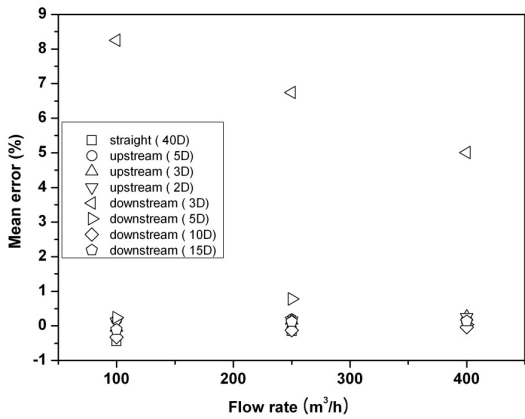
Fig. 5는 초음파유량계의 전·후단에 게이트 밸브를 설치하였을 때의 유량 오차를 나타낸 것이다. 게이트 밸브는 25, 50, 100 %로 개도한 상태에서 실험을 진행하였다.

게이트 밸브를 설치한 경우 개도율이 25, 50 %에서 후단 3, 5D의 경우가 오차가 크고, 상대적으로 전단에서는 오차가 작은 것을 알 수 있다. 밸브의 상류에는 disc에 의해 이격 거리 5D까지는 유동이 정체가 되는 영역이 발생하여 유속이 느리게 되다가 3D에 도달하면 disc를 통과하는 유속이 빨라져 순차적으로 영향을 받아 유속이 빨라지는 것으로 판단되고, 유체가 전단 2D 이상에서 교란 요인에 의한 오차가 거의 발생하지 않은 것을 알 수 있다. 후단 3D의 경우 유량이 500 m³/h 이상으로 증가하면서 유속 변화에 의한 오차가 커지는 것을 알 수 있다. 3, 5D 이외의 경우는 개도율이 상관없이 오차가 -0.25~0.25 %임을 알 수 있다.

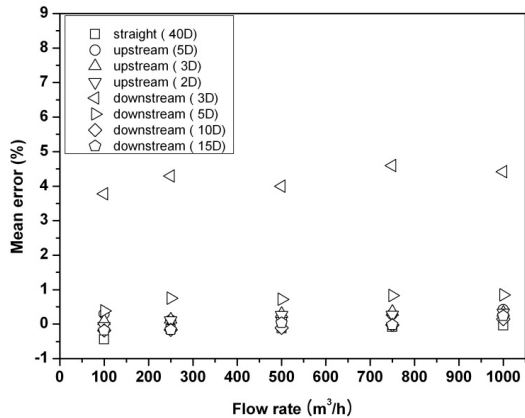
Fig. 6은 버터플라이 밸브의 유동의 교란 요인으로 정하여 실험한 결과를 보여준다. 개도율이 25 %일 경우에 개도면적이 작아 정압 유지 탱크에서 공급되는 유량이 밸브 후단으

로 충분히 흐르지 않아 100, 250, 400 m³/h의 구간에서 실험을 실시하였다.

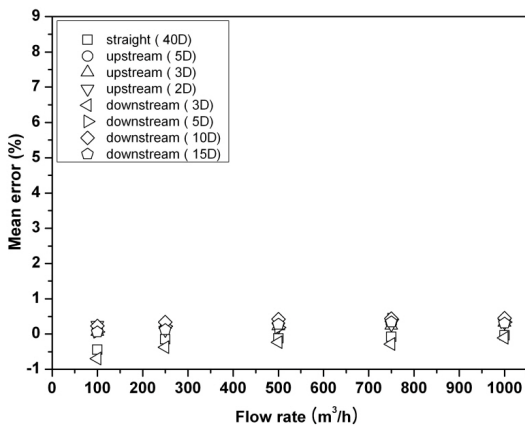
실험 영역의 전 구간에서 -0.5~0.5 %의 오차를 보였지만, 전단의 3D의 경우 개도율이 25, 50 %일 때에 각각 최대 8.3 %, 4.5 %의 오차를 보였다. 이는 앞서 게이트 밸브에 비해 큰 오차를 보여주는 것을 알 수 있다.



a) 25 % open

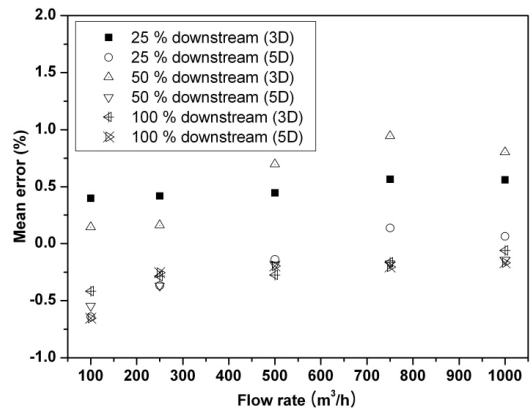


b) 50 % open

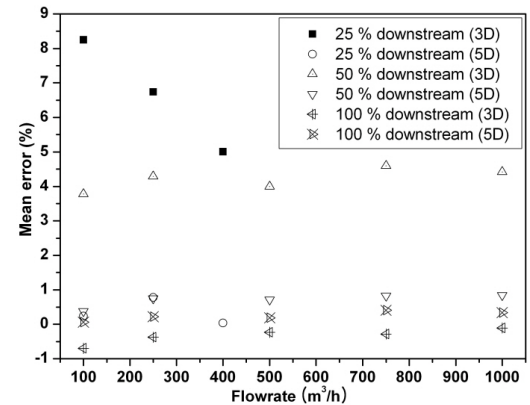


c) 100 % open

Fig. 6 Mean error for various flow rate at the straight pipe and the upstream and downstream of the butterfly valve



a) gate valve



b) butterfly valve

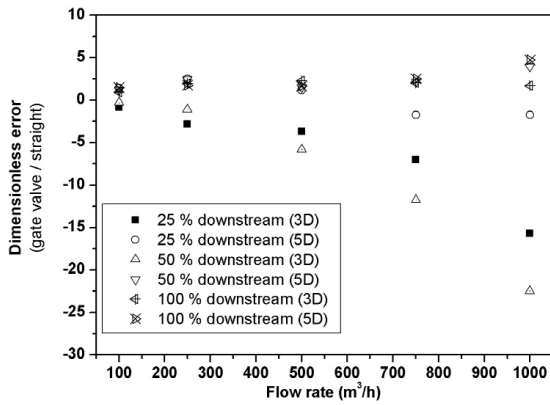
Fig. 7 Mean error for various flow rate at the downstream (3D, 5D) of the gate valve and the butterfly valve

이는 같은 개도율이어도 실제 개도된 면적은 게이트 밸브가 큰 것으로 판단이 되고, 버터플라이 밸브의 경우 disc의 개도 각도에 따라 상·하부의 유속 분포가 달라지는 영향이 커지는 것으로 판단된다.

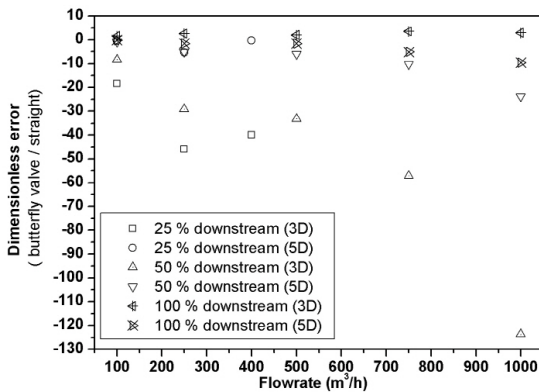
Fig. 7은 게이트 밸브와 버터플라이 밸브의 개도율에 따른 후단 3D와 5D의 오차를 나타낸 것이다. 두가지의 밸브에 대해서 완전 개도가 아닌 경우에 후단 3D에서 최대 오차를 나타낸다.

초음파 유량계에 측정되는 유량의 오차는 게이트 밸브의 경우는 개도율이 25, 50 %에서 평균 오차가 -1~1 % 이내에서 나타내기 때문에 개도율에 따른 영향이 크지 않은 것을 알 수 있다. 버터플라이 밸브의 경우는 개도율이 25, 50 %일 때 평균 오차가 5~8.3 %, 3.7~4.5 %로 나타난다. 이는 게이트 밸브보다 버터플라이 밸브가 개도율이 내부 속도 성분에 크게 영향을 미친다고 볼 수 있다.

Fig. 8은 3D, 5D 거리에서 밸브별로 계산된 오차를 40D 이격 거리에서 계산된 오차의 비로 나타낸 것이다. 밸브의 개도율이 25%, 50%일 경우에 유량이 증가하면 오차율도 급격히 늘어나는 것을 알 수 있다. 충분한 직관거리를 갖는 경



a) gate valve



b) butterfly valve

Fig. 8 Dimensionless error for various flow rate at the downstream (3D, 5D) of the gate valve and the butterfly valve

우에 측정된 오차는 유량이 증가할수록 0에 근접하는 반면에 밸브의 개도율이 25%, 50%인 경우는 오차가 증가하는 경향이 있기 때문에 상대적으로 계산된 값이 크게 나타남을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 습식 다회선 초음파유량계로 유량을 측정할 때에 유속의 교란 요인으로 직관, 90° 연속 곡관, 게이트 밸브, 버터플라이 밸브 등의 4가지 경우에 대해서 실험을 진행하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 90° 곡관의 후단에 초음파유량계가 설치된 경우 이격 거리가 5D 이상이 되어야 0.5 % 이내의 오차를 얻을 수 있다.

- 2) 게이트 밸브를 설치하여 개도율을 25%, 50%의 경우 밸브 후단에 3, 5D로 유량계가 설치된 경우에 다른 영역에 비해 큰 오차를 나타남을 알 수 있다.
- 3) 유량계의 오차는 버터플라이 밸브의 경우에 밸브 후단 3D에서 개도율이 25 %일때 최대 8.3 %를 나타냈고, 개도율이 커질수록 오차의 폭은 감소한다.
- 4) 유량계의 오차는 버터플라이 밸브에서 게이트 밸브에 비해 개도율이 낮을수록 밸브 후단에 가까울수록 큰 오차가 생긴다.
- 5) 밸브 후단에 유량계가 설치되고 밸브의 완전 열림이 아닌 경우에 이격 거리를 5D 이상으로 이동을 시키는 것이 오차율을 줄일 수 있다.

참고문헌

- (1) Drenthen, J. G. and de Boer, G., 2001, "The Manufacturing of Ultrasonic Gas Flow Meters," Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 12, pp. 89~99.
- (2) Park, K. A., Choi, Y. M., Choi, H. M., Yoon, B. R., and Hwang, K. B., 1999, "Installation Effects on the Characteristics of Multi-path Ultrasonic Flowmeter," Proceedings of the KFMA Annual Meeting, pp. 114~117.
- (3) Hwang, S. Y., Seo, K. H., Kim, B. C., Kim, K. S., and Tyan, H. S., 2000, "Installation Effects on the Characteristics of Multi-path Ultrasonic Flowmeter with Valve," Proceedings of the KFMA Annual Meeting, pp. 65~74.
- (4) Carlander, C. and Delsing, J. 2000, "Installation Effects on an Ultrasonic Flow Meter with Implications for Self Diagnostics," Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 11. pp. 109~122.
- (5) Yeh, T. T. and Mattingly, G. E., 1997, "Computer Simulations of Ultrasonic Flow Meter Performance in Ideal and Non-ideal Pipeflows," ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, pp. 1~6.
- (6) Ruppel, C. and Peter, F., 2004, "Effects of Upstream Installation on the Reading of an Ultrasonic Flowmeter," Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 15, pp. 166~177.
- (7) Berrebi, J., 2004, "Ultrasonic Flow Metering Errors Due to Pulsating Flow," Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 15, pp. 179~185.
- (8) Xiong, W., 2003, "Velocity and Turbulence Measurements Downstream of Flow Conditioners," Flow Measurement and Instrumentation, Vol 14, pp. 249~260.