

배관 형상이 다회선 초음파 유량계의 특성에 미치는 영향

박경암* · 최용문* · 최해만* · 윤병로* · 황규보**

Installation effects on the characteristics of multi-path ultrasonic flowmeter

K. A. Park*, Y. M. Choi*, H. M. Choi*, B. R. Yoon*, K. B. Hwang**

Key Words: multi-path ultrasonic flowmeter(다회선 초음파 유량계), mean velocity(평균유속)

ABSTRACT

Five-path ultrasonic flowmeters (200 and 300 mm diameters) were tested to obtain its characteristics in a water flow standard system. A five-path ultrasonic flowmeter was installed after various pipe fittings (elbow, valve, tee) or a pump. The distance between flow disturbance source and a flowmeter was main experimental parameter. Without a flow conditioner, a five-path ultrasonic flowmeter shows good characteristics as the distance between flow disturbance source and a flowmeter is longer than 10 diameter of a flowmeter.

1. 서 론

산업의 발전과 거대화로 액체의 대구경 수송 관로의 설치가 증가하고 있으며, 이에 따라 대구경용 유량계도 증가하고 있다. 대구경 유량계로서는 전자기 유량계와 초음파 유량계가 사용되고 있으나 구경이 클수록 초음파 유량계가 많이 사용되고 있다.

초음파 유량계는 관에 부착하는 방법에 따라 건식(clamp-on type)과 습식(wetted type)으로 구분된다. 건식은 초음파 센서를 관 외벽에 부착하는 방식이며 습식은 초음파 센서가 액체에 접하는 형식이다. 건식의 경우에는 설치하기는 간편하지만 초음파 센서를 부착하는 위치, 방법에 따라 측정오차를 유발하며 특히 관 내경을 정확히 알 수 없는 경우가 많아 유량 측정

오차가 커 질 수 있다. 설치하기는 불편하지만 관 내경을 정확히 알고 있는 관의 내벽에 초음파 센서를 설치하면 유량 측정 오차를 줄일 수 있다.

초음파 센서의 개수에 따라 단선 혹은 다회선 초음파 유량계로 분류할 수 있다. 단선 초음파 유량계는 가격은 저렴하지만 배관내 유속분포에 따라 측정 오차가 크며 다회선 초음파 유량계의 경우는 유속 분포의 영향을 많이 줄일 수 있다. 배관의 크기에 따라 설치할 수 있는 초음파 센서의 개수는 제한을 받는다.

본 논문에서는 유량 측정 오차를 최소화할 수 있는 습식 다회선 초음파 유량계에 대하여 배관 내의 유속 분포가 미치는 영향에 관한 실험을 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

다회선 초음파 유량계의 개략도는 Fig. 1과 같으며 구경은 200, 300 mm 이다. 초음파 센서는 5쌍이 설치

* 한국표준과학연구원 유체유동그룹

** 창민 테크 (주)

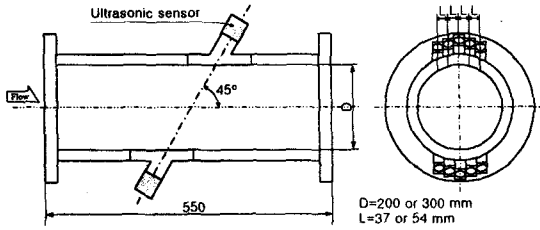


Fig. 1 Sensors location of Ultrasonic flowmeter

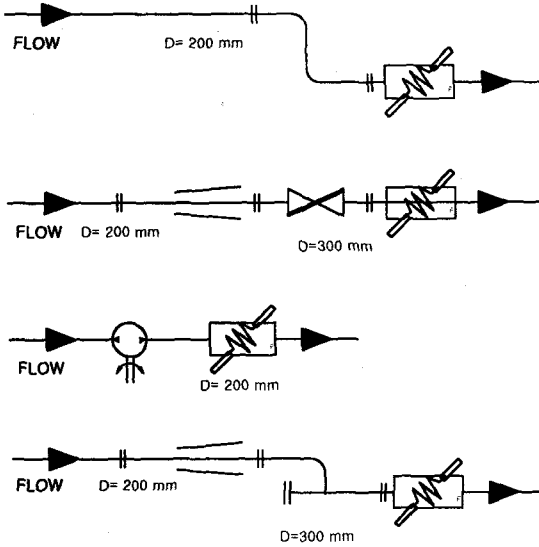


Fig. 2 Schematic diagram of pipe configurations

되어 있으며 센서와 축간의 각도는 45° 이다. 1쌍의 각 센서는 초음파를 수신 및 발신을 한다. 초음파의 진행 방향과 유동 방향이 같을 때는 초음파의 진행 속도는 유속의 $\cos 45^\circ$ 만큼 빠르고, 유동 방향과 반대 방향일 때는 유속의 $\cos 45^\circ$ 만큼 느리게 된다. 따라서 초음파의 전달 시간차는 다음 식과 같다.

$$\Delta t = L/(C-V \cos 45^\circ) - L/(C+V \cos 45^\circ) \quad (1)$$

위 식에서 전달 시간차를 구하면 초음파의 진행 방향의 평균 유속을 얻게된다. 이 선 평균 유속을 관 단면에서 적분하면 유동율이 얻어지고 단면적으로 나누어 관 단면의 평균 유속을 구한다.

Fig. 2는 다회선 초음파 유량계의 배관 형상에 의한 유속 분포의 영향을 실험한 밸브, 엘보, 티의 설치 위치이다. 또한 펌프 후단에서 펌프에서 발생하는 맥동

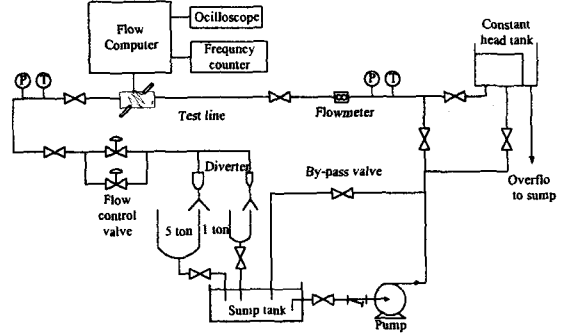


Fig. 3 Diagram of test system

및 비정상적인 유속 분포의 영향을 실험하였다.

다회선 초음파 유량계의 특성을 실험한 액체 유량 측정 표준 시스템은 Fig. 3과 같다. 초음파 유량계의 출력은 유량 컴퓨터에서 지시하며 오실로스코프와 주파수 측정기를 보조 측정 장치로 사용하였다. 시험 유체인 물은 펌프(75 hp)로 높이가 18 m인 head tank에 보내서 안정된 수두로 시험 관로에 유입된다. 시스템의 용량 한계 때문에 관 직경 300 mm에서 관내 평균 유속이 1m/s 이상인 경우에는 펌프로 직접 유동을 발생시켜 실험을 수행하였다. 유동율은 유량 제어 밸브로 조절하며 수집 탱크에 수집된 물의 무게를 유동율에 따라서 1톤 혹은 5톤 용량의 로드셀로 측정한다. 이 시스템의 용량은 $400 \text{ m}^3/\text{h}$ 이며 확장 불확도는 $\pm 0.15\%$ 이다.

3. 실험결과

구경 200 mm의 엘보 2개가 같은 평면상에 있으며 엘보간의 거리가 0일 때 다회선 초음파 유량계의 특성은 Fig. 4와 같다. 이중 엘보의 후단 직관부 길이를 3D, 5D, 10D, 30D로 변화시키면서 다회선 초음파 유량계를 실험한 결과 직관부 길이를 증가시키면 편차 평균이나 표준편차의 평균은 작아지며 직관부 길이가 5D 이상만 되면 표준편차는 0.6%로 간접 교정방법으로 예측한 오차 범위내에 있다. 유속이 작아지면 초음파 유량계의 측정 오차가 커지고 데이터의 분산도 커진다.

Fig. 5는 butterfly 밸브 후단 직관부 길이가 0D, 1.2D, 4D, 13D, 및 밸브가 없는 경우에 접속 구경 300 mm의 실험 결과이다. 밸브 후단 0D 에 초음파 유량계를 설치하면 유속이 약 0.2 m/s에서 오차가 7-9.5%

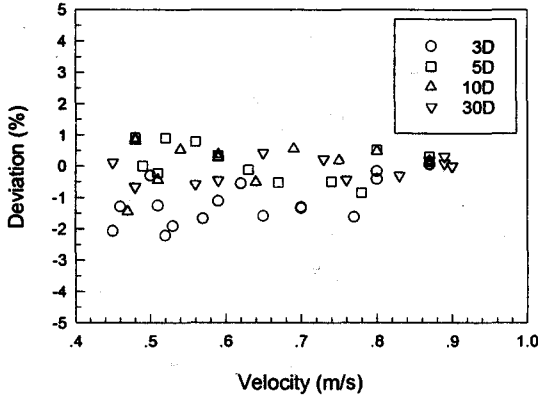


Fig. 4 Test results at the downstream of double elbow

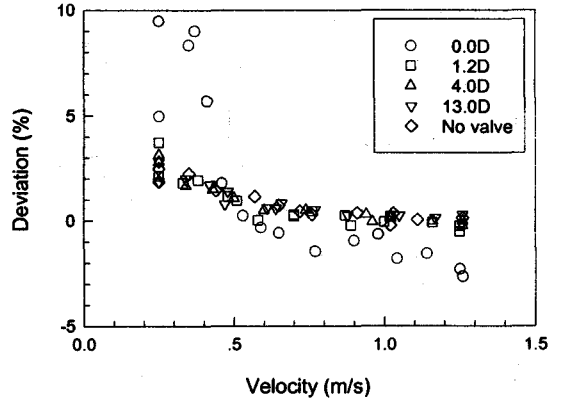


Fig. 5 Test results at the downstream of butterfly valve

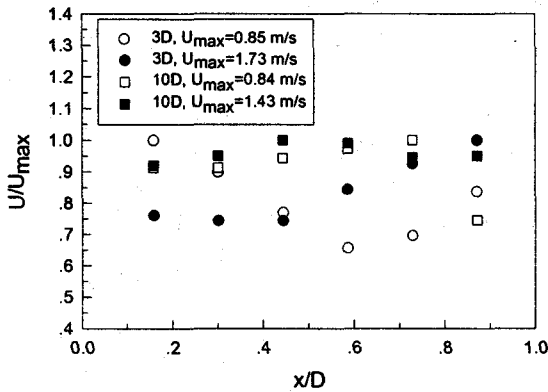


Fig. 6 Velocity distribution at the downstream of pump

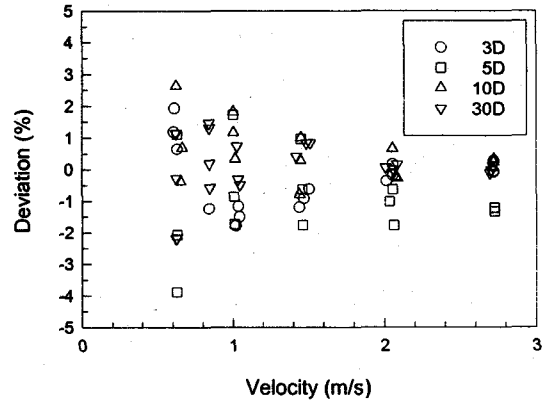


Fig. 7 Test results at the downstream of pump

정도이고 1m/s 이상에서는 오차가 -2에서 -3% 정도 이므로 유량 측정 오차가 +에서 -로 변하는 경향을 보여주고 있다. 밸브 후단에서 약 1D만 떨어지면 초음파 유량계의 측정 오차는 작아지며 직관부 길이의 영향을 크게 받지 않는 것을 알 수 있다.

펌프 후단의 3D, 10D에서 피토판으로 측정된 유속 분포는 Fig. 6과 같다. 3D에서는 유속 분포는 상당히 비대칭이며 유속이 낮으면 비대칭성은 커지며 스월이 존재함을 알 수 있다. 10D에서는 유속 분포가 많이 발달된 것을 알 수 있다. 이러한 유속 분포에서 초음파 유량계의 특성 실험 결과가 Fig. 7이다. 유속 분포에서 알 수 있듯이 펌프 후단 10D에서의 초음파 유량계의 유량 측정 오차의 표준편차는 30D에서 결과와 비슷하다. 그리고 유속 분포의 비대칭성이 크고 스월이 큰 경우인 3D, 저속에서 측정오차와 표준편차(1%)는

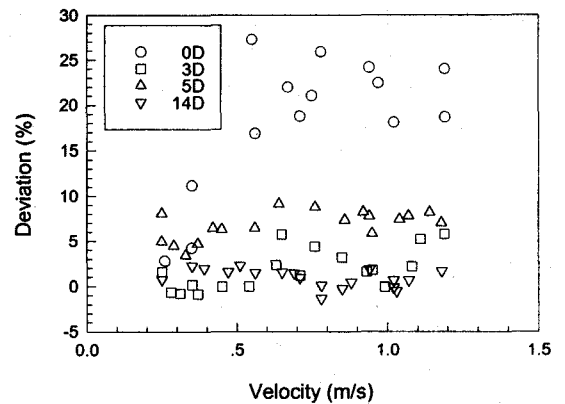


Fig. 8 Test results at the downstream of tee

크게 나타난다. 200 mm 확관부와 300 mm 엘보, 티 후단의 직관부 길이를 0D, 3D, 5D, 14D로 변화시키면서 얻은 초음파 유량계의 특성이 Fig. 8이다. 이러한 배관 형상에서는 비대칭 속도분포가 매우 크며 스월이 매우 강한 경우이다. 이 경우에 티 후단 0D에서는 초음파 유량계의 측정 오차가 매우 크며 표준편차(7.3%)도 크다. 그러나 14D 정도 후단에서는 비대칭 속도 분포가 어느 정도 완화되어 측정 오차와 표준편차(1.02%)가 줄어들어 유량계를 설치하여 유량 측정을 할 수 있다.

4. 결 론

다회선 초음파 유량계의 특성 실험 결과 매우 강한 비대칭 유속 분포와 스월이 존재하면 다회선 초음파 유량계의 특성, 즉 적분오차에 영향을 미치며 그 중에서 비대칭 유속 분포가 적분오차에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 즉 비대칭 유속 분포를 발생시킬 수 있는 배관 부품에서 약 10D 이상 떨어진 곳에 다회선 초음파 유량계를 설치하면 flow conditioner를 설치하지 않아도 측정 오차를 감소시킬 수 있다.

참고 문헌

- (1) Park, K. A., et. al., 1998, "Error verification of multi-path ultrasonic flowmeter", Proceedings of the 9th International Conference on Flow Measurement, FLOMEKO'98, pp. 133-136.
- (2) 박경암, 백중승, 1995, "다회선 초음파 유량계의 오차시험 방법," 한국표준과학연구원, KRISS-95-130-IR
- (3) van der Kam, P. M. A., 1998, "Installation effects on multi-path ultrasonic flowmeters: The International Symposium.
- (4) McCarthy, R., 1997, "Multi-path ultrasonic gas flowmeter international approval and history", FEDSM97-3003.
- (5) Yeh, T. T. and Mattingly, G. E., 1997, "Computer simulations of ultrasonic flow meter performance in ideal and non-ideal pipe flows". FED SM97-3012.