

# 유량측정을 위한 초음파 전파경로 비교

## Comparison of Ultrasonic Paths for Flow Rate Measurement

김주완<sup>‡</sup> · 박춘광\* · 김대종\* · 김진오<sup>†</sup> · 김동현\*\*

Ju Wan Kim, Chunguang Piao, Dae Jong Kim, Jin Oh Kim, Dong Hyun Kim

**Key Words** : Ultrasound(초음파), Path(경로), Flow Rate(유량), Transducer(변환기), Transit Time(전파시간)

### ABSTRACT

The paper deals with the accuracy comparison between two kinds of ultrasonic paths for flow rate measurement. In the Z-path, two transducers are installed on the opposite side of each other on a pipe, and the ultrasonic waves generated of one transducer propagate and arrive at the other one only through refraction. In the V-path, two transducers are installed on one side of a pipe, and the ultrasonic waves reflected at the inner wall of the pipe are received. The backgrounds were established to select one path to fit the usage by considering the advantages and disadvantages.

### 1. 서 론

초음파 기술은 센서 또는 액추에이터에 다양하게 활용된다.<sup>(1)</sup> 그 중 하나인 초음파 유량계는 현장 설치가 편리하고 정밀 계측이 가능한 장점이 있다.<sup>(2)</sup> 파이프에 설치되는 대표적인 방식은 Fig. 1에 보인 바와 같이 ① Z-path 또는 ② V-path이다. 두 방식에 각각 장단점이 있으므로, 용도에 맞게 선택되기 위해서는 우선 계측 정확도가 확인되어야 한다.

초음파 유량계용 트랜스듀서는 주로 압전소자를 기본으로 하고 췌기(wedge) 형태의 입사각 조절 매질로 구성된다. 이러한 매질에서 초음파의 전파와 파이프 경계면에서의 굴절 등이 연구된 바 있다.<sup>(3)</sup>

본 논문은 유량측정을 위한 초음파 Z-path와 V-path의 정확도를 비교하고자 한다. 이를 위해 파이프에 여러 유속의 유동이 있는 상태에서 유량 측정을 하여 실험결과를 비교한다.

### 2. 초음파 전파경로

Z-path는 Fig. 1에서 ①번 경로로서, 두 트랜스듀서가 서로 파이프의 반대편에 설치되어, 송신된 초음파가 굴절 투과만을 거쳐 수신된다. V-path는 Fig. 1에서 ②번 경로로서, 두 트랜스듀서가 같은 편에 설치되어, 유체를 지난 초음파가 배관 내벽에서 반사된 후 수신된다.

Fig. 1에서 전파 경로에 표시된 화살표는 유동의 순방향, 즉 하류방향으로 전파하는 경우를 나타낸다. 이 때 전파속도는  $u_d = u_0 + V\sin\theta$  이다. 여기서  $u_0$ 는 정지 유체에서 초음파 전파속도이고,  $V$ 는 유

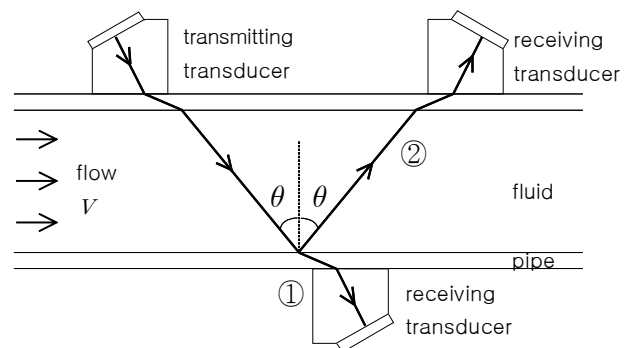


Fig. 1 Ultrasonic paths; ① Z-path, ② V-path

<sup>†</sup> 교신저자; 정희원, 숭실대학교 공과대학 기계공학과  
E-mail : jokim@ssu.ac.kr

Tel : 02-820-0662, Fax : 02-820-0668

<sup>‡</sup> 발표자; 정희원, 숭실대학교 대학원 기계공학과

\* 정희원, 숭실대학교 대학원 기계공학과

\*\* 한국파나메트릭스(주)

속이다. 유동의 역방향, 즉 상류방향으로 전파하는 경우에는 전파속도가  $u_u = u_0 - V \sin \theta$  이다. 두 전파속도의 차이로부터 다음 관계식이 나온다.

$$V = \frac{u_d - u_u}{2 \sin \theta} \quad (1)$$

유체에서 초음파 전파거리를  $P$ , 그에 해당하는 유체 이동거리를  $L$ 이라 하면,  $u_d = P/t_d$ ,  $u_u = P/t_u$ ,  $\sin \theta = L/P$  이다. 여기서  $t_d$ 와  $t_u$ 는 각각 초음파 전파시간이다. 따라서 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$V = \frac{P^2}{2L} \left( \frac{1}{t_d} - \frac{1}{t_u} \right) \quad (2)$$

거리 정보와 시간 측정 결과로부터 유속  $V$ 를 알 수 있다.

V-path 방식은 두 트랜스듀서를 함께 고정시키는 지그(zig)를 사용할 수 있어서 설치가 쉽고, 전파거리를 충분히 확보하여 측정 정확도가 높다. 그러나 직관 길이가 짧으면 사용할 수 없고, 파이프 내벽이 부식되어 있으면 초음파 반사가 제대로 되지 않아 측정이 되지 않는다. 이런 때에는 Z-path 방식을 사용한다.

Z-path와 V-path의 트랜스듀서 설치는 Fig. 2와 같다. Fig. 3은 두 가지 방식으로 수신된 신호를 보여준다. (b)에서 뒤의 신호가 V-path를 거쳐 수신된 것이고, 앞의 신호는 파이프 표면을 따라 전파하여 수신된 것이다.

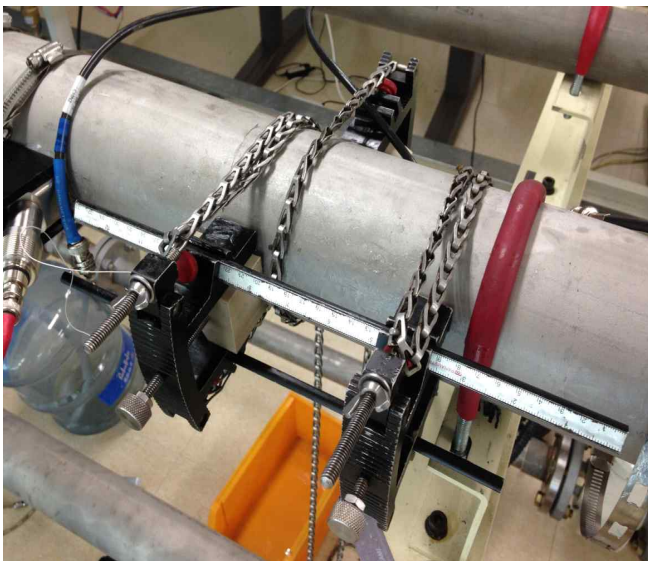
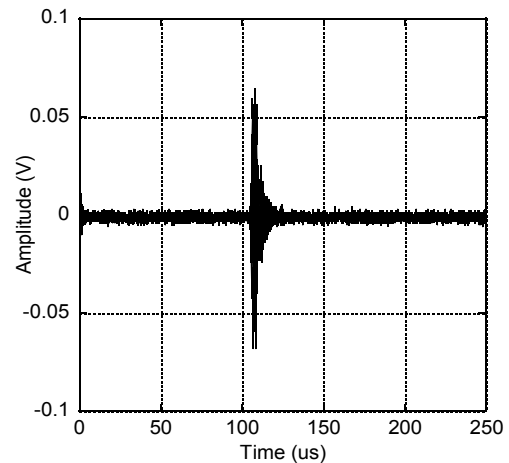


Fig. 2 Photograph of experiment

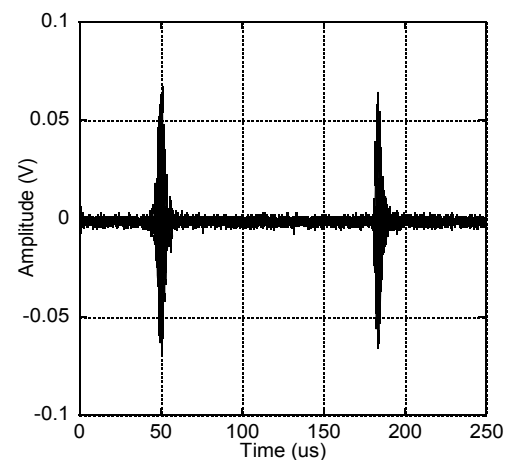
### 3. 유량 측정

자체 제작한 트랜스듀서를 사용하여 Z-path와 V-path에서 수신파의 파형을 획득한 후 유량을 측정하였다. 유량은 파이프 내 단면적과 유속의 곱이다. 측정된 유량을 교정된 전자유량계의 수치와 비교하였다. 유량이 안정된 후 1초마다 측정되는 유량을 30회 측정하여 평균값을 사용하였다.

실험에 사용된 트랜스듀서의 설계는 앞서 보고된 과정을 따랐다.<sup>(3)</sup> 계측기로는 General Electric사의 AT868 Controller를 사용하였고, 기준으로 사용되는 전자유량계에는 교정된 제품을 사용하였다. 전자유량계의 수치를 기준(reference)으로 하여 Z-path와 V-path에서 측정된 유량을 Fig. 4에 나타냈다.



(a) Z-path



(b) V-path

Fig. 3 Received signals of Z-path and V-path

## 후 기

본 연구는 한국파나메트릭스(주)의 산학연구과제 지원으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) Kim, J. O., 2000, Ultrasonic Sensors and Actuators, Transactions of the KSNVE, Vol. 10, No. 5, pp. 723~728.
- (2) Lynnworth, L. C., 1989, Ultrasonic Measurements for Process Control, Academic Press, New York, Ch. 4.
- (3) Kim, T. E., Chun, H. Y., Kim, J. O., Park, J., 2010, Mode Conversion and Energy Transmission Ratio of Elastic Waves, Transactions of the KSNVE, Vol. 20, No. 3, pp. 296~307.

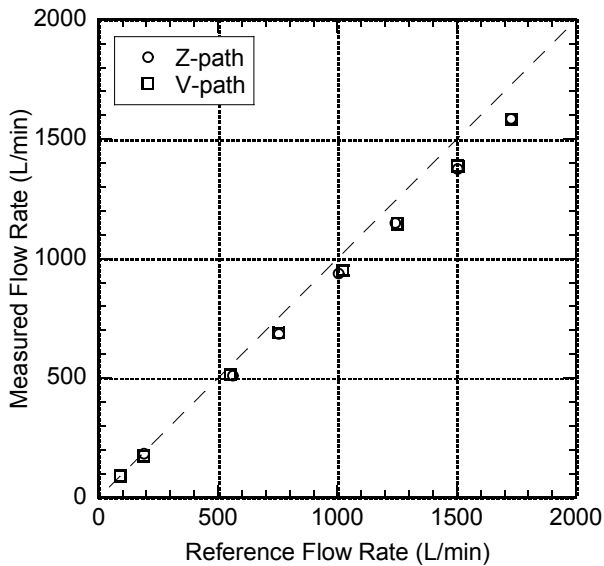


Fig. 4 Comparison between the measured flow rates of Z-path and V-path

Fig. 4에서 보듯이 두 경로의 측정결과가 비슷하였다. 전자유량계 대비 8% 정도의 일정한 오차가 발생했는데, 이는 설치오차로서 계측기 보정으로 해결될 수 있다.

## 4. 결 론

초음파 유량측정에 사용되는 두 가지 초음파 전파경로를 유량측정으로 비교하였다. Z-path와 V-path에서 측정된 유량 값이 서로 유사하게 나타났다. 각 경로 방식의 장단점을 고려하여 용도에 맞게 선택하여 사용할 수 있다.