

# 곡관후단의 직관거리와 센서위치에 따른 초음파유량계의 오차특성

이 동 근\* · 조 용\*\*

\* 한국수자원공사

## Error Characteristics of Clamp-on Ultrasonic Flowmeters Depending on Location of Sensors and Downstream Straight Run of Bent Pipe

Dong Keun Lee\* and Yong Cho\*\*

\* Korea Water Resources Corporation

(Received March 28, 2011 ; Revised May 16, 2011 ; Accepted May 17, 2011)

**Key Words:** Clamp-on Type(건식), Ultrasonic Flowmeter(초음파유량계), Straight Run(직관거리), Flow Disturbance(유동교란인자), Intrinsic Error(고유오차), Double Bent Pipe(2중 곡관), Flying Start and Finish Method(유통법), Uncertainty(불확도)

**초록:** 관로를 통과하는 유체의 양을 측정하기 위해 설치된 유량계는 주기적인 교정과 비교측정을 통하여 측정의 정확도와 신뢰성을 확보하고 있다. 이때 사용되는 기준기는 휴대용 즉 센서가 관로의 외벽에 부착되는 건식 초음파유량계이며 사용되는 측정센서의 수량에 따라 1회선, 2회선, 4회선으로 구분된다. 본 연구의 대상은 K-water에서 주로 사용하고 있는 유량계를 선정 한 후 직관거리가 충분히 확보된 상태에서 실험대상 유량계가 갖는 고유오차와 유동교란인자인 2중 곡관 후단에서의 직관거리별 오차에 대한 특성실험을 실시하였다. 실험결과를 기준으로 허용오차를 만족하는 센서위치 즉, 관로외부에 부착하는 각도와 곡관 후단으로부터의 이격거리 및 최적의 회선수를 제시하여 유량측정기술 향상을 통한 수처리 공정관리 및 유수율 제고기반을 마련하였다.

**Abstract:** Flowmeters that measure the amount of fluid passing through conduits must kept accurate by comparison and the periodic calibration. The reference meters used are clamp-on meters that mount sensors on the outer wall of the pipe. They are called 1-path, 2-path or 4-path flowmeters depending on the number of sensors. We selected a flowmeter mainly used for K-water as test a flowmeter. We carried out experiments to find the intrinsic error of the flowmeter and errors in the downstream of a double bent pipe. The results show that there are the sensor locations that meet the tolerance. We suggested the angle of the sensor, the straight run from the downstream of the bent pipe and the number of sensors. So it is possible to improve the water treatment process and increase the accounted water rate by upgraded flow measurement technology.

- 기호설명 -

$q$  : 유량 (m<sup>3</sup>/h)  
 $W_{ms}$  : 수집된 질량 (kg)  
 $t$  : 수집시간 (s)  
 $\rho$  : 물의 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_a$  : 공기의 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_p$  : 분동의 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $u_c$  : 합성표준불확도  
 $u(x_i)$  : 표준불확도

$u_i(q)$  : 불확도기여량  
 $c_i$  : 감도계수  
 $X_i$  : 변수  
 $D$  : 관경 (mm)  
 $V$  : 유속(m/s)  
 $\%RD$  : 지시정확도(% of Reading)  
 $RM$  : 기준유량계(Reference meter)  
 $UTD$  : 실험유량계(Under tested meter)

### 1. 서 론

정수처리과정의 공정관리나 수돗물의 양을 계량하여 요금을 부과하는 기준으로 사용하는 유량

† Corresponding Author, ycho@kwater.or.kr

계는 편차시험, 공인기관의 교정을 필하여 사용하도록 수도법과 국가표준기본법에 규정되어 있다. 수도의 특성상 편차시험이나 교정을 위하여 유량계를 철거 할 경우 단수가 수반되기 때문에 수요자에게는 불편이 따른다. 따라서 유량계가 설치되어 있는 상태에서 시험 또는 교정을 실시하기 때문에 휴대용초음파유량계를 기준기로 사용하는 방법을 이용하고 있다. 초음파는 지향성, 투과, 반사, 굴절 등의 특성을 갖고 있으므로 고체, 액체, 기체에서도 파동이 잘 전달된다.<sup>(1)</sup> 이런 특성을 이용하여 전파시간을 측정하고 각종 연산에 의하여 유량을 구하는 초음파유량계는 측정관 내부에 기계적인 구동부나 돌출부가 없어 측정면이나 유동 흐름 측면에서 매우 유리하다. 따라서 초음파유량계는 구조적으로 유지보수가 용이하고, 측정관의 구경이 커져도 제작비용이 증가하지 않는 장점을 갖고 있으므로 유량측정분야에서 적용범위가 해마다 넓어지고 있다.<sup>(2)</sup> 다만 초음파유량계의 측정정확도를 향상시키기 위해서는 유체역학적인 제 문제 즉, 측정 유로의 레이놀즈수의 변화, 유로 내의 벽면 거칠기, 난류강도, 대칭/비대칭 유동, 유체 내의 온도구배, 초음파 변환기의 유로 내 돌출 정도, 유속적분방법 등 다양한 불확도 요인들을 해결하여야 한다.<sup>(3)</sup> 현재 유량계 교정검사 및 비교측정은 휴대용 초음파유량계 1회선으로 실시하고 있으며, 특히 검침용 유량계의 경우 검침된 유량이 직접 요금으로 부과되기 때문에 측정의 신뢰성이 확보되지 않으면 요금분쟁 등의 민원으로 직결된다. 수량측정용 유량계에 대한 비교측정의 경우도 측정정확도가 보장되지 않으면 유수율 관리에 큰 영향을 준다.

전파시간을 이용한 초음파유량계의 유량측정 방법은 ISO 규격을 번역하여 KS B ISO/TR 12765<sup>(4)</sup>로 제정되어 있다. 동 규격에는 직관거리가 정량화 되어 있지 않고 KS B ISO 9951(터빈미터), KS B ISO 5167(차압식유량계)를 따르도록 권고하고 있다. 다만 환경부지침인 유량계설치 및 유지관리에 관한 지침에 상류 10D 이상, 하류 5D 이상의 직관부를 확보하도록 규정하고 있다. 외국의 경우는 1987년에 발행된 일본전기계측기공업회규격에 90° 곡관 1개에 대한 직관거리가 규정되어 있다.<sup>(5)</sup> 과거의 연구결과로는 1990~1991 한국표준과학연구원에서 수행한 형식별 유량계의 설치조건에 따른 특성분석과 2004~2005

K-water에서 자체 수행한 유량계 형식별 오차특성 조사를 통한 현장적용 연구 등이 있다.<sup>(6)</sup> 그러나 2중 곡관에 대한 기준이나 연구 수행결과가 없으므로 동 조건 중 동일 평면에 90° 곡관이 2개 설치된 경우의 편차특성 실험을 계획하였다. 또한 유량계 현장교정 및 비교 측정 시 곡관 등의 유동교란인자로 인해 관로 내부의 유동특성이 변화하여 초음파유량계 1회선을 사용하는 경우 측정의 신뢰성이 떨어져 수익 감소 및 유수율 관리에 악영향을 초래 할 수 있다. 본 연구의 목적은 유량계 현장교정 및 비교 측정 시 측정정확도를 향상시키기 위해 K-water에서 주로 사용하고 있는 상위 3개사의 각 2회선을 실험대상으로 선정하고 충분한 직관거리가 확보된 상태에서 각 유량계가 갖는 고유편차와 2중 곡관에 후단에서의 편차에 대한 실험을 통하여 회선수 증가와 직관거리 뿐 아니라 센서의 설치위치를 고려한 유량 측정기술을 고급화하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 초음파유량계의 편차실험 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 한국인정기구(KOLAS)에서 인정한 교정설비의 개략도이며 동 설비의 개략기능과 구성은 다음과 같다.<sup>(7)</sup>

#### 2.1.1 유동발생장치

실험 유량에 따라 선택운전이 가능하도록 원심펌프 5대가 설치되어 있으며, 펌프에 의한 맥동과 진동을 흡수하고, 흡입수두의 변화에 영향을 받지 않고 안정된 유량이 실험관로에 공급되도록 지상 27.5 m 높이에 월류배관과 위어가 구비된 원형의 정압유지탱크로 구성되어 있다.

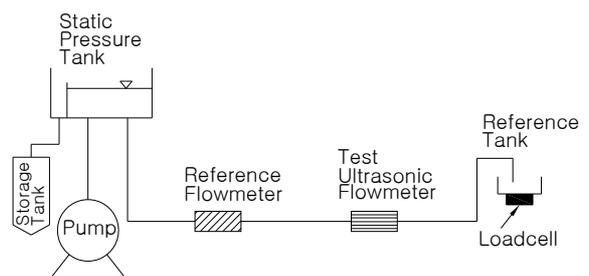


Fig. 1 Configuration of flowmeter test facility

2.1.2 실험관로

피교정유량계의 크기에 따라 선택이 가능하도록 최대 D=800 mm까지 구비되어 있으며 기준유량계인 전자기유량계는 상류측에 직경의 10배의 직관부를 확보하였다. 피교정유량계는 상류측에는 직경의 50배, 하류측에는 직경의 10배의 직관부를 확보하여 관내 속도분포의 영향이 최소화 되도록 하였다. 관로의 입출구에 유체의 온도와 압력을 측정하기 위한 온도계와 압력계가 구비되어 있으며 유량을 단계적으로 원활하게 조절하기 위한 주밸브와 바이패스밸브를 병렬로 설치하였다. 시험관로의 끝은 짧은시간에 유로전환장치가 통과할 수 있도록 폭은 좁고 길이가 긴 장방형으로 만들어져 있다.

2.1.3 중량측정장치

피교정유량계를 통과한 유체를 수집하여 기준으로 사용하기 위한 장치이며 수집탱크와 로드셀로 구성되어 있다. 수집탱크는 유량과 피교정유량계의 규격에 따라 선택하여 사용할 수 있도록 4종류(1톤, 6톤, 10톤 및 50톤)를 설치하였다. 탱크에 유체를 수집하는 방법은 유로전환장치인 다이버터를 이용하는 Flying Start and Finish 방법(유통법)을 사용하였다. 유로전환장치는 완충기능이 부가된 공기압실린더에 의해 작동된다.

2.2 실험설비의 불확도

유량계 교정시스템의 유량 측정을 위한 수학적 모델은 다음 요소들의 함수로 표현된다.<sup>(8)</sup>

$$q = f(W_{ms}, t, \rho, \rho_a, \rho_p) \tag{1}$$

유량 계산식은 다음과 같이 표현된다.

$$q = \frac{W_{ms}}{\rho t} \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_p}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho}} \tag{2}$$

식 (2)를 테일러 급수 전개를 이용하여 전개하면 그 결과는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} q &= \frac{W_{ms}}{\rho t} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_p}\right) \left(1 + \frac{\rho_a}{\rho}\right) \\ &= \frac{W_{ms}}{\rho t} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_p} + \frac{\rho_a}{\rho} - \frac{\rho_a^2}{\rho\rho_p}\right) \\ &= \frac{W_{ms}}{t} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\rho_a}{\rho\rho_p} + \frac{\rho_a}{\rho^2} - \frac{\rho_a^2}{\rho^2\rho_p}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

합성표준불확도를 구하기 위한 불확도 전파법칙은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \tag{4}$$

여기에서,

$$\left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) = c_i \text{는 감도계수(Sensitivity coefficient)}$$

식 (4)를 유량계 교정시스템의 수학적 모델식인 식 (1)에 적용하여 합성표준불확도를 구하면 식 (5)와 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} u^2(q) &= c_{W_{ms}}^2 u^2(W_{ms}) + c_t^2 u^2(t) \\ &\quad + c_{\rho}^2 u^2(\rho) + c_{\rho_a}^2 u^2(\rho_a) + c_{\rho_p}^2 u^2(\rho_p) \end{aligned} \tag{5}$$

따라서, 유량계 교정시스템의 합성표준불확도는 식 (3)을 식 (5)에 대입하고 유량에 영향을 미치는 각 인자별로 편미분하면 식 (6)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} u^2(q) &= \left[ \frac{1}{t} \left( \frac{1}{\rho} - \frac{\rho_a}{\rho\rho_p} + \frac{\rho_a}{\rho^2} - \frac{\rho_a^2}{\rho^2\rho_p} \right) \right]^2 \times u^2(W_{ms}) \\ &\quad + \left[ -\frac{W_{ms}}{t^2} \left( \frac{1}{\rho} - \frac{\rho_a}{\rho\rho_p} + \frac{\rho_a}{\rho^2} - \frac{\rho_a^2}{\rho^2\rho_p} \right) \right]^2 \times u^2(t) \\ &\quad + \left[ \frac{W_{ms}}{t} \left( -\frac{1}{\rho^2} + \frac{\rho_a}{\rho^2\rho_p} - \frac{2\rho_a}{\rho^3} + \frac{2\rho_a^2}{\rho^3\rho_p} \right) \right]^2 \times u^2(\rho) \\ &\quad + \left[ \frac{W_{ms}}{t} \left( -\frac{1}{\rho\rho_p} + \frac{1}{\rho^2} - \frac{2 \times \rho_a}{\rho^2\rho_p} \right) \right]^2 \times u^2(\rho_a) \\ &\quad + \left[ \frac{W_{ms}}{t} \left( \frac{\rho_a}{\rho\rho_p^2} + \frac{\rho_a^2}{\rho^2\rho_p^2} \right) \right]^2 \times u^2(\rho_p) \end{aligned} \tag{6}$$

50톤 수집탱크에 2,700 m<sup>3</sup>/h의 유량으로 60 s 동안 수집하여 불확도를 산출한 결과는 Table 1과 같다. 즉, 2,700 m<sup>3</sup>/h에 대한 불확도는 3.95 m<sup>3</sup>/h 이

Table 1 Uncertainty Budget

Variable $X_i$	Standard. Uncertainty $u(x_i)$	Sensitivity Coefficient $c_i$	Contribution Value $u_i(q)$
$W_{ms}$ (kg)	8.27	$1.67 \times 10^{-5}$	$1.38 \times 10^{-4}$
$t$ (s)	$8.7 \times 10^{-2}$	$-1.25 \times 10^{-2}$	$-1.09 \times 10^{-3}$
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$2.89 \times 10^{-4}$	$-7.51 \times 10^{-4}$	$-2.17 \times 10^{-7}$
$\rho_a$ (kg/m <sup>3</sup> )	$2.22 \times 10^{-4}$	$6.53 \times 10^{-4}$	$1.45 \times 10^{-7}$
$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$2.89 \times 10^{-1}$	$1.47 \times 10^{-8}$	$4.23 \times 10^{-9}$
$q$ (m <sup>3</sup> /h)			3.95

**Table 2** Specifications of ultrasonic flowmeters

Article	Maker A	Maker B	Maker C
Method	Transit-time	Transit-time	Transit-time
D (mm)	7~9,000	12.7~7,600	13~6,000
V (m/s)	-12~12	-12.2~12.2	-30~30
Accuracy	(0.5~1) %RD	(1~2) %RD	0.004 m/s (V ≤ 0.8 m/s)
Zero flow adj.	Manual	Auto	Auto

고 이 값을 신뢰수준 약 95 %에서의 상대확장불확도로 나타내면 0.3 %이며 이 값이 교정시스템의 최고측정능력이다.<sup>(9)</sup>

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 실험유량 결정

실험배관의 규격은  $D = 300$  mm이며 실험설비의 구조상 최대 가능유량은  $1,000$  m<sup>3</sup>/h이다. 따라서 실험유량을  $1,000$  m<sup>3</sup>/h,  $500$  m<sup>3</sup>/h,  $250$  m<sup>3</sup>/h,  $100$  m<sup>3</sup>/h 및  $50$  m<sup>3</sup>/h 등 5단계로 구분하여 저유량에서의 편차특성 실험에 초점을 맞추었다. 실험 환경조건은 압력 ( $2.6 \sim 2.9$ ) kg/cm<sup>2</sup>, 수온 ( $22.3 \sim 31.4$ ) °C이며 레이놀즈수는 약  $62,000 \sim 1,500,000$  범위로 잘 발달된 난류영역에서 실험이 이루어 졌다.

#### 2.3.2 제작사 선정

2010. 1 현재 K-water가 관리중인 유량계 중 초음파를 이용하는 방식은 656대이다. 이것을 제작사별로 구분하면 A사 27 %, B사 27 %, C사 12 %, D사 22 %, E사 6 % 및 기타 6 %로 구분된다. 이 중 D사 제품은 초음파센서가 유체와 접촉하는 습식방식이므로 실험대상에서 제외한 나머지 중에서 점유율이 높은 A사, B사, C사 제품을 선정하였으며 일반적인 사양은 Table 2와 같다.

#### 2.3.3 실험방법

ISO 4185 규정에 따르면 중량측정방식에 의한 실험의 경우 최대유량일 때 최소 30초,<sup>(10)</sup> 국제교정기관운영지침에 의하면 측정시간은 60초 이상을 기준으로 하고 있으나 실험시간단축 및 편리성을 고려하여 기준유량계 방식으로 실시하되 측정시간은 200초를 기준으로 실시하였다. 실험횟수는 제작사, 센서부착위치 및 유량을 조합한 각각에 대해 3회의 실험을 실시한 후 그 평균값을 적용하였다. 편차실험의 기준기로 사용하게 될

기준유량계인 전자기유량계는 중량측정법을 이용하여 최대유량  $1,000$  m<sup>3</sup>/h으로 교정하였으며, 측정 불확도는 0.4 %이다. 실험 대상은 직관거리가 40D 이상 충분히 확보된 상태에서 유량계가 갖는 고유특성과 2중 곡관후단의 직관거리별 특성에 대한 실험으로 결정하였다. 1회선의 고유특성 실험은 제작사 3개, 센서부착위치 4개소( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ) 및 5가지 유량에 대해 실험을 실시하였다. 센서부착각도는 Fig. 2와 같이 유체가 흐르는 방향을 등지고 관 상부는  $0^\circ$ , 우측  $45^\circ$ 는  $45^\circ$ , 좌측  $45^\circ$ 는  $135^\circ$  및 우측  $90^\circ$ 는  $90^\circ$ 로 정의 하였다. 2회선은 각 사의 2회선을  $45^\circ + 135^\circ$ 에 부착하고, 4회선은 3개사 중 2개사의 각 2회선을 조합, 센서를 Fig. 6과 같이  $135^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ 의 순서로 부착한 후 실험을 실시하였다. 2중 곡관 후단의 실험을 위한 직관거리는 3D, 5D, 10D 및 15D로 선정하였고 센서부착위치는 1회선과 4회선은 고유특성실험의 경우와 같고 2회선은  $45^\circ + 135^\circ$ ,  $0^\circ + 90^\circ$  등 2개소에 대하여 실험을 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 고유편차특성

#### 3.1.1 실험배관 구성

실험대상 유량계의 규격이  $D = 300$  mm이므로 유량계 교정시스템의 기준유량계인 전자식유량계의 하류방향으로 구경의 40배를 이격시킨 지점에 실험방법에 따라 초음파센서를 제작사별로 1회선, 2회선, 4회선 등으로 부착한 후 각 유량별 편차특성이 분석되도록 하였다.

#### 3.1.2 회선별 편차특성

실험대상 유량계를 1회선으로 사용할 경우의 고유편차특성에 대한 실험결과는 Fig. 3과 같다. 횡축은 실험유량(m<sup>3</sup>/h)이며 종축은 편차를 나타낸 값으로 식 (7)의 의미를 갖는다.

$$Deviation(\%) = \frac{\text{측정값} - \text{기준값}}{\text{기준값}} \times 100 \quad (7)$$

범례에는 유량계 제작사와 센서의 부착위치를 조합하여 표기하였다. A사의 경우 최대편차는 4.15%(0.19 m/s, 50 m<sup>3</sup>/h)이며, 유량이 증가함에 따라 편차는 점차 감소되어 실험 최대 유량인  $1,000$  m<sup>3</sup>/h(3.95 m/s)의 경우에 0.27 %이다. 센서설

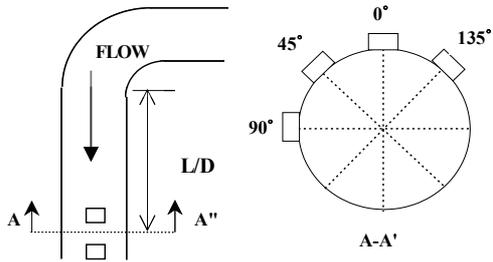


Fig. 2 Mounting angle of sensors

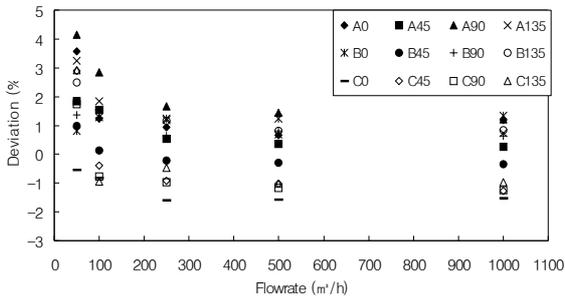


Fig. 3 Intrinsic errors of 1-path flowmeter depending on the location of sensors

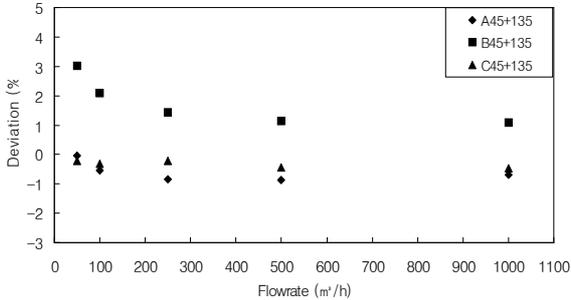


Fig. 4 Intrinsic errors of 2-path flowmeter depending on the location of sensors

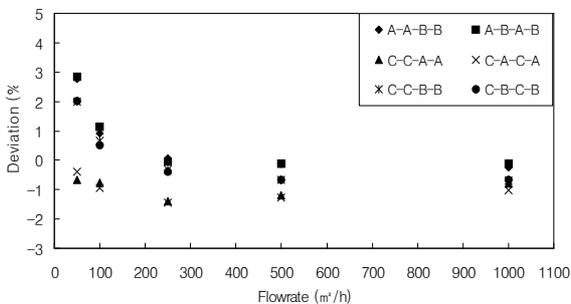


Fig. 5 Intrinsic errors of 4-path flowmeter combined of 2 units

치 위치에 따른 편차는 유량이 감소할수록 증가하는 추세를 보이고 있으며, 전체 유량에 대하여 수도법이 제시하는 허용편차인  $\pm 2\%$  이내를 보

는 지점은 센서위치가  $45^\circ$  되는 지점으로 나타났다.

B사와 C사의 편차 분포도 A사와 동일한 형태를 보이고 있다. 유량이  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 에서 최대편차는 B사  $2.49\%$ , C사  $2.91\%$ 를 나타내고 있으며 유량이  $1,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 에서는 B사  $-0.33\%$ , C사  $-1.51\%$ 로 측정되었고 편차 패턴은 B사는 “+” 편차를, C사는 “-” 편차로 나타났다.

3사 공통적으로 유량  $250 \text{ m}^3/\text{h}$  이상에서는  $\pm 2\%$  이내의 편차를 보였으나  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  유량에서는 A사 ( $1.84 \sim 4.15\%$ ), B사 ( $0.82 \sim 2.49\%$ ), C사 ( $-0.53 \sim 2.91\%$ )의 편차로 센서 설치 위치에 따라 많은 차이를 보이고 있다.

위의 시험결과를 보면 모든 유량에서 허용편차를 만족시키기 위한 센서의 설치 위치는 A사, B사는  $45^\circ$ , C사는  $0^\circ$ 로 나타나는 등 센서설치 위치의 중요성을 확인하였다.

2회선 초음파 유량계를  $45^\circ + 135^\circ$ 에 설치할 경우 유량 측정 편차는 Fig. 4와 같다. 좌표축의 정의는 1회선의 경우와 같고 범례표기는 제작사 기호와 센서부착위치를 합성하여 A45 + 135, B45 + 135 및 C45 + 135로 표기하였다. Fig. 3과 Fig. 4를 비교해보면 A사와 C사의 경우 1회선보다 2회선으로 사용할 경우 편차가 훨씬 작아진 것을 알 수 있다. 그러나 B사의 경우에는 오히려 2회선이 편차가 커졌으며 특히 유량  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이하에서는  $\pm 2\%$  이상의 편차를 나타내고 있다. 따라서 2회선을 사용할 경우, A사와 C사의 제품을 사용하는 것이 바람직함이 확인되었다.

4회선의 경우는 3사의 2회선 제품을 조합하여 편차특성을 실험하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. 범례에는 센서를 부착하는 각도인  $135^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  및  $90^\circ$  위치에 제작사 기호를 표기하였다. 즉 A-A-B-B, A-B-A-B, C-C-A-A, C-A-C-A, C-C-B-B, C-B-C-B 등 6개의 경우에 대한 실험결과 A사와 C사의 조합인 C-C-A-A, C-A-C-A에서 가장 작은 편차분포를 보이고 있다. Fig. 6은 2회선 센서를 조합한 예를 나타내고 있다.

### 3.2 곡관후단의 편차특성

#### 3.2.1 실험장치 구성

실험배관의 개략도는 Fig. 7과 같이 유량측정의 기준이 되는 기준유량계의 하류에 유동형태의 변화가 상대적으로 클 것으로 예상되는  $90^\circ$  곡관 2

개를 동일평면상에 설치한 후 직관거리별 실험유량계를 설치하기 위한 직관을 확보한 후 다시 90° 곡관을 통해 유량계 교정 관로로 복귀하는 것으로 구성하였다.

3.2.2 곡관후단의 편차특성

1회선 초음파유량계의 제작사별, 센서위치별 편차특성 실험결과는 Fig. 8 ~ Fig. 11과 같다. 횡축은 유량(m<sup>3</sup>/h), 종축은 편차(%)를 나타내고 있으며 범례는 제작사명-센서설치각도-직관거리의 순으로 표기하였다. A사가 B사, C사 보다 전반적으로 양호한 편차를 보이고 있다. 허용편차인 ±2% 이내를 유지하기 위해서는 10D의 직관거리가 필요함이 확인되었다. 센서의 위치가 45°인 경우에 가장 양호하게 모든 영역에서 ±1% 내외의 편차를 나타냈으며 센서가 135°에 설치된 경우에

(0.81 ~ -3.92)%의 큰 편차범위를 나타내는 등 센서위치의 중요성을 확인하였다.

B사는 센서설치 위치 및 직관거리에 따라 (10.43 ~ -3.14)%의 편차를 보이고 있어 그 차이가 크게 나타났으며, 15D의 직관거리가 확보되어야 ±2% 이내의 편차를 확보할 수 있다. 그러나 센서의 각도가 135°인 경우에는 15D 이상의 직관거리가 필요함을 확인하였다.

C사의 경우 실험을 실시한 모든 유속에서 “-” 편차를 나타냈으며, 일부를 제외하고는 허용편차범위를 유지시키기 위해서는 15D 이상의 직관거리가 필요함을 확인하였다. 이 경우 상류에 유동교란자인 곡관이 있을 경우 현장 교정검사를 실시할 때는 실험결과를 기초로 편차를 보정하여 사용해야 할 것으로 판단된다.

2회선 건식 초음파유량계의 편차실험은 센서위치를 0°+90°와 45°+135°에 설치한 2가지 경우에 대하여 실시하였고 실험결과는 Fig. 12와 Fig. 13에 나타냈다. 횡축은 유량(m<sup>3</sup>/h), 종축은 편차(%)를 나타내고 있으며 범례는 제작사명-센서각도의 조합-직관거리의 순으로 표시하였다. 실험결과는 A사, B사는 모두 “-” 편차를 보이는 등 3사 제품 모두가 비슷한 패턴을 나타내고 있으나 모든 영역에서 허용편차범위를 벗어나고 있다. 상대적으로 A사 유량계가 양호한 결과를 보이고 있다.

4회선의 경우에는 A사, B사, C사의 2회선을 조합하여 3개의 경우에 대한 실험을 하였으며 그 결과는 Fig. 14와 같다. 좌표축은 전술한바와 같고 범례는 회선조합-직관거리의 순서로 표시하였다. 실험결과 모든 위치에서 “-” 편차와 허용편차범위를 크게 벗어난 것이 확인되었다.

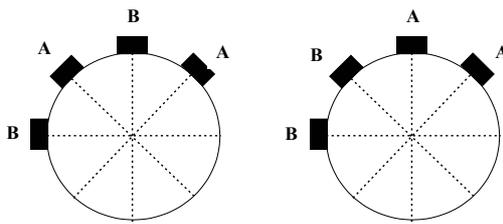


Fig. 6 Examples of combination for sensors

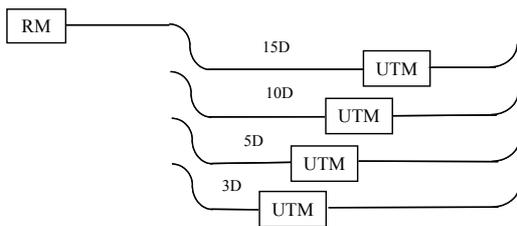


Fig. 7 Schematic diagram of double bent pipe

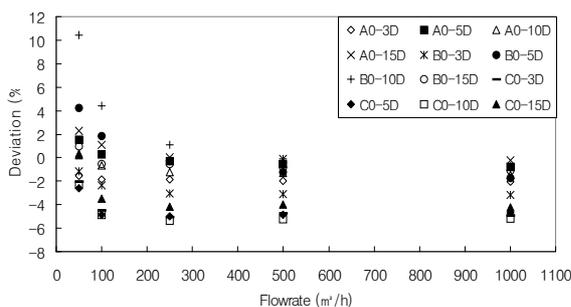


Fig. 8 Errors at the angle of 0 degrees of double bent pipe for 1-path flowmeter

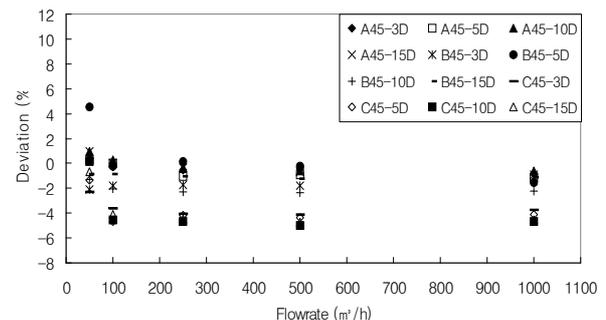


Fig. 9 Errors at the angle 45 degrees of double bent pipe for 1-path flowmeter

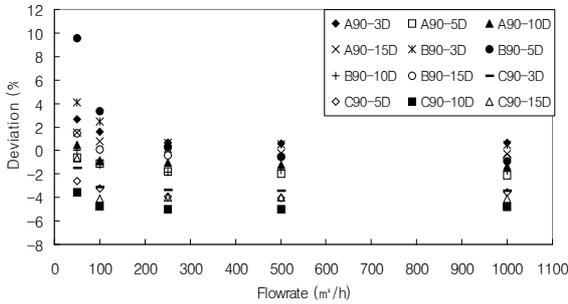


Fig. 10 Errors at the angle 90 degrees of double bent pipe for 1-path flowmeter

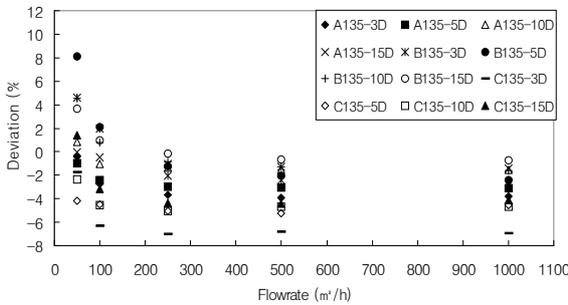


Fig. 11 Errors at the angle 135 degrees of double bent pipe for 1-path flowmeter

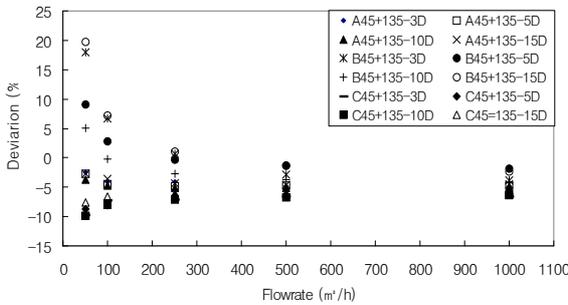


Fig. 12 Errors at the angle 45 and 135 degrees of double bent pipe for 2-path flowmeter

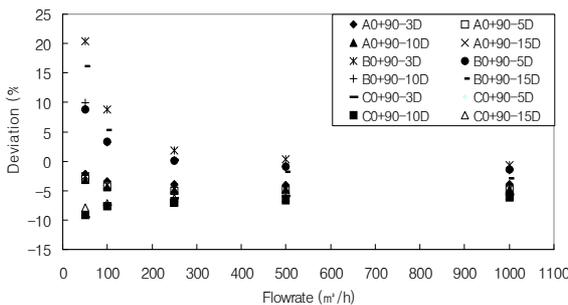


Fig. 13 Errors at the angle 0 and 90 degrees of double bent pipe for 2-path flowmeter

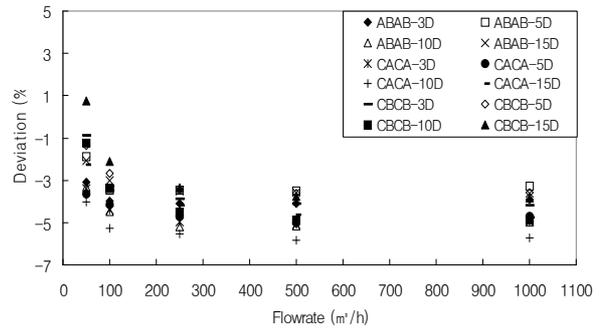


Fig. 14 Errors of double bent pipe for 4-path flowmeter

#### 4. 결론

현장 출장용 기준기로 사용하고 있는 건식 초음파유량계의 편차특성을 확인하기 위한 실험을 실시하였다. 실험은 2가지 즉, 직관거리가 충분히 확보된 상태에서 유량계가 가지고 있는 고유 편차와 유동교란인자인 2중 곡관 후단에서의 직관거리별 편차실험을 실시한 결과 각사의 최적설치 위치가 다르게 분석되었으며, 편차특성의 개선을 위해서는 단순히 회선수와 직관거리뿐 아니라 센서의 설치위치를 고려하여야함을 확인하였다.

(1) 고유편차특성 실험결과 유량계의 허용편차인  $\pm 2\%$  이내를 유지시키기 위한 센서의 설치위치로 1회선은 A사  $45^\circ$ , B사  $45^\circ$ , C사  $0^\circ$  이며, 2회선은  $45^\circ + 135^\circ$  위치에 A 또는 C사 제품으로 설치하고 4회선을 사용할 경우에는 A사, C사의 조합인 C-C-A-A, C-A-C-A로 설치하여야 한다.

(2) 2중 곡관후단의 실험결과는 센서위치가 1회선의 경우 A사는  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ 이고 직관거리 3D, 5D 지점이며 B사는  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  위치에 15D를 이격시킬 경우 허용편차를 유지할 수 있다. 1회선 C사, 2회선 및 4회선은 모든 제품이 직관거리 15D까지의 실험결과가 대부분 허용편차범위를 초과하고 있으므로 15D 이상의 직관거리가 필요하다.

(3) 초음파유량계 전단에 2중 곡관이 설치되어 있는 경우의 최적의 유량계 설치조건은 1회선 A사 제품으로 센서설치 위치는  $45^\circ$ , 필요직관거리는 3D 지점에서 측정할 때 가장 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다.

#### 참고문헌

(1) Hwang, S. Y., Seo, J. S. and Park, J. K., 2007,

- "Uncertainty Evaluation of Ultrasonic Flowmeter Varied with Temperature and New Improvement Method," *Proceeding of the KFMA Annual Meeting*, pp. 503~508.
- (2) Som, J. N., 1994, "Study on the Calibration of the Transit-time Ultrasonic Flowmeter," *Jour Pure Appl. Ultrason*, 17, pp. 114~120.
- (3) Lee, H. J., Hwang, S. Y. and Kim, K. J., 2004, "Flowrate Integration Errors of Multi-path Ultrasonic Flowmeter using Weighting Factors," *Journal of KFMA*, Vol. 7, No. 5, pp. 7~12.
- (4) KS B ISO/TR 12765, 2005, "Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits - Methods Using Transit-time Ultrasonic Flowmeters."
- (5) JEMIS-032, 1987, "Method of Flow Measurement by Ultrasonic Flowmeters."
- (6) Lee, D. K. and Park, J. H., 2008, "A Study on Error Characteristics of Large Size Electromagnetic Flowmeter in the Range of Low Velocity," *Journal of KFME(B)*, Vol. 32, No. 3, pp. 235~240
- (7) Lee, D. K. and Park, J. H., 2008, "Uncertainty Characteristics of Diverter for Flowmeter Calibration System," *Journal of KFMA*, Vol. 11, No. 3, pp. 50~55.
- (8) Lim, K. W., 2001, "A Study on the Measurement Uncertainty of Flowmeter Calibrator," *Journal of KSME(B)*, Vol. 25, No. 4, pp. 561~571.
- (9) Lim, K. W., Choi, Y. M., Lee, K. B., Oh, Y. K. and Yoon, B. R., 2007, "Development of Design and Uncertainty Estimation Technique of High Flowrate Flowmeter Calibration," KRISS/IR-2007-087, KRISS, pp. 46~51.
- (10) ISO 4185, 1980, "Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits - Weighing Method."