

밸브 하류에 설치된 건식 초음파유량계의 편차특성

이동근^{*†}, 조용^{*}

Deviation Characteristics of Clamp-on Type Ultrasonic Flowmeter Installed in Downstream of Valves

Lee, Dong Keun^{*†}, Cho, Yong^{*}

Key Words : Ultrasonic flowmeter(초음파유량계), Clamp-on type(건식), Straight pipe length(직관거리), Flow disturbance factor(유동교란인자), Deviation(편차)

ABSTRACT

This study was performed to found out the deviations for clamp-on type ultrasonic flowmeter installed in downstream of valves. It was selected three types of two-path flowmeter mainly used for K-water as test. Experiment carried out to confirmed characteristics of deviation depending on the sensor location, straight pipe length and maker for 1-path, 2-path and 4-path combined 2-path flowmeter. It was selected two kinds of valves with 100 % and 50 % opening, butterfly valves and gate valves, for flow disturbance factor. Finally, we suggested number of sensors by maker, straight pipe length and installed location of sensors satisfying the tolerance depending on the experiment results.

1. 서론

관로의 유량측정을 위해 설치된 유량계는 관련법에 따라 주기적으로 편차시험이나 교정을 필하여 사용하여야 한다. 그러나 수도의 특성상 유량계 철거, 교정, 재설치 과정에서 발생하는 단수 등이 수요자에게 불편을 주기 때문에 교정용 기준기는 센서를 관로의 외벽에 부착하여 유량을 측정하는 휴대용초음파유량계를 사용하고 있다. 초음파의 특성은 지향성이며 투과, 반사, 굴절하기 때문에 고체, 액체, 기체에서도 그 파동이 잘 전달되고⁽¹⁾ 관로 내부에 구동부가 없기 때문에 구조적으로 유지보수가 용이하며 구경이 커져도 센서만 교체하여 측정이 가능하므로 제작비용이 증가하지 않는 장점이 있으므로 그 적용범위가 해마다 넓어지고 있다.⁽²⁾ 현재 휴대용 기준기는 센서 1조를 설치하여 유량을 측정하는 1회선 초음파유량계를 대부분 사용하고 있기 때문에 설치되는 환경에 따라 측정결과의 신뢰성이 저하될 우려가 많다. KS B ISO/TR 12765에는 전파시간을 이용한 초음파유량계의 유량측정 방법이 제시되어 있다. 그러나 동 규격에는 유동교란에 방해받지 않는 직관거리가 정량화되어 있지 않으며,

KS B ISO 9951(터빈미터), KS B ISO 5167(차압식유량계)을 따르도록 권고하고 있다.⁽³⁾ 다만 2007년 고시된 환경부의 유량계설치 및 유지관리에 관한 지침⁽⁴⁾과 1987년에 발행된 일본전기계측기공업회 규격⁽⁵⁾ 등에 유동교란인자인 밸브, 곡관, 축소관 및 확대관에 따라 필요로 하는 직관거리가 제시되어 있다. 초음파유량계의 편차 특성에 관한 연구로는 1990~1991 한국표준과학연구원서 수행한 형식별 유량계의 설치 조건에 따른 특성분석⁽⁶⁾과 2004~2005 K-water에서 자체적으로 수행한 유량계 형식별 오차특성 조사를 통한 현장적용 연구⁽⁷⁾ 등이 있으나 동 연구는 1회선 초음파유량계와 유동교란 인자를 조합한 연구이다.⁽⁸⁾

따라서 본 연구에서는 유량계 현장교정 및 비교측정 시 필요로 하는 최소한의 직관거리가 확보되지 않았을 경우에도 측정정확도를 향상시킬 수 있는 대안을 제시하고자 하였다. 실험대상은 K-water의 각 현장에 설치된 초음파유량계의 수량을 기준으로 상위 3개사의 2회선을 선정하였으며, 각 제작사의 1회선 및 2회선과 각 사의 2회선을 조합한 4회선에 대한 특성실험을 실시하였다. 실험결과에 따라 유동교란 인자인 게이트밸브와 버티플라이밸브 하류에서 측정정확도가 수도법이 규정하는 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 충족시키는 회선수, 직관거리 및 센서의 설치위치를 제시하였다.

* 한국수자원공사 K-water연구원

† 교신저자, E-mail : dongkeun@kwater.or.kr

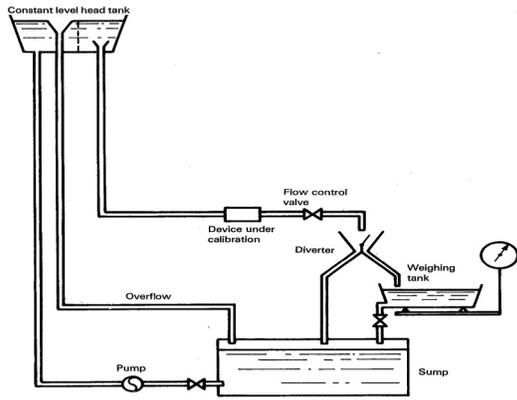


Fig. 1 Schematic diagram of gravimetric flowmeter calibration facilities

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

K-water는 한국인정기구에서 인정한 유체유동분야의 국제공인교정기관이며, 동 설비를 활용하여 초음파유량계의 특성을 실험하였다. 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같이 펌프와 정압탱크를 포함한 유동발생장치, 구경별 기준유량계, 압력계, 온도계를 포함한 실험관로 및 다이버터, 로드셀, 수집탱크를 포함한 중량측정장치 등으로 구성되어 있다.⁽⁷⁾

2.2 실험장치의 불확도

탱크에 수집된 물의 무게를 측정하기 위한 로드셀은 분동과 물을 이용하여 세팅하며 이 과정은 공기 중에서 이루어지므로 공기의 부력을 고려한 교정시스템의 유량은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$q = \frac{W_{ms}}{\rho t} \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_p}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho}} \quad (1)$$

식 (1)은 테일러급수전개에 의해 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$q = \frac{W_{ms}}{t} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\rho_a}{\rho \rho_p} + \frac{\rho_a}{\rho^2} - \frac{\rho_a^2}{\rho^2 \rho_p} \right) \quad (2)$$

식 (2)와 불확도 전파법칙에 따라 합성표준불확도는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$u_c^2(q) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial q}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \quad (3)$$

합성표준불확도를 계산한 후 신뢰수준 약 95%에서의 포함인

자 $k=2$ 를 적용하여 확장한 값이 교정시스템의 교정측정능력 (Calibration and Measurement Capability)이 되며, K-water 교정시스템은 최대유량 2,700 m³/h에서 0.1% 수준이다.

2.3 실험방법

2.3.1 실험유량

정압탱크를 이용하는 K-water 교정시스템의 구조로는 구경 300 mm인 실험배관에 최대 1,000 m³/h의 공급이 가능하므로 실험유량은 50 m³/h, 100 m³/h, 250 m³/h, 500 m³/h, 1,000 m³/h 등 5단계로 구분하였다. 유속으로 환산하면 0.19 m/s, 0.4 m/s, 0.98 m/s, 1.98 m/s 및 3.95 m/s이다. 실험환경인 배관 내의 압력범위는 (0.25~0.29) MPa, 수온범위는 (22~32) °C이며 레이놀즈수는 약 62,000~1,500,000 범위로 잘 발달된 난류영역에서 실험이 이루어졌다.

2.3.2 실험대상

K-water가 관리 중인 유량계 수량은 2010.12 현재 2,970 대이며, 이 중 초음파를 이용하여 유량을 측정하는 방식은 약 22%인 656대이다. 제작사별로 분류하면 A사 27%, B사 27%, C사 12%, D사 22%, E사 6% 및 기타 6%이다. D사 제품은 초음파 센서가 물과 접촉하는 습식방식이므로 본 연구대상에서는 제외하였으며, 건식방식 중에서 K-water의 점유율이 높은 A사, B사, C사의 2회선을 대상으로 하였고 일반 사양은 Table 1과 같다.

2.3.3 실험방법

ISO 4185 규정⁽⁸⁾에 따르면 중량측정방식에 의한 실험의 경우 최대유량에서 최소 30초 이상, 국제공인교정기관의 표준교정절차서에는 중량측정방식은 60초 이상, 기준유량계 방식은 100초 이상의 수집시간을 요구하고 있으나, 본 연구에서는 실험의 편리성을 고려하여 기준유량계 방식으로 실험하되 측정시간은 200초를 기준으로 하였다. 실험횟수는 제작사, 센서부착위치, 유량 및 유동교란인자를 조합한 각각에 대하여 3회 실시한 후 그 평균값을 적용하여 특성을 분석하였다. 실험용 유량계는 실험을 시작하기 전에 직관거리를 배관직경(d)의 40배인 40d를 확보한 상태에서 기준기인 전

Table 1 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≤0.8m/s)
Zero flow adj.	Manual	Auto	Auto

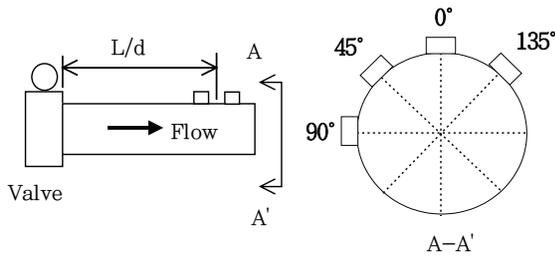


Fig. 2 Mounting angle of sensors

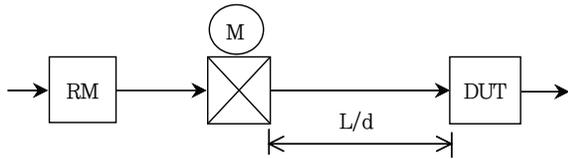


Fig. 3 Layout of device under test installed in downstream of valves

자기유량계와 비교하여 고유특성을 확인한 후 실험에 사용하였다. 유동을 교란시키는 인자로는 밸브 2종류(게이트밸브, 버터플라이밸브)를 선정하였으며 게이트밸브는 유량차단용으로 100% 열고 사용하며, 버터플라이밸브는 유량조절용으로 사용되고 있으나 실험시간 등 실험의 편의를 위하여 50% 열림, 100% 열림 등 2가지 경우로 한정하였다.

센서 설치각도는 Fig. 2와 같이 배관의 상부를 0°, 좌측을 45°, 90°, 우측을 135°로 정의하였다. 1회선은 각 제작사별로 0°, 45°, 90°, 135° 각각에 대하여 유량별 실험을 실시하였으며, 2회선은 센서를 45° + 135°, 0° + 90° 등 2가지 경우를 선정하였다. 각 제작사의 2회선을 조합하여 4회선으로 구성한 위치는 135°-0°-45°-90°의 순서이며, 실험의 편의상 A-B-A-B, C-A-C-A, C-B-C-B로 조합한 3개 경우에 대한 특성을 실험하였다.

2.3.4 실험배관구성

실험배관의 개략도를 Fig. 3에 나타냈으며, 정압탱크에서 공급되는 물은 기준유량계를 통과한 후 하류의 실험용 밸브와 실험대상 유량계를 거쳐 회수조로 순환되는 구조이다. 밸브와 실험용 유량계 사이에는 각 실험조건에 따라 적절한 길이의 단관이 설치된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 버터플라이밸브 하류의 특성

3.1.1 100% 열림인 경우

모든 실험결과는 서론에서 언급된바와 같이 수도법을 만족시키는 ±2% 이내의 측정편차를 기준으로 회수수, 직관거리 및 센서의 설치위치를 고찰하였다. 버터플라이밸브가 100%

% 열려 있는 경우에 1회선 초음파유량계가 나타내는 편차특성 실험은 센서를 배관 상부 측, 0° 위치에 설치한 경우 A사의 10d 위치를 제외하고는 편차가 모두 ±2%를 초과하였다. 센서위치가 45°와 90°인 경우는 B사의 15d와 C사의 5d 위치에서 ±2% 이내의 편차를 보이고 있고, 135°에 센서가 설치되어 있는 경우에는 A사의 5d, B사의 10d와 15d에서 ±2% 이내의 편차가 나타났다. Fig. 4는 1회선이 45°, Fig. 5는 90°에 설치되어 있는 경우의 실험결과이다. 횡축은 유량, 종축은 편차이며 범례는 밸브종류, 열림 각도, 제작사, 설치위치 및 직관거리의 순서로 표기하였다.

2회선초음파유량계의 실험결과는 Fig. 6과 같이 B사의 유량계 센서가 0°와 90°에 설치되고 직관거리는 15d 위치에서만 편차 ±2% 이내를 나타냈다. 횡축은 유량, 종축은 편차이며 범례는 밸브종류, 열림 각도, 제작사, 설치위치 및 직관거리의 순서로 표기하였다. 각 제작사의 2회선을 조합하여 4회선을 구성한 후 실험한 결과는 Fig. 7과 같다. A사, B사의 A-B-A-B 조합인 경우에 3d와 10d의 직관거리에서 ±2% 이내의 편차를 나타냈다. A사와 C사를 C-A-C-A의 순서로 조합한 경우에는 직관거리 5d에서만 ±2% 이내의 편차를 나타냈다.

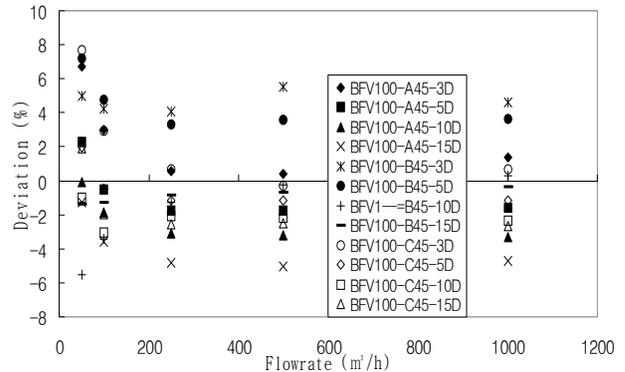


Fig. 4 Deviations at the mounting angle 45° for 1-path flowmeter on butterfly valve (100% opening)

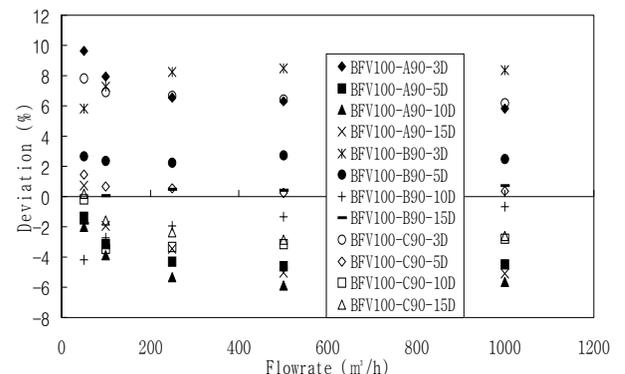


Fig. 5 Deviations at the mounting angle 90° for 1-path flowmeter on butterfly valve (100% opening)

밸브 하류에 설치된 건식 초음파유량계의 편차특성

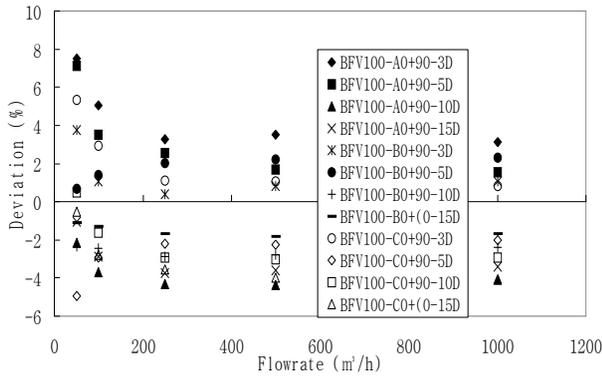


Fig. 6 Deviations at the mounting angle $0^\circ + 90^\circ$ for 2-path flowmeter on butterfly valve (100% opening)

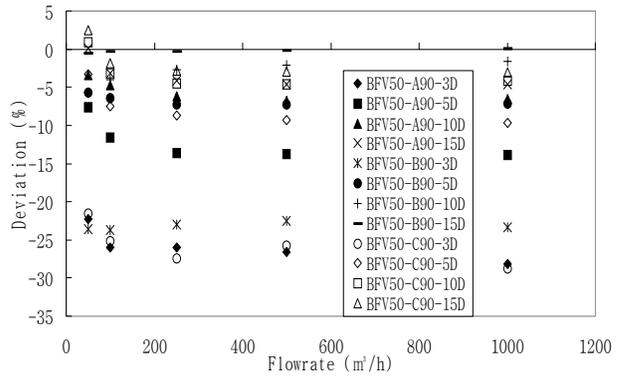


Fig. 9 Deviations at the mounting angle 90° for 1-path flowmeter on butterfly valve (50% opening)

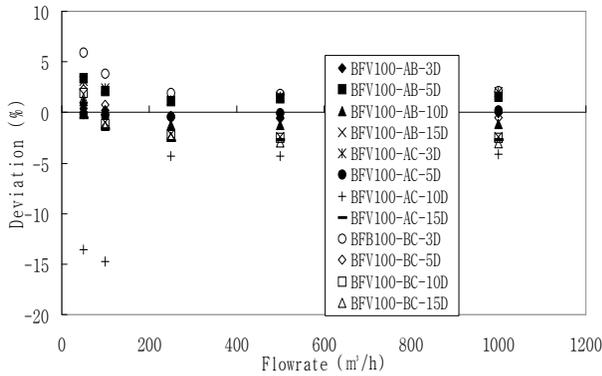


Fig. 7 Deviations for 4-path flowmeter combined with 2-path flowmeter on butterfly valve (100% opening)

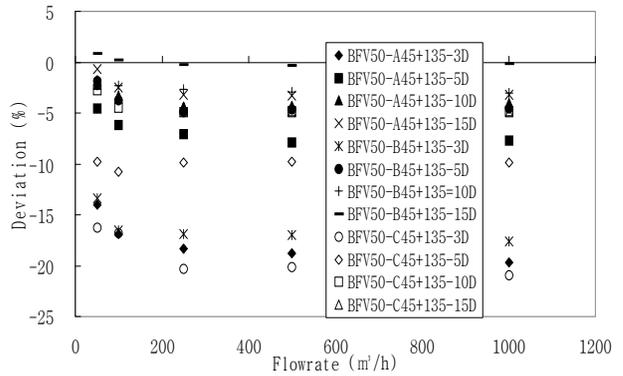


Fig. 10 Deviations at the mounting angle $45^\circ + 135^\circ$ for 2-path flowmeter on butterfly valve (50% opening)

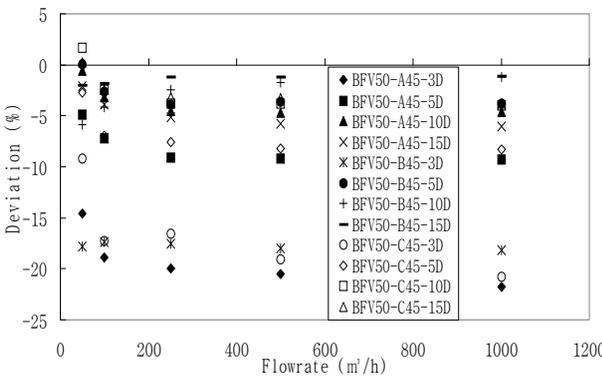


Fig. 8 Deviations at the mounting angle 45° for 1-path flowmeter on butterfly valve (50% opening)

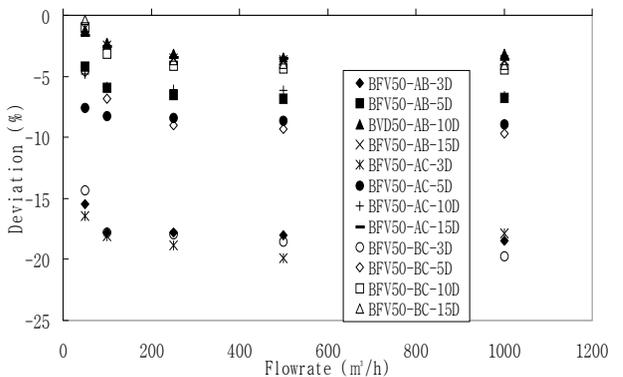


Fig. 11 Deviations of 4-path flowmeter combined with 2-path flowmeter on butterfly valve (50% opening)

3.1.2 50% 열림인 경우

버터플라이밸브가 50% 열려 있는 경우에 1회선 초음파유량계가 나타내는 편차특성을 실험하였다. B사의 센서가 45° , 90° , 135° 에 설치되고 직관거리 15d 지점에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타내고 있다. 반면에 A사와 C사는 어느 위치에서도 $\pm 2\%$ 이내의 편차는 나타나지 않았다. Fig. 8은 1회선이

45° , Fig. 9는 90° 에 설치되어 있는 경우의 실험결과이다. 횡축은 유량, 종축은 편차이며 범례는 밸브종류, 열림 각도, 제작사, 설치위치 및 직관거리의 순서로 표기하였다.

2회선초음파유량계의 실험결과는 Fig. 10과 같이 B사의 유량계 센서가 45° 와 135° 에 설치되고 직관거리는 15d 위치에서만 편차 $\pm 2\%$ 이내를 나타냈다. 횡축은 유량, 종축은 편

차이며 범례는 밸브종류, 열림 각도, 제작사, 설치위치 및 직관거리의 순서로 표기하였다. 각 제작사의 2회선을 조합하여 4회선을 구성한 후 실험한 결과는 Fig. 11과 같이 음의 방향으로 편차를 기록하고 있으며 A사, B사, C사의 어떤 조합에 서도 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타내는 경우는 없었다.

3.2 게이트밸브 하류의 특성

3.2.1 100% 열림인 경우

게이트밸브가 100% 열려 있는 경우에 1회선 초음파유량계가 나타내는 편차특성을 실험하였다. 센서를 배관 상부측, 0° 위치에 설치한 경우 A사의 5d, B사의 5d, C사의 10d와 5d, 15d의 최소유량인 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 를 제외한 위치에서 $\pm 2\%$ 의 편차를 나타냈다. 센서위치가 45° 인 경우에는 Fig. 12와 같이 C사의 5d와 3d의 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서 $\pm 2\%$ 의 편차를 나타냈다. 90° 의 실험결과는 Fig. 13과 같이 A사의 5d와 3d의 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상, B사의 5d와 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상의 10d, 15d, C사의 3d, 5d와 10d의 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 보이고 있다. 135° 에 센서가 설치되어 있는 경우에는 A사의 5d, 10d, C사의 3d, 5d와 B사, C사의 10d, $100 \text{ m}^3/\text{h}$

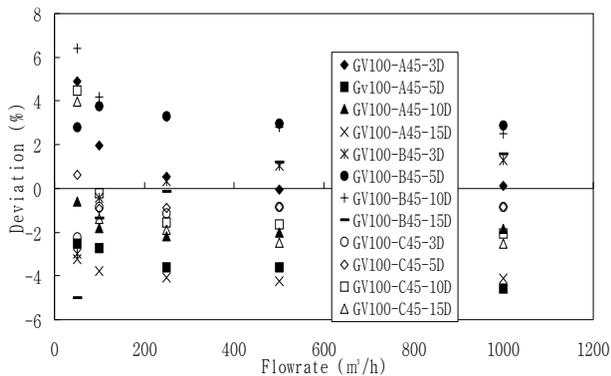


Fig. 12 Deviations at the mounting angle 45° for 1-path flowmeter on gate valve (100% opening)

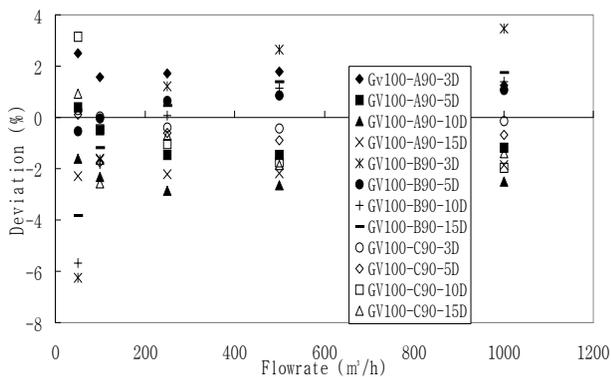


Fig. 13 Deviations at the mounting angle 90° for 1-path flowmeter on gate valve (100% opening)

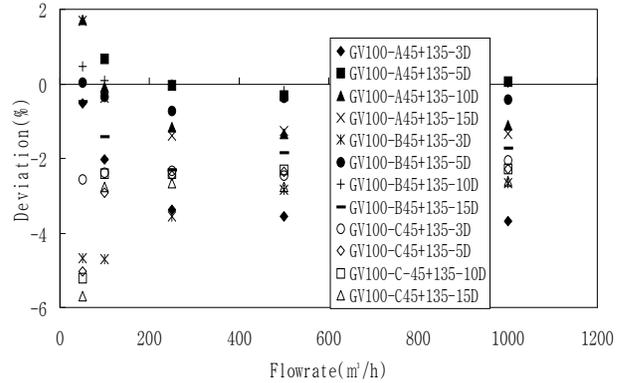


Fig. 14 Deviations at the mounting angle $45^\circ + 135^\circ$ for 2-path flowmeter on gate valve (100% opening)

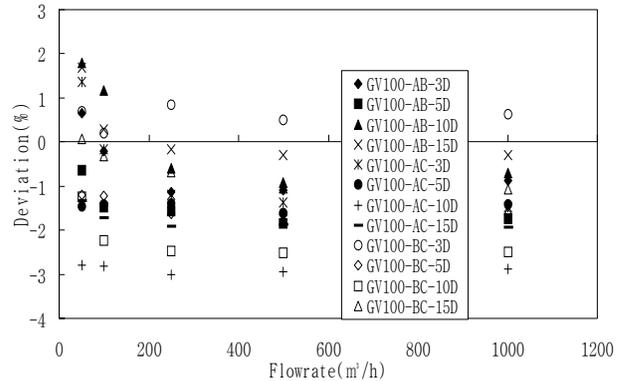


Fig. 15 Deviations of 4-path flowmeter combined with 2-path flowmeter on gate valve (100% opening)

이상에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차가 나타났다.

2회선초음파유량계의 실험결과는 Fig. 14와 같이 센서가 45° 와 135° 에 설치되어 있는 경우 A사는 10d와 15d, B사는 5d와 10d에서 편차 $\pm 2\%$ 이내를 나타냈다. 센서가 0° 와 135° 에 설치되어 있는 경우에는 A사는 10d와 15d, B사는 5d, 10d, 15d에서 편차 $\pm 2\%$ 이내를 나타냈다. 횡축은 유량, 종축은 편차이며 범례는 밸브종류, 열림 각도, 제작사, 설치위치 및 직관거리의 순서로 표기하였다.

각 제작사의 2회선을 조합하여 4회선을 구성한 후 실험한 결과는 Fig. 15와 같다. A-B-A-B로 조합한 경우에 전체 영역에서, C-A-C-A와 C-B-C-B로 조합한 경우에는 10d를 제외한 3d, 5d, 15d에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타냈다.

3.2.2 50% 열림인 경우

초음파유량계의 상류에 설치되어 있는 게이트밸브가 50% 열려있을 경우에는 유동교란에 의하여 정확한 측정에 제약을 받는다. 1회선 센서를 관 상부인 0° 에 설치했을 경우 A사, C사는 직관거리 5d에서 유량에 무관하게 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타냈으며 B사는 직관거리 3d의 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이

상에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 보이고 있다. 센서가 45° 에 설치된 경우에는 C사의 직관거리 5d, 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서, 센서 90° 는 B사, C사가 직관거리 5d, 유량 $(50\sim 500) \text{ m}^3/\text{h}$ 범위에서, 센서 135° 는 A사, C사의 5d에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타냈다. 2회선으로 센서를 $45^\circ + 135^\circ$ 에 설치했을 경우에 A사는 직관거리 5d, 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서, B사는 5d의 전체 유량범위에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타냈다. 센서가 $0^\circ + 90^\circ$ 에 설치된 경우에는 A사가 직관거리 5d, 유량 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서, B사는 5d, 유량 $(50\sim 500) \text{ m}^3/\text{h}$ 범위에서 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타낸 반면 C사는 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타낸 영역이 없었다.

각 제작사의 2회선을 조합하여 4회선으로 구성한 경우에는 A-B-A-B, C-A-C-A, C-B-C-B 조합 모두가 직관거리 5d에서만 $\pm 2\%$ 이내의 편차를 나타냈다.

3.3 상관관계분석

유량측정 결과 편차에 영향을 주는 변수들인 회선수, 센서의 설치위치, 직관거리, 밸브의 종류 및 열림 각도와와의 상관관계를 알아보기 위하여 편차를 종속변수, 기타 인자들을 독립변수로 두고 엑셀프로그램을 이용하여 다중상관분석을 실시하였다. 분석결과 상관계수는 약 0.55, 결정계수는 약 0.3으로 나타났다. 상관계수는 변수들간의 관련성이 높을수록 1에 가까우며, 변수들의 설명능력을 나타내는 결정계수도 1에 가까울수록 설명력이 높다. 설명력은 다소 낮지만 유량측정시 편차에 영향을 주는 변수들 사이의 경향은 파악이 가능하였다. 1차 회귀분석결과 회선수와 제작사가 편차에 영향이 없는 것으로 나타났기 때문에 이 변수를 제외시킨 후 다시 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 Table 2와 같이 밸브형식이 상대적으로 편차에 가장 많은 영향을 주며 센서위치, 직관거리, 열림 각도의 순서로 나타났고, 실험결과와 비교해도 게이트밸브보다는 버터플라이밸브의 편차가 상대적으로 크며 특히 50% 열림의 짧은 직관거리에서 편차가 크게 나타나고 있다.

4. 결론

초음파센서를 배관의 외부에 설치하여 유량을 측정하는 건식 초음파유량계가 유동을 교란시키는 밸브 하류에 설치

되어 있는 경우 밸브의 열림 각도, 센서의 설치위치와 직관 거리에 따른 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 버터플라이밸브가 100% 열려 있고 1회선인 경우, A사는 센서위치 0° 에서 10d, 135° 에서 5d 지점에 설치하고, B사는 센서 45° 와 90° 에서 15d, 135° 에서는 10d 이상에 설치하며, C사는 센서 45° , 90° 위치의 5d에 설치하여야 한다. 2회선으로 센서위치가 45° 와 135° 인 경우, A사는 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서 직관거리 3d, 5d에, B사는 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서 15d, C사는 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상에서 3d 지점에 설치되어야 하며, 센서위치 0° 와 90° 인 경우에는 B사 유량계를 15d 지점에 설치하여야 한다. 4회선인 경우에는 A-B-A-B 조합이면 3d와 10d 지점에, C-A-C-A 조합이면 5d 지점에 설치하여야 한다.
- 2) 버터플라이밸브 50% 열림과 1회선인 경우, B사의 유량계를 직관거리 15d, 센서 45° , 90° , 135° 에 설치하여야 하며, 2회선은 센서위치 45° 와 135° 의 15d 지점에 B사의 유량계를 설치하여야 한다.
- 3) 게이트밸브가 100% 열려있고 1회선인 경우, 센서위치 0° 에서는 A사 5d, B사 5d, C사 10d에 설치하여야 하며, 센서위치 45° 에서는 C사 5d, 90° 에서는 A사 5d, B사 5d 및 C사 3d와 5d, 135° 에서 A사는 5d와 10d, C사는 3d와 5d에 설치하여야 한다. 2회선이 45° 와 135° 에 설치된 경우 A사는 10d, 15d 지점에, B사는 5d, 10d 지점에, 센서가 0° 와 90° 인 경우 A사는 10d, 15d, B사는 5d, 10d, 15d에 설치되어야 한다. 4회선의 A-B-A-B 조합은 3d 이상, C-A-C-A와 C-B-C-B 조합은 3d, 5d, 15d 지점에 설치하여야 한다.
- 4) 게이트밸브 50% 열림과 1회선인 경우, 센서 0° 에서 A사와 C사는 5d, B사는 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상이면 3d에 설치하여야 하며, 센서 45° 에서 C사는 유량 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상이면 5d, 센서가 90° 에서는 B사와 C사가 유량 $(50\sim 500) \text{ m}^3/\text{h}$ 에서 5d, 센서 135° 에서는 A사와 C사가 5d에 설치되어야 한다. 2회선으로 센서가 45° 와 135° 인 경우에는 B사가 5d, 4회선은 A-B-A-B, C-A-C-A, C-B-C-B 조합에서 5d 지점에 설치되어야 한다.

따라서 밸브가 100% 열려있는 경우에는 C사의 1회선을 밸브로부터 5d를 이격시켜 45° 와 90° 에 설치하고, 4회선은 A-B-A-B 조합을 3d 지점에 설치하는 방안을 제시하며, 50% 열림에서는 최적의 설치조건을 제시하기가 곤란하므로 조건별 실험결과를 적절히 활용하여야 한다.

참고문헌

- (1) Hwang, S. Y., Seo, J. S. and Park, J. K., 2007, "Uncertainty Evaluation of Ultrasonic Flowmeter Varied with Temperature

Table 2 Results of regression analysis

Variables	Coefficient	Std. error	t value	P value
Intercept	-13.7545	0.554521	-24.8043	6.2E-116
Flow	-0.00119	0.000305	-3.88984	0.000104
Position	-0.16014	0.05303	-3.01987	0.002567
Distance	0.147859	0.022774	6.492328	1.11E-10
type	1.971976	0.212121	9.296481	4.38E-20
opening	0.102476	0.004242	24.15516	7.7E-111

- 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,” Journal of Pure and Applied Ultrasonics, Vol. 17, No. 4, pp. 114~120.
 - (3) KS B ISO/TR 12765, 2005, “Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits-Methods Using Transit-time Ultrasonic Flowmeters.”
 - (4) 환경부, 2007, “유량계 설치 및 유지관리 지침.”
 - (5) JEMIS-032, 1987, “Method of Flow Measurement by Ultrasonic Flowmeters.”
 - (6) 한국표준과학연구원, 1991, “형식별 유량계 설치조건에 따른 특성분석 연구(I, II).”
 - (7) 한국수자원공사, 2005, “유량계 형식별 오차특성조사를 통한 현장적용 연구.”
 - (8) Lee, D. K. and Cho, Y., 2011, “Error Characteristics of Clamp-on Ultrasonic Flowmeters Depending on Location of Sensors and Downstream Straight Run of Bent Pipe,” Journal of KSME(B), Vol. 35, No. 8, pp. 861~868.
 - (9) Lee, D. K. and Park, J. H., 2008, “Uncertainty Characteristics of Diverter for Flowmeter Calibration System,” Journal of Fluid Machinery, KFMA, Vol. 11, No. 3, pp. 50~55.
 - (10) ISO 4185, 1985, “Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits-Weighing Methods.”