

# 비만관 유량계 교정 시스템 구축에 관한 연구

유성호\* · 이동락\* · 이민수\*

## Study on the Calibration System of Flow Meters in Partly Filled Pipes

Sung Ho Yoo\*, Dong Rak Lee\*, Min-Soo Lee\*

*Key Words* : Calibration(교정), Flowmeters in partly filled pipes(비만관 유량계), Uncertainty(불확도)

### ABSTRACT

Flow meters in partly filled pipes are set up and run in Korea now days, but there are no standard calibration procedures for the flow meters in accordance with ISO/IEC 17025. the standard calibration procedure based on the standard calibration procedures for flow meter in closed conduits and the technical notes of flow meter's makers is developed. the measurement uncertainty of the calibration for the flow meter in partly filled pipes is evaluated.

### 1. 서론

환경부에서는 체계적으로 하수를 관리 모니터링하기 위한 하수관거 정비 사업에 많은 예산을 투자하여, 선진화된 하수관거정비 모델을 개발하여, 하수처리시설의 운영효율 개선 및 정부 예산 투자의 효율성을 증대할 수 있다. 이 사업을 효율적이고 원활한 운영을 위하여 비만관 유량계를 설치하여 운영하여야 한다. 그러나 현재 ISO/IEC 17025에서 인증된 KOLAS 및 국제기준에 비만관 유량계 교정기준에 대한 표준이 없다. 이로써 비만관 유량계의 정도관리가 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서 만관유량계의 교정방법 및 제작회사 실험실의 교정방법을 준용하여, 국내 및 국제적으로 통용될 수 있는 비만관 유량계 교정 시스템과 표준교정 절차서를 개발하고 객관적이고 신뢰성 있는 교정시스템 및 교정기준을 제시한다.<sup>1)</sup>

### 2. 국내외 교정 기관 현황

만관유량계의 경우 국내의 액체유량 분야의 국내 KOLAS 인정 국가교정기관은 12개 기관이 인정받았다. 그러나 비만관 유량계의 경우 교정기관은 국내는 없으며 국제적으로는 호주에 있는 Manly hydraulics Laboratory만 교정기관으로 인정받고 있다.

### 3. 교정 시스템 개론

현재 하수관거에 설치되는 유량계의 종류에는 초음파 방식, PB 플룸 방식, 벤츨리 플룸 방식, 레이더 방식, 전자기 방식 비만관 유량계가 있다. 본 연구에서 구축한 시스템은 초음파 방식과 PB 플룸식 비만관 유량계에 적합한 시스템을 구축하였다.

교정시스템의 종류에는 중량 측정 방법, 부피 측정 방법, 마스터미터 측정 방법 등이 있으며, 본 연구에서는 마스터미터 측정 방법에 의한 교정 시스템을 구축하였다.

\* 산업기술시험원

\* shyoo@ktl.re.kr

## 4. 비만관 유량계 교정 시스템

### 4.1. 유량계 교정 시스템 구성도

비만관 유량계 교정 시스템에 대한 구성도는 Fig. 1과 같다. 펌프로 저수조의 물을 퍼올려서 밸런스 탱크에 물을 채운다. 이후에 기준 유량계에 흘려서 정확한 유량을 측정 후 스트레이너를 지나 비만관 유량계의 지시값을 읽어 들인다. 이를 통해서 기준유량계와 비만관 유량계의 오차를 계산한다.

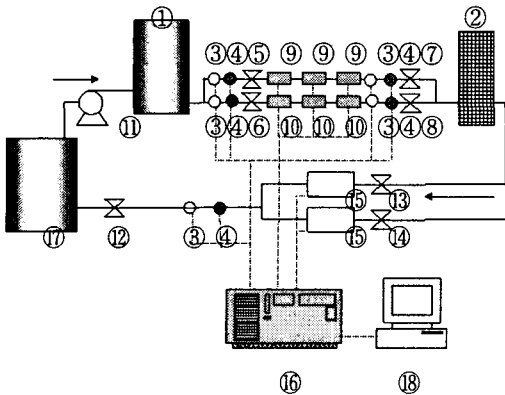


Fig. 1 Systematic diagram

Table 1 Design specification of calibration system

번호	품명	번호	품명
①	밸런스탱크(1000 L)	⑩	기준유량계(E+H, 65 A)
②	스트레이너	⑪	수중펌프(150 m <sup>3</sup> /h)
③	온도계(0~100) °C	⑫	유량조절밸브(200 A)
④	압력계(0~1 000) kPa	⑬	유량조절밸브(300 A)
⑤	On-off valve(100 A)	⑭	유량조절밸브(600 A)
⑥	On-off valve(65 A)	⑮	비만관 유량계
⑦	볼밸브(100 A)	⑯	저수조
⑧	볼밸브(65 A)	⑰	DAQ
⑨	기준유량계(E+H, 100 A)	⑱	컴퓨터

## 4.2. 교정 시스템 구성

### 4.2.1 유동 발생 장치

(가) 저수조 : 소화배수펌프장의 하수 및 우수를 이용하여 실제 유량계를 설치하는 유사한 조건으로 교정을 실시하였다.

(나) 수중펌프 : 원심펌프에 의한 유동발생장치로 펌프 토출 측에 압력계를 설치하였으며, 수두 변화, 전원 변동 등의 영향이 없어야 하며, 펌프가동 시 적절한 밸브 조작을 통해 피교정 유량계에 대한 충격 및 교정시스템의 기기적인 안정에 유의해야 한다. 유동률에 따라 선택적으로 2 set로 구성되어 유동률을 조절할 수 있게 하였다.

(다) 밸런스 탱크 : 재질은 스테인레스이고, 교정 시 사용되는 유체를 1000 L 이상 저장하고, 공기조절 밸브 구조를 갖추고 있어 기준 유량계를 통과하기 전에 유체에 함유되어 있는 기포를 제거하고, 안정된 수두로 유량계를 통과하게 하기 위한 장치이다.

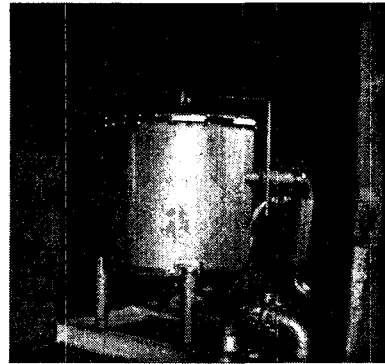


Fig. 2 Balance tank

### 4.2.2. 기준 유량계

(가) 기준 유량계 : 비만관 유량계를 정확도가 높은 전자기 유량계와 비교 교정하는 장치이다. 이때 기준 유량계는 측정하는 동안 정상적으로 작동하는 것을 확인할 수 있어야 하며, 3개의 기준유량계를 직렬 연결하여 이 중에서 1개의 데이터값을 표준값으로 산정한다. 나머지 2개의 값은 확인용으로 사용한다. 100 mm 관 기준 유량계 3 EA와 60 mm관 기준유량계 3 EA를 갖추어 유량에 따라 선택하여 교정할 수 있게 하였다.

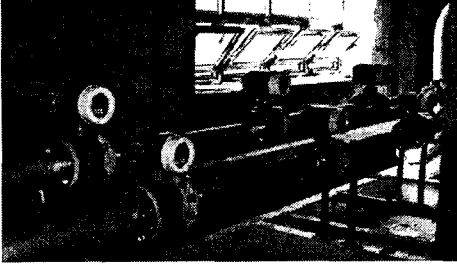


Fig. 3 Reference flowmeters



Fig. 5 Pipes of calibrating the flowmeters

(나) 스트레이너 : 유체가 시험관로를 통과하기 전에 굴곡에서 떨어져 발생한 유체의 흐름을 안정화하고, 유체 속에 함유된 기포 제거를 목적으로 스트레이너를 설치하였다.



Fig. 4 Strainer

또한 직관부는 전단에 12m, 후단에 12m를 주어 충분한 발달흐름을 유도하였으며, 흐르는 유체의 표면의 출렁임을 방지하였다. 시험관로의 상단을 절단하여 비만관 유량계를 설치하여 시험할 수 있도록 시험 영역을 구성하였다. 시험 영역은 길이가 약 1m이고, 비만관 유량계가 설치하기 쉽도록 하였고, 유체의 흐름을 눈으로도 확인할 수 있게 되어 있다. 실제로 초음파식 비만관 유량계와 PB 플름식 비만관 유량계를 시험관로에 설치한 모습을 Fig. 6에 나타내었다.

#### 4.2.3. 시험 관로

시험관로는 비만관 유량계가 설치되는 장소로 적절한 길이의 직관부를 설치하여 충분히 발달한 유속분포가 되도록 하였다. 또 온도계와 압력계가 관로 내부를 흐르는 유체의 온도와 압력을 측정할 수 있도록 관로에 장착했다.

(가) 유량계 설치 관로 : 시험관로는 스테인레스로 제작되었으며, 직경이 300 mm, 600 mm 두 가지를 설치하였고, 600 mm 관로에 플랜지를 설치하여 400 mm, 500 mm도 교체가 가능하도록 구성하였고 Fig. 5에 나타내었다. 이리하여 비만관 유량계의 종류와 환경에 따라 선택하여 시험할 수 있다.

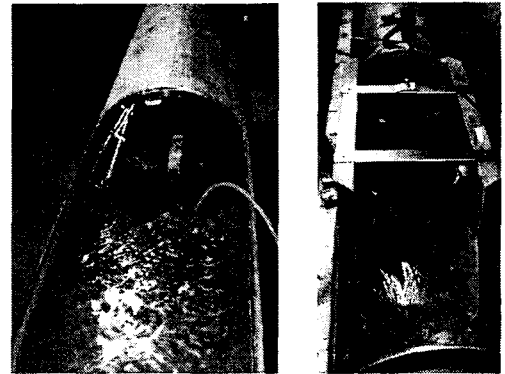


Fig. 6 Setting up the flowmeters

(나) Wier(둑) : 저유량 시험에서 수위조절이 가능하고, 비만관 유량계를 통과하는 유체의 출렁임을 감소시켜 유체의 움직임이 안정되도록 하기 위해 비만관 유량계 설치 후단에 반달 모양의 weir를 설치하였다. weir의 크기는 유동률에 따라 선택하여 설치하고, weir에 따른 유동 흐름의 방해가 비만관 유량계에 전달되지 않도록 최대한 weir에서 멀리 떨어진 곳에 비만관 유량계를 설치하였다.



Fig. 7 weir

(다) 유압펌프장치 : 시험관로의 기울기를 조절하여 시험영역의 유체 유속을 조절할 수 있고, 역류를 시험하기 위해 유압펌프 장치를 설치하였다. 일부 비만관 유량계의 경우, 일정 이상의 수위를 유지할 수 있어야만 측정이 가능하므로 weir(둑)과 함께 필요한 장비다.

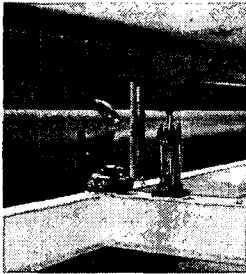


Fig. 8 Oil pressure pump

(라) 호이스트 : 600 mm 관 설치 후 관경에 따른 (400 mm, 500 mm의 경우) 파이프의 교체를 용이하게 하기 위해 600 mm 관 천장에 호이스트를 설치하였다. 교체 시 시험관의 중심이 잘 잡히게 하기 위해 시험관로의 중심과 일치하도록 설치하였다.



Fig. 9 Hoist

#### 4.2.4. 자동 데이터 획득 프로그램

기준유량계의 데이터를 실시간으로 컴퓨터에 입력시키는 프로그램이다. 또한 유량도 제어를 할 수 있어서 다양한 유동율에서 교정을 가능하게 한다.

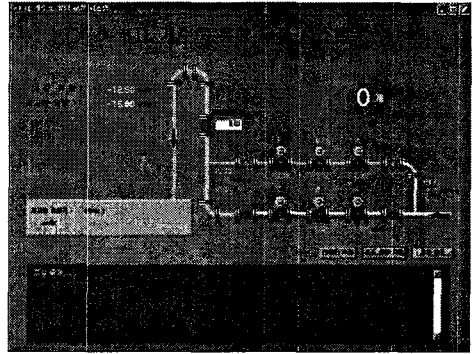


Fig. 10 Data acquisition program

#### 4.3. 교정 시스템의 특징

소하 배수펌프장 하수 및 우수를 이용하여 실제 유량계를 설치하는 유사한 조건으로 교정을 실시하고, 기준유량계를 직렬로 3대를 설치하여 1대를 기준기로 2대를 확인용으로 사용하여 데이터의 신뢰도를 증대시켰다. 기준 유량계의 측정 데이터는 자동 데이터 획득 프로그램으로 실시간으로 컴퓨터에 입력 저장시킨다.

### 5. 시스템 불확도 평가

#### 5.1. 유량계 교정 시 불확도 산출방법

##### 5.1.1. A type 불확도 산출

액체유량계 교정을 통해 수집된 Data 오차의 표준편차 산출

$$u_A^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

여기서,  $u_A$  : A type 불확도

$n$  : 측정횟수

$x_i$  : 측정값

$\bar{x}$  : 측정값 평균

### 5.1.2. 합성불확도 산출

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (2)$$

여기서,  $u_c$  : 합성불확도

$u_A$  : A type 불확도

$u_B$  : B type 불확도

### 5.1.3. 확장불확도( U)산출

표준합성불확도( $u_c$ )에 포함인자(k)를 곱한다.

$$U = k \times u_c \quad (3)$$

### 5.2. 기준유량계 측정값의 불확도 평가

비만관 유량계 교정을 위한 시스템을 이용한 액체 유량계 교정 시 측정불확도의 산출에 적용한다. 교정에 사용되는 비만관 유량 교정시스템은 master meter 방법이다. 이 시스템의 동작특성을 바탕으로 ISO의 측정불확도 표현지침에 따라 측정불확도를 다음과 같은 절차에 의해 산출한다. Table 2와 같이 유동율이 10 m<sup>3</sup>/h일 경우에 A형 불확도가 가장 크므로, 시스템 불확도는 10 m<sup>3</sup>/h일 경우에 대해 구해보았다.

$$Q = Q_{ms} [1 + k_w (p_s - p_x)] [1 + \alpha_w (t_s - t_x)] \quad (4)$$

여기서,

$Q$  : 비만관 유량계의 온도, 압력 조건에 대해 환산한 기준유량계의 부피 유동율(m<sup>3</sup>/h)

$Q_{ms}$  : 기준유량계의 부피 유동율 지시값(m<sup>3</sup>/h)

$k_w$  : 물의 압축률(/kPa)

$p_s$  : 기준유량계의 압력(kPa)

$p_x$  : 비만관 유량계의 압력(kPa)

$\alpha_w$  : 물의 부피팽창계수(/°C)

$t_s$  : 기준유량계의 온도(°C)

$t_x$  : 비만관 유량계의 온도(°C)

Table 2 Uncertainty budget

양	추정값	표준 불확도	확률 분포	감도 계수	불확도 기여량	자유도
---	-----	--------	-------	-------	---------	-----

$Q_{ms}$	10.860 m <sup>3</sup> /h	0.018 m <sup>3</sup> /h	정규	0.999 006	0.018 1 m <sup>3</sup> /h	11
$k_w$	$4.60 \times 10^{-7}$ /kPa	$2.89 \times 10^{-9}$ /kPa	직사각형	-1 012.35 m <sup>3</sup> /h · kPa	$-2.92 \times 10^{-6}$ m <sup>3</sup> /h	$\infty$
$p_s$	194.549 kPa	0.174 kPa	정규	$-5.00 \times 10^{-6}$ (m <sup>3</sup> /h)/kPa	$-8.67 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup> /h	3010
$p_x$	101.326 kPa	0.451 kPa	정규	$5.00 \times 10^{-6}$ (m <sup>3</sup> /h)/kPa	$9.45 \times 10^{-9}$ m <sup>3</sup> /h	9010
$\alpha_w$	0.000 035 /°C	$2.9 \times 10^{-7}$ /°C	직사각형	-5.65 m <sup>3</sup> /h °C	$-5.26 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup> /h	$\infty$
$t_s$	11.823 °C	0.005 °C	정규	$1.18 \times 10^{-3}$ (m <sup>3</sup> /h)/°C	$6.19 \times 10^{-5}$ m <sup>3</sup> /h	1009
$t_x$	12.343 °C	0.006 °C	정규	$-1.18 \times 10^{-3}$ (m <sup>3</sup> /h)/°C	$-7.52 \times 10^{-5}$ m <sup>3</sup> /h	60
$Q$	10.860 m <sup>3</sup> /h				0.019 1 m <sup>3</sup> /h	11

$Q_{ms}$ 의 추정값을 기준유량계 지시값의 평균으로, A형 표준불확도는 식(1)에 의해 구한다.  $p_s$ ,  $p_x$ ,  $t_s$ ,  $t_x$ 의 추정값은 각각의 지시값의 평균으로 구하고, 표준불확도는 각각의 성적서상의 불확도와 지시값의 표준불확도를 합성하여 구하였다.

### 5.3. 시스템 불확도

$$Q_m = Q_a + \delta Q_r \quad (5)$$

여기서,

$Q_m$  : 기준유량계 측정값

$Q_a$  : 기준유량계 반복 지시값

$\delta Q_r$  : 기준유량계 성적서 불확도

$Q_a$ 은 5.2.에서 구한  $Q_{ms}$ 를 %로 나타낸 값이며,  $Q_r$ 는 기준 유량기의 성적서 상의 불확도 값이다.

Table 3 System uncertainty budget

양	추정값	표준 불확도	확률 분포	감도 계수	불확도 기여량	자유도
$Q_a$	10.860 m <sup>3</sup> /h	0.11 %	정규	1	0.018 %	9
$Q_r$	0.0 m <sup>3</sup> /h	0.13 %	정규	1	0.13 %	5
$Q_d$	10.860 m <sup>3</sup> /h				0.17 %	11

## 5.4. 확장불확도 보고

확장불확도는 표준합성불확도( $u_c$ )에 포함인자( $k$ )를 곱한다. 유효자유도가 11이므로  $k$ 는 2.2를 적용하여 확장불확도를 계산한다.

$$U = k \times u_c = 2.2 \times 0.17 \% = 0.38 \%$$

## 6. 결론

비만관 유량계 교정시스템의 시스템불확도를 상대 확장불확도 0.38 %로 구성하였으며, 비만관 유량계 교정 기준을 제정하였다. 본 연구 결과로 하수관거에 사용되는 비만관 유량계를 교정하는 기준 및 시스템을 마련하게 되었다.

## 참고문헌

- (1) 유성호, 이동락, 이민수, 백흥균, 2004, “환경계측 및 법정단속용 계측기기 교정시스템 및 교정기준 개발 연구”, 기술표준원, pp. 14~44
- (2) 일본계량기기공업연합회, 1997, “유량계측 AtoZ”, 테크하우스, pp. 194~196
- (3) KS B ISO/TR 5168 : 2004, 유량측정-불확도 평가, pp. 1~23
- (4) 측정불확도 표현 지침, KRISS-90-070-SP, pp. 10~40
- (5) EA-04/02, 1999, Expression the Uncertainty of Measurement in Calibration, pp. 69~73
- (6) KS B 5325 : 2003, 액체용 유량계 측정 오차 시험 방법. pp.1~14