

10톤 용량의 중량식 교정장치에 대한 불확도 개선

이 동 근[†], 박 주 영, 이 행 수

한국수자원공사 수자원연구원

Improvement of Uncertainty for Gravimetric Flow Calibrator

Dong-Keun Lee, Joo-Young Park, Haeng-Soo Lee

Korea Institutes of Water Environment, Kwater, Daejeon 305-730, Korea

ABSTRACT: Both the weighing bridge and the diverter system is a important component in achieving a high accuracy liquid flow rate standard using a static gravimetric method. The weighing bridge is a tank which weighing collected flow with a load cells. The diverter is a moving device used to direct flow alternately along its normal course(by pass) or towards the weighing tank. The time needed for collection into the weighing tank is measured using a timer. So it is important to the diversion period is sufficiently fast and triggering point of timer which is determined the filling time. On this studies show that the measurement deviation of load cell and uncertainty of diverter system for changing diversion speed and triggering point was estimated in accordance with Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement(ISO).

Key words: Weighing bridge(중량장치), Diverter(유로전환장치), Uncertainty(불확도), Gravimetric method(중량측정법), Triggering(수집시간 결정행위), Flying start and stop method(diverter를 사용하는 측정법))

기 호 설 명

<p>L : 로드셀이 측정한 중량 [kg]</p> <p>M : 분동+물의 중량 [kg]</p> <p>δm : 중량측정 편차 [kg]</p> <p>$u(\delta m)$: 중량장치의 표준불확도 [kg]</p> <p>\bar{N} : 편차의 평균 [kg]</p>	<p>q_i : 짧은시간동안 계산된 유동율 [m^3/h]</p> <p>q_n : 기준시간동안 계산된 유동율 [m^3/h]</p> <p>\bar{q} : 짧은시간 유량계의 평균 유동율 [m^3/h]</p> <p>\bar{q}_{nt} : 기준시간 유량계의 평균 유동율 [m^3/h]</p> <p>Δt : 시간측정의 불확도 [s]</p> <p>t_{qi} : 짧은 수집시간 [s]</p> <p>t_{qn} : 기준 수집시간 [s]</p>
---	---

하첨자

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-870-7652; fax: +82-42-870-7699

E-mail address: dongkeun@kwater.or.kr

i : 분동을 인가한 횟수

j : 총 실험 횟수

1. 서론

세계무역기구(WTO) 체제 이후 국제적 무역환경이 정책, 정치적 규제의 틀을 탈피하여 기술적 규제에 변화함에 따라 산업 현장이나 연구기관 등에서 사용하는 측정기는 국제적으로 통용되는 특정한 요구조건을 만족해야 측정결과에 대한 대외신뢰도를 확보할 수 있다. 즉, 국제표준, 국가표준, 측정기로 이어지는 연속적인 비교, 교정을 통해 국제표준과 일치하도록 하는 행위인 소급성(traceability)이 유지⁽¹⁾되어야 한다. 국가표준과 산업체에서 사용하는 측정기와 소급성 유지를 위해 국가표준기본법에 따라 분야별 교정기관이 지정되어 있다. 국가교정기관은 KS A ISO/IEC 17025의 규정에 따라 경영 및 기술요건과 측정능력을 심사(평가)받은 후 인정위원회의 심의를 거쳐 한국인정기구인 KOLAS에서 인정, 고시한다. 유량계는 대분류로는 질량 및 관련량, 중분류로는 유체유동분야⁽²⁾에 속하며 산업현장 특히 광역상수도를 포함한 수도시설에서는 정수장의 공정관리나 유수율 제고의 근간이 되는 생산 및 공급량과 사용량 즉 수요자가 수수하는 수량을 정확하게 측정하는 것이 대단히 중요한 일이다. 측정의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위하여 사용 중인 유량계는 수도법에 따라 주기적으로 교정 또는 오차시험을 하여야 한다.

수자원연구원에는 시설 규모가 국내 최대 규모인 구경 $\phi 800$ mm, 유동율 $2,700$ m³/h까지 교정이 가능한 시스템이 구축되어 있으며 측정방식은 피교정 유량계를 통과한 유체를 수집하고 그 무게를 부피로 환산하여 비교하는 중량측정법과 기준이 되는 정밀한 유량계를 통과한 부피와 피교정 유량계를 통과한 부피를 직접 비교하는 기준유량계법을 병행하고 있다.⁽³⁾ 중량측정법에 의한 교정 장치의 불확도는 유동을 정의하는 독립변수 즉, 중량장치에 수집된 중량, 수집시간, 물 밀도, 공기 밀도 및 분동 밀도로부터 정의된다. 그 중에서 중량 및 시간측정의 불확도가 지배적이다.⁽⁴⁾ 중량에 관한 불확도는 3점식 로드셀을 사용하여 각각의 출력을 합성하여야 하므로 설치조건이 좋지 않으면 불확도가 커지게 된다. 시간측정의 불확도는 유체를 수집하는 시간의 시작과 끝을 결정해주는 트리거링과 유로를 수집위치에서 바이패스로, 바이패스에서 수집위치로 전환시켜주는

유로 전환장치인 다이버터의 동작시간에 따라 발생하는 불확도이다. 따라서 본 연구에서는 유량계 교정시스템의 불확도에 지배적인 역할을 하는 로드셀의 불평형 개선 및 다이버터의 전환속도와 트리거링 위치를 조합하고 ISO 4185 규정에 따른 수집시간을 변화시키면서 실험을 실시하여 불확도가 가장 작은 최적의 조건을 도출하고자 하였다.^(4,6)

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치는 수자원연구원의 유량계 교정시스템을 사용하였으며 기본 구성은 Fig. 1과 같이 펌프와 정압유지탱크, 시험관로, 유동율 조절밸브 및 중량측정장치로 구성된다. 펌프는 지하수조에서 정압유지탱크로 송수하기 위해 설치되며 정압유지탱크는 펌프에 의한 맥동 및 계속적인 펌프 흡입수두의 변화로부터 일정하고 안정된 유량 공급과 펌프에서 발생하는 진동이 시험관로에 전달되지 않도록 차단하는 역할을 한다. 시험관로는 기준유량계인 전자기유량계와 피교정용 유량계가 설치되며 유동을 충분히 발달시켜 속도분포의 영향을 최소화하기 위하여 기준유량계 상류측에는 직경의 10배, 피교정유량계는 상류측으로 직경의 50배, 하류측으로는 10배의 직관거리가 확보되어 있다. 또한 관로 내부를 흐르는 유체의 온도와 압력을 측정할 수 있도록 온도계와 압력계가 시험관로의 입출구측에 설치되어 있다. 유동율 조절밸브는 시험관로 하류에 설치되어 유량계 교정시 단계별 유동율을 조절하여 수집탱크로 유입되도록 하는 기능을 하며 공기압 및 전동조작기를 이용하여 유동율을 조절한다. 중량측정장치는 유량계를 통과한 유체를 수집하여 중량을 측정하는 장치로 유로를 전환하는 다이버터를 이용하는 flying start and finish 방법을 채택하였으며 수집탱크, 수집된 질량을 측정하는 로드셀과 분동으로 구성되어 있다.

2.2 실험방법

2.2.1 중량측정

유체를 수집하는 탱크의 하단에 압축형 로드셀

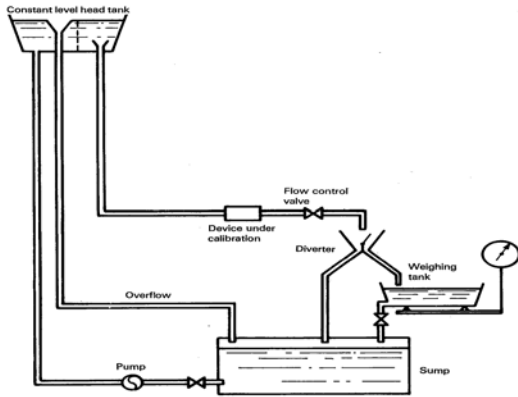


Fig. 1 Schematic diagram of gravimetric flowmeter calibration system.

3조를 설치하고 그 출력을 합성한 값이 중량으로 지시된다. 실 하중에 의해 중량을 측정할 경우 수집탱크 용량만큼의 분동이 필요하고 제어나 설치공간 등에 제약이 있으므로 물치환법 즉 물로 분동의 하중을 치환하면서 수집탱크 용량까지 측정을 한다. 그 절차는 다음과 같다.⁽⁷⁾

- (1) 수집탱크에 남아 있는 물이 모두 배출되었는지 확인한 후 분동으로 실하중을 가하고 지시값을 기록한다.
- (2) 분동을 제거한 후 분동이 지시했던 값 만큼의 물을 채워서 1차 치환한다.
- (3) 분동으로 실하중을 가한 후 물과 분동의 무게가 합해진 지시값을 기록한다.
- (4) 분동을 제거한 후 지시값 만큼의 물을 채워 2차 치환한다.
- (5) 위 과정을 수집탱크의 최대용량까지 반복하는 실험을 총 3회 실시한다.

중량장치 즉 로드셀의 표준불확도는 다음과 같이 구할 수 있다. 물로 치환된 중량과 로드셀이 지시하는 값과의 편차를 구하기 위하여 식 (1)을 사용한다. 식 (2)를 사용하면 이 편차들의 평균을 구할 수 있고, 식(3)은 중량장치의 표준불확도를 구하는 식이다. 식에서 첨자 i 는 분동을 로드셀에 인가한 횟수이며, 첨자 j 는 분동을 수집탱크의 최대용량만큼 인가한 실험을 몇 회 실시했는지를 나타내는 총 실험 횟수이다.

$$\delta m_{i,j} = M_{i,j} - L_{i,j} \quad (1)$$

$$\bar{N}_i = \frac{\sum_{k=1}^j (M_{i,k} - L_{i,k})}{j} \quad (2)$$

$$u(\delta m)_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^j (\delta m_{i,k} - \bar{N}_i)^2}{j-1}} \quad (3)$$

2.2.2 시간측정

다이버터 시스템이 이상적으로 설계되었다면 다이버터 동작에 따라 타이머를 작동 및 정지시키는 동작 즉 시간측정의 오차는 무시할 수 있다. 그러나 이 오차는 유동율, 다이버터의 전환속도, 노즐 출구에서의 유동 형태의 변화 및 트리거링 위치의 정확한 세팅 여부에 따라 좌우되므로 반드시 보정을 하여야 한다.⁽⁴⁾ 즉, 시간측정의 불확도는 교정시스템의 불확도 산출시 고려하여야 한다. 시간측정에 대한 불확도를 산출하기 위하여 유동율은 시스템의 최대 유동율에 근접하도록 밸브를 조절하여 세팅한 후 기준 수집시간과 기준의 20%, 10%, 5%의 짧은 시간으로 수집한 후 식 (4)를 이용하여 오차를 산출한다.

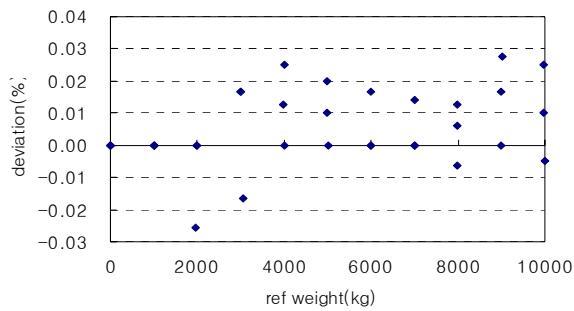
$$\Delta t \left(\frac{1}{t_{qi}} - \frac{1}{t_{qn}} \right) = \frac{(q_i - q_n) - (\bar{q} - \bar{q}_{nt})}{q_n} \quad (4)$$

실험결과를 나타내기 위하여 식 (4)의 오른쪽 항인 유동율 편차는 세로축, 왼쪽 항의 시간편차는 가로축으로 수집시간별 10회의 실험을 실시한다. 실험 데이터에 의해 그려지는 그래프의 평균선의 기울기는 원점을 지나는 직선으로 표현되며 불확도가 작아질수록 이 기울기는 수평축과 평행을 이루게 된다.

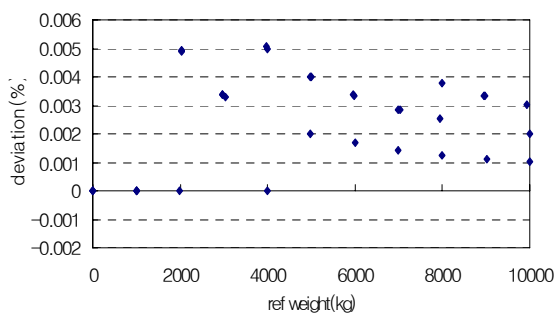
3. 실험결과 및 고찰

3.1 로드셀 실험결과

중량장치는 원통형, 철제로 만들어진 탱크이며 그 하부에 압축형 로드셀을 3개소에 설치하여 로드셀에서 나오는 출력을 합성, 중량을 지시하도록 구성되어 있다. 로드셀은 하중을 받으면 하중의 방향에 따라 인장이나 압축을 하는 스트레인게이지가 내장된 탄성체이며, 스트레인게이지 내



(a) Original



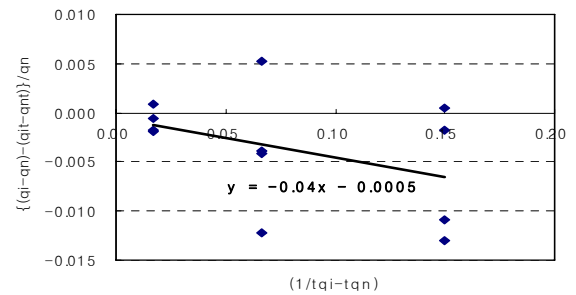
(b) After adjustment

Fig. 2 Test result of weighing tank

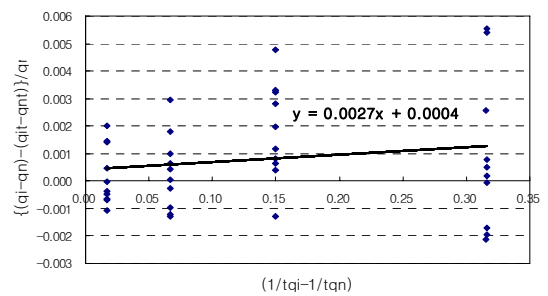
부에는 휘트스톤 브리지회로(Wheatston bridge circuit)로 구성된 저항선이 하중에 비례한 저항을 출력하고 이 저항을 증폭하여 하중의 크기로 변환, 지시한다. 시스템 구축직후 국가교정기관으로 인정받을 당시의 10톤 중량장치에 대한 하중별 출력 편차는 Fig. 2 (a)와 같이 최대 +0.03%, 최소 -0.03%의 편차를 보이고 있다. 로드셀 설치상태를 조정한 후 측정된 중량편차는 Fig. 2 (b)에 나타낸 것과 같이 최대 +0.005%로 측정의 정확성이 획기적으로 개선되었음을 알 수 있다. 로드셀에서 출력되는 데이터의 신뢰성 확보를 통한 원활한 실험을 위해 로드셀에 인가되는 하중이 균일하게 작용하도록 수평 및 무게중심을 조정하여 개별 출력이 동일한 값을 지시하도록 한 결과이다.

3.2 다이버터 실험결과

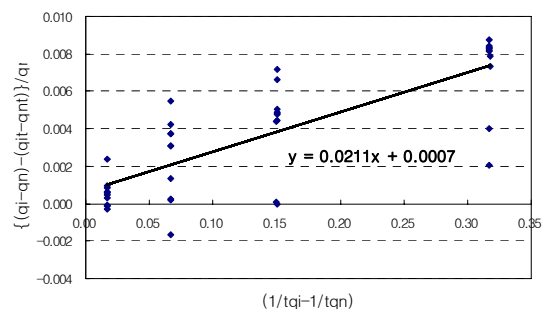
다이버터(diverter)는 중량 측정식 유량계 교정 시스템에서 가장 중요한 부분이므로 동작의 재현성을 측정하기 위하여 다이버터 동작속도 측정기를 개발·제작하여 유체를 수집하는 공정과 바이



(a) Original data



(b) Max. flow rate



(c) Mean flow rate

Fig. 3 Test result of diverter uncertainty.

패스하는 공정의 시간을 동일하게 조정하였다. 이 장치는 다이버터의 시간트리거 장치를 이용하여 다이버터가 동작하는 시간을 측정하는 것으로 2개의 광센서와 1개의 타이머로 구성되어 있다. 그리고 유체를 수집하는 시간을 결정하는 트리거링(triggering) 동작의 정확성을 위해 센서의 높이를 조절할 수 있도록 구조를 변경하여 다이버터가 유로를 전환할 때 유동의 중심에 가장 근접한 위치에서 수집시간이 결정되도록 하였다. 또한 대구경 유량계 교정시스템의 다이버터는 커다란 강철 구조물이기 때문에 동작속도를 빠르게 하면, 전체 구조물에 오는 충격으로 인하여 반복 사용할 때 파손의 위험이 생길 수 있으므로 이러한 문제점을 완화하기 위해 다이버터 동작 시 중

착지점에서 속도를 급격히 완화할 수 있는 완충 장치를 고안하여 수집 및 바이패스 위치에 각2조, 총4조를 설치하였다.

다이버터의 불확도를 나타내는 그래프에서 추세선의 기울기가 횡축에 가까워질수록 유동의 중심에 근접하여 트리거링이 되어 불확도가 작아진다는 것을 의미한다. Fig. 3 (a)는 국가교정기관으로 인정받을 당시의 실험 데이터로 유동의 중심에서 0.04 s 빠르게 트리거링이 되었음을 알 수 있다. Fig. 3 (b)는 다이버터를 보완한 후 최대유동율에서 실험한 데이터이며 유동의 중심보다 0.0027 s 늦게 트리거링이 된 것을 나타낸다. Fig. 3 (c)는 중간유동율에서의 실험 데이터이며 유동의 중심보다 0.0211 s 늦게 트리거링이 되었음을 알 수 있다.

4. 결 론

중량식 유량계 교정시스템은 그 정확성이 우수하여 국가표준기관인 한국표준과학연구원에 설치되어 있으며 국가교정기관은 시스템을 구축하는 비용 문제로 대부분이 기준유량계법을 선호하고 있다. 그러나 수자원연구원은 유량측정분야의 선도적인 역할로 산업계의 기술발전 및 연구시설로의 활용도 제고 등을 위해 유동율별로 4종류의 중량식 교정시스템을 설치하였다. 그리고 교정시스템의 측정능력 향상을 위해 불확도에 지배적인 영향을 주는 중량 및 시간 측정에 관련된 장애요인을 줄이기 위한 노력의 일환으로 로드셀의 특성을 고려한 시설개선과 스윙식(swing type) 다이버터의 구조적인 취약점인 왕복운동에 의한 불확도⁽⁸⁾를 최소한으로 줄이기 위한 부가 시설을 고안하였다. 그 결과 로드셀 출력의 편차를 대폭 줄임으로서 보다 정확한 측정을 할 수 있었고 다이버터의 동작속도와 트리거링 위치의 변화를 조합하여 반복적인 실험을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 로드셀 각각에 인가되는 하중이 편심되지 않고 균일하게 작용하여야 그 출력 또한 안정된 값을 얻을 수 있다.

(2) 다이버터의 동작속도가 빠를수록, 트리거링 위치가 정확할수록 즉, 트리거링 포인트가 노즐에서 분출되는 유동의 중심에 가까워질수록 불확

도는 줄어든다.

참 고 문 헌

- (1) ISO/IEC 17025, 2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratory.
- (2) KASTO-ED-B-08, 2006, Administration rules for designation of national calibration laboratories.
- (3) KOWACO, 2004, Executive design report on construction for water education center.
- (4) ISO 4185, 1980, Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits-Weighing Methods.
- (5) Lim, K. W., 2001, A study on the measurement uncertainty of flowmeter calibrator, Korean Journal of KSME(B), Vol. 25, No. 4, pp. 561-571.
- (6) ISO, 1993, Guide to The expression of uncertainty in measurement (1st edition)
- (7) Oh, S. Y., et al., 2000, A study for accuracy improving of flow meter and flow meter standard test system, Report of KOWACO, WRII-WS-00-7.
- (8) T. Shimada, S. Oda, Y. Terao, M. Takamoto, 2003, "Development of a new diverter system for liquid flow calibration facilities", Flow Measurement and Instrument 14, pp. 89-96