

# 국가교정검사기관(액체유량)의 측정불확도 평가 및 비교연구

임 기 원<sup>†</sup>

한국표준과학연구원 유체유동그룹

## A Study on the Evaluation of Measurement Uncertainty for the National Calibration and Test Organizations (Liquid Flow)

Ki Won Lim

Fluid Flow Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon, 305-600, Korea

(Received July 18, 2000; revision received October 4, 2000)

**ABSTRACT:** A proficiency test is one of programs which Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS), as national metrology institute, is putting in operation for the mutual recognition arrangement. The Fluid Flow Group of KRISS evaluated the measurement capability for liquid flowmeter calibrator of the national calibration and test organizations. The uncertainty of national standard system was estimated in accordance with Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement (ISO), and the turbine flowmeter, which was used for the round-robin test as a reference flowmeter, was characterized. The round-robin tests with the turbine flowmeter package were carried out in 1995 and 1999. The test results of the organizations and those of KRISS agreed within  $\pm 0.2\%$ . It is found thus that the organizations have the traceability of the national standard for liquid flow measurement.

**Key words:** Liquid flow measurement(액체유량측정), Mutual recognition arrangement(상호인정협약), National calibration and test organization(국가교정검사기관), Proficiency test(숙련도시험), Round-robin test(순회시험)

### 기 호 설 명

$D$	: 측정실린더의 직경 [m]	$t$	: 수집시간 [s]
$C_{x_i}$	: 독립변수 $x_i$ 의 감도계수	$t_{lf}$	: 유량계 유체의 온도 [°C]
$E$	: 푸루버 재질의 영율 [ $\text{kgf}/\text{m}^2$ ]	$t_{lp}$	: 푸루버 유체의 온도 [°C]
$F$	: 유체의 압축계수 [ $\text{m}^2/\text{kgf}$ ]	$t_{lms}$	: 기준유량계 유체의 온도 [°C]
$k$	: 포함인자	$t_{mp}$	: 푸루버 재질의 온도 [°C]
$P_p$	: 측정실린더의 내부의 압력 [ $\text{kgf}/\text{m}^2$ ]	$th$	: 측정실린더의 두께 [m]
$Q_t$	: 유동율 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	$T$	: 기준온도 [°C]
		$x_i$	: 독립변수
		$y_i$	: 추정값
		$u(x_i)$	: 독립변수 $x_i$ 의 표준불확도
		$u_c(y_i)$	: 추정값 $y_i$ 의 합성표준불확도
		$V_{ms}$	: 기준탱크에서 측정한 부피 [ $\text{m}^3$ ]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-42-868-5314; fax: +82-42-868-5028

E-mail address: kwlim@kriss.re.kr

8. Jayatileke, C. L. V., 1969, SAE paper No. 900254. 1977, Trans. ASME J. Heat Transfer, Vol. 99, pp. 180-186.
9. Patankar, S. V., Liu, C. and Sparow, E. M.,

$W_{ms}$  : 중량 측정장치가 측정값[kg]

**그리스 문자**

- $\alpha_{if}$  : 유량계 유체의 체팽창계수 [°C]
- $\alpha_{lp}$  : 푸루버 유체의 체팽창계수 [°C]
- $\alpha_{ims}$  : 기준유량계 유체의 체팽창계수 [°C]
- $\alpha_{mp}$  : 푸루버 재질의 체팽창계수 [°C]
- $\rho_a$  : 공기의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]
- $\rho_p$  : 추의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]
- $\rho$  : 액체의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

**1. 서 론**

우리나라의 측정표준은 국가측정표준기관(National Metrology Institute)인 한국표준과학연구원을 정점으로 유지되고 있다. 산업체의 측정능력 향상과 국가자원의 효율적인 관리를 위해서 측정능력을 갖춘 공공기관이나 기업체에 국가교정 및 시험검사기관으로 지정하여 국가의 측정표준체계를 유지하고 있다. 이러한 교정검사기관의 측정정확도는 표준기관과 정확도를 비교하여 표준의 소급성(traceability)을 유지하고 있으며 교정검사기관의 교정 및 시험결과도 공인된 시험결과로 인정된다.

각국이 이와 비슷한 교정 및 시험검사에 관한 국가제도를 운용하고 있으며 이를 자국 생산품이나 수입품의 품질관리에 활용하고 있다. 즉 수출입시에 생산국이나 수입국에서 각각 공인된 기관으로부터 교정 또는 시험하여야 한다. 상호인정체계가 확립되면 이러한 이중의 실험에 소요되는 시간과 노력을 절약할 수 있다. 또 다른 측면에서 상호인정체계를 확립하지 못하면 별도의 시험을 해야 하므로 시장에서 경쟁력이 약화되는 것을 의미하며 무역의 장벽으로 작용한다.

이러한 교정 및 시험결과를 국제적으로 상호인정하기 위한 노력이 국제도량형위원회(BIPM) 주관으로 이루어지고 있다. 우리 나라는 1999년 10월 한국표준과학연구원이 국가측정표준대표기관으로서 제21차 국제도량형총회(1999.10)에서 상호인정협약(Mutual Recognition Arrangement)에 서명하고 국내의 인증 체계를 국제적으로 공인 받

은 후 2003년부터 시행하도록 협약하였다.

각국의 표준기관을 지역별로 6개 권역으로 나누어 표준장치의 정확도를 비교하기로 하였다. 각 권역에서 하나의 pivot lab.를 지정하고 이를 중심으로 권역 내부에서 순회실험으로 비교하고, 권역간은 각 권역의 pivot lab.이 비교 실험하여 정확도를 검증한다. 우리나라는 아시아지역의 국가들로 구성된 APMP(Asian Pacific Metrology Program)에 참가하고 있다. 그리고 참가국의 내부에서는 표준기관과 국내의 교정검사기관간의 정확도를 비교한다. 이와 같이 국내의 교정검사기관간, 권역의 국가간, 권역간 비교 순회실험(round robin test)이 이루어진다.

또 국제표준화기구(ISO)에서는 ISO 9000 시리즈의 품질인증체제와 ISO/IEC 17025에 의한 교정시험검사기관 인정기준을 갖추어 이를 권고하고 있다.<sup>(1,2)</sup> 따라서 한국표준과학연구원은 국가측정표준대표기관으로서 교정검사기관의 측정능력검증을 포함하여 상호인정체제의 확립을 위한 준비를 하고 있다.

본 연구는 액체유량분야의 교정검사기관의 측정능력을 평가하기 위해 표준기관과 정확도를 상호 비교하였다. 이러한 측정정확도 상호비교 실험을 숙련도 시험(proficiency test)으로 정의하며 1999년에 3개의 국가교정검사기관이 참가하였다.<sup>(3)</sup> 그리고 1995년의 순회실험의 결과<sup>(4)</sup>와 국가표준장치의 측정정확도의 변화를 고찰해 본다.

**2. 평가의 방법**

**2.1 유량계 교정장치의 원리**

유량계는 일반적으로 중량측정법(gravimetric method), 부피측정법(volumetric method) 및 기준유량계법(mastermeter method)으로 교정된다. 한국표준과학연구원은 중량측정법으로 국가표준을 유지하고 있으며 숙련도 실험에 참가한 5개 기관은 이러한 3가지 방법 중 하나로 유량계를 교정하고 있다.

Fig. 1은 중량식유량계 교정장치를 나타낸 것이다. 유량계를 통과한 유체를 수집하여 중량을 측정하여 유량계의 측정값과 비교하는 방법이다. 저장조(reservoir)의 유체가 펌프에 의해 일정수두유지장치(constant head tank)로 유동하며 시험

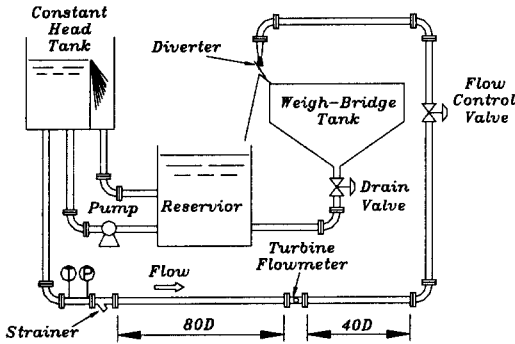


Fig. 1 Schematic diagram of gravimetric flowmeter calibration system.

관로에 설치된 유량계를 통과하여 중량측정장치(weigh-bridge)의 수집탱크에 저장된다.

일정수두유지장치는 펌프 등으로부터 발생하는 진동과 맥동을 제거하는 유동율(flowrate) 안정화 장치이고, 유동방향변환밸브(diverter)에 의해 유체수집의 시작과 끝이 정해진다. 수집된 유체의 중량 측정값에 의한 유동율의 계산은 식(1)과 같이 한다.<sup>(5)</sup>

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

여기에서 오른쪽 마지막 항은 부력보정계수로서 유체의 밀도  $\rho$ , 공기의 밀도  $\rho_a$ , 추의 밀도  $\rho_p$ 의 함수로 표현된다.

중량측정법은 장치의 자동화가 비교적 쉽고, 유체의 점성에 의한 실험의 제약이 적어 각국의 국가표준기관에서 많이 사용되고 있다. 단점은 설치비용 및 유지관리에 비용이 많이 들고 넓은 설치공간이 필요하다.

부피측정법은 유량계를 통과한 유체를 기준탱크(standard volume tank)에 수집하여 유량계 측정값과 비교하는 방법이다. 측정정확도면에서 중량측정법과 같은 정도이나 벽면에 점착하는 유체의 점성 때문에 5cSt 이하의 액체의 사용이 권장된다.<sup>(6,7)</sup> 이러한 기준탱크를 이용한 부피측정법의 단점을 보완한 파이프형 푸루버가 널리 사용된다.<sup>(8)</sup>

Fig. 2는 실험에 사용된 소형피스톤 푸루버(이하 푸루버)의 유량계 교정원리를 나타낸 것이다.

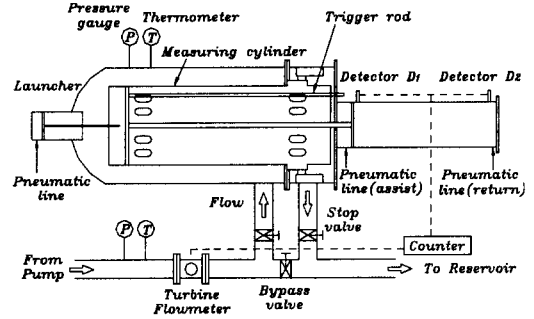


Fig. 2 Operational principle of small volume piston prover.

푸루버는 유량계가 사용되는 현장에 설치되어 사용액체로 유량계를 직접 교정하는 장치이다. 유량계 교정의 원리는 이중(double shell type)으로 된 측정실린더(measuring cylinder) 내부를 피스톤이 이동하면서 유체를 토출하면 유량계가 이를 측정하게 된다. 이때 피스톤이 이동하면서 토출하는 유체의 양을 미리 알고 있으면 유량계의 측정값의 정확도를 알 수 있다.

피스톤이 감지스위치 사이를 이동하면서 토출한 유체의 양은 기본부피(basic volume)라고 하며 물 유도법(water draw method)으로 측정한다.<sup>(8,9)</sup> 측정의 결과는 식(2)와 같이 푸루버 내부의 온도와 압력에 의한 액체와 재질의 부피변화를 보정하고, 유량계의 측정값도 온도를 측정하여 보정한다.<sup>(7)</sup>

$$Q_t = \frac{V_{ms}}{t} \cdot \left\{ \frac{1}{1 + \alpha_{if}(t_f - T)} \right\} \cdot \left\{ \frac{1}{1 + \alpha_{ip}(t_{ip} - T)} \right\} \cdot [1 + \alpha_{mp}(t_{mp} - T)] \cdot (1 - P_p F) \cdot \left\{ \frac{1}{1 + P_p D / E \cdot th} \right\} \quad (2)$$

푸루버의 작동은 진수피스톤(launcher)이 측정실린더 내부의 피스톤을 밀면 유체에 의한 압력과 반대편 실린더(assist)의 도움으로 이동한다. 피스톤과 같이 측정막대(measuring rod)가 이동하여 감지스위치(detector)를 트리거하게 된다. 감지스위치의 작동에 따라 카운터는 유량계로부터 발생하는 유량신호인 펄스를 측정하며 감지스위

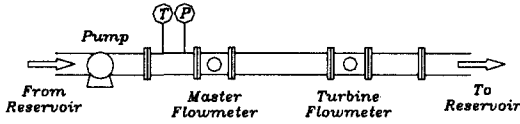


Fig. 3 Flowmeter calibration with mastermeter method.

치  $D_1, D_2$  를 지날 때 각각 시작하고 멈추게 된다. 즉 카운터가 측정한 유량계의 펄스는 피스톤이 감지스위치 사이를 이동하면서 토출한 유체의 량에 해당하는 것이다.

푸루버는 현장에서 유량계를 직접 교정할 수 있고, 교정시스템의 운영을 무인화할 수 있는 장점이 있다.<sup>(8)</sup>

한편 기준유량계에 의한 교정방법은 Fig. 3과 같이 기준이 되는 유량계와 실험 대상 유량계를 하나의 관로에 장착하고 각각의 측정값을 서로 비교하는 방법이다. 즉 기준유량계와 실험 대상 유량계 사이의 누설이나 공기의 유입이 없으면 연속의 법칙이 성립하므로 유량계를 교정할 수 있다. 피교정기기의 측정값은 식(3)과 같이 측정 유체의 온도 팽창을 기준온도로 보정한다.

$$Q_t = \frac{V_{ms}}{t} \cdot \left\{ \frac{1}{1 + \alpha_{1f}(t_{1f} - T)} \right\} \cdot \left\{ \frac{1}{1 + \alpha_{1ms}(t_{1ms} - T)} \right\} \quad (3)$$

기준유량계법은 설치공간과 운영 비용면에서 유리하나 기준유량계도 특성이 변하므로 정기적으로 교정을 해야 하고 기준유량계 2개를 직렬이나 병렬로 사용하여 측정의 신뢰성을 높인다.

본 연구에서 사용한 실험장치는 참가기관 B, C, D는 중량식유량계 교정장치, A는 소형피스톤 푸루버, E는 기준유량계법으로 유량계를 각각 교정하였다.<sup>(3,4)</sup>

### 2.3 불확도 평가방법 및 불확도의 전파

유량표준은 Fig. 4에서 알 수 있듯이 질량(또는 부피)표준, 압력표준, 온도표준, 시간표준과 온도 영향을 받는 상수로부터 정의된다. 따라서 유량표준의 불확도는 유량표준을 구성하는 요소(독립변수)의 불확도로부터 구할 수 있다. 중량측정법

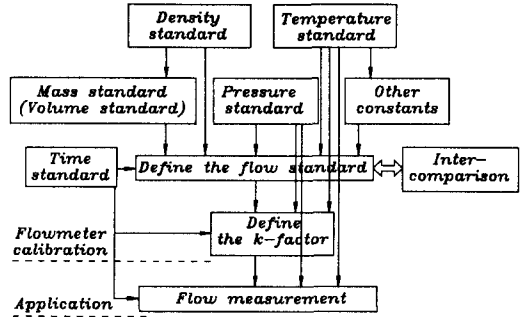


Fig. 4 Definition of the flowrate standard and the uncertainty propagation in flow measurement.

에 의한 유량표준장치의 불확도를 구하는 과정을 고찰해 보기로 한다.<sup>(1,2,10)</sup> 유동을 결정에 영향을 미치는 독립변수의 함수로 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q_t = f(W_{ms}, t, \rho_a, \rho_p, \rho) \quad (4)$$

식(1)의 평형관계식을 근사식으로 정리하면 식(5)와 같이 정리된다.

$$Q_t \cong \frac{W_{ms}}{\rho \cdot t} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_p} + \frac{\rho_a}{\rho} - \frac{\rho_a^2}{\rho \cdot \rho_p} \right) \quad (5)$$

따라서 유동을  $Q_t$ 를 결정하는 합성표준불확도(combined standard uncertainty)는 독립변수의 표준불확도(standard uncertainty)와 감도계수(sensitivity coefficient)로 식(6)과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} u_c^2(Q_t) &= \sum_{i=1}^n C_{x_i}^2 u^2(x_i) \\ &= C_{W_{ms}}^2 u^2(V_{ms}) + C_{\rho_a}^2 u^2(\rho_a) \\ &\quad + C_{\rho_p}^2 u^2(\rho_p) + C_{\rho}^2 u^2(\rho) \\ &\quad + C_t^2 u^2(t) \end{aligned} \quad (6)$$

감도계수는  $C_{x_i} = \partial f / \partial x_i$ 이며 독립변수의 표준불확도  $u(x_i)$ 는 측정결과로부터 구하거나 또는 사용하는 데이터로부터 구한다. 교정 및 측정결과에

최종적으로 표시되는 확장불확도(expanded uncertainty)는 식(7)과 같이 구한다.<sup>(2)</sup>

$$U = \pm k \cdot u_c(Q_i) \quad (7)$$

여기에서  $k$ 는 포함인자(coverage factor)로서 유효자유도(effective degrees of freedom)와 신뢰구간(confidence level)에 의하여  $t$ -분포표로부터 구한다. 또 피스톤푸루버를 이용한 방법과 기준유량계에 의한 방법도 같은 과정으로 구할 수 있다.<sup>(10)</sup>

그리고 표준(교정)장치가 가지는 확장불확도는 식(7)과 같이 나타내며 이러한 장치로 유량계를 교정하였을 때는 유량계가 가지는 합성표준불확도는 식(8)과 같이 나타낸다.

$$u_c(fm) = \sqrt{\left( \begin{array}{c} \text{교정장치의} \\ \text{표준불확도} \end{array} \right)^2 + \left( \begin{array}{c} \text{교정결과의} \\ \text{표준불확도} \end{array} \right)^2} \quad (8)$$

확장불확도는 같은 방법으로 식(7)과 같이 유효자유도와 신뢰구간으로부터 확장불확도를 구할 수 있으며 이는 곧 불확도의 전과과정을 나타낸다.

지금까지 기술한 방법은 유동율을 정의하는 데 필요한 독립변수로부터 교정장치가 가지는 불확도의 크기를 구할 수 있다.

또 다른 불확도의 확인방법은 Fig. 4에서 알 수 있듯이 각기 다른 과정을 통하여 정의된 유량표준을 유량계를 매개로 하여 비교하는 방법(intercomparison)이다. 즉 반복성(repeatability)과 선형성(linearity)이 우수한 유량계를 각각의 표준(교정)장치로 교정하여 유량계의 교정결과로부터 교정장치의 정확도를 비교하는 방법이다. 이 방법은 불확도의 절대적인 값을 구할 수는 없으나 교정장치간의 측정값의 상대적인 편차를 알 수 있다.

국내의 교정검사기관간의 정확도 비교에서는 표준기관이 기준값이 되며 교정검사기관의 측정결과가 기준값으로부터 벗어나는 정도를 확인한다. 주권을 가진 국가간의 비교에서는 순회실험에 참가한 국가의 평균값이 기준이 되며 기준으로부터 편차가 측정불확도의 평가기준이 된다.

### 2.3 순회측정용 기준유량계 및 측정방법

교정검사기관의 유량계 교정장치의 불확도 확인은 2.2절에서 기술한 2번째 방법으로 터빈미터

패키지를 매개로 하여 간접 비교하였다.

순회측정에 사용된 터빈미터 패키지는 Fig. 5와 같다. 사용된 유량계는 Fisher & Porter사의 제품으로 직경이 50 mm(공칭직경 2")이며 비틀린 날개를 가진 터빈미터로서 측정유량범위는 최고 70 m<sup>3</sup>/h이고 제조회사에서 주장하는 불확도는 ±0.5% 이내이다. 터빈미터의 선정은 참가기관의 측정 가능한 공동범위를 고려하여 크기를 정하였고, 표준장치의 정확도 확인용으로 정기적으로 실험하여 유량계의 특성을 비교적 잘 알고 있는 유량계이다.

유량계는 유동율에 따라 특성이 달라지기 때문에 사용범위에서 유동율을 선정하여 실험한다. 일반적인 교정실험에서는 유동율을 5개구간으로 나누어 하나의 유동율에서 3회 실험한다. 본 연구에서는 유량계 교정장치의 특성의 파악이 목적이므로 참가기관에게 유동율의 범위 또는 크기를 지정하고 실험하도록 기준을 제시하였다.

1995년 순회실험에서는 10 m<sup>3</sup>/h에서 60 m<sup>3</sup>/h까지 측정 유동율의 범위를 지정하고 특성커브(characteristic curve)를 찾도록 하였고, 1999년에는 7개의 유동율을 지정하고 각 유동율에서 3회 실험을 하도록 참가기관에 기준을 제시하였다.

그리고 터빈미터는 관로 내부의 속도분포에 의해 측정값이 영향을 받으므로 상류 쪽에 80D, 하류 쪽에 40D의 직관부를 설치하였다. 유량계에서 충분히 발달한 속도분포가 되도록 하여 교정장치의 특성 외에 설치조건에 의한 측정값의 변화가 없도록 하였다. 순회실험에서 부착된 직관부는 해체하지 않고 참가기관으로 운반하여 실험하였다.

순회측정방법은 한국표준과학연구원서 유량계의 특성을 확인한 다음 참가기관 A, B, C, D, E로 터빈미터 패키지를 운반하여 각각 실험하고 다시 한국표준과학연구원서 실험하여 특성커브의 변화를 확인하였다.

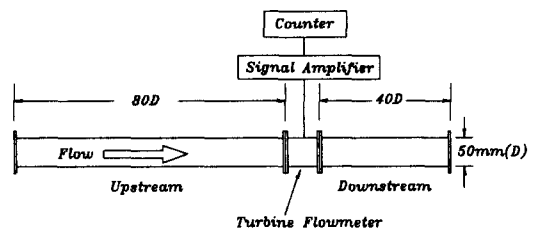


Fig. 5 Turbine flowmeter package.

### 3. 실험결과 및 논의

#### 3.1 국가표준장치의 불확도 평가 및 기준유량계의 특성

한국표준과학연구원의 국가표준장치는 순회실험을 하기 전 2.2절의 첫 번째 방법으로 불확도를 평가하였다. Fig. 6은 분동을 이용하여 중량측정장치를 물치환법(water substitute method)으로 각각 3회 교정 실험한 결과이다. 1995년에는 최대 0.015%, 1996년에는 0.02%를 벗어나지 않고 있다. 즉 유량계교정장치의 정확도에 영향을 미치는 중요한 요소인 중량측정장치의 측정값의 변화는 크지 않고 측정 정확도가 유지되고 있음을 알 수 있다. 이렇게 독립변수의 표준불확도와 감도계수를 구하여 평가한 국가표준장치의 확장불확도는  $\pm 0.15\%$ 이다.

Fig. 7, 8은 불확도가 평가된 표준장치로 순회실험에 사용될 터빈유량계의 특성의 변화를 실험한 것이다. Fig. 7은 1995년과 1999년 순회실험 전후에 교정한 결과를 나타낸 것이다. 터빈미터의 특성은 k-factor(pulse/liter)값이 실험범위의 유동율에서  $\pm 0.15\%$  이내의 반복성을 유지하고 있고, 특히 유동율 50 m<sup>3</sup>/h에서 k-factor값이 작아지는 현상도 일치하고 있다. 즉 4년 동안 터빈미터의 특성은 변하지 않았다고 할 수 있다.

Fig. 8은 1999년 순회실험을 시작하기 전과 후에 한국표준과학연구원에서 실험한 결과를 나타낸 것이다. 실험의 목적은 비교 측정용으로 사용

된 터빈미터 패키지의 순회 실험중 특성의 변화를 고찰하기 위한 것이다.

실험은 유량계의 특성이 선형성을 유지하는 유동율 범위인 7 m<sup>3</sup>/h에서 60 m<sup>3</sup>/h까지 측정하여 k-factor로 표시하였다. 터빈미터는 순회실험 전후의 반복성이  $\pm 0.15\%$  이내로 안정적임을 알 수 있다. 터빈미터의 특성이 실험 유동율 범위에서 k-factor가 33.2의 값을 보이고 있으나 유동율 50 m<sup>3</sup>/h에서 크기가 작아지는 것을 알 수 있다. 즉 순회실험과정에서 참가기관들은 이러한 특성을 찾아내어야 함을 뜻한다. 이로서 기준이 되는 국가표준장치와 매개체로 사용한 터빈유량계의 불확도 및 특성이 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

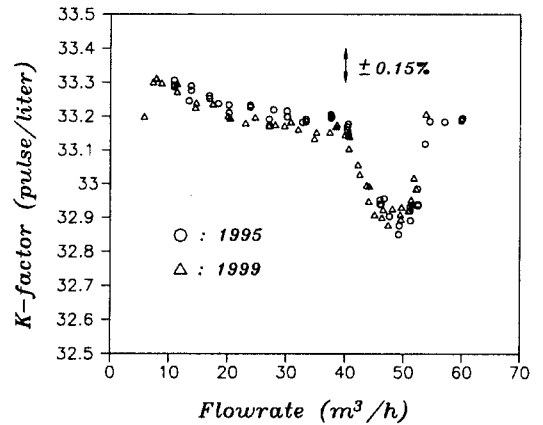


Fig. 7 The characteristics of turbine flowmeter.

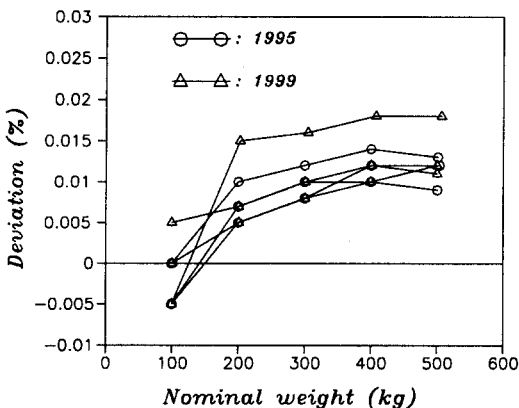


Fig. 6 Calibration results of the weigh-bridge with the water draw method.

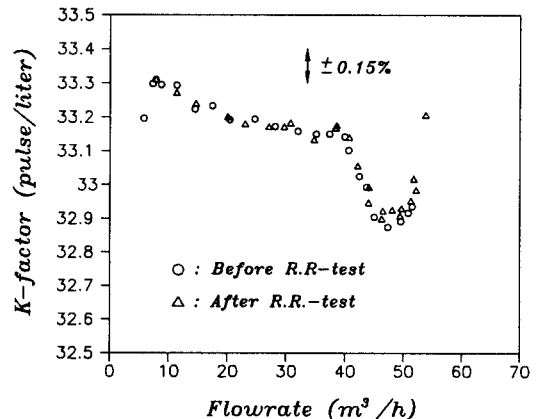


Fig. 8 Calibration results of turbine flowmeter package at KRISS.

3.2 순회실험의 결과

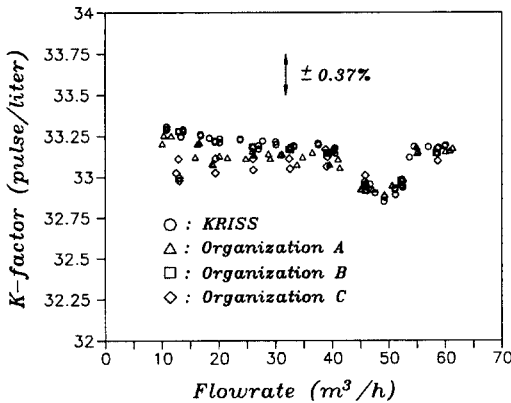
Fig. 9의 (a), (b)는 1995년과 1999년 순회실험의 결과를 각각 나타낸 것이다. Fig. 9(a)에서 표준과 학연구원과 3개 교정검사기관의 터빈미터의 측정 결과이다. 유동율이 40 m<sup>3</sup>/h보다 클 때는 터빈미터가 가지는 반복성 ±0.15% 이내로 k-factor가 일치하고 있고, 유량계 고유의 특성인 유동율 50 m<sup>3</sup>/h에서 k-factor가 작아지는 현상도 나타나고 있으나 유동율이 작아지면 반복성이 나빠지고 있다.

B기관은 실험 유동율 전 범위에서 터빈미터의 반복성 이내로 일치하는 결과를 보이고 있다. A기관은 유동율이 작아질수록 반복성이 나빠져 최대 ±0.2% 정도로 커지고 -0.3% 편차를 보이고 있다. 또 C기관도 유동율 10 m<sup>3</sup>/h에서 반복성이 최대 ±0.2%이고 -0.6%의 편차를 보인다. 이러한 결과는 터빈미터의 특성이 유지되고 있음을 확인했으므로 교정장치가 가지는 측정불확도의 증가로 볼 수 있다. 반복성이 나빠지는 것은 유동율이 불안정하거나 장치의 작동이 원활하지 못함을 뜻하고, 편차가 커지는 것은 교정장치가 구조적으로 문제가 있음을 의미한다.<sup>(3,4)</sup> 따라서 A기관에서 사용하는 푸루버는 유동율이 작을 때 피스톤의 이동속도가 균일하지 않다는 것을 알 수 있다. 또 C기관은 “-” 방향으로 편차가 커지는데 이는 유동방향변환밸브의 설치 및 작동 위치를 점검해야 함을 뜻한다.

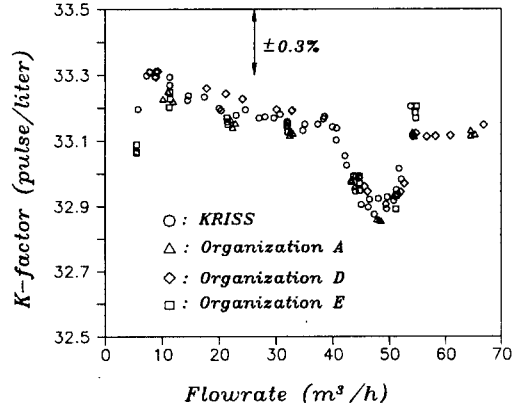
Fig. 9(b)는 한국표준과학연구원과 참가기관 A, D, E의 측정결과를 나타낸 것으로 7개의 유동율

에서 각각 3회 실험하여 k-factor로 표시한 것이다. A기관은 1999년 다시 순회실험에 참가하고 D, E기관은 처음 순회실험에 참가하였다. A기관의 경우 기준이 되는 한국표준과학연구원의 실험 결과보다 +0.2% 편차를 보이며 참가기관 D, E는 -0.2% 편차를 보이고 있다. 참가기관은 기준 유동율을 구현하는 방법이 다르므로 따라서 측정의 오차를 유발하는 요소가 각각 다르다. 또 실험의 결과는 터빈미터 자체가 가지는 반복성과 측정시스템이 가지는 오차 외에 교정실험을 수행한 실험자의 숙련도(proficiency)까지 포함하고 있는 결과라고 할 수 있다. 특히 A기관은 1995년보다 반복성이 좋아지고 편차도 줄어든 결과를 보이고 있다. 이러한 순회실험을 통하여 교정장치의 문제점을 발견하고 이를 해결하여 측정정확도 개선에 도움이 되었다는 것을 알 수 있다.

참가기관의 측정결과는 전 유동율 범위에서 반복성이 ±0.1% 이내임을 알 수 있다. 즉 터빈미터와 특성을 실험한 교정장치도 전 유동율 범위에서 안정되어 있다는 것을 알 수 있다. 또 참가기관과 한국표준과학연구원의 실험 결과가 각각의 유동율에서 ±0.2% 이내로 일치하고 있으며 또 터빈미터의 특성을 잘 따르고 있음을 알 수 있다. 특히 유동율 50 m<sup>3</sup>/h에 k-factor값이 작아지는 현상도 잘 추적하여 ±0.2% 범위 이내에서 일치하고 있다. 이는 순회실험에 사용된 터빈유량계 외에 다른 종류의 유량계에서 일반적으로 적용되므로 교정장치로서 불확도 ±0.2% 이내로 유량계를 교정할 수 있음을 뜻한다.



(a) KRISS, organization A, B and C (1995).



(b) KRISS, organization A, D and E (1999).

Fig. 9 The round-robin test results of the turbine flowmeter package.



#### 4. 결 론

액체유량분야 국가교정검사기관의 측정불확도를 평가하기 위해 유량계 교정장치를 비교하였다. 터빈미터 패키지를 매개로 하여 1995년과 1999년에 각각 3개 기관이 순회시험(round-robin test)에 참가하였고, 중량측정법, 소형 피스톤푸루버, 기준유량계법으로 각각 터빈미터 패키지를 교정하였다.

1995년과 1999년의 순회시험 전후에 매개로 사용한 터빈미터를 한국표준과학연구원에서 교정하였고 실험한 유동율 범위에서  $\pm 0.15\%$  이내로 안정적이었다.

또 참가기관의 측정결과는 국가표준과 비교하여 1995년에는 B기관은  $\pm 0.15\%$  이내로 일치하고 있으나 A기관과 C기관은 유동율이 작을 때 최대  $\pm 0.2\%$ 로 반복성이 커지고 각각  $-0.3\%$ ,  $-0.6\%$ 의 편차를 보였다. 1999년의 실험결과는 참가기관 모두  $\pm 0.2\%$  이내로 일치하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 교정장치가 가지는 측정능력을 나타내는 것으로 참가기관 A, B, D, E는 국가교정검사기관으로서 적절한 측정능력을 보유하고 있다고 할 수 있다. 그리고 C기관은 교정장치의 정확도 향상을 위해 유동방향변환밸브의 설치 및 작동 위치를 점검하고 조정해야 함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. ISO/IEC 17025, 1999(E), General requirements for the competence of testing and calibration laboratory (1st edition).
2. ISO, 1993(E), Guide to The expression of

- uncertainty in measurement (1st edition).
3. Lim, K. W. and Yoon, B. R., 2000, Proficiency testing for the calibration and testing organizations, Report of KRISS, KRISS/IR-2000-020.
4. Lim, K. W. and Yoon B. R., 1995, Evaluation on the measurement capability for calibration and test organizations (Fluid flow), Report of KRISS, KRISS-95-111-IR.
5. ISO 4185, 1980, Measurement of liquid flow in closed conduits-weighing methods.
6. ISO 8316, 1984, Measurement of liquid flow in closed conduits-method by collection of the liquid in a volumetric tank.
7. JFI standard 1001, 1975, Accuracy test methods for liquid flowmeter, Japan Flowmeter Industry Association.
8. Lim, K. W. and Paik J. S., 1986, 1987, Development of a mobile flow proving system, Report of KRISS, KRIS-86-36-IR, KRIS-87-42-IR.
9. API 1101, 1988, Manual of petroleum measurement standards (1st edition), Chapter 4. Proving systems.
10. Lim, K. W., 2000, A study on the measurement uncertainty of pipe prover, Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers, Vol. 24, No. 10, pp. 1388-1398.
11. Lim, K. W., 2000, A study on measurement accuracy of the national calibration and test organizations (Liquid flow), Proceedings of the SAREK '2000 Summer Annual Conference, pp. 486-490.