

유수율 향상을 위한 수도미터의 불감률 특성 연구

이 동 근* · 박 종 호**†

* 한국수자원공사 K-water연구원, ** 충남대학교 기계공학과

A Study on Characteristics of Under Registration Rate for Water Meters to Increase the Accounted Water Rate

Dong Keun Lee* and Jong Ho Park**†

* K-water Institute, Korea Water Resources Corporation,

** Dept. of Mechanical Engineering, Chungnam Nat'l Univ.

(Received April 7, 2010 ; Revised June 8, 2010 ; Accepted June 9, 2010)

Key Words: Water Meter(수도미터), Under Registration Rate(불감률), Accounted Water Rate(유수율), Uncertainty(불확도), Flow Rate(유동률)

초록: 수도미터를 통한 유량측정 및 분석결과의 신뢰성은 측정정확도에 따라 좌우된다. 수도미터의 불감률은 수도사업자에게 재정손실이나 유수율 감소와 같은 많은 문제점을 야기시킨다. 본 연구의 목적은 실험적인 방법을 통하여 효율적인 운영관리 기술과 차별화된 서비스를 제공하기 위한 최적의 메커니즘 채택과 같은 핵심기술 개발과 지원을 하고자 함이다. 본 연구에서는 중고 수도미터를 이용하여 구경, 제작사, 사용연수 및 사용량별로 실험적으로 수행하였다. 연구결과 사용연수가 길어질수록 최소유량에서의 오차가 “-” 방향으로 커지는 것을 확인하였다.

Abstract: The reliability of a water meter for measuring the water flow-rate and subsequent analysis of the measured water depends on the accuracy of measurement. The under registration of a water meter causes many problems for operators, such as loss in revenue and a decrease in the rate of measured water. The purpose of this study is to support and development core technology, such as efficient operations management and adoption of the best mechanism for providing different services by experimentally. In this study, experiments were conducted using water meters with different diameters, manufacturers, years of usage and the specific uses. On the basis of the results, the water meter confirmed that the error of minimum flow rate which will use long becomes larger more in the direction of minus.

- 기호설명 -

- q : 적산유량(m^3)
- W_m : 저울의 지시량(kg)
- ρ : 물의 밀도(kg/m^3)
- ρ_a : 공기의 밀도(kg/m^3)
- ρ_p : 분동의 밀도(kg/m^3)
- ϵ : 부력보정계수
- C : 감도계수
- u : 표준불확도
- U : 확장불확도
- k : 포함인자

- Q_1 : 최소 유량(m^3/h)
- Q_2 : 전이 유량(m^3/h)
- Q_3 : 최대 유량(m^3/h)
- Q_4 : 과부하 유량(m^3/h)

1. 서론

수도사업의 유수율 개념은 수도사업자 즉 정수장에서 공급된 총 물량과 유효하게 사용되어 요금으로 징수되는 물량과의 비율을 의미한다.⁽¹⁾ 유수율을 감소시키는 원인으로는 누수량, 수도미터 즉 계량기의 불감수량, 공공사용수량 및 부정사용량 등을 들 수 있다.⁽²⁾ 따라서 유수율을 높게 유지시킬수록 시설 운영의 효율화 및 경영합리화를 이룰 수 있다. 2008년 상수도 통계에 따르면

† Corresponding Author, jhpark@cnu.ac.kr

전국 평균 유수율은 81.7%이며 누수율은 12.2%, 나머지 6.1%가 계량기 불감률 등으로 인해 요금을 받지 못하는 것으로 분석되고 있다.⁽³⁾ 이것은 특·광역시를 포함한 데이터이기 때문에 재정 등 제반 환경이 상대적으로 열악한 중소규모의 지방상수도 유수율은 전국 평균에는 훨씬 못 미치는 것이 현실이다. 따라서 한국수자원공사에서는 물시장 개방에 대비한 경쟁력을 갖추고 지방상수도를 수수하는 지역 주민들에게 양질의 수도서비스를 제공하기 위하여 지난 2003. 1. 논산시와의 기본협약을 시작으로 지방상수도 운영효율화사업에 적극적으로 참여하게 되었다. 2009. 12 현재 15개 시설이 운영되고 있으며 54개 시설은 인수받기 위해 추진 중에 있다. 그리고 2008 평균 유수율을 인수 당시 보다 19.45% 상승시키는 등 질적, 양적으로 성장하였다. 유수율 상승은 블록시스템 구축, 적정 수압관리, 체계적인 누수탐사 및 복구, 관망정비와 계량기 등 노후시설의 적기 교체를 통하여 이룬 성과이다.⁽⁴⁾ 수도미터 불감률은 제작 정밀도에 따라 좌우되는 고유의 오차인 기차와 사용되는 환경 즉 적정규격, 물사용 패턴 등에 따라 발생한다. 본 연구에서는 수도미터가 갖는 고유의 불감률 특성을 실험에 의하여 산출하고 그 결과를 지방상수도사업의 운영에 합리적으로 적용하기 위한 방안을 제시하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치

현재 수도미터에 대한 검정기관은 계량에 관한 법률에 따라 한국기기유화시험연구원이 유일하다. 수도미터의 오차실험은 검정기준에 따라 $Q_1 \sim 1.1Q_1$, $Q_2 \sim 1.1Q_2$, $0.9Q_3 \sim Q_3$ 등 3가지 유량에 대하여 실시한다. 여기에서 Q_1 은 최소유량, Q_2 는 전이유량, Q_3 는 최대유량이다.⁽⁵⁾ 한국수자원공사는 실험결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 실험설비를 구축하고 관련문서 및 유자격자로 구성된 인력을 구비한 후 한국인정기구(KOLAS)의 인정을 받음으로서 소구경 수도미터에 대해 국제적으로 공인된 교정기관이 되었다. 교정방법은 기준유량계법과 중량법 등 2가지로 구축하였으며 기준유량계법은 피교정 수도미터를 통과하는 부피와 정밀한 기준유량계의 부피를 직접비교하는 방법이며 중량법은 피교정 수도미터를 통과한 유체를 기준이 되는 탱크에 수집한 후 그 무게를 부

피로 환산하여 상호 비교하는 방법이다.⁽⁶⁾ 통상적으로 기준유량계법 보다는 중량법이 측정능력이 우수하지만 설비를 구축하는 비용이 많이 소요되므로 일반 교정기관들은 선호하지 않고 있다. 교정시스템의 유량은 $0.01\text{m}^3/\text{h} \sim 40\text{m}^3/\text{h}$, 측정구경은 $\Phi 13\text{mm} \sim \Phi 40\text{mm}$ 까지 실험이 가능하도록 구축하였다. 기준유량계로는 현재 개발된 유량계 중 가장 정밀하다고 알려진 질량유량계를 도입하였으며 유량별로 실험이 가능하도록 유량계 규격은 $\Phi 4\text{mm}$, $\Phi 15\text{mm}$, $\Phi 40\text{mm}$ 등 3종류를 설치하였다. 유동발생장치로는 1.5m^3 용량의 수조와 이 수조에 직결시켜 유량별로 선택운전이 가능하도록 펌프 2대($50\text{m}^3/\text{h}$, $1.6\text{m}^3/\text{h}$)를 구비하였으며 유량실험장치로는 $\Phi 13\text{mm}$, $\Phi 20\text{mm}$, $\Phi 25\text{mm}$, $\Phi 32\text{mm}$, $\Phi 40\text{mm}$ 등 5종류의 구경에 대하여 각각 5대씩 동시에 실험이 가능하도록 작업대, 공기압 실린더와 적산되는 지침을 촬영하기 위한 카메라 5대를 갖추었다. 또한 물의 무게를 수집하고 측정하기 위해 수집탱크 2대(30kg, 500kg), 전기식 저울 2대(50kg, 600kg)와 기타 유량 조절 및 차단 등을 위한 각종 밸브가 설치되어 있다. 또한 기기조작, 실험데이터 취득 및 성적서 발급을 위한 컴퓨터 및 프로그램을 구비하였다.

2.2 실험장치의 불확도

교정시스템의 불확도는 기준유량계법 보다는 중량법이 작게 표현되므로 본 논문에서는 중량법에 대한 불확도 산출 및 평가결과를 기술하였다. 불확도에 영향을 주는 요인으로는 물의 무게를 측정하는 저울, 온도에 따른 물 밀도, 공기의 밀도와 저울 교정용 분동의 밀도 등으로 적산유량 $q(\text{m}^3)$ 는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$q = f(W_m, \rho, \rho_a, \rho_p) \quad (1)$$

여기에서, W_m 은 저울의 지시량(kg), ρ 는 물의 밀도(kg/m^3), ρ_a 는 공기의 밀도(kg/m^3), ρ_p 는 표준분동의 밀도(kg/m^3)이다.

저울은 표준분동을 이용하여 교정한다. 즉 표준분동의 무게가 지시하는 값으로 세팅하므로 저울의 지시량 W_m 은 표준분동의 무게 W_p 와 같게 된다. 따라서 저울을 세팅한 후 탱크에 수집된 물의 무게 W 를 측정하기 위하여 탱크에 물을 채우면 저울은 W_m 을 지시한다. 그러나 저울 교정용 표준분동이나 수집탱크에 수집된 물은 대기

중에 놓여 있으므로 공기에 의한 부력의 영향을 받으므로 실제로는 부력에 의한 무게만큼을 감한 값이 저울에 지시된다. 따라서 이런 관계를 수식으로 표현하면 적산유량 $q(m^3)$ 은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$q = \frac{W_m}{\rho} \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_p}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho}} = \frac{W_m}{\rho} \epsilon \quad (2)$$

여기에서, ϵ 은 부력보정계수이다.

식 (2)를 테일러 급수전개 하면 불확도 산출을 위한 기본방정식인 식 (3)이 된다.

$$q = W_m \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\rho_a}{\rho \rho_p} + \frac{\rho_a}{\rho^2} - \frac{\rho_a^2}{\rho^2 \rho_p} \right) \quad (3)$$

불확도에 영향을 주는 각 요인들의 불확도기여량을 계산하기 위하여 식 (3)을 각 요인들을 변수로 하여 편미분한 감도계수인 C_{x_i} 를 구한 후 각각의 불확도를 곱하여 합성한 합성불확도는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$u_{(q)}^2 = C_{W_m}^2 u_{(W_m)}^2 + C_{\rho}^2 u_{(\rho)}^2 + C_{\rho_a}^2 u_{(\rho_a)}^2 + C_{\rho_p}^2 u_{(\rho_p)}^2 \quad (4)$$

식 (4)에서 구한 교정시스템의 합성불확도와 피교정기기의 불확도를 합성한 후 유효자유도와 신뢰수준에 따른 포함인자를 구하여 곱하면 교정시스템의 측정능력인 확장불확도가 된다.⁽⁷⁾ 각 요인별 불확도 평가 결과를 살펴보도록 하자. 먼저 무게 측정에 대한 불확도 $u_{(W_m)}$ 는 저울의 교정성적서와 저울 사용에 따른 경년변화에 대한 불확도를 합성하였다. 저울 교정은 최대 측정범위까지 몇 단계로 나누어 교정을 실시하므로 각 단계 및 두 저울 중 가장 큰 값인 600kg 저울의 100kg 수집량에서의 불확도인 59.7g을 평가에 적용하였고 계산의 편의를 위하여 불확도와 불확도기여량은 %로 환산하여 불확도 0.06%, 불확도기여량 0.030%를 구하였다. 경년변화량은 교정주기에 따른 평균오차의 변화량을 적용하여야 되나 신제품이기에 때문에 교정 이력이 존재하지 않아 0.01% 정도의 변화와 직사각형 분포로 가정하여 불확도기여량 0.006%를 구하였다. 물 밀도의 불확도 $u_{(\rho)}$ 는 한국표준과학연구원의 질량그룹에서 확립한 측정 데이터를 근거로 하는 회귀식을 사용하

므로 회귀식, 온도계 및 온도측정에 대한 불확도를 합성하여 구한다. 물 밀도 방정식은 식 (5)와 같이 표현되고 이 식은 5℃~40℃에 적용되는 회귀식이다.

$$\rho = 1000.024246 + 0.047689T - 0.007263T^2 + 0.000032T^3 \quad (5)$$

회귀식의 불확도는 한국표준과학연구원의 질량그룹에서 제시하는 0.01kg/m³을 적용하였고 온도계의 불확도는 교정성적서, 온도측정은 교정 중 관로에서의 최대 온도변화량을 직사각형분포로 가정하여 구하였다. 이 값을 합성한 후 20℃에서의 물 밀도를 기준으로 한 불확도기여량은 0.008%이다. 공기의 밀도는 대기압, 공기온도 및 습도에 따라 다르므로 온도와 대기압의 변화에 따른 공기 밀도에 습도 변화에 따른 변화량을 보정하여 구하였다. 즉 대기압 1,010mbar, 온도 20℃, 상대습도 50%일 때의 공기밀도는 1.196kg/m³이며 이 값은 대기압, 공기온도와 상대습도에 따라 1.100kg/m³~1.196kg/m³~1.267kg/m³의 변화량을 갖게 되므로 이 변화량의 큰 값인 0.096kg/m³을 반너비로 하는 직사각형 분포로 가정하여 공기밀도의 불확도 $u_{(\rho_a)}$ 를 구하였다. 저울을 교정하기 위하여 사용하는 표준분동은 스테인리스 스틸 제품이므로 밀도인 7,800kg/m³의 유효숫자의 반너비에 해당하는 불확도 있는 것으로 가정하여 분동의 불확도 $u_{(\rho_p)}$ 를 구하였다. 교정시스템에 대한 각 요소별 불확도의 기여량과 합성불확도는 Table 1과 같다. 이 중 큰 값인 600kg 수집탱크가 나타내는 불확도기여량인 0.033%를 교정시스템의 불확도 계산에 적용하였다.

피교정기의 불확도는 측정결과에 대한 불확도와 지시값에 대한 분해능의 불확도를 합성하여 구한다. 먼저 측정 불확도를 구하기 위하여 유량 10m³/h으로 3회 측정을 실시하였으므로 측정값의 표준편차 0.03%를 측정횟수의 제곱근으로 나누어

Table 1 Uncertainty budgets

Tank (kg)	Contribution value(%)				Combined uncertainty
	Balance	Yearly variation	Water density	Buoyancy	
50	0.002	0.006	0.008	0.009	0.014
600	0.030	0.006	0.008	0.009	0.033

표준불확도 0.018%를 구하였다. 다음에는 측정값의 분해능이 0.001m³/h이므로 직사각형 분포로 가정하여 이 값의 반너비에 상당하는 값을 측정유량으로 나누어 백분율을 취하면 분해능 불확도 0.003%를 얻을 수 있다. 다음으로 시스템의 불확도와 피교정기기의 불확도를 합성한 합성불확도를 구한 후 신뢰수준 약 95%에서의 포함인자 2를 적용하여 확장하면 본 교정시스템으로 달성 가능한 불확도 즉 최고측정능력 0.076%를 구할 수 있다. 따라서 본 수도미터의 교정시스템의 측정능력은 유량 0.01m³/h~40m³/h, 신뢰수준 약 95%(k=2)에서 7.6×10⁻⁴이다.

2.3 실험방법

2.3.1 실험유량 결정

구경별 실험유량은 수도미터 기술기준에서 정하는 최소, 전이, 최대유량과 과부하유량 등 4가지로 선정하여 제작사가 제시하는 수도미터 형식별, 구경별 유량을 적용하였다. 각 유량에 대한 의미는 다음과 같다.

- (1) 최소유량(Q₁) : 수도미터가 최대허용오차를 초과하지 않고 작동될 수 있는 가장 적은 유량
- (2) 전이유량(Q₂) : 최소와 최대유량 사이에 위치하는 유량으로 최대허용오차가 큰 영역과 작은 영역으로 구분되어지는 유량
- (3) 최대유량(Q₃) : 수도미터가 최대허용오차를 초과하지 않고 안전하게 운전할 수 있는 가장 많은 유량
- (4) 과부하유량(Q₄) : 최대유량 범위를 벗어난 조건하에서 계측되어지는 유량으로 최대유량에 25%를 더한 유량

2.3.2 표본선정

한국수자원공사에서 수탁관리중인 지방상수도의 수도미터 현황은 2008.12 기준으로 160,304전이며 이 중에서 본 실험설비로 실험이 가능한 Φ 13mm~Φ 40mm 까지를 대상으로 하였다. 수도미터의 분포를 보더라도 일반 가정용으로 사용되는 Φ 13mm가 89.19%인 142,971전인 것을 비롯하여 Φ 40mm 이하의 수도미터가 전체의 98.83%에 상당하는 158,433전이다. 따라서 실험 대상을 검정유효기간 경과 또는 사용 환경 변화 등으로 사용 후 철거되어 각 수도센터에서 보관하고 있는 Φ

40mm 이하의 중고 수도미터를 대상으로 하였다. 각 수도센터에서 보관 중인 수도미터 11,957전을 수집하였으며 외관검사와 유동 재현성 등 예비실험을 통하여 파손 및 계기 이상으로 실험이 불가능한 미터를 분리하였다. 수집된 시료에 대한 예비실험 결과 실험이 가능한 수도미터는 Table 2와 같이 1,618전이며 이것을 수도센터별, 구경별, 제작회사별, 사용연수별로 분류하여 중고 수도미터가 갖는 불감률 특성에 대한 실험과 결과를 분석하였으며 수도센터명은 영문 약자로 표기하여 실험결과의 보안을 유지하였다.

2.3.3 실험방법

ISO 4185 규정에 따르면 중량측정방식에 의한 실험의 경우 최대유량일 때 최소 30초,⁽⁸⁾ 국가교정기관운영지침에 의하면 고정표준실에서 실시하는 교정의 경우 측정시간은 60초 이상을 기준으로 하고 있다. 그렇지만 중량측정방식의 실험은 고정도의 유량계 교정 및 현장교정용 기준실험기기의 교정에 주로 사용되므로 전체 실험시간과 편리성을 고려하여 기준유량계 방식으로 실시되 측정시간은 100초를 기준으로 실시하였다. 그러나 수도미터의 검정기관인 한국기술훈합연구원(이하 한국기술훈합)의 측정방법은 측정시간이 아닌 적산량 방법을 적용하고 있다. 적산량 측정방법이란 각 유량에 따라 적산되는 양이 수도미터가 갖는 최소눈금의 100배 이상이 될 때까지 물을 흘려서 실험하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 시간과 적산량을 혼용하는 방법으로 100초 동안 적산되는 양이 수도미터 최소눈금의 100배가 되지 않을 경우에는 시간방

Table 2 Number of specimen

City	No	Φ 13mm	Φ 20mm	Φ 25mm	Φ 32mm
YC	82	82	-	-	-
JU	304	304	-	-	-
GJ	261	198	49	14	-
GR	180	160	20	-	-
GS	149	149	-	-	-
NS	297	264	25	8	-
SC	271	230	30	11	-
SS	74	47	17	5	5
total	1,618	1,434	141	38	5

법을 무시하고 적산되는 양을 기준으로 하는 실험방법을 채택하여 측정결과의 신뢰성을 높이고자 하였다. 유량은 수도미터 기술기준에 의한 최소유량, 전이유량, 최대유량 및 과부하유량 등 4개 영역에 대하여 동일한 유량에서 각각 3회씩 반복 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 구경별 오차실험 결과

실험대상 $\Phi 13\text{mm}$ 수도미터의 고유 오차를 알아보기 위하여 4가지 유형의 유량으로 실험을 수행하였다. 제작회사가 제시하는 실험 유량은 $Q_1=0.016\text{m}^3/\text{h}$, $Q_2=0.1\text{m}^3/\text{h}$, $Q_3=1.6\text{m}^3/\text{h}$, $Q_4=2\text{m}^3/\text{h}$ 이다. 평균오차는 Q_1 에서 -21.74% , Q_2 에서 0.04% , Q_3 에서 0.30% , Q_4 에서 0.12% 로 측정되었다. 2급 계량기 대류영역에서의 오차는 대체로 양호하였으나 소류영역에서는 한계오차 $\pm 5\%$ 범위를 벗어나 전반적으로 “-” 오차가 나타났다.

$\Phi 20\text{mm}$ 수도미터에 대한 실험 유량은 $Q_1=0.025\text{m}^3/\text{h}$, $Q_2=0.1575\text{m}^3/\text{h}$, $Q_3=2.5\text{m}^3/\text{h}$, $Q_4=3.125\text{m}^3/\text{h}$ 이며 실험대상은 141대이다. 실험결과 평균오차는 Q_1 에서 -25.49% , Q_2 에서 -1.42% , Q_3 에서 0.77% , Q_4 에서 0.28% 로 측정되었다. 소류영역인 $Q_1 \sim Q_2$ 에서의 오차가 2급 수도미터의 검정기준인 $\pm 5\%$ 를 크게 벗어나고 있으며 “-” 오차를 나타내고 있다.

$\Phi 25\text{mm}$ 수도미터에 대한 실험 유량은 $Q_1=0.04\text{m}^3/\text{h}$, $Q_2=0.252\text{m}^3/\text{h}$, $Q_3=4.0\text{m}^3/\text{h}$, $Q_4=5.0\text{m}^3/\text{h}$ 이며 실험대상은 38전이다. 실험결과 평균오차는 Q_1 에서 -16.81% , Q_2 에서 -2.5% , Q_3 에서 0.92% , Q_4 에서 0.32% 로 측정되었다. 실험결과 소류영역인 $Q_1 \sim Q_2$ 에서의 오차가 2급 수도미터의 검정기준인 $\pm 5\%$ 를 크게 벗어나고 있으며 “-” 오차를 나타내고 있다.

$\Phi 32\text{mm}$ 수도미터에 대한 실험 유량은 $Q_1=0.063\text{m}^3/\text{h}$, $Q_2=0.3969\text{m}^3/\text{h}$, $Q_3=6.3\text{m}^3/\text{h}$, $Q_4=7.87\text{m}^3/\text{h}$ 이며 실험대상은 5전이다. 실험결과 평균오차는 Q_1 에서 -6.91% , Q_2 에서 -1.8% , Q_3 에서 2.31% , Q_4 에서 2.12% 로 측정되었다.

소류영역인 $Q_1 \sim Q_2$ 에서의 오차가 2급 수도미터의 검정기준인 $\pm 5\%$ 를 벗어나고 “-” 오차를 나

Table 3 Deviation of water meters classified by diameter

Size	Nos	Average deviation(%)			
		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
$\Phi 13$	1,434	-21.74	0.04	0.30	0.12
$\Phi 20$	141	-25.49	-1.42	0.77	0.28
$\Phi 25$	38	-16.81	-2.50	0.92	0.32
$\Phi 32$	5	-6.91	1.80	2.31	2.12

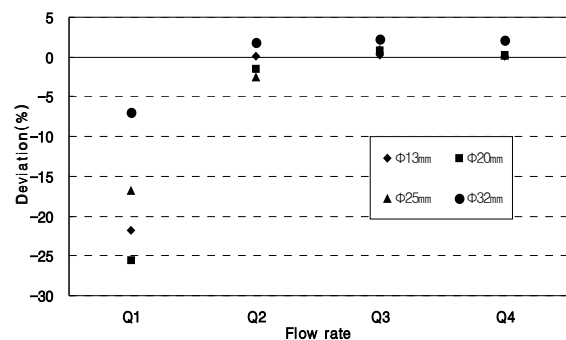


Fig. 1 Deviation of water meters classified by diameter

타내고 있으나 구경이 커질수록 오차가 줄어드는 경향을 확인하였다.

수도미터 구경별 실험결과는 Table 3과 같고, Fig. 1은 실험결과를 그래프로 표현한 것이다. 횡축은 구경별 수도미터의 특성실험을 위한 실험유동률로서 Q_1 은 최소유량, Q_2 는 전이유량, Q_3 는 최대유량, Q_4 는 과부하유량이다. 종축은 오차율로서 식 (6)의 의미를 갖는다.

$$Deviation(\%) = \frac{(\text{측정값} - \text{기준값})}{\text{기준값}} \times 100 \quad (6)$$

3.2 제작회사별 오차실험 결과

$\Phi 13\text{mm}$ 수도미터의 경우 H-3사 517전, S-9사 200전, H-5사 168전, K-2사 153전 등 4개 회사 제품이 72.4%를 차지하였다. 실험결과 최소유량에서의 평균오차는 Fig. 2와 같이 H-3사 -14.86% , S-9사 -15.46% , H-5사 -31.54% , K-2사 -41.98% 로 나타나 제작사별로 큰 차이를 보이고 있다. 검정기준인 $\pm 5\%$ 이내의 오차를 나타내는 일부 제작사도 있었으나 표본의 숫자가 1~3전으로 미미하여 수도미터 특성의 대표성을 나타내기는 무리가 있었다. 그러나 S-4사(29전)의 -4.82% , S-8사(99전)

의 -1.2% 등 2개 제작사는 검정오차 기준이나 표본 수에 있어서 타사 보다 양호한 결과를 나타내는 수도미터도 있었다.

Φ20mm 수도미터의 경우 H-3사 38전, H-4사 39전, S-2사 18전으로 실험대상 141전의 67.38%를 차지하고 있다. 실험결과 최소유량의 평균오차는 -16.07% ~ -40.62%로 검정기준인 ±5%를 많이 초과하고 있다. S-2사는 전이유량에서의 평균오차도 -5.45%로 검정기준을 초과하였다.

Φ25mm 수도미터의 경우 H-3사 13전, H-4사 11전으로 실험대상 38전의 63.16%를 차지하고 있다. 실험결과 최소유량에서 -15.16%~38.17%의 평균오차를 나타냈으며 H-4사는 전이유량에서 -13.35%의 오차를 나타냈다.

Φ32mm 수도미터의 경우 H-3사 1개사이며, 시험대상 수량은 5전이다. 실험결과 최소유량에서 평균 -6.91%, 전이유량에서 평균 1.80%, 최대유량에서 평균 2.31%, 과부하유량에서 평균 2.12%를 나타냈다.

3.3 사용연수별 오차실험 결과

Φ13mm 수도미터의 경우 검정기준에서 정한 검정유효기간인 8년까지 사용된 수도미터의 수량은 총 1,434전 중 858전으로 59.8%이고, 검정유효기간을 초과한 9년 이상 사용된 수도미터의 대수는 576전으로 40.2%였다. 실험결과는 Fig. 3과 같이 수도미터의 경과연수가 오래될수록 최소유량 오차가 "-" 방향으로 급격히 증가하는 것으로 확인되었다. Φ20mm 수도미터의 경우 최소 2년부터 최대 16년이 경과한 것으로 분류되었다. 수도미터 검정기준에서 정한 검정유효기간인 8년까지 사용된 수도미터의 수량은 총 141전 중 72전으로 51.1%이고, 검정유효기간을 초과한 9년 이상 사용된 수도미터의 수량은 69전으로 48.9%였다. 유속이 빠른 대유량 범위에서의 오차는 비교적 양호하였고, 저유량 범위에서는 "-" 오차를 나타내었다. Φ25mm 수도미터의 경우 최소 5년이 경과한 것에서부터 최대 12년이 경과한 것으로 분류되었다. 수도미터 검정기준에서 정한 검정유효기간인 8년까지 사용된 수도미터의 수량은 총 38전 중 20전으로 52.6%이고, 검정유효기간을 초과한 9년 이상 사용된 수도미터의 수량은 18전으로 47.4%였다. 실험결과 경과연수가 오래된 수도미터일수록 최소유량의 오차가 -0.99%~ -73.09%로 급격하게 증가되었다. Φ32mm 수도미터의 경우

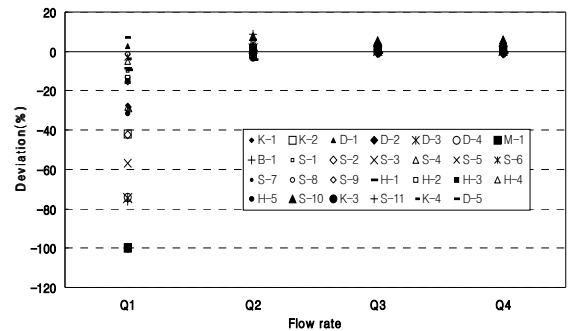


Fig. 2 deviation of water meters classified by maker

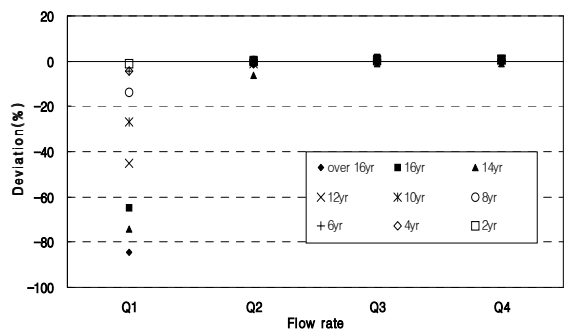


Fig. 3 deviation of water meters classified by years of used

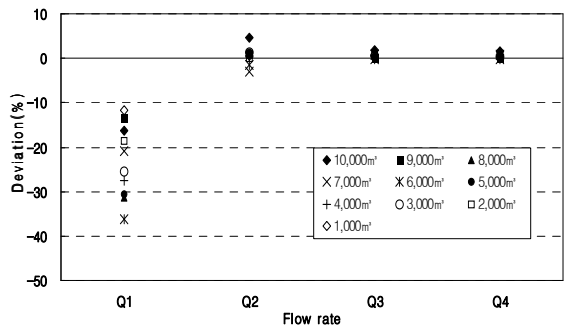


Fig. 4 Deviation of water meters classified by water use

실험을 할 수 있는 실험시료가 5전으로, 최소 8년 동안 사용한 시료가 2전, 9년 동안 사용한 시료가 3전이였다. 실험결과 최소유량 오차는 -2.51% ~ -9.83%을 나타냈으며 대류영역에서는 1.42%~3.08%의 "+"오차를 나타냈지만 검정기준은 만족하였다.

3.4 사용량별 오차실험 결과

Φ13mm 수도미터의 경우 적산된 지침 즉 총 사용유량이 4,000m³ 이하가 총 1,434전 중 90.8%를 차지하는 1,302전이고 4,000m³ 이상은 9.2%인 132전으로 조사되었다. 실험결과는 Fig. 4와 같이 최소유량 오차가 -11.64% ~ -36.24%의 분포를 보이

고 있으나 사용량에 따른 선형적인 비례관계는 나타나지 않았다.

Φ20mm 수도미터의 경우 총 사용유량이 8,000 m³ 이하는 141전 중 70.9%를 차지하는 100전이고 8,000m³ 이상 사용한 수량은 29.1%인 41전으로 조사되었다. 실험결과 최소유량 오차가 -3.01%~ -100%의 분포를 나타냈지만 선형적인 비례관계는 보이지 않았다.

Φ25mm 수도미터의 경우 Φ20mm 수도미터와 거의 비슷한 사용패턴을 보였으며, 8,000m³ 이하를 사용한 수량은 총 38전 중 73.7%를 차지하는 28 전 이고 8,000m³ 이상 사용한 수량은 26.3%인 10 전으로 조사되었다. 최소유량 실험결과 사용량이 1,000m³ 미만이지만 -11.49%의 오차를 보이는 반면 사용량이 6~7,000m³으로 상대적으로 많이 사용을 했음에도 불구하고 -1.49%의 오차를 보이는 등 오차 변동 폭이 크게 나타나는 등 선형적인 비례관계는 보이지 않았다.

Φ32mm 수도미터의 경우 실험시료가 5전 이고, 최소 사용량은 7,619m³, 최대 사용은 41,619m³ 이었다. 사용량이 증가됨에 따라 대류영역에서는 “+” 오차를 소유영역에서는 “-” 오차를 나타내었다.

4. 결 론

지방상수도사업의 경영개선을 위한 유수율 제고의 일환으로 수도미터의 불감률 특성을 연구하기 위해 수행한 본 과제는 수도미터 탈·부착과 유량 조절 등 실험조건 구비와 전국 각지의 수도서비스센터에 보관중인 수도미터를 수집하고 외관 검사 및 유동성 재현실험 등 예비실험을 통하여 본 실험이 가능한 시료를 분류하는데 많은 시간이 투자되었다. 예비실험을 통해 선별된 시료임에도 불구하고 실험도중 지침이 멈춘 상태로 움직이지 않는 등 심각한 상태의 경우가 다수 발생하였으나 이런 경우를 제외하고 수차례의 반복실험을 거쳐 다음과 같은 결론을 얻었다.

사용연수가 오래되고 사용량이 많은 수도미터는 소류영역인 최소유량에서 “-” 오차가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 내용연수가 도

래한 수도미터는 검정을 필한 신제품으로 교체하고, 주기적으로 연구원의 교정시설이나 현장 성능검사 시스템을 이용하여 성능검사를 실시한 후 교체여부를 판단해야 한다.

또한 수도미터의 특성상 오차가 상대적으로 작은 영역인 전이유량과 최대유량사이에서 사용되도록 적절한 구경의 수도미터를 선정하여야 한다. 그리고 스트레이너의 주기적인 청소를 통하여 이물질에 의한 익차의 회전불량 및 파손을 미연에 방지하면 고장으로 인한 불감률을 줄일 수 있다. 향후 추측식인 접선류 익차형 보다는 성능이 우수한 실측식 수도미터 개발 및 적용 등 계량조건 개선을 통한 수도미터의 불감률 저감대책이 필요하다.

참고문헌

- (1) Nam, K. H. and Kim, H. C., 2006, "Rate of Under-Registration and Counterplan of Meters," *Proceeding of the KSWQ and KSWW(B) Fall Annual Conference*, pp. 103~109.
- (2) The Office of Waterworks Seoul Metropolitan Government, 2007, "A Study on Improvement of Rate of Accounted Water."
- (3) Ministry of Environment, 2008, "Statistics of Waterworks."
- (4) Lee, D. K., Park, J. Y., Lee, H. S., Park, T. J. and Roh, S. M., 2009, "Rate of Under- Registration and Counterplan of Flowmeter."
- (5) Agency for Technical and Standards, 2006, "Technical Regulation for Water meters."
- (6) Lim, K. W., 2000, "A Study on the Evaluation of Measurement Uncertainty for the National Calibration and Test Organizations(Liquid Flow)," *Journal of the SAREK*, Vol. 12, No. 11, pp. 1012~1019.
- (7) KRISS, 1998, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement."
- (8) ISO 4185, 1980, "Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits - Weighing Method."