

20~50mm 수도계량기 미감지율 조사분석

Investigation on Under-registration of 20 mm to 50 mm Water Meters

안재찬^{1,*} · 하성호¹ · 박태준¹ · 김석정¹ · 구자용²

Ahn, Jae-Chan^{1,*} · Ha, Sung-Ho¹ · Park, Tae-Jun¹ · Kim, Sug-Jung¹ · Koo, Ja-Yong²

1 서울특별시 상수도연구소

2 서울시립대학교 환경공학과

(2005년 7월 1일 논문 접수: 2005년 10월 4일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The under-registration of water meters of 20mm to 50mm in diameter, installed in Seoul city, was estimated by random sample method. The sample sites and sampled meters were selected for the measurements of flow rates and accuracy tests, respectively. The measurement of flow rates was conducted for 20mm to 50mm meters for about 20 days per site using flow meters and data loggers. The under-registration of 20mm, 25mm, 32mm, 40mm, and 50mm meters was observed as 3.96%, 1.10%, 2.47%, 4.04%, and 1.04%, respectively. The under-registration might be increased more or less as malfunction and failure of the sampled meters was not considered.

In this study the under-registration of 20mm, 25mm, 32mm, 40mm, and 50mm meters was accurately estimated on the basis of the investigation data. The estimation of under-registration of water meters, one of the basic figures in water industry, contributed to accurate calculation of leakage, water supply and consumption, and strategic planning to reduce the unaccounted-for water.

Key words: water meter, unaccounted-for water, under-registered water ratio

주제어: 수도계량기, 무수수량, 미감지율(불감률)

1. 서 론

누수는 원수의 정수처리, 펌핑에 의한 배수 등 많은 비용을 투자하여 생산한 수돗물을 적절히 사용하지 못한 것으로 소중한 수자원의 손실일 뿐만 아니라

경영적 측면에서도 상당히 문제가 되고 있다. 최근 상수도를 바라보는 새로운 시각에는 경영적인 측면이 고려되고 있으며, 이에 따라 전국적으로 누수량을 감소시켜 유수율을 높이기 위한 방안들이 적극적으로 수립되어 시행되고 있다(현인환, 1999; 2003; 구자용, 2003).

*Corresponding author Tel: +82-2-2049-1130, Fax: +82-2-2049-1013, E-mail: anjchan@hanmail.net (Ahn, J.C.)

서울시의 유수율은 1998년에 64.2%에서 2004년에는 85.3%로 크게 향상되었으며 이것은 야간최소유량측정, 누수탐지, 노후관 교체, 잔존관 정비, 적정구경의 계량기 설치 등 종합적인 유수율 향상방안을 수립하고 효과적으로 추진한 결과라고 할 수 있다(구자용 등, 2004; 서울특별시 상수도사업본부, 2004; Ahn 등, 2005).

상수도 시설을 효율적으로 평가하고 관리하기 위해서는 우선 원수를 취수하고 정수처리 하여 배수지를 통해 수용가에게 도달할 때까지 계량기 미감지수량(불감수량), 수도사업용수량, 소방용수량 등을 정확히 산출하도록 해야 한다(현인환, 1999; 안재찬 등 2000).

계량기 미감지수량은 계량기가 각 수용가에 설치된 후 사용 중에 계량기가 사용수량을 완전히 계량하지 못해 발생하는 수량으로 계량기 성능 자체는 물론 수용가의 수도물 사용형태, 수도설비의 종류 등에 따라서도 영향을 받는다(小林, 1988; 안재찬 1996; 1997). 국내 대도시의 수도계량기 미감지율은 1998년을 기준으로 부산시와 울산시가 17.2%로 가장 높으며 대체로 10.0~11.1%로 높은 수치를 나타내고 있다(환경부, 1999; 현인환, 1999; 2005). 국내에서 수도계량기 미감지율을 공식적으로 조사한 것은 1984년에 내부부에서 국제 입찰하여 1987년에 완결된 지방상수도 누수방지사업용역이 시초였다. 이 용역사업에서 계량기 미감지율에 대해 실험실과 현장에서 실험을 실시한 결과, 한국에서 사용하는 계량기의 형태는 견고하나 소유량에서 미감지하고 정상 유량일 때에는 과감지하는 경향을 보였으며 이러한 특성을 고려하여 계량기 미감지율을 약 10%로 추정하였다. 우리나라의 각 도시에서 대체로 10% 내외의 계량기 미감지율로 제시해 온 것은 이러한 결과를 반영한 것으로 보인다. 그 당시에는 13mm 수도계량기 이외에는 KS 기준이 없었을 정도로 계량기 제작기술이 낙후되었고 유지관리도 제대로 이루어지지 않았던 것을 고려할 때 계량기 미감지율이 10%로 추정된 것은 타당했을 것으로 판단된다. 최근에 계량기 성능이 상당히 향상되었고, 계량기 검정기준도 보다 강화되어 성능이 우수한 계량기가 많이 보급되었으므로 계량기 미감지율도 많이 개선되었을 것으로 예상된다(내무부, 1987; 안재찬 등 2005). 박남식 등(2003)은 고장으로

인한 대구경 계량기의 미감지율을 Monte Carlo 방법을 사용하여 분석한 결과, 실제 미감지율이 $2.0 \pm 0.2\%$ 의 좁은 범위에 존재할 확률이 매우 높다고 하였다.

외국의 동향을 살펴보면, 수도계량기의 제작기술, 관련규정, 계량기 종류 등이 각 나라마다 차이가 있으며 또한 계량기 미감지율의 조사방법에도 차이가 있다. 미국에서는 계량기에 대한 내구연한이 명확하게 정해져 있지 않은 경우가 많으므로 경과연도에 따라 변화하는 계량기의 미감지율을 조사하여 몇 년간 사용하는 것이 가장 경제적인가에 대한 경제성 평가를 위주로 실시된 반면, 일본에서는 계량기 내구연한이 8년으로 정해져 있고 만기가 되면 교체하므로 설치기간 동안 무수수량을 파악하기 위해 미감지율을 조사하였다(안재찬 등, 2002; Ahn 등, 2002).

미국 뉴저지주 하켄삭(Hackensack)의 계량기 미감지율은 0.9%, 캘리포니아주는 1.6%이었으며, 일본에서는 키타미시의 미감지율이 3.8%, 요츠카이치시 1.0%, 센다이시 4.6%, 후쿠오카시 1.1% 이었고 오사카시의 전체 계량기 미감지율은 평균 4.65%이며 그 중 13mm 계량기의 미감지율은 2%이었다(California Section Committee Report, 1966; Tao, 1982; 漏水防止に關する調査檢討會, 1996; 안재찬, 1998).

수도계량기의 미감지율 조사를 통해 누수량을 정확히 파악함으로써 누수량을 감소시키기 위한 효율적이고 체계적인 방안을 수립할 수 있을 뿐만 아니라 유수수량(有收水量), 무수수량(無收水量) 등의 수량 분석이 가능하므로 상수도 시설의 효율성을 평가할 수 있다. 서울시에서는 구경 50mm 이하의 수도계량기로 점선류 익차형을 사용하고 있으며 구경 75mm 이상은 터빈형을 많이 사용하고 있다(안재찬, 1997). 서울시에서는 수도계량기 미감지율을 10.48%로 추정해 왔으나 유수율 향상 방안의 일환으로서 정확한 미감지율을 산정하기 위해 1999년에 모델지역 선정조사사업으로 13mm 계량기의 미감지율이 1.23%라는 조사결과를 제시한 바 있다(Ahn 등, 2002; 안재찬 2005). 본 연구에서는 20mm, 25mm, 32mm, 40mm, 50mm 계량기의 미감지율을 무작위 표본조사방법에 따라 산정하였으며, 이를 통해 계량기 미감지율을 정확하게 측정하고 분석하여 정확한 통계자료로 활용하

고자 하였다.

2. 연구방법

계량기의 미감지율 조사방법에는 전체 수도계량기의 미감지수량을 모두 측정하기 어렵기 때문에 각 세대의 수도계량기 중에서 구경 및 경년별로 선정하여 미감지수량을 조사하는 무작위 표본조사법과 모델지역을 선정하여 조사하는 모델지역 선정조사법으로 구분할 수 있다(日本水道協會, 1977; Tao, 1982; AWWA, 1990; 안재찬 등, 2005).

13mm 계량기는 대부분 가정에 설치되어 있으므로 연립, 빌라 등에 집중되어 있어 모델지역을 선정하여 조사하는데 용이하나, 20mm 이상의 계량기 수용가는 분산되어 있어 모델지역을 선정하기 어렵기 때문에 무작위 표본조사법으로 실험하였다. 무작위 표본조사법을 적용하기 위해서는 수용가의 수도물 사용에 따른 순시유량을 계속하고 계량기가 측정한 범위를 여러 단계로 구분하여 각 유량범위의 물사용량을 산출하고, 실험실에서는 각 단계의 유량범위에 해당하는 중간지점에서 계량기의 오차시험을 실시하며 그 결과를 식 (1)에 대입하여 계량기의 미감지율을 산정한다.

$$e_w = \frac{Q_1}{Q_t} e_1 + \frac{Q_2}{Q_t} e_2 + \frac{Q_3}{Q_t} e_3 + \dots + \frac{Q_n}{Q_t} e_n \quad (1)$$

- 여기서, e_w : 계량기 과·미감지율(가중평균)
- $e_{1,2,3,\dots,n}$: 각 유량범위의 계량기 오차
- $Q_{1,2,3,\dots,n}$: 각 유량범위의 물사용량
- Q_t : 총 물사용량
- Q_n/Q_t : 각 유량범위의 물사용률

현장의 유동률 조사기간은 20~40mm 계량기가 2001년 8월부터 12월까지였고, 50mm 계량기는 2000년 8월부터 2001년 5월까지로 조사기간, 장비 등이 달랐기 본 논문에서도 구분하여 설명하였다.

2.1. 20~40mm 계량기 미감지율

2.1.1. 유동률 측정현황

수용가의 수도물 사용에 대한 유동률(flow rate) 측정은 64개소에서 실시하였으며, 계량기 구경별로

Table 1. Number of sites for the measurement of flow rates

구분	20mm	25mm	32mm	40mm	계
가정용	12	19	11	9	51
영업용	8	1	-	3	12
업무용	-	-	1	-	1
계	20	20	12	12	64



Fig. 1. Data logger.

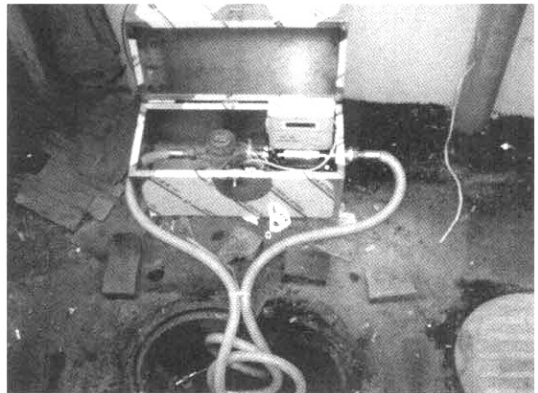


Fig. 2. Recording Device.

20mm와 25mm는 20개소, 32mm와 40mm는 12개소로 장소별 측정기간은 20일이었다. 조사대상 64개소를 급수 종류별로 구분해 보면, 가정용이 51개소로 가장 많았고 영업용은 12개소, 업무용은 1개소이었다. 가정용은 대부분 연립주택과 다가구주택이었고 영업용은 슈퍼, 식당, PC방, 사무실 등이었으며, 업무용 1개소는 관공서 이었다(Table 1). 급수방식은 40mm 수용가의 2개소가 전동밸브식인 것을 제외하

Table 2. Number of water meters sampled for accuracy tests

설치년도 구경	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	계
20mm	3	2	3	2	2	3	2	3	20
25mm	3	3	3	3	3	3	3	1	22
32mm	3	3	3	3	3	-	-	-	15
40mm	3	2	2	2	3	3	3	3	21
계	12	10	11	10	11	9	8	7	78

고는 직수 또는 옥상 저수조방식 이었다.

수용가에서 사용하는 수도물의 순시유량을 전자유량계로 측정하기 위해 수용가의 계량기 보호통 외부에 전자유량계와 데이터로거(data logger)의 설치 박스를 별도로 만들었다. 전자유량계의 유량데이터는 1분 간격으로 20일간 데이터로거에 기록·저장되도록 설정하였다(Fig. 1, 2).

2.1.2. 계량기 오차시험 현황

무작위 표본조사법으로 미감지율을 구하기 위해 현장에서 측정하여 분석하는 유동률 외에 별도로 계량기의 오차를 구하여야 한다. 계량기의 오차시험을 위해 수용가의 계량기를 무작위로 선정·철거하여 계량기 시험실에서 오차시험을 실시하였다. 오차시험용 계량기는 설치연도에 따라 1993년부터 2000년까지 총 78개로서 각각 20mm 20개, 25mm 22개, 32mm 15개, 40mm 21개 이었다. 1993년도 계량기는 7개로 가장 작았고 2000년도의 계량기가 12개로 가장 많았다(Table 2).

2.2. 50mm 계량기 미감지율

2.2.1. 유동률 측정현황

현장 유동률 조사장소는 총 11개소이었으며 가정용은 3개소(아파트, 빌라), 업무용은 5개소(공공건물, 학교 등), 옥탕용 3개소이었다(Table 3). 현장 유동률 측정은 장소별로 각각 3회 실시하였으며 1차 조사기간은 2000. 8. 10~8. 30, 2차는 2000. 9. 21~10. 13, 3차는 2001. 4. 17~5. 11이었다.

50mm 계량기의 수용가는 건물이 크기 때문에 지하저수조를 설치하여 사용하는 곳이 많았다. 저수방식으로는 크게 전동밸브식과 볼탑식으로 구분할 수 있으며, 전동밸브식의 지하저수조시설이 설비되어 있는 대상 수용가는 A와 옥탕용 3곳(F, G, K)이었고 그 외에는 볼탑식의 저수방식이었다.

수용가의 수도물 사용량에 대한 유동률 분포를 측정하기 위해 기존의 수도계량기를 철거하고 실측식 계량기를 설치하여 유량데이터를 1분 간격으로 21일간 데이터로거에 저장하여 분석하였다.

2.2.2. 계량기 오차시험 현황

계량기의 오차시험을 위해 수용가의 계량기를 설치연도별로 무작위로 선정·철거하여 계량기 시험실에서 오차시험을 실시하였다. 오차시험용 계량기는 설치년도 1992년부터 2000년까지 총 80개이었으며 1996년도 계량기가 12개로 가장 많았고 2000년도 계량기가 6개로 가장 적었다(Table 4).

Table 3. Description of sites installed 50mm meters for measurement of flow rates

대상 수용가	업종별	위치	저수방식	비 고
A	가정용(아파트)	월계동	전동밸브	1동(지하3층, 지상19층), 171세대
B	가정용(아파트)	월계 1동	볼탑	가동(32평), 나동(28평), 60세대, 고가수조
C	업무용(초등학교)	상계 8동	볼탑	4층, 1,900명, 지하저수조, 고가수조
D	업무용(고등학교)	상계 10동	"	4층, 2,000명, 고가수조
E	업무용(구청)	창 5동	"	지하 1층 지상 4층
F	옥탕용	상계 5동	전동밸브	지하저수조, 고가수조
G	옥탕용	상계 9동	"	인라인 펌프에서 고가수조로 펌핑
H	가정용(빌라)	서초동	볼탑	18세대(74평), 3층 건물
I	업무용(중학교)	서초동	"	4층, 880명
J	업무용(초등학교)	개포 4동	"	4층, 1,500명
K	옥탕용	서초동	전동밸브	지하저수조(552톤), 고가수조

Table 4. Number of 50mm water meters sampled for accuracy tests

설치년도 구경	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	계
50mm	6	7	7	9	12	11	10	9	9	80

3. 조사결과

3.1. 20~40mm 계량기 미감지율

3.1.1. 유동률 계측 및 오차시험 결과

현장에서 계측한 순시유량데이터를 소유량에서 대유량까지 여러 단계의 유량범위로 구분하여 각 유량범위별로 물사용률을 구하여 분석하였다. 조사대상 중에서 20mm와 25mm는 7단계로, 32mm와 40mm는 8단계의 유량범위로 분류하였다. 유량범위를 작게 하여 단계를 많이 두면 물사용률의 정확도를 높일 수 있으나 분석에 시간과 수고가 많이 필요하며 반면 유량범위를 너무 넓게 하여 단계가 작으면 물사용률의 정확도는 떨어지게 되므로 계량기 구경별로 적정하게 유량범위의 단계를 결정하는 것이 필요하다. 20mm의 경우, 유량범위 0~45L/h에서 물사용률은 11.86%로 소유량에서 계량기를 통과한 수량이 상당히 많았으며, 160~1600L/h에서 약 75%로 대부분 이 유량범위에서 수도물을 사용한 것으로 나타났다. 25mm의 수용가에서는 유량범위 0~60L/h에서 7.5%를 나타냈고, 200~2000L/h에서 약 70%이었다.

32mm의 경우에는 유량범위 0~67L/h에서 4.13%, 320~3500L/h에서 약 70% 이었으며, 40mm에서는 유량범위 0~87L/h에서 3.72%로 20mm에 비해 소유량에서 물사용률이 작았으며 300~2000L/h에서 물사용률은 약 80%로 대부분의 수도물이 이 유량범위에서 사용된 것으로 나타났다. 구경이 커질수록 소유량범위에서는 물사용률이 상대적으로 작아지는 경향을 보인 반면, 대유량에서는 물사용률도 커졌다(Table 5).

20~40mm 계량기의 유동률 조사에서 분류한 각 유량범위의 중간지점을 선정하여 오차시험을 실시하였다. 계량기의 경과연수가 오래될수록 소유량에서 오차가 커졌으나 반드시 비례하지는 않았다(Table 6).

3.1.2. 미감지율 산출

유동률을 계측하여 구한 Table 5의 물사용률의 유량범위에 대응하는 계량기 오차(Table 6)를 곱하여 각 유량범위의 미감지율을 산출하였다(Table 7). 20mm의 경우, 0~45L/h의 소유량에서 4.23%로 매우 큰 미감지율을 보였고, 160L/h를 초과하는 유량범위에서는 과감지하였으며, 20mm의 총 미감지율은 3.96%이었다. 25mm에서는 120L/h 이하의 유량범위에서는 미감지하였고, 120L/h를 초과하는 유량범위에서는 다소 과감지하였으며, 총 미감지율은 1.10%이었다. 32mm에서 총 미감지율은 2.47%이었으며, 0~67L/h과 67~140L/h의 유량범위에서 3.20%와 1.33%를 미감지하였고 140L/h를 초과하는 유량범위에서는 과감지를 보였다. 40mm에서는 300L/h 이하에서 미감지하였으며, 300L/h를 초과하는 유량에서는 2000~5200L/h의 유량범위에서 0.03%의 미감지 외에는 과감지하여 총 미감지율은 4.04%이었다. 대체로 소유량에서 미감지율이 상당히 컸으나 소유량 외에는 대부분 과감지율을 나타냈는데 이러한 이유는 계량기의 오차가 소유량에서는 (-)오차를 중·대유량에서는 (+)오차를 나타내기 때문인 것으로 판단되며, 또한 유량범위에 대한 물사용률도 미감지율에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

안재찬(1997; 2000)은 계량기 10개에 대해 내구성 시험(KS B 5301)을 실시하여 실험전, 100시간 경과, 500시간 경과, 1000시간 경과 후 소유량에서 대유량까지 5개 지점(20L/h, 120L/h, 1000L/h, 2000L/h, 3000L/h)에서 오차를 비교했을 때, 120L/h 이하에서는 (-)오차가 커졌고 1000L/h 이상에서는 (+)오차가 증가하였는데 이러한 결과는 접선류 익차형 수도계량기의 특징이라고 할 수 있다(Arregui 등, 2003).

3.2. 50mm 계량기 미감지율

3.2.1. 유동률 계측 및 오차시험 결과

수용가 11개소에서 실시한 3회의 조사기간 중 2차 조사기간에 물사용량이 가장 많았고, 그 다음으로 3차 조사기간, 1차 조사기간 순이었다. K에서의 물사용량이 1차 조사기간에 91.986m³에서 2차와 3차에는 약 12배 이상 증가하였는데 이것은 1차 조사기간 중에 지하수를 많이 사용하였기 때문이다. 학교인

Table 5. % Water consumption according to the flow rates

20mm(20개소)		물사용률(%)									
유량범위(L/h)	평균 \ 장소	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0~45	11.86	24.48	1.06	1.60	0.05	13.63	1.54	35.81	11.38	33.24	10.56
45~90	5.18	1.77	1.06	0.78	19.01	13.16	2.07	9.77	2.30	5.48	4.79
90~160	6.48	3.42	2.87	2.07	8.99	11.27	7.00	11.95	5.71	4.28	4.23
160~300	14.22	10.22	8.89	5.53	9.25	12.57	29.58	18.66	14.31	11.28	8.34
300~550	22.95	14.38	39.19	12.32	18.60	22.06	36.96	13.60	40.81	18.37	19.12
550~1600	37.89	43.63	46.93	70.43	44.10	27.31	22.85	10.21	25.49	27.37	52.96
1600~	1.43	2.11	0	7.27	0	0	0	0	0	0	0
물사용량(m ³)		49.985	77.539	71.797	103.250	59.162	42.035	13.264	45.542	22.211	87.940

유량범위 (L/h)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0~45	1.77	1.31	9.25	13.31	26.46	0.42	35.10	9.26	4.12	2.75
45~90	1.52	0.92	3.92	4.04	13.42	0.43	12.07	2.93	2.86	1.35
90~160	2.71	2.69	9.23	10.90	15.52	5.06	5.05	7.46	7.65	1.48
160~300	6.94	6.03	24.26	15.06	14.15	28.24	8.85	14.31	33.27	4.59
300~550	11.70	12.59	37.37	27.20	21.55	26.75	15.61	21.77	37.65	11.44
550~1600	58.54	74.31	15.96	29.49	8.89	39.09	23.32	44.08	14.46	78.40
1600~	16.82	2.15	0	0	0	0	0	0.19	0	0
물사용량(m ³)	67.468	98.501	14.195	36.814	27.936	16.745	22.298	29.482	33.667	40.626

25mm(20개소)		물사용률(%)									
유량범위(L/h)	평균 \ 장소	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0~60	7.50	1.59	2.65	12.89	0.06	19.86	15.26	0.10	1.60	1.74	0.77
60~120	14.84	28.93	6.58	6.57	26.43	6.06	7.05	27.34	40.22	5.59	20.53
120~200	7.40	3.28	4.71	10.56	8.14	4.98	3.15	5.44	4.74	2.25	11.91
200~380	16.99	9.79	17.88	15.69	13.82	16.08	14.95	11.54	12.33	6.51	26.03
380~750	35.18	32.23	45.51	27.34	38.16	44.06	34.05	27.01	26.12	18.13	36.30
750~2000	17.59	23.92	22.67	26.95	13.38	8.97	25.49	28.36	14.99	58.07	4.46
2000~	0.51	0.27	0	0	0	0	0.05	0.22	0	7.71	0
물사용량(m ³)	91.412	32.702	74.830	107.810	57.295	72.512	94.309	65.730	252.364	101.263	

유량범위(L/h)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0~60	14.26	10.97	2.14	0.89	14.50	18.20	14.37	0.41	10.34	7.32
60~120	6.39	4.99	5.12	25.67	21.72	4.67	3.93	18.44	5.82	24.66
120~200	5.06	4.92	4.04	23.02	6.65	3.22	4.63	16.01	5.08	16.12
200~380	19.31	19.65	12.00	16.49	12.08	9.34	19.29	13.62	21.45	51.90
380~750	41.02	55.78	40.12	29.47	40.85	58.5	49.46	21.79	37.77	0
750~2000	13.95	3.68	34.94	4.46	4.20	6.06	8.32	29.45	19.54	0
2000~	0	0	1.63	0	0	0	0	0.28	0	0
물사용량(m ³)	70.968	80.308	106.472	86.511	60.803	27.320	68.681	101.756	52.876	59.788

Table 5. % Water consumption according to the flow rates(Continued)

32mm(12개소)		물사용률(%)											
유량범위(L/h)	평균 \ 장소	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0~67	4.13	0	2.50	8.59	0.13	6.21	1.90	0.09	10.88	9.88	3.84	0.17	5.33
67~140	10.35	0	19.97	5.08	15.27	9.03	8.22	15.43	4.86	7.44	14.24	15.63	9.02
140~220	8.16	0	4.86	6.41	5.34	33.2	8.28	4.97	8.25	6.09	6.32	7.81	6.35
220~320	5.64	0.09	3.92	5.68	5.09	5.69	3.48	4.68	7.17	7.30	5.94	9.69	8.96
320~600	27.10	3.47	22.75	25.84	24.76	25.25	23.59	20.12	35.49	34.38	31.02	47.34	31.14
600~1400	36.46	32.23	42.34	43.66	44.77	20.47	46.81	48.36	32.27	33.73	35.85	19.36	37.62
1400~3500	6.48	44.10	3.67	4.53	4.64	0.16	7.72	6.35	1.08	1.19	2.79	0	1.58
3500~	1.69	20.10	0	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
물사용량(m ³)		99.251	85.409	141.047	81.640	149.072	150.347	63.170	75.814	104.101	121.454	61.638	721.917

40mm(12개소)		물사용률(%)											
유량범위(L/h)	평균 \ 장소	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0~87	3.72	3.72	9.31	0	1.64	1.74	5.12	0	4.62	6.22	11.4	0.07	0.84
87~160	3.20	2.79	3.67	7.81	1.44	1.56	3.42	0	2.73	4.49	8.63	0.05	1.78
160~300	8.06	7.49	6.98	7.23	5.37	4.85	8.63	0	6.05	9.39	33.42	3.30	3.95
300~600	21.39	19.76	20.33	24.38	20.84	15.82	27.54	22.98	20.24	29.64	29.53	11.88	13.75
600~900	22.14	20.72	27.27	27.73	22.57	22.83	26.45	34.02	26.14	24.29	6.36	8.95	18.35
900~2000	36.73	41.91	31.20	32.15	44.09	47.44	28.46	41.51	38.16	25.38	8.04	49.47	52.89
2000~5200	4.77	3.62	1.24	0.71	4.05	5.75	0.38	1.50	2.06	0.59	2.62	26.28	8.42
5200~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
물사용량(m ³)		161.465	156.474	240.535	246.643	165.503	153.033	158.022	165.130	155.400	93.004	283.985	169.682

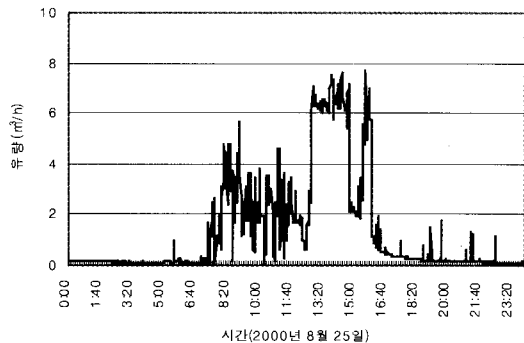


Fig. 3. Water Demand patterns (24h) at site I.

C(초), D(고), I(중), J(초)의 1차 조사기간에 방학이 포함되어 있어 제외하여 수도물 사용량을 분석하면 평균 사용량은 C(1,900명)가 30L/일/인, J(1,500명)는 32L/일/인, I(880명)는 25L/일/인, D(2,000명)는 29L/일/인 이었다(Table 8).

물사용률의 분포는 서로 달랐지만 각 수용가별로

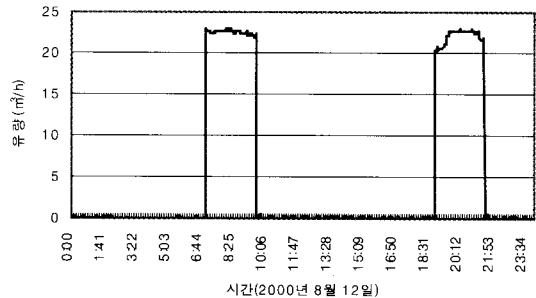


Fig. 4. Water Demand patterns (24h) at site A.

물사용패턴은 반복적인 형태를 보였는데 이것은 수용가의 수도설비의 종류, 물사용패턴 등에 따른 특성을 나타낸 것으로 판단된다. 유량범위의 단계를 많이 두면 계량기의 미감지율을 좀더 정확하게 산정할 수 있으나 수고와 비용이 많이 소요되므로 단계를 적정하게 하는 것이 필요하다. 50mm 계량기 미감지율 조사에서는 유량범위의 단계 구분에 따른 물사용률과 계량기 오차의 변화를 파악하기 위하여 25단계로 구분

Table 6. Meter accuracy at different flow rates of 20mm to 40mm water meters

20mm		계량기 오차(%)							
시험유량(L/h)	평균(20개)	2000년(3개)	1999년(2개)	1998년(3개)	1997년(2개)	1996년(2개)	1995년(3개)	1994년(2개)	1993년(3개)
31	-35.70	-7.83	-3.50	-26.83	-9.50	-30.75	-30.67	-99.25	-77.33
60	-3.30	0.93	0.90	0.77	-1.00	-3.75	-6.70	-5.85	-10.53
120	-0.26	0.57	-0.25	2.47	1.15	-0.65	-0.93	-0.80	-3.50
197	0.92	1.00	0.70	2.87	2.40	1.00	0.40	0.70	-1.37
400	0.23	0.92	1.30	1.01	0.30	0.45	-0.47	0.16	-1.37
700	0.72	1.54	-0.10	1.29	0.23	0.43	0.09	3.64	-0.90
2500	0.31	1.94	-0.44	1.94	1.10	-1.03	-0.26	-0.56	-0.96

25mm		계량기 오차(%)							
시험유량(L/h)	평균(22개)	2000년(3개)	1999년(3개)	1998년(3개)	1997년(3개)	1996년(3개)	1995년(3개)	1994년(3개)	1993년(1개)
31	-23.25	2.50	4.00	-6.83	-10.00	-45.17	-19.50	-85.00	-31.50
80	-1.14	1.30	2.27	0.70	0.30	-1.80	-1.60	-7.73	-5.40
160	2.01	1.83	1.43	1.67	2.83	3.33	2.73	0.47	1.40
252	1.95	1.50	1.37	1.83	1.67	3.03	2.63	1.73	1.60
500	0.71	1.19	0.61	-0.08	0.23	1.52	1.12	0.71	-0.20
1000	0.44	1.22	1.07	-0.32	0.16	0.52	0.75	0.19	-1.14
3000	0.34	0.52	0.69	-0.47	0.64	1.26	0.59	0.30	-3.14

32mm		계량기 오차(%)				
시험유량(L/h)	평균(15개)	2000년(3개)	1999년(3개)	1998년(3개)	1997년(3개)	1996년(3개)
35	-77.47	-17.33	-70.83	-99.17	-100.00	-100.00
100	-12.86	0.07	-11.93	-10.07	-24.33	-18.03
180	0.36	3.30	-1.80	1.63	-1.27	-0.07
250	3.10	4.50	0.43	4.67	2.47	3.43
400	3.82	2.69	1.03	6.03	5.20	4.15
800	2.17	1.13	0.67	3.73	2.64	2.66
2000	0.40	-1.09	0.30	1.01	0.31	1.49
5000	0.40	-0.66	0.19	0.92	-0.19	1.75

40mm		계량기 오차(%)							
시험유량(L/h)	평균(21개)	2000년(3개)	1999년(2개)	1998년(2개)	1997년(2개)	1996년(3개)	1995년(3개)	1994년(3개)	1993년(3개)
50	-97.90	-86.17	-99.50	-100.00	-99.75	-100.00	-100.00	-99.67	-100.00
125	-20.73	-4.53	-6.80	-17.20	-19.40	-12.23	-34.67	-51.37	-13.40
200	-4.68	0.53	-1.35	-5.75	-3.45	-3.77	-10.63	-6.60	-5.27
400	0.68	1.66	-1.53	2.04	2.13	0.55	0.34	0.84	-0.35
788	1.01	1.24	-2.10	2.22	1.70	1.44	1.65	1.69	-0.18
1000	0.81	1.08	-3.25	2.48	1.95	1.40	1.49	1.84	-0.93
3000	-0.56	-0.52	-4.78	0.98	-0.59	-1.45	1.37	1.39	-1.80
7400	-0.96	0.34	-7.55	0.60	-3.19	0.17	0.52	1.84	-2.83

Table 7. Under-registration of 20mm to 40mm water meters

20mm(20개소)			계량기 미감지율(%)					
유량범위(L/h)	물사용률	미감지율	가정용(12개소)		영업용(8개소)		업무용	
			물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율
0~45	11.86	-4.23	12.12	-4.33	11.47	-4.09	-	-
45~90	5.18	-0.17	5.95	-0.20	4.03	-0.13	-	-
90~160	6.48	-0.02	7.37	-0.02	5.13	-0.01	-	-
160~300	14.22	0.13	15.51	0.14	12.27	0.11	-	-
300~550	22.95	0.05	26.86	0.06	17.09	0.04	-	-
550~1600	37.89	0.27	32.01	0.23	46.72	0.34	-	-
1600~	1.43	0.00	0.18	0.00	3.30	0.01	-	-
과·미감지율		-3.96		-4.10		-3.74		
25mm(20개소)			계량기 미감지율(%)					
유량범위(L/h)	물사용률	미감지율	가정용(19개소)		영업용(17개소)		업무용	
			물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율
0~60	7.50	-1.74	7.13	-1.66	14.50	-3.37	-	-
60~120	14.84	-0.17	14.47	-0.17	21.72	-0.25	-	-
120~200	7.40	0.15	7.43	0.15	6.65	0.13	-	-
200~380	16.99	0.33	17.25	0.34	12.08	0.24	-	-
380~750	35.18	0.25	34.89	0.25	40.85	0.29	-	-
750~2000	17.59	0.08	18.30	0.08	4.20	0.02	-	-
2000~	0.51	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	-	-
과·미감지율		-1.10		-1.01		-2.94		
32mm (12개소)			계량기 미감지율(%)					
유량범위(L/h)	물사용률	미감지율	가정용(11개소)		영업용		업무용(1개소)	
			물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율
0~67	4.13	-3.20	4.50	-3.49	-	-	0.00	0.00
67~140	10.35	-1.33	11.29	-1.45	-	-	0.00	0.00
140~220	8.16	0.03	8.90	0.03	-	-	0.00	0.00
220~320	5.64	0.17	6.15	0.19	-	-	0.09	0.00
320~600	27.10	1.04	29.24	1.12	-	-	3.47	0.13
600~1400	36.46	0.79	36.84	0.80	-	-	32.23	0.70
1400~3500	6.48	0.03	3.06	0.01	-	-	44.10	0.18
3500~	1.69	0.01	0.02	0.00	-	-	20.10	0.08
과·미감지율		-2.47		-2.79				1.09
40mm (12개소)			계량기 미감지율(%)					
유량범위(L/h)	물사용률	미감지율	가정용(9개소)		영업용(3개소)		업무용	
			물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율	물사용률	과·미감지율
0~87	3.72	-3.65	3.60	-3.52	4.10	-4.02	-	-
87~160	3.20	-0.66	3.10	-0.64	3.49	-0.72	-	-
160~300	8.06	-0.38	6.22	-0.29	13.56	-0.63	-	-
300~600	21.39	0.15	22.39	0.15	18.39	0.13	-	-
600~900	22.14	0.22	25.78	0.26	11.22	0.11	-	-
900~2000	36.73	0.30	36.70	0.30	36.80	0.30	-	-
2000~5200	4.77	-0.03	2.21	-0.01	12.44	-0.07	-	-
5200~	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
과·미감지율		-4.04		-3.76		-4.91		

* (-): 미감지율, (+): 과감지율

Table 8. Water usage in the sites installed 50mm water meters during the measurement of flow rates

구분	대상 수용가의 물사용량(m3)											계
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1차	2035.087	863.588	495.699	583.147	582.289	1164.106	209.423	500.349	1444.714	819.757	91.986	8790.143
2차	2221.203	920.563	473.867	1243.935	1208.437	1490.675	457.891	533.542	1698.509	853.425	1107.400	12209.447
3차	2632.493	796.155	347.443	1126.500	816.302	943.767	457.434	496.447	1392.600	992.185	1254.869	11256.195
평균	2296.261	860.102	439.003	984.527	869.009	1199.516	374.916	510.113	1511.941	888.456	818.085	10751.928

Table 9. % Water consumption according to the flow rates in the sites installed 50mm meters

유량범위(L/h)	대상 수용가의 물사용률(%) - 1차											
	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	
0~30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30~50	0.20	0.00	0.04	0.00	0.09	0.00	0.94	1.28	0.00	1.27	1.25	0.65
50~70	0.26	0.00	0.07	0.00	0.12	0.00	2.13	0.73	0.28	1.48	0.65	0.00
70~90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90~150	0.41	0.00	0.12	0.00	0.49	0.00	3.32	1.28	0.46	0.11	0.91	1.10
150~250	0.33	0.35	0.47	0.01	3.58	0.00	3.07	1.03	0.45	0.11	0.66	0.96
250~350	0.14	0.62	0.81	0.00	2.01	0.00	1.51	0.57	0.24	0.09	0.66	0.96
350~450	0.16	0.82	2.61	0.00	3.75	3.12	2.38	0.81	0.25	0.14	0.81	1.04
450~550	0.13	0.82	4.03	0.00	4.21	5.39	1.92	0.90	0.14	0.10	0.81	1.04
550~700	0.08	1.29	6.30	26.59	4.06	3.09	2.44	1.40	0.41	0.08	1.04	7.84
700~900	0.05	2.76	11.07	19.94	3.17	2.66	2.93	2.53	0.47	0.00	7.84	1.00
900~1100	0.01	3.19	11.08	8.16	3.60	1.88	2.47	2.20	0.43	0.00	1.00	4.98
1100~1300	0.00	5.18	14.48	2.69	4.14	1.52	2.43	2.49	0.51	0.01	4.98	3.74
1300~1500	0.00	5.46	12.41	4.24	3.53	0.89	1.98	2.03	0.45	0.00	3.74	1.50
1500~1800	0.00	13.71	17.59	1.21	3.45	1.90	6.90	3.90	0.69	0.00	1.50	5.14
1800~2250	0.00	22.04	15.67	1.57	4.35	1.96	7.71	5.49	1.06	0.00	5.14	4.86
2250~2750	0.01	23.43	3.20	1.10	2.80	2.57	6.28	7.13	2.10	0.01	4.86	2.65
2750~3500	0.01	17.50	0.06	1.97	3.76	3.99	5.52	11.14	4.28	0.01	2.65	3.48
3500~4500	0.02	2.77	0.00	5.66	6.69	5.88	10.76	14.02	46.40	0.02	3.48	3.44
4500~5500	0.01	0.04	0.00	16.15	6.38	6.54	9.25	12.75	20.22	0.01	3.44	11.48
5500~6750	0.02	0.00	0.00	10.70	15.72	10.49	12.88	14.27	1.36	0.03	11.48	11.71
6750~8250	0.02	0.00	0.00	0.00	10.99	13.78	12.31	10.55	19.81	0.00	11.71	20.03
8250~10500	0.10	0.00	0.00	0.00	13.09	18.51	0.79	3.36	0.00	0.07	20.03	9.52
10500~13500	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	11.95	0.09	0.14	0.00	96.17	9.52	1.25
13500~17500	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85	0.00	0.00	0.00	0.28	1.25	0.00
17500~	97.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

하여 분석하였다(Table 9, 10).

80개의 50mm 계량기를 오차시험결과, 300L/h 이하에서 경과연수가 오래될수록 감도가 급격히 저하되어 (-)오차가 커졌으며, 1200L/h 이상에서는 대체로 (+)오차를 보였다. 특히 시험유량 200L/h에서 1992년의 계량기 오차가 약 -70%인 반면 2000년의 계량기는 -1.47%로 경과연수가 오래된 계량기의 소유량에서 오차의 변동이 컸다(Table 10).

3.3.2. 미감지율 산출

50mm 대상 수용가의 물사용률은 수용가의 저수방식에 따라 큰 차이가 있었다. 불탑식에서는 550~6750L/h의 유량범위에서 물을 많이 사용하였고, 전동밸브식에서는 3500L/h 이상의 유량범위에서 높은 물사용률을 보였다. 즉 전동밸브식은 일시에 물을 저장하는 저수방식이므로 불탑식의 저수방식보다 높은

Table 10. Meter accuracy at different flow rates of 50mm water meters(%)

시험유량 (L/h)	평균 (807개)	2000년 (67개)	1999년 (77개)	1998년 (77개)	1997년 (97개)	1996년 (127개)	1995년 (117개)	1994년 (107개)	1993년 (97개)	1992년 (97개)
20	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000
40	-98.463	-79.680	-100.000	-99.857	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000
60	-93.757	-49.753	-85.434	-91.143	-99.889	-97.250	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000
80	-85.407	-21.516	-55.857	-70.929	-88.222	-93.500	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000
100	-78.021	-11.850	-31.406	-64.329	-61.667	-87.117	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000
200	-43.173	-1.467	-6.091	-18.982	-13.276	-36.376	-70.955	-64.600	-73.111	-69.889
300	-19.883	0.316	-1.114	-5.857	-4.163	-9.071	-31.836	-41.800	-29.000	-40.910
400	-7.056	0.795	0.271	-2.357	-0.695	-3.863	-11.206	-8.857	-9.639	-22.609
500	-4.053	1.083	0.857	-1.229	0.578	-1.962	-7.842	-4.710	-4.337	-15.265
600	-2.133	1.283	1.092	-0.529	1.388	-0.878	-3.904	-1.852	-1.293	-12.349
800	-0.655	0.704	0.634	-0.491	1.403	-0.300	-1.715	1.380	0.606	-7.453
1000	0.846	0.860	0.520	-0.354	1.714	0.176	-0.493	2.900	2.511	-0.267
1200	1.379	0.854	0.445	0.014	1.795	0.425	0.333	3.440	3.399	1.344
1400	1.609	0.963	0.509	0.016	1.687	0.700	0.756	3.648	4.076	1.578
1600	1.728	1.127	0.590	0.110	1.520	0.738	1.133	4.120	4.191	1.404
2000	1.693	-0.303	0.091	0.514	1.171	1.113	1.382	4.580	4.278	1.067
2500	1.516	-1.180	-0.159	0.376	0.822	1.108	1.360	4.110	3.633	1.933
3000	1.450	-1.268	0.003	0.536	0.811	1.470	1.485	3.710	3.044	1.567
4000	1.269	-1.078	0.060	0.567	1.101	1.321	1.605	3.180	1.822	1.333
5000	1.288	-0.798	0.358	0.811	1.391	1.303	1.615	2.690	1.822	1.156
6000	1.272	-0.438	0.474	1.054	1.891	1.145	1.675	2.160	1.622	0.922
7500	0.677	-0.042	0.467	-0.020	1.903	0.753	1.265	0.970	0.922	-0.756
9000	0.456	0.372	0.665	-0.013	0.934	1.035	0.935	0.330	0.722	-1.244
12000	0.138	0.531	0.602	0.052	-0.744	0.992	0.432	0.145	0.461	-1.360
15000	0.108	0.841	0.851	0.178	-1.476	0.994	0.516	0.275	0.288	-1.477
20000	0.145	1.563	0.901	0.246	-1.748	0.879	0.596	-0.105	0.116	-0.794

유량범위를 나타냈으며 따라서 물사용률의 분포도 불
 탐식에 비해 좁았다. 불탐식의 저수방식에서는 B와
 D, 전동밸브식에서는 G에서 과감지하였다. 1차 조
 사에서는 불탐식의 미감지율이 1.42%로 전동밸브식
 의 1.45%보다 작았으나 2차와 3차에서는 불탐식과
 전동밸브식의 미감지율이 각각 0.77%와 0.53%,
 1.06%와 0.88%로 불탐식의 저수방식에서 미감지수
 량이 더 많았다.

Fig. 3은 불탐식의 저수방식인 I에서 계측한 0~24
 시의 유동률이고, Fig. 4에는 전동밸브의 저수방식인
 A에서 0~24시의 유동률로 저수방식에 따른 수용가
 의 물사용패턴이 명확하게 구분된다.

Fig. 5와 Table 11은 50mm 계량기의 연도별 미감
 지율을 산출한 결과이다. 경과연수가 오래된 계량기
 일수록 미감지율이 컸으며 반대로 경과연수가 작을수
 록 미감지율이 작았으나 1993년, 1994년, 1997년에는
 1999년과 2000년의 계량기 미감지율과 유사하였

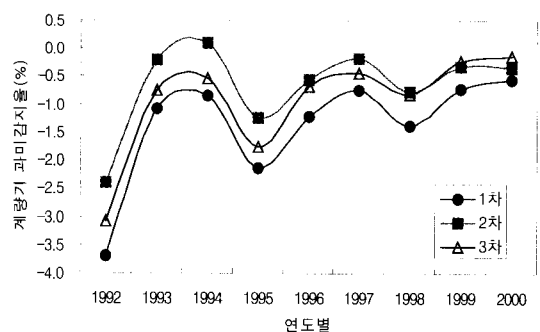


Fig. 5. Under-registration of 50mm meters.

는데 이것은 계량기가 제작회사, 계량수량 등에 영향
 을 받으므로 계량기의 오차가 경과연수가 증가한다고
 해서 반드시 커지는 것은 아니기 때문이다(안재찬,
 1997; 안재찬 등, 2000).

1992년의 계량기 미감지율이 3.05%로 가장 컸고
 2000년의 계량기는 0.35%로 가장 작았다. 또한 조사

Table 11. Under-registration of 50mm meters(%)

구분	1992년	1993년	1994년	1995년	1996년	1997년	1998년	1999년	2000년	평균
1차	-3.69	-1.08	-0.84	-2.13	-1.22	-0.75	-1.39	-0.72	-0.55	-1.43
2차	-2.40	-0.20	0.09	-1.25	-0.55	-0.19	-0.78	-0.32	-0.36	-0.68
3차	-3.08	-0.75	-0.54	-1.77	-0.69	-0.44	-0.82	-0.23	-0.13	-1.00
평균	-3.05	-0.67	-0.43	-1.72	-0.82	-0.46	-1.00	-0.42	-0.35	-1.04

※ (-): 미감지율, (+): 과감지율

기간에 따라서도 미감지율이 변화하였는데, 물사용량이 가장 많았던 2차 조사기간에 계량기 미감지율이 0.68%로써 가장 작았고 물사용량이 가장 적었던 1차에는 미감지율이 1.43%로 가장 컸으며, 3차에서는 1.0%으로 평균 1.04%로 나타났다. 따라서 계량기의 오차와 물사용량에 따라 미감지율도 변화하였다.

4. 결 론

서울시에서 수용가의 수돗물 사용량을 계량하기 위해 사용하고 있는 20mm, 25mm, 32mm, 40mm, 50mm 수도계량기에 대하여 현장에서 수용가의 유통률을 계측하고 계량기의 오차시험을 실시하여 사용 중인 상태에서 발생할 수 있는 계량기의 미감지율을 산출하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 20mm와 25mm 각 20개소, 32mm와 40mm 각 12개소의 수용가에서 유량데이터를 계측·분석하고 1993년부터 2000년까지 총 78개의 계량기에 대해 오차시험을 실시하여 산출한 20mm, 25mm, 32mm, 40mm의 계량기 미감지율은 각각 3.96%, 1.10%, 2.47%, 4.04% 이었다.

2) 수돗물의 사용량이 적은 소유량범위에서 물사용률은 20mm의 경우 11.86%, 25mm는 7.5%, 32mm와 40mm는 각각 4.13%, 3.72%이었으며, 만일 계량기가 고장 등의 원인으로 정확하게 계측하지 못할 경우에 계량기의 미감지율이 소유량범위의 물사용률만큼 커질 수 있으므로 계량기가 정상적으로 작동하도록 적정하게 관리하는 것이 중요하다.

3) 50mm 계량기에 대하여 11개소의 수용가에서 유량데이터를 계측·분석하고 1992년부터 2000년까지 총 80개의 계량기를 오차시험하여 산출한 미감지율은 1.04%이었으며, 3차에 걸친 조사기간에 따라 미감지율이 변화하였는데, 물사용량이 가장 많았던 2

차 조사기간에 계량기 미감지율이 0.68%로써 가장 적었고 물사용량이 가장 적었던 1차 조사기간에 미감지율이 1.43%로 가장 컸으며 평균 1.04% 이었다.

4) 수도계량기는 경과연수가 오래될수록 대체로 소유량에서 (-)오차가 증가하고 대유량에서 (+)오차가 증가하는 경향을 나타내며, 특히 소유량에서 오차가 급격히 저하되므로 수용가의 물사용패턴에 적절한 계량기를 사용하여야 한다.

본 연구에서는 고장 또는 회전불량의 계량기를 제외하였으나 현장 여건상 계량기의 고장, 회전불량 등의 사유에 의해서도 계량기 미감지율이 발생할 수 있음을 감안하면 실제 미감지율은 약간 높아질 수 있다.

참고문헌

- 구자용, 유명진 (2003) 누수방지대책을 위한 GIS의 활용, 상수도시스템의 누수저감 및 방지기술 국제세미나, 서울시립대학교·수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 2003. 8. 11.
- 구자용, 박규홍, 정신희, 김신걸, 김경필, 기범준 (2004) 서울시 관망교체 사업의 현황, 문제점 및 개선방안, 서울특별시 수돗물수질평가위원회.
- 내무부 (1987) 상수도누수방사업종합보고서.
- 박남식, 배정용, 황경석, 김학용, 최철식 (2003) 고장으로 인한 대구경 계량기의 불감률, 상수도학회지, 17(2), pp. 315-321.
- 서울특별시 상수도사업본부 (2004) 상수도통계연보.
- 안재찬 (1996) 수도계량기 정밀도에 관하여, 수자원환경 제 88호(1996. 4), pp. 32-35.
- 안재찬 (1997) 가정용 13mm 수도계량기의 성능에 관한 연구, 서울특별시 상수도연구소 1996년 수도연구집.
- 안재찬 (1998) 상수도 배급수 분야의 R&D(일본 동경도, 오사카시를 중심으로), 서울특별시 시정연구논총:새서울터전, 5(2), pp. 74-81.
- 안재찬, 하성호, 정판식, 최정섭, 이규성 (2000) 유수율 제고를 위한 수도계량기 성능평가 연구, 새천년 서울 상

- 수도기술세미나, 대한환경공학회·서울특별시 상수도 연구소, 2000. 9. 1.
- 안재찬, 박태준, 김석정, 이규성 (2002) 수도계량기 미감지를 조사연구, 한국상하수도협회·상수도연구검사기관 협의회, 2002. 11. 13.
- 안재찬, 하성호, 정판식, 최정섭, 구자용 (2005) 가정용 13mm 수도계량기 미감지를 조사연구, *상하수도학회지*, 19(4), pp. 506-514.
- 환경부 (1999) '98 상수도통계.
- 현인환 (1999) 유수율 향상을 위한 배수시설의 유지관리, '99 서울상수도기술세미나, 서울특별시상수도사업본부·대한환경공학회, 1999. 9. 1.
- 현인환 (2003) 서울시 관망관리의 현황과 과제, 서울특별시 수질평가위원회 2003 심포지움, 서울특별시 수돗물수질평가위원회, 2003. 11. 25.
- 현인환 (2005) 상수관망의 관리, 대한상하수도학회 수도연구회 심포지움-수돗물 수질개선 종합대책의 바람직한 추진방향, 대한상하수도학회, 2005. 3. 23.
- 日本水道協會 (1977) 漏水防止對策指針.
- 漏水防止に關する調査檢討會 (1996) 漏水防止に關する調査報告書, 日本水道技術研究センター.
- 小林康彦 (1988) 水道管路の研究開發の方向, 日本水道技術研究センター.
- Ahn, J.C., Choi, J.S., Lee, G.S., Koo, J.Y. (2002) Under-registration of water meters in Seoul City, 日本水道協會 第53回全國水道研究發表會, 2002. 5. 29-31, pp. 694-695.
- Ahn, J.C., Lee, S.W., Lee, G.S., Koo, J.Y. (2005) Predicting water pipe breaks using neural network, In Proceedings of Conference on Efficient use and Management of urban water, Santiago Chile, 15-17 March 2005, IWA Publishing, pp. 472-481.
- Arregui, F., Cabrera, Jr., E., Cobacho, R., Palau, V. (2003) *J. Water Science and Technology: Water Supply, IWA*, 3(1-2), pp. 143-152
- AWWA (1990) Water Audits and Leak Detection (M36).
- California Section Committee Report (1966) Determination of Economic Period for Water Meter Replacement, *J. AWWA*, 58(6), pp. 642-650.
- Tao, P. (1982) Statistical sampling techniques for controlling the accuracy of small meters, *J. AWWA*, 74(6), pp. 296-304.