

가정용 13mm 수도계량기 미감지율 조사연구

A Study on Under-registration of 13mm Water Meters

안재찬^{1,*} · 하성호¹ · 정판식¹ · 최정섭¹ · 구자용²

Ahn, Jae-Chan^{1,*} · Ha, Sung-Ho¹ · Jeong, Pan-Sig¹ · Choi, Jeong-Sub¹ · Koo, Ja-Yong²

1 서울특별시 상수도연구소

2 서울시립대학교 환경공학과

(2005년 7월 1일 논문접수; 2005년 8월 9일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Unaccounted-for water subtracting water sold from produced water includes leakage, under-registration, unauthorized use, etc. To improve accounted-for water ratio, firstly, it should be attempted to accurately identify where unaccounted-for water is, and then it must to be reduced.

Under-registration of meter is caused by allowable tolerance of meter, improper size of meter installed, gradient installation, etc. Under-registered water of meters has ever been the second large amount of unaccounted-for water next to leakage, but still is not estimated exactly. In this study, the estimated value as under-registered water was obtained by using the selected-area modeling program. As a result, the under-registered water ratio of 13mm meters was approximately 1.23%. Those of meters according to ages 1, 3, and, 5 years old were 1.46% 2.77% and, 2.26%, respectively but that of 7 years old meters showed over-registration of 1.59%.

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

주제어: 수도계량기, 무수수량, 미감지율, 불감률

1. 서 론

무수수량(無收水量)이란 정수장에서 생산한 수돗물 중에서 요금으로 받지 못한 수량으로 보통 누수, 계량기 미감지수량, 수도사업용수, 도수 등이 포함된다. 유수율을 높이기 위해서는 무수수량의 발생원인

을 명확하게 파악하여 손실수량을 줄여야 한다(현인환, 2003). 무수율이 10~15%이면 효율적인 상수도 운영이라고 할 수 있지만 최근에 누수탐사기기, 계량기 등의 기술개발로 무수수량의 목표를 10% 이하로 설정하도록 권고하고 있다(AWWA LDWA committee, 1996).

서울시의 2004년 말 유수율은 85.3%로 1998년의

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

64.2%에 비해 팔목할 만한 정도로 높아졌으며 이것은 야간최소유량증정과 누수탐지, 적정구경의 계량기 설치, 잔존관 정비 등 종합적인 유수율 향상방안을 수립하여 적극적으로 추진한 결과라고 할 수 있다. 이와 같이 무수수량을 감소시켜 나간다면 가까운 장래에 선진국과 같은 효율적인 상수도 운영이 가능할 것으로 보인다(Ahn 등, 2005; 서울특별시 상수도사업본부, 2004).

본 연구에서는 국내 상수도에서 무수수량 중 누수량 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있으나 정확하게 산정하지 못하고 있는 계량기 미감지수량(불감수량)의 조사방법을 검토하였고 현장의 모델지역을 선정하여 계량기 미감지율을 산출함으로써 정확한 무수수량 분석을 통한 유수율 향상에 기여하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 수도계량기의 종류 및 현황

수도계량기는 수용가에서 사용하는 물을 적산 계량하는 기기이며, 그 계량수량은 수도요금의 기초가 된다. 수도계량기를 설치하면 물의 낭비를 막을 수 있으며 적정한 요금을 부과하여 상수도의 합리적인 운영이 가능하게 된다. 특히 상수도에서 주요 경영지표 중의 하나인 유수율을 산정하는데 매우 중요한 역할을 하므로 성능이 우수하고 내구성이 있는 계량기를 선정하도록 해야 한다. 수도계량기는 반드시 계량 및 측정에 관한 법률이 정하는 기준에 적합한 것을 사용하도록 되어 있다. 수도계량기를 사용하는데 있어서 사용유량의 유속이 너무 빠르면 손실수두가 커질 뿐만 아니라 내구성도 떨어지게 된다. 반면 유속이 너무 느리면 미감지수량이 발생하게 된다. 그러므로 수도계량기가 정확한 계량을 하도록 하기 위해서는 계량기가 설치될 수용가의 급수장치 사용현황을 고려하여 구경, 종류 등을 적절하게 선정하여 사용하도록 하며, 또한 계량기를 설치한 후에도 수돗물 사용형태와 조건이 많이 바뀌게 되면 재검토하여 적절한 계량기로 교체해야 한다(안재찬, 1996; 小林, 1988).

계량기 미감지율의 발생원인은 계량기 고유의 미감지수량과 계량기의 구경선정 및 설치불량 등에 의한 미감지수량으로 크게 나눌 수 있다. 반면 미감지

수량과 반대되는 의미인 과감지수량(過感知水量)도 있을 수 있으나 수도계량기는 대체로 미감지수량이 운영상의 문제가 되고 있다.

수도계량기는 계량원리에 따라 실측식 계량기와 추측식 계량기로 나눌 수 있다. 실측식 계량기는 일정한 용적의 계량실내에서 유체의 압력에 의해 운동자, 즉 원판 또는 회전 피스톤이 작동하고, 이 회전수에 따라 통과수량을 측정하는 것이다. 추측식 수도계량기는 익차(翼車)의 회전수나 차압(差壓) 등을 이용하여 통과한 유량을 측정하며, 종류로는 점선류 익차형, 축류 익차형, 차압식 등이 있다(안재찬, 1997).

2.2. 계량기 정확도의 영향인자

계량기는 그 자체 또는 주위환경에 따라 계량기의 정확도는 영향을 받게 된다. 또한 제작업체, 계량방식 등에 따라 정확도의 차이가 있을 수 있다.

배급수관 공사 또는 단수 후 통수 시에 작은 모래와 같은 이물질이 계량기내로 유입되어 익차를 손상시키거나 기어를 제대로 들지 않도록 하여 미감지수량이 발생하기도 한다. 계량기의 정확도는 수용가의 급수설비 종류, 물사용 습관 등에 따라 차이가 발생할 수 있으며, 수도꼭지를 조금 열어 놓아 소량의 물이 흐를 경우에도 미감지수량이 발생할 수 있다. 계량기를 통과하는 양이 많으면 많을수록 계량기의 움직임은 부품의 마모가 커져 계량기의 성능이 저하되며, 겨울철에 계량기가 동파되지 않았더라도 내부가 동결되었다가 녹게 되면 내부의 기어가 이탈하거나 변형되어 계량기의 정확도에 영향을 미칠 수 있다.

2.3. 국내외 수도계량기 미감지율 현황

2.3.1. 국내의 계량기 미감지율

국내 대도시의 수도계량기 미감지율은 1998년을 기준으로 부산시와 울산시가 14.2%로 가장 높으며 나머지 도시들도 10.0~11.1%로 상당히 높았다(현인환 등, 2003; 환경부, 1999). 국내에서 수도계량기 미감지율을 공식적으로 조사한 것은 1984년에 내무부에서 국제 입찰하여 1987년에 완결된 지방상수도 누수방지사업용역이 시초였다. 이 누수방지사업용역에서는 전국 12개의 시에 누수방지제를 신설토록 하고 직원들에게 현장실습을 병행한 누수탐사교육을 실시하였으며 정수장, 배수지에서 가정의 계량기에 이르

기까지 누수탐지 및 복구, 유량계 점검, 계량기 미감지율 조사 등 무수수량을 조사하고 감소시키기 위해 체계적이고 종합적인 접근방법으로 실시되었다. 계량기 미감지율에 대해서도 3가지 방법으로 미감지수량을 조사하였는데 먼저 수용가를 10종으로 분류하고 전국 12개시에 걸쳐 전 수용가의 약 2.0%인 800개 이상의 계량기를 시험실에서 시험하였으며, 주간의 사용량 패턴 조사에서는 13mm와 20mm가 각각 15개, 2개 이었고 25mm, 50mm, 100mm, 150mm는 각 1개씩이었다. 두 번째는 31개의 계량기를 각각 캔트 PSM 계량기와 현장에서 직렬시험을 실시하였으며, 마지막으로 한국의 수도물 사용패턴에 대한 모의시험을 영국 WRC(Water Research Center)에서 실시하였다. 그 결과, 한국에서 사용하는 계량기의 형태는 견고하나 소유량에서 미감지하고 정상 유량일 때에는 과감지하는 경향이 있는 것으로 나타났으며 이러한 특성을 고려하여 계량기 미감지율을 약 10%로 추정했다(내무부, 1987). 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. 최근 수년 전부터 계량기 성능향상을 위해 제작업체에서 많은 노력을 기울여 왔고, 계량기 검정기준도 보다 강화되어 성능이 우수한 계량기가 많이 보급되었으므로 계량기 미감지율도 많이 개선되었을 것으로 예상된다.

2.3.2. 국외의 계량기 미감지율

수도계량기의 제작기술, 관련규정, 계량기 종류 등이 각 나라마다 차이가 있으며 또한 계량기 미감지율 조사방법에도 차이가 있다. 미국에서는 계량기에 대한 내구연한이 명확하게 정해져 있지 않기 때문에 경과연도에 따라 변화하는 계량기의 미감지율을 조사하여 몇 년간 사용하는 것이 가장 적정한지에 대한 경제성 평가를 위해 실시한 반면, 계량기 내구연한 8년이 만기되면 교체하는 일본에서는 무수수량을 파악하기 위해 미감지율을 조사하였으며 주로 모델지역을 선정하여 조사하는 방법을 적용하였다(안재찬 등,

2002; Ahn 등, 2002).

미국 캘리포니아주에서는 1965년에 무작위 표본조사방법을 적용하여 최고 경과연수가 22년인 계량기(16mm, 20mm, 25mm 계량기 각각 1,982개, 132개, 188개)까지 조사한 결과, 미감지율이 1.6% 이었다. 미국 뉴저지주 하켄삭에서는 1977년에 수용가의 수도물 사용량 패턴을 조사하고 경과연수가 34년까지인 16mm 계량기(3,208개)의 오차를 시험하여 계량기의 미감지율이 0.9%라는 것을 확인하였다(California Section Committee Report, 1966; Tao, 1982).

일본의 키타미시에서는 1994년 이전까지 계량기 미감지율에 대한 정확한 근거 없이 3%로 추정하였으나 현장의 모델지역을 선정하여 조사한 결과, 미감지율이 3.8%로 나타났다. 요즈카이치시 수도국에서는 1964년에 누수방지업무를 시작하면서 모델지역을 선정·조사하여 산출한 결과와 다른 도시의 계량기 미감지율을 참고하여 약 7%로 추정해 왔으나 유효율이 90%를 넘게 되어 1974년에 1년 동안 철거한 계량기에 대해 오차시험을 실시하고 2개소의 모델지역을 조사하여 1.0%의 미감지율을 확인하였다. 후쿠오카시에서는 1981년에 모델지역을 선정하여 조사한 결과, 미감지율은 3.4%였으나 1984년에 유효율이 98.5%로 증가한 후 재조사에서는 미감지율이 1.1%로 나타났다. 오사카시에 설치된 전체 수도계량기의 미감지율은 평균 4.65%이고 그 중 13mm 계량기의 미감지율은 2% 이었다(안재찬, 1998; 漏水防止に關する調査檢討會, 1996).

2.4. 수도계량기 미감지율 조사

수도계량기 미감지율은 계량기의 종류별, 구경별 성능의 차이, 경과연도에 따른 정확도의 저하 등이 주요원인이다. 전체 수도계량기의 미감지수량을 모두 측정하기 어렵기 때문에 각 세대의 수도계량기 중에서 구경 및 경년별로 샘플링 하여 미감지수량을 조사하는 무작위 표본조사법과 모델지역을 선정하여 조사하는 모델지역 선정조사법으로 구분할 수 있다.

무작위 표본조사법은 장기간의 조사기간이 필요하고 많은 예산이 소요되지만 수용가의 수도물 사용패턴을 조사하면 수도물 사용패턴이 크게 변화하기 전까지는 시험실에서의 계량기 오차시험만으로 미감지

수량을 추정할 수 있다. 모델지역 선정조사법은 단기간에 적은 비용으로도 조사할 수 있지만 조사시에 매번 모델지역을 선정해야 하며 어디를 선정하느냐에 따라 미감지율의 변동 폭이 클 수 있고 또한 대구경의 계량기에 대해서는 조사하기 어렵다는 단점이 있다. 본 연구에서는 13mm 수도계량기에 대하여 모델지역 선정조사법을 적용하여 미감지율을 산출하였다.

2.4.1. 무작위 표본조사법

(1) 무작위 표본조사

급수구역 내에 설치되어 사용 중인 계량기 중에서 계량기 종류, 구경, 경과연도에 따라 계량기를 선정한다.

(2) 사용량 패턴조사

수요가에서 시간대별로 수도물을 사용하는 패턴을 조사하는 것으로 분 또는 초단위로 데이터를 기록·저장 기능이 있는 계량기와 부속장비가 필요하다. 장기간 많은 데이터를 기록하여 분석할수록 실제 사용량 패턴에 근사한 값을 얻을 수 있다. 수집된 유동률(flow rate) 데이터를 소유량, 중유량, 대유량 등의 구간으로 구분하고 계량기를 통과한 총 수량을 기준으로 비율로서 나타낸다. 미국수도협회(AWWA)에서는 소유량, 중유량, 대유량의 3개로 구분하고 있다(AWWA, 1990).

(3) 오차시험

계량기 시험실에서는 수도물 사용량 패턴을 조사하여 구분한 유동률별로 계량기의 오차를 시험한다.

(4) 가중평균값 산출(계량기 미감지율)

계량기의 정확도는 유동률에 따라 다르기 때문에 가정에서 수도물을 사용하는 형태에 따라 계량기의 성능도 다르게 된다. 그러므로 한 두 지점의 유동률에서 오차 시험한 결과로는 그 계량기의 전체 정밀도를 나타낼 수 없다. 따라서 계량기의 정확도는 유동률별로 오차시험을 실시하고 가중평균(weighted average)을 구함으로써 산정할 수 있다(Tao, 1982; 日本水道協會, 1977).

2.4.2. 모델지역 선정조사법

(1) 모델지역 선정

배수지역 중에서 대표성이 있는 모델지역을 선정하고 계수밸브를 개폐하여 하나의 배수관을 통해 수

돗물이 유입되도록 한다. 모델지역내의 계량기를 조사하고 누수탐사를 실시하여 누수가 없도록 한다.

(2) 사용량조사

모델지역으로 수도물이 유입되는 지점에는 물 사용량에 적합한 구경의 계량기를 선정하고 유량데이터를 기록·저장할 수 있는 계량기와 부속장비를 설치한다. 시작 및 종료시점을 정해 주계량기와 세대별 계량기의 사용량을 검침한다.

(3) 미감지수량 산출

주계량기의 오차시험은 소유량부터 대유량의 범위를 유동률별로 구분하여 실시하고, 저장된 데이터를 유동률별로 분석하여 주계량기의 오차를 보정한다. 주계량기의 보정량을 세대별 계량기의 총 계량수량에서 빼면 과·미감지수량을 산출할 수 있으며, 과·미감지수량을 주계량기 보정량으로 나누고 100을 곱하여 과·미감지율을 구할 수 있다. 과·미감지율의 값이 (+)이면 과·감지율이고, (-)이면 미감지율이다.

$$\text{과·미감지율(\%)} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100 \quad (1)$$

여기서, Q_1 은 주계량기 계측량의 보정유량(m^3)이고 Q_2 는 세대별 계량기 계측량(m^3)의 합이다.

3. 조사방법

3.1. 조사준비

3.1.1. 모델지역 현황 및 조사준비

구경 50mm 이하 계량기의 내구연한은 8년이기 때문에 계량기를 설치하고 난 후 8년이 경과하면 신제품으로 교체한다. A빌라의 계량기는 설치한지 8년이 경과되어 모두 신제품으로 교체하였다. B빌라, C빌라, D연립은 각각 3년차, 5년차, 7년차의 계량기가 설치되어 있었으나 일부 계량기는 8년 만기 전에 이미 고장으로 교체되었기 때문에 모델지역 외의 지역에서 사용 중인 3년차, 5년차, 7년차의 계량기를 구해 모델지역에 설치하였으며, 그 수량은 3년차, 5년차, 7년차 각각 7, 39, 21개 이었다. 모델지역에 설치된 13mm 계량기의 경과연도별 계량수량은 Table 1과 같다. A빌라의 1년경과 계량기 계량수량은 평균

Table 1. Metered water of aged meters

조사지역	세대수(계량기수)	경과년수	계량수량(m ³ /개)			
			최소	최대	평균(연평균)	표준편차
A빌라	48개	1년차	5.273	90.492	20.906	14.877
B빌라	37개	3년차	154.957	1171.07	627.056(313.528)	240.578
C빌라	48개	5년차	214.999	4502.584	1737.753(434.438)	1397.721
D연립	42개	7년차	547.192	4108.304	2213.564(368.927)	835.043
계	175개					

Table 2. Water use of the selected areas

구 분	A빌라	B빌라	C빌라	D연립
계량기 수(개)	48	37	48	42
인 구(명)	201	163	260	229
면 적	18평	25평	27평, 23평	25평
개당 월사용량(m ³)	22.23	22.22	34.84	27.95
1일 평균유입유량(m ³)	35.65	28.35	57.67	39.19
1인 1일 사용량(L)	177	174	222	171
수 압(kg/cm ²)	3.2~4.0	1.8~2.0	3.5~4.0	3.2~3.8

20.906m³/개로 4월 17일에 설치한 후 5월 20일까지 약 1개월간의 계량수량이다. B빌라(3년차), C빌라(5년차), D연립(7년차)의 계량기는 연평균 372.298 m³/개 월평균 31.025m³/개를 계량하였다. 경과년수가 증가할수록 계량기의 계량수량도 증가하였다.

3.1.2. 주계량기 설치

모델지역 내로 유입되는 전 세대의 사용량을 유량 기록장비(데이터로거)로 계측·분석하기 위해 4개 모델지역의 주계량기로 설치되어 있던 구경 75mm의 터빈식 계량기를 50mm 실측식 계량기로 축소하여 교체하였다.

3.1.3. 모델지역의 누수조사

주계량기 설치 후 모델지역의 누수를 조사하였다. 계량기의 1차측에 설치되어 있는 앵글밸브를 닫아 수도물 사용을 차단하여 주계량기의 지침이 회전하면 모델지역에 누수가 있는 것이고 지침이 회전하지 않으면 누수가 없는 것으로 보았다. 4개 지역에서 누수는 발견되지 않았다.

3.2. 조사기간 및 조사장비

계량기 미감지율의 조사기간은 1999년 5월 20일부

터 11월 9일까지로 1개월씩 2회 조사하였다.

모델지역의 수도물 유입유량의 분포를 계측·분석하기 위해 실측식 계량기인 주계량기에 펄스유니트(pulse unit, 유량신호전달장치)를 설치하여 계량기로부터 스펙트라스칸(spectrascan)사의 유량기록장비인 데이터로거(data logger)로 신호를 전달하였다. 데이터로거는 11,600개의 데이터 저장용량을 가지고 있으므로 순간유량의 저장간격을 5분 간격으로 설정하면 40일간, 1분 간격으로 설정하면 6일간의 유량을 연속해서 기록할 수 있다. 본 연구에서는 순간유량을 5분마다 기록하도록 설정하였다.

4. 조사결과

4.1. 모델지역의 수도물 사용량 분석

모델지역별로 2회 조사하여 분석한 수도물 사용량을 Table 2에 나타냈다. 모델지역의 건물은 모두 3층이었고 지하방은 1층의 소유로 비어있거나 1층의 가족이 거주하였고 세를 들어 있기도 하였는데 수도계량기는 1층과 공용이었다. C빌라에서는 3층 위에 약 4평의 옥탑이 있었는데 세를 든 경우도 있었으므로 C빌라의 거주인구가 가장 많았다. 1인 1일 수도물 평균 사용량은 C빌라가 222L로 가장 많았고 A빌라,

Table 3. Weekly coefficients for household consumption in the selected areas

요일별		월	화	수	목	금	토	일
물사용량	평균	1.02	0.96	0.97	0.99	0.98	1.02	1.08
계수값	A빌라	1.06	0.91	0.96	1.02	1.01	0.99	1.09
	B빌라	1.00	0.99	0.98	0.98	0.96	1.02	1.06
	C빌라	1.05	0.99	0.96	0.97	0.95	1.03	1.06
	D연립	0.95	0.95	0.97	1.01	0.99	1.04	1.09

Table 4. Hourly coefficients for household consumption in the selected areas

시간별		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
물사용량	평균	0.74	0.45	0.32	0.30	0.34	0.55	1.09	1.50	1.44	1.39	1.31	1.18
계수값	A빌라	0.83	0.45	0.28	0.24	0.27	0.49	1.16	1.50	1.39	1.53	1.50	1.25
	B빌라	0.79	0.40	0.28	0.25	0.29	0.49	1.10	1.46	1.42	1.51	1.44	1.25
	C빌라	0.68	0.34	0.26	0.27	0.30	0.53	1.07	1.49	1.53	1.41	1.27	1.21
	D연립	0.76	0.49	0.37	0.37	0.37	0.54	1.00	1.33	1.35	1.34	1.30	1.20

시간별		12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
물사용량	평균	1.12	1.06	0.96	0.91	0.92	1.04	1.19	1.32	1.27	1.36	1.14	1.07
계수값	A빌라	1.13	1.03	0.93	0.89	0.89	0.98	1.23	1.31	1.22	1.28	1.10	1.10
	B빌라	1.17	1.07	0.96	0.91	0.90	0.99	1.16	1.27	1.26	1.33	1.16	1.14
	C빌라	1.20	1.07	0.95	0.90	0.88	1.00	1.14	1.30	1.32	1.46	1.26	1.15
	D연립	1.19	1.07	0.97	0.97	0.96	1.06	1.17	1.31	1.26	1.39	1.17	1.07

B빌라, D연립은 각각 177L, 174L, 171L로 서울시 1인 1일 평균 급수량 421L보다 낮았는데 급수량에는 누수량, 사업용수량, 욕탕용 등이 모두 포함되어 있기 때문에 차이가 많은 것으로 판단된다. 모델지역의 수압은 B빌라가 1.8~2.0kg/cm²로 가장 낮았고, A빌라, C빌라, D연립은 3.2~4.0kg/cm²이었다.

요일별 수도물 사용량 분포를 파악하기 위해 Table 3과 같이 모델지역의 요일별 사용량 계수값을 식 (2), (3), (4)로 산출하였다(Miguel 등, 1999). \bar{S}_i 는 매주 i 번째 요일에 사용한 수량이고, \bar{S} 는 일평균 사용량으로 이 값들을 식(4)에 대입하여 요일별 사용량 계수값 q_{wi} 를 얻었을 수 있다. 주말인 토요일과 일요일에 계수값이 각각 1.02, 1.08로 수도물의 사용량이 주중보다 많았고, 화요일과 수요일에는 계수값이 각각 0.96, 0.97로 사용량이 가장 작았다.

$$\bar{S}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_w} S_{ij}}{n_w} \quad i=1, \dots, 7; j=1, \dots, 4 \quad (2)$$

$$\bar{S} = \frac{\sum_{j=1}^{n_w} \bar{S}_j}{n_w} \quad (3)$$

$$q_{wi} = \frac{\bar{S}_i}{\bar{S}} \quad (4)$$

여기서, S_{ij} 는 j 번째 주의 i 번째 일의 사용량(m³)이고, \bar{S}_j 는 j 번째 주(일 공급량의 합)의 사용량(m³)이며 n_w 는 조사기간 내 주의 수(4주)를 나타낸다.

조사기간 중 매일의 시간별 수도물 사용량 C_{ij} 와, 조사일수 n_d 로 i 번째 시간에 대한 시간당 사용량 \bar{C}_i 을 구하고, 일일 평균 사용량 C_j 와 조사일수로 나누어 전 조사기간의 시간당 평균 사용량 \bar{C} 을 구한다. i 번째 시간에 대한 일 사용량 계수값은 식(7)으로 계산하였으며 Table 4에 결과를 나타냈다. 최고 사용량은 계수값이 1.5로 오전 7~8시에 있었고, 최소 사용량은 계수값이 0.3으로 새벽 3~4시에 있었다. Fig. 1은 2차 조사기간 중 9월 17일(금) 0시~24시에 A빌라에서의 유입유량분포를 그래프로 나타낸 것이다.

$$\bar{C}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_d} C_{ij}}{n_d} \quad i = 1, \dots, 24; j = 1, \dots, 28 \quad (5)$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{j=1}^{n_d} \bar{C}_j}{n_d} \quad (6)$$

$$q_{bi} = \frac{\bar{C}_i}{\bar{C}} \quad (7)$$

여기서, C_{ij} 는 j번째 일의 i번째 시간의 사용량(m^3)이고, \bar{C}_j 는 j번째 일의 평균 사용량(m^3)이며 n_d 는 조사일수이며, q_{bi} 는 시간별 사용량 계수값이다.

4.2. 모델지역의 계량기 미감지율

4.2.1. 주계량기 오차시험

모델지역에서 유입유량을 계측하기 위해 설치했던 50mm 주계량기를 조사기간이 완료된 후 철거하여 유동률별 오차시험을 실시하고 오차에 대한 보정량을 산출하여 주계량기의 계측오차를 감소시켰다. 처음에 40L/h에서 시험하였고, 100~3,000L/h에서는 100L/h씩, 3,000L/h 이상에서는 500L/h씩 증가하여 총 49지점에서 오차시험을 실시하였다. 40L/h와 100L/h에서 (-)오차였으며 그 외에는 (+)1~2%의 범위를 보였다.

4.2.2. 주계량기 보정량 산출

계량기가 전 유량에서 (+)오차를 나타내면 보정량은 실제 계측량보다 작아지게 되며, (-)오차를 나타내면 보정량은 실제 계측량보다 많아지게 된다. 보정량은 식(8)으로 유동률별 보정량의 합을 구하였다.

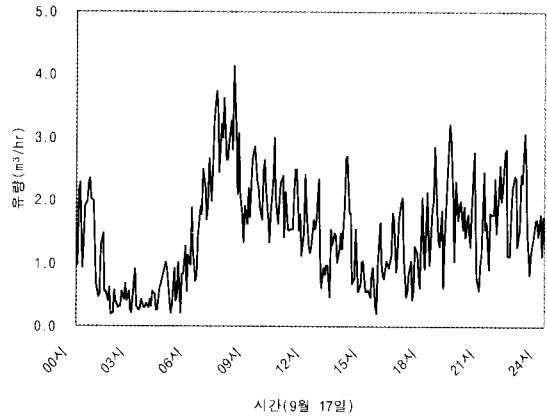


Fig. 1. Water Demand patterns(24hours) at A Villa.

$$\text{주계량기 총보정량}(m^3) = \sum (V_n - V_n \cdot E_n) \quad (8)$$

여기서, V_n 은 n번째 주계량기 계측량(m^3), E_n 은 n번째 유량에서 주계량기 오차(%)이며, n은 0, 1, 2, 3, ..., n을 나타낸다.

4.2.3. 세대별 계량기의 미감지율 산출

주계량기 계측량에 대한 보정량과 13mm 세대별 계량기의 합을 식(1)에 대입하여 13mm 계량기의 미감지율을 구하였다. 이 식에서 과·미감지율이 (-)의 값이면 미감지율이고, (+)의 값이면 과감지율이다.

13mm 계량기의 미감지율은 Table 5와 같이 1.23%이었으며, 1년차, 3년차, 5년차 각각 1.46%, 2.77%, 2.26%로 이었고, 7년차 계량기는 1.59%를 과감지하는 것으로 나타났다. 수도계량기는 경과년수가 오래될수록 소유량에서 (-)오차가 증가하고 대유

Table 5. Under-registration of 13mm meters

구분		A빌라(1년차)	B빌라(3년차)	C빌라(5년차)	D연립(7년차)	평균(%)
1차	Q ₁ (m ³)	1104.714	873.759	1881.649	1224.013	
	Q ₂ (m ³)	1115.506	896.652	1915.823	1200.687	
	과·미감지율(%)	-0.967	-2.553	-1.784	1.943	-0.84
2차	Q ₁ (m ³)	1029.590	770.571	1463.280	1123.665	
	Q ₂ (m ³)	1050.001	794.288	1504.413	1110.041	
	과·미감지율(%)	-1.944	-2.986	-2.734	1.227	-1.61
평균(%)	-1.46	-2.77	-2.26	1.59	-1.23	

※ (-) : 미감지율, (+) : 과감지율

량에서 (+)오차가 증가하며 회전불량, 고장 등 불량률이 점점 높아지게 된다(안재찬, 1997; 안재찬 등, 2000). 본 연구에서는 7년차 계량기가 과감지한 것은 조사기간 중 회전불량, 고장 등이 없었고 소유량에서 미감지를 나타낼 수 있는 소량의 옥내누수가 발생하지 않았기 때문에 과감지한 것으로 판단된다.

5. 결론

유수율 향상을 위해서는 무수요인을 제거하여 무수수량을 감소시켜야 하며 무수수량의 목표를 성취하기 위해서는 각종 유량계와 계량기가 정확히 측정해야 한다. 본 연구에서는 상수도의 무수수량 분석에 필요한 계량기의 미감지율을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 조사대상 계량기에 대해 최초 설치 시부터 본 연구를 실시하기까지 계량기의 경과연도별 계량수량은 각각 3년차, 5년차, 7년차 각각 $627.056\text{m}^3/\text{개}$, $1,737.753\text{m}^3/\text{개}$ 및 $2,213.564\text{m}^3/\text{개}$ 로 연평균 $372.298\text{m}^3/\text{개}$ 를 계량한 것으로 나타났다.

2) 4개 모델지역에서 유입유량분포는 오전 7~9시와 오후 9시 전후에 수도물을 많이 사용하는 것으로 나타났으며, 이러한 사용패턴은 매일매일 유사하게 반복되었다.

3) 13mm 계량기의 전체 평균 미감지율은 약 1.23%로 나타났으며, 1년차, 3년차, 5년차 계량기의 미감지율은 각각 1.46%, 2.77%, 2.26% 이었으며, 7년경과 계량기는 1.59%를 과감지하는 것으로 나타났는데 이것은 계량기의 경과년수가 오래될수록 불량률이 높아지지만 대상지역에서는 회전불량, 고장 등이 발생하지 않았고 또한 미감지수량의 발생요인 중의 하나인 소량의 옥내누수, 소량의 물사용 등이 없었기 때문인 것으로 판단된다.

4) 계량기 미감지수량은 무수수량이지만 유효수량이므로 다소 소홀하게 다룰 수 있다. 그러나 정상적인 계량기에서 발생하는 미감지수량에는 미량의 옥내배관누수, 양변기 누수, 수도꼭지 고장 등 유효하게 사용하지 못한 무효무수수량이 상당히 포함되어 있으므로 이에 대한 홍보와 대책을 마련해야 한다.

참고문헌

- 내무부 (1987) 상수도누수방지사업종합보고서.
 서울특별시 상수도사업본부 (2004) 상수도통계연보.
 안재찬 (1996) 누수공에서의 누수량 산정 실험, 서울특별시 상수도연구소 1996년 수도연구집.
 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:새 서 울터전, 5(2), pp. 74-81.
 안재찬, 하성호, 정관식, 최정섭, 이규성 (2000) 유수율 제고를 위한 수도계량기 성능평가 연구, 새천년 서울 상수도기술세미나, 대한환경공학회 · 서울특별시 상수도연구소, 2000. 9. 1.
 안재찬, 박태준, 김석정, 이규성 (2002) 수도계량기 미감지율 조사연구, 한국상하수도협회 · 상수도연구검사기관협의회, 2002. 11. 13.
 환경부 (1999) '98 상수도통계.
 현인환 (2003) 서울시 관망관리의 현황과 과제, 서울특별시 수질평가위원회 2003 심포지움, 서울특별시 수도물수질평가위원회, 2003. 11. 25.
 현인환 등 (2003) 2003년 누수보고서, 환경부.
 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.
 AWWA LDWA committee (1996) Committee report: Water Accountability, *J. AWWA*, 88(7), pp. 108-111.
 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.
 Miguel, C. D., Nontesinos, M. P., Ayuso, J. L., Galisteo, M. (1999) A comprehensive study of water consumption in the

city of Cordoba Spain, *Aqua*, **48**(2) pp. 64-72.
Tao, P. (1982) Statistical sampling techniques for controlling the

accuracy of small meters, *J. AWWA*, **74**(6), pp. 296-304.