

야간 최소유량 측정법을 이용한 도시 상수도 유수율 향상 방안에 대한 연구

○ 안종열*, 문영일**, 조성진***, 김종석****

1. 서론

취수부터 정수과정까지의 비용을 수반하여 생산된 수돗물이 수요자에게 공급되는 과정에서 누수 되어 공급 비용을 회수 할 수 없는 것은 경제적으로 큰 손실이라 할 수 있을 것이다. 또한, 도시화에 따라 증가하게 될 수돗물 수요를 고려할 때, 부족한 수자원이 누수 됨으로써 수용가에 충분한 양을 공급하기 어려워질 수 있다는 것이 더욱 큰 문제라고 할 수 있겠다.

중간에 사라지는 수돗물의 가장 큰 원인은 공급과정에서 상수도관을 통한 누수이다. 도시 지역의 누수여부와 누수량을 측정하기 위한 방법은 여러 가지가 있으나, 주간에 이루어지는 단수조치 등은 시민의 불편을 야기하여 작업을 힘들게 하며, 소음 등에 의해 누수 탐지작업 과정중의 장애가 따른다.

야간최소유량 측정법은 이러한 장애를 최소화 할 수 있고, 단수 처리 없이 수도관의 누수여부 및 누수량을 측정할 수 있는 방법으로 수돗물 사용량이 최소가 되는 심야시간의 사용량을 누수량으로 가정하는 방법이다(손창섭, 2001).

본 연구에서는 두 가지 상이한 지역특성을 나타내는 상업지구 및 주택지구를 대상으로 야간최소유량 측정법을 적용하여 누수량을 측정하고, 지역특성에 따른 결과를 비교, 고찰함으로써 도시 상수도 유수율 향상방안에 대해 논의하고자 하였다.

2. 도시 상수도의 유수율

유수율이란 정수장에서 생산된 수돗물 중 요금 수입으로 받아들인 수량의 비

- * 서울특별시 상수도사업본부 강남수도사업소
- ** 서울시립대학교 토목공학과 부교수
- *** 서울시립대학교 토목공학과 박사과정
- **** 서울시립대학교 토목공학과 석사과정

율이다. 따라서 유수율이 높다는 것은 수돗물의 손실이 적어 누수가 없다는 것이다. 그러므로 누수되는 수량이 감소되면 유수율이 향상되며, 이는 생산비용 절감 효과도 가져온다(환경부, 2000). 상수도 배분을 나타내면 다음 표 1.과 같다.

표 1. 상수도 배분(서울특별시 수도기술연구소, 1999)

| | | |
|--|----------------|--|
| 정수장의 송수관 시점에서 유량(통과량)의 합계 | | |
| 요금화 수량 및 수도사업용 등으로 유효하게 사용된 수량 | | |
| 수입이 있는 수량으로서 요금 또는 타회계 등 사용상 유효하다고 보는 수량 | | |
| 유수수량 | 요금수량 | (1) 요금징수의 기초로 된 수량 (2) 정액 수전 및 그 인정 수량 |
| | 분수량 | 다른 수도사업소에 분수(分水)한 수량 |
| | 기타 | 요금을 징수하지 않지만, 타 회계의 유지관리비로서 수입이 있는 공원용수, 공중화장실용수, 소방용수 |
| 유효수량 | 사용상 무효로 보이는 수량 | |
| | 계량기불감수량 | 유효하게 사용되었지만 계량기의 불감으로 요금 징수가 되지 않는 수량 |
| | 수도사업용수량 | 공사에 따른 배수관 및 급수관의 관세척용수, 누수방지 작업에서의 배수(排水) 및 배수시설에 따라 수도사업용으로 사용된 수량 |
| | 기타 | 공원용수, 소방용수 등으로 사용된 수량 |
| 생산수량 | 사용상 무효로 보이는 수량 | |
| | 누수량 | 배수관 및 급수관(계량기까지)의 누수 수량 |
| | 조정감액수량 | 적수, 수리 등으로 배출하고 요금 징수 시에 확인하여 감액 대상으로 된 수량 |
| | 기타 | 타 기업공사 등에서 수도시설의 손상에 의해 무효로 된 수량 및 불명수량 |

유수율 분석시 가장 큰 문제점은 무수 수량에 대한 과학적인 분석이 어렵다는 점이다. 생산된 수돗물 중에서 요금을 부과할 수 있는 수량을 제외하고 손실되는 무수 수량 중 계량기기의 오차, 부정급수 등의 무수 수량은 계측하기가 매우 어려울뿐더러 상당한 비용을 수반한다.

누수가 얼마만큼 되고있다는 것을 알 수만 있다면 우선순위를 선정하여 누수 원인을 제거함으로써 최소의 비용으로 최대의 누수방지 효과를 거둘 수 있으며 이를 통해 유수율 향상을 도모 할 수 있다. 또한, 누수량을 파악함으로써, 해당 지역에 있는 수도 시설의 상태 추정, 누수 방지 작업이 필요한 구획 추출, 작업 방법의 선택, 작업 효과의 판정, 교체 관로의 추출 등이 가능하게 되므로 관로를 효과적으로 유지 관리할 수 있다.

3. 야간 최소유량 측정법

누수량을 측정하는 방법은 크게 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 나뉜다. 직접적인 방법은 급수 구역을 적당한 크기의 구획(배수관 연장 2~3km)으로 세분하고, 구획을 제수밸브로 완전히 고립하여 자루 모양의 형태로 만든 뒤 구획내에 있는 모든 급수관의 지수밸브를 완전히 닫고, 수돗물 사용량과 전혀 혼재되지 않는 상태에서 누수 존재량을 파악하는 것이다. 직접적인 방법의 특징은 구획내의 모든 지수밸브를 닫기 때문에 측정의 정밀도와 신뢰성이 높은 반면, 단수로 인해 민원이 발생하고 밸브를 개폐하는데 많은 인원과 시간이 필요하다.

간접적인 누수량 측정방법중 사용수량에 의한 추정법은 일정 구역에서 일정 기간의 배수량과 유효수량의 차이로부터 누수 존재량을 파악하는 방법이다. 이 방법은 측정 구역을 주변의 구획으로부터 일정 기간 분리하기 때문에 출수 불량이 생기지 않도록 여유 있는 수압을 확보할 필요가 있다. 또한 수돗물 사용 수량에 대한 검침기간과 배수량의 측정기간이 같아야 한다. 그러나, 추정된 누수량에는 계량기의 불감수량이 포함되어 있기 때문에 오차가 커지는 단점이 있다.

야간최소유량 측정법은 임의 구역에 있어서의 배수량을 일정 기간 측정하고, 그 기간내의 최소치를 누수 존재량으로 추정하는 방법이다(손창섭, 2001).

야간 최소 유량법에 의해 구해진 최소 유량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{최소 유량} = \text{누수량} + \text{사용량}$$

여기에서, 수돗물의 사용량을 없다고 가정할 만큼 사용량이 줄어드는 시간에 유량을 측정한다면 측정된 최소유량을 누수량으로 가정할 수 있다(서울특별시 상수도사업본부, 2000; 일본수도협회, 1999).

즉, 수돗물 사용이 급격히 떨어지는 시간(야간 새벽 1시에서 4시)에 임의의 구역의 수돗물의 흐름을 강제로 통제하여(블록고립) 측정구역의 수돗물 공급을 임의의 관로를 택해서 선택된 관로로만 측정구역의 수돗물을 공급받게 하여, 그 관로

의 시작지점에 순간 유량지시계를 설치, 순간 유량을 측정하고 측정관로 연장당 순간유량을 계산하여 허용오차(서울시의 경우 $1.0 \text{ m}^3/\text{km}\cdot\text{h}$: 서울특별시 상수도사업본부, 2000)와 비교함으로써 수돗물의 누수정수를 판단하는 방법이다.

4. 적용 및 결과

야간최소유량 측정 방법을 실시함에 있어서 측정 블록의 필요 조건은 배수관 연장은 2 ~ 3 km, 수전수는 500 ~ 800전, 급수 인구는 2,000 ~ 4,000명 정도 크기로 블록을 결정하는 것이 일반적이다. 서울시의 경우 23개소의 대 배수지 수계로 구분하여 이를 다시 소 블록(2037개)으로 분리하고 있으며, 본 논문에서는 서울특별시 서초구 관내 99개 블록 중 서로 상이한 특성을 나타내는 2개의 블록(반포 2블록, 개포 1-9블록)을 선정하여 조사, 연구하였다. 선정된 2개 블록은 다음 그림 1, 그림 2와 같다.



그림 1. 반포 2 블록



그림 2. 개포 1-9 블록

반포 2블록은 전형적인 도심지역을 나타내는 지역으로 야간에 사용하는 상수도의 양도 많은 지역이며, 개포 1-9블록은 전형적인 주택지역을 나타내는 지역으로 야간최소유량 측정법의 적용성을 판단하기 위해 두 지역을 선정하였다.

반포 2블록은 총 215수전으로 단독주택 122전(56.74%), 업무용 8전(3.72%), 영업용 83전(38.6%), 대중목욕탕 2전(0.92%)으로 분포되어 있으며, 경부고속도로와 강남대도가 접해 있어 블록 고립이 비교적 양호한 지역이다.

개포 1-9블록 단독주택이 주종을 이루는 자연부락 위치를 선정하였다. 이곳은

총 수전 153전이며 이중 단독주택 138전(90.2%), 업무용 10전(6.54%), 영업용 4전(2.61%), 대중목욕탕 1전(0.65%)으로 사방이 산으로 막혀 있는 자연부락형이다.

두 블록을 대상으로 각각 야간최소유량 측정법으로 최초 누수량과 야간 최소유량법에 의해 누수정후를 나타내는 블록의 누수를 복구한 뒤 동일한 방법으로 측정하였으며, 결과는 다음 표 2.와 같다.

표 2. 누수 측정결과

| 측정 블록 | 측정일시 | 블록내 관로연장 | 시간당 최소유량 (m ³ /hr) | 환산유량 (m ³ /hr · km) | 비고 |
|----------|--------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------|
| 반포 2블록 | 2001년 3월 14일 | 배수관 2,226m | 15.20 | 4.2 | 누수량 탐지 |
| | 2001년 7월 13일 | 급수관 1,432m 계 3,698m | 1.77 | 0.48 | 누수복구작업후 |
| 개포 1-9블록 | 2001년 8월 6일 | 배수관 2705m | 9.36 | 2.53 | 누수량 탐지 |
| | 2001년 8월 14일 | 급수관 985m 계 3,690m | 0.143 | 0.038 | 누수복구작업후 |

※ 서울시 누수 허용오차 1.0 m³/hr · km(서울특별시 상수도사업본부, 2000)

반포 2블록의 경우 야간최소유량 측정법에 의해 1차 측정한 결과는 허용범위를 넘어 누수정후가 있는 것으로 나타났으나, 누수지점을 발견하지 못하였고 누수보수작업 없이 측정한 2차 측정의 경우 최소 유량값이 허용범위에 속하게 되어 누수가 없는 것으로 판단되었다. 이는 1차 측정시 최소 유량값이 누수정후를 나타내기는 하였으나, 반포 2블록의 24시간 영업소와 다량으로 수돗물을 사용하는 업소 등이 있어 야간에 물 수요가 끊이지 않는 지역특성에 비추어 볼 때 야간에 사용하는 수돗물량의 변동이 심하여 야간최소유량측정법의 가정이 적용되기가 어렵다는 것을 볼 수 있었다. 또한 2차 측정 시에 1차 측정에 비해 상대적으로 블록고립에 주의를 기함으로써 측정의 정확도를 높였기 때문에 1차 측정값이 일정부분 포함하는 오차를 줄였다고 할 수 있을 것이다.

개포 1-9블록의 경우 야간최소유량 측정법에 의해 1차 측정한 결과, 누수정후를 나타냈고 누수탐지작업을 시행한 결과, 두 개의 누수지점을 발견하였다. 누수가 발생한 20mm관과 100mm관을 보수 후 2차 측정한 결과 0.0038 m³/hr · km의 허용범위내의 값을 나타내었다. 1차 측정값이 9.36 m³/hr 이고 누수방지 작업시에 측정되어 누수량으로 세어나간 유량이 8.58 m³/hr 임에 비추어 1차 측정에서 나타난 값은 거의 대부분 누수량을 나타낸다고 할 수 있으며, 야간 최소 유량 측정에 의해 추정 누수량과 실제 누수량의 비교 판단이 접합함을 보여주고 있다.

5. 결론

야간최소유량 측정법은 수돗물 사용량이 줄어드는 새벽시간에 블록을 완전 단수하지 않고 수돗물 사용량을 측정하여 그 값을 구간의 누수량으로 가정하는 방법으로써 주간에 실시하는 누수탐지 작업과 블록을 완전 단수하는 방법에 비하여 누수정후를 찾아내기가 용이하였으며, 민원의 소지가 줄어들었다.

반포 2블록과 같이 심야시간대에도 호텔, 목욕탕, 24시간 영업하는 상점이 많고 차량통행, 이동인구가 많은 전형적인 소비형 도심의 특징을 나타내는 지역은 야간에 유량변동이 심하여 야간최소유량 측정법에 의한 누수량 추정이 왜곡될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

이에 비해 비교적 야간의 수도사용이 적은 주택가의 경우, 누수정후를 손쉽게 찾아 낼 수 있었으며, 누수가 발생한 상수도관을 보수한 뒤에 실시한 2차 측정에서는 측정값이 현저히 감소하여 허용량 이내의 값을 나타내었다. 1차 측정된 야간 최소 유량값에서 누수지점에서 추정된 실 누수량을 제외한 값이 2차 측정된 야간 최소 유량값에 근접하였으며, 이는 야간최소유량 측정법이 야간에 수돗물 사용이 적은 지역에서 누수량을 추정하는데 효과적이라는 것을 보여 주는 것이라고 할 수 있다.

실측정한 결과에서 알 수 있듯이 야간 최소유량 측정법은 주간에 탐지하기 어려운 미세한 지하누수를 발견 할 수 있으며, 보행인이나 차량통행이 많아 주간 탐지작업이 곤란한 지역도 적용이 가능하다. 또한, 탐지장비가 저렴하며, 누수량 측정 이외에 블록의 고립여부를 판단 할 수 있으므로 블록의 배수 특성을 알 수 있다. 아울러 단수작업 없이 시행하므로 단수시의 민원 등의 발생을 줄일 수 있다.

그러나, 야간 수도사용이 많은 도심의 경우 측정된 최소값을 누수량으로 가정하는데 무리가 따른다고 판단된다. 향후 야간에 수돗물 사용이 많은 도심지역에서의 오차를 줄일 수 있는 연구가 계속되어야 하리라 사료된다.

6. 참고문헌

- 한국수도협회(1992), 상수도시설기준
- 서울특별시 수도기술연구소(1999), 누수방지에 관한 조사보고서
- 일본수도협회(1999), 누수방지대책지침
- 환경부(2000), 상수도통계연보
- 서울특별시 상수도사업본부(2000), 서울특별시 수도정비기본계획
- 서울특별시 상수도사업본부(2000), 서울시 우수율 대책 백서
- 손창섭(2001), “야간 최소 유량측정에 의한 누수탐사”, 관로연구회 연구발표 논문집, 관로연구회, pp. 103~110.