

## 효율적인 상수도 시스템의 구축과 운영: 유수율 제고(NRW<sup>1)</sup>저감) 사업

작성자: 최영준

### 1. 정책수행시기

유수율 제고(NRW 저감) 사업은, 수도사업의 효율성 제고라는 측면에서, 수도사업의 시작과 함께 시작된 것이라 할 수 있지만, 유수율 제고(NRW 저감)에 정책적 초점이 맞추어 지고, 본격적인 계획과 사업을 진행하기 시작한 것은, 1998년이라고 할 수 있다. 이 시기에는 서울시 상수도정책은 수질향상이 최우선이었지만, 이러한 수도정책의 방향이 가닥을 잡자, 서울시는 수도물의 양과 질에 뒤이를 정책적 방향성을, 수도시스템의 효율성 향상, 즉, 유수율 제고로 정하고, 새로운 계획을 수립, 사업을 추진하기 시작했다.

### 2. 정책 도입 이전 상황적 배경

한반도에서 수도 시스템이 사용된 것은 매우 오래 전<sup>2)</sup>으로 거슬러 올라갈 수 있다.<sup>111741492670502</sup> 이 시스템은, 지하수나 깨끗한 지표수를, 나무나 토기로 만들어진 관을 통해, 사람들에게 공급하는 형태의 기초적인 수도시설이었다.

1) NRW: Non-revenue Water. 생산되어 공급된 수도물 가운데 요금이 부과되지 않은 양의 비율. 흔히 상수도 시스템과 경영 관리의 효율성을 나타내는 지표로 사용된다.  
2) "1974년 경북 경주시 구황동의 안압지 발굴 과정에서 토기관과 배수로 및 배수 암거가 발굴된 사실을 통해 7~10세기경 통일신라시대에 토기를 이용하여 상수도관을 매설하여 물을 공급하였다는 것이 증명되었다" - 서울상수도 백년사, 2008

### 근대적 상수도시설

하지만, 본격적인 근대식 수도시설의 시작은, 1908년 완공된 뚝도 정수장의 건설과 수도공급을 그 기원으로 삼고 있다.<sup>3)</sup> 1910년부터 시작된 일제 강점기 동안, 수도는 일부 계층에게만 공급되었기 때문에, 인구 증가에도 불구하고 수도물의 생산과 공급량은 인구증가에 비례해서 늘어나지 않았다. 1945년 제2차 세계대전의 종료와 더불어, 조선은 독립 되었지만, 정치적, 경제적, 사회적 혼란은 지속되었다. 이러한 혼란으로 도시의 발전과, 사회기반시설의 건설과 유지, 관리에 대한 필요성을 주장하는 사람은 많지 않았다.

### 한국전쟁

정치적 혼란은 한국전쟁이라는 비극으로 성장해서, 결국 1950년 한국전쟁이 발발하게 되었다.

기관에 따라 다소 다른 통계수치를 보이기는 하지만, 한국전쟁으로 인해 실종, 부상, 사망한 군인은 총 973,000명, 민간인 피해는 약 210만명에 이른다. 이 숫자는 당시 인구로 볼 때, 5인 가족으로 구성된 1가구 당 1명이 부상, 사망, 혹은 실종되었다는 것을 의미한다. 이는 실로 엄청난 피해인 동시에, 개인적으로나 사회적으로, 그리고 국가 전체적으로 큰 비극이었다.

사회기반시설과 산업 시설의 피해 또한 막대했는데, 시설에 따라 35~90%에 이르는 피해를 입었다.<sup>4)</sup> 이러한 피해는 전쟁이 끝나고 수년이 지나야 복구될 수 있었다.

### 경제발전

1960년대 경제개발과 도시팽창과 더불어 인구의 폭발적 증가가 있었고, 이로 인한 물 수요도 역시 급증하게 되었다. 서울의 인구는 1960년 245만명에서, 1979년 811만명으로 약 3.3배 증가했다. 이는 매년 인구 30만명 정도의 도시가 새로 생겨난 것과 맞먹는 속도이다. 서울시는 증가하는 인구를 수용하기 위한 도시개발에 박차를 가하게 되는데, 현재 서울시 주거가능면적의 25%는 1960년대와 1970년대에 개발된 것이다.

3) 서울의 현대식 상수도가 보급된 것은, 1908년 9월 1일, 뚝도 정수장이 완공되어 수도물을 공급하기 시작한 날을 그 기원으로 삼는다.  
4) "수도 기반시설의 경우, 정수장의 30~90%, 송배수관의 5~10%, 펌프장의 60~80%, 통신시설의 90%가 피해를 입었다."

### 수도생산과 공급의 양적 확대

이러한 변화에 대응하기 위해, 서울시는 수도생산시설 확충과 배수관망의 대폭적인 확대를 위해 노력하였으나, 인구증가에 따른 폭발적인 급수수요를 맞추기에는 역부족이었다.

또한 노후된 시설로 인해, 당시의 일일 생산량 31만 m3가운데 57%에 해당하는 수돗물이 누수로 손실되었다(유수율 43%).

어려운 조건 속에서도 서울시는 1965년부터 3개년에 걸친 연차 별 계획을 세워 수도시설을 확장해나갔다. 계획의 초점은, 노후관의 교체와 누수방지를 위한 과학적인 계량에 맞추어졌다. 재정적인 어려움이 있었지만, 이 문제는 외국의 원조와 기체<sup>5)</sup>를 통해 해결해 나갔다.

폭발적으로 늘어난 인구와 이로 인한 급수수요를 감당하지 못해 차질을 빚기도 했지만, 이러한 노력으로 서울의 급수사정은 점차 호전되어 갔다(그림 1).

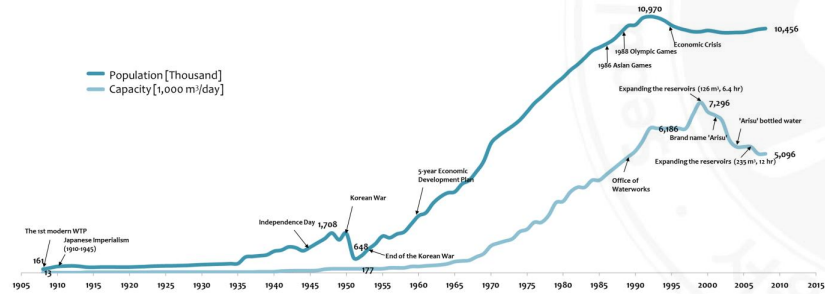


그림 1. 서울시 인구증가와 수도생산량 증가

이러한 노력의 결과로, 1960년대 60% 정도였던 상수도보급률이 1980년대에 이르러서는 90%를 넘어서게 되었다.<sup>6)</sup> 생산설비의 확장으로 어느 정도 급수수요를 맞출 수 있게 되었고, 1980년대에는 배수지를 확충하고, 가압장을 건설하는 한편, 노후관을 개량하여 누수율을 낮추어 나갔다.

1960년대에 시작된 국가발전 계획으로, 산업화와 도시화가 급속하게 진행되었고,

5) 국가나 공공 단체가 공채를 모집하는 것  
6) 1980~1992년 기간 중 활발한 시설 확장에 따라 시설 용량이 307만 m3/일에서 619만 m3/일로 늘어나 급수보급률은 92.7%에서 99.9%로 개선되었다.

인구 증가와 더불어 수돗물 수요 또한 급속히 증가했다. 1970년대와 1980년대를 거치면서, 수도생산시설의 확충과 배급수 관망의 정비에 집중했고, 그 결과, 상수도 시설은 양적인 측면에서의 수도서비스를 제공하기에 충분한 수준에 도달하게 되었다.

### 수돗물의 질적 개선

하지만, 1980년대 초까지만 해도, 한강 수계 유역의 생활하수 및 오폐수의 불완전한 처리로 인해, 원수의 오염도가 높았고, 이를 처리하기 위해 약품을 과다하게 사용해야 하는 등, 서울시는 생산되는 수돗물의 품질관리에 어려움을 겪었다.

1986년 아시안게임과 1988년 올림픽게임의 개최를 계기로 한강을 정비하고, 하수처리장을 확충, 신설하여 한강 수질을 개선해 나갔다.

지방 상수도의 원수에서 암모니아성 질소가 증가하고, 낙동강 계통에서는 폐놀이 유입되는 등 지방 상수도에서 수질 오염 사고가 빈번히 발생하면서, 상수도에 대한 불신이 높아졌고, 상수도의 수질 문제는 범국가적 사회 문제로 대두되었다. 이에 중앙정부에서는 국가적 차원에서 '맑은 물 공급 종합 대책'을 수립하여, 적극적으로 상수원을 보호하고, 수질 오염 방지 및 정수 관리 체계의 정비를 강화하는 등, 맑은 물 생산 공급을 위한 혁신작업에 착수하였다.

서울시도 상수도 업무의 전문화를 추진<sup>7)</sup>하면서 정수 처리 방법의 개선 및 연구 발전, 수질 관리의 과학화와 효율 향상 등을 기하기 위한 수도기술연구소 설립, 상수도보호구역에 대한 감시관리와 적극적인 대응, 각 정수장 노후 시설의 개량 보수 및 송배수 계통의 노후 배수관의 대대적인 교체와 세척 갱생 사업을 시행하였다.

상수도사업본부의 출범과 함께 수돗물의 질적 도약을 위해 노력한 결과, 원수 수질은 물론 정수된 수돗물의 수질도 세계적인 수준으로 유지될 수 있게 되었다(그림 2).

7) 1989년 11월 서울시 수돗물 전담 기구인 상수도사업본부 발족

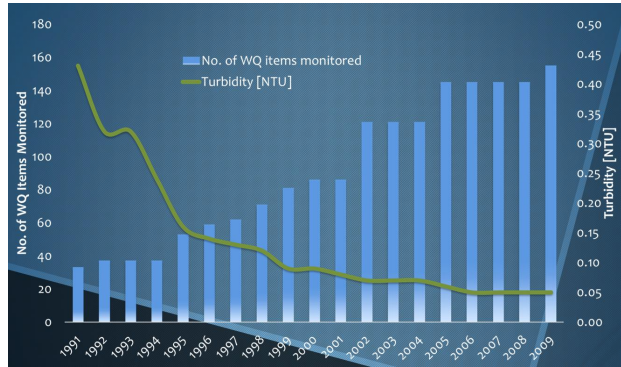


그림 2. 수질검사 항목과 정수 탁도 변화

수도 시스템과 사업 효율성 제고

수도 시스템의 양적, 질적 수준이 확보됨에 따라, 수도시정의 목표는 자연스럽게 효율성 제고에 맞춰졌다. 정수장 시설용량 확대로 여유시설을 확보할 수 있게 되었고, 수도물을 양적, 질적으로 안정적으로 급수할 수 있게 되었다.

배수지는 정수장에서 공급되는 수도물의 중간 저수 시설로 급수량을 조정, 안정적으로 물을 공급하는 기능을 한다. 따라서 생산시설의 용량이 넉넉해도 배수지 저수용량이 부족할 경우 안정적인 급수가 어려워질 수 있다. 그러나 1970년대와 1980년대에, 수도물 생산시설 확충이 우선적 정책으로 시행됨에 따라, 배수지 시설 개선 및 용량 확충 사업은 우선 순위가 밀릴 수 밖에 없었다.

1990년대 초 생산시설에 여유가 생김에 따라, 배수지 건설을 통한 중간 저수시설 용량 확충에 더 많은 노력과 자원이 투입되었다. 이러한 노력의 결과로, 1999년 총 배수지 저수용량이 126만 m3으로 약 6.4시간 여유분을 확보할 수 있게 되었다.

이와 같이, 서울시는, 배수지 건설을 통한 간접급수체계의 확립과 수압조절 개선, 블록화<sup>8)</sup>를 통한 세밀한 누수관리를 통해, 상수도 '유수율'을 획기적으로 높일 수 있게 되었다.

'유수율'이란 생산되어 공급된 수도물 가운데 요금 수입이 발생한 수도물의 양적

8) 블록 시스템이란, 효율적인 배관망 관리와 급수 수요량의 조정이 용이하도록 급수구역의 특성(지반고, 도로, 하천, 철도)에 따라 분할(블록화)하여 관망을 구성하는 방법이다[6]. 국제적, 학술적으로 이는 District Metered Area (DMA)라는 개념과 동일한 개념이라고 볼 수 있다.

비율이다(그림 3). 유수율이 높다는 것은 누수를 포함한 수도물 손실이 최소화되었다는 것을 의미하므로, 이러한 수도시스템은, 수도물 수요와 공급을 정확하게 맞춰 생산, 공급할 수 있어, 경영효율성이 높아지게 된다.

System Input Volume (corrected for known errors)	Authorized consumption	Billed authorized consumption	Billed metered consumption (including water exported)	Revenue water	
		Unbilled authorized consumption	Billed unmetered consumption		
	Water Losses	Commercial (apparent) Losses	Commercial (apparent) Losses	Unauthorized consumption	Non-Revenue Water (NRW)
			Physical (real) Losses	Customer Metering Inaccuracies and Data Handling Errors	
		Physical (real) Losses	Leakage on transmission and/or distribution Mains	Leakage and overflows at utility's storage tanks	
			Leakage on service connections up to point of customer metering	Leakage on service connections up to point of customer metering	

그림 3. 물 수지(water balance)에 대한 IWA 국제 표준 용어

3. 정책의 중요성

서울시의 상수도사업은 일반적인 공공 서비스와 다른 조직적, 경영적, 재정적 체계를 가지고 있다. 서울시 상수도사업은, 공공부문이면서 동시에 지방공기업으로 운영되고 있으며, 예산 체계도 특별회계 시스템으로 수도요금을 기반으로 한 독립채산적인 구조로 운영되고 있다.

따라서, 서울시 상수도 사업은, 시민들에게 깨끗하고 안전한 수도물을 안정적으로 공급한다는 공공 서비스의 기본적인 미션과 함께, 경영 합리화라는 기업적 목표를 동시에 추진해야 한다.

수도사업의 경영 합리화를 위해서는 유수율 향상을 통한 원가 및 비용 절감과 수도요금의 정확한 정수가 중요하다. 총 생산/공급량 가운데 요금수입으로 확보되는 수량(조정량)의 비율, 즉 유수율을 높여야 재정을 건전하게 유지할 수 있기 때문이다.

유수율 제고 사업은 단기간에 이루어지기 어렵지만, 장기적인 계획으로 무수 원인 별로 무수량 저감 대책을 수립하고 지속적으로 추진해 나간다면, 효과적으로 목표를 달성할 수 있을 것이다.

수도 시스템 혹은 상수도사업의 목표는, 일반적으로, 양적, 질적 차원의 개선과 향상에 방점이 놓이게 되고, 그 다음 단계로, 시스템의 효율성 개선을 통한 비용절감 및 시민생활 개선이 뒤따르게 된다. 서울시 상수도사업은, 유수율 제고 사업을 통해 효율적인 수도 시스템을 구축 운영할 수 있게 되었다.

이러한 노력의 결과로, 서울시 상수도사업본부의 재정자립도는 높아졌고, 노후관 개량, 정수장 정비, 민간 업무 위탁, 고이율 부채 조기 상환 등, 경영 합리화를 이룰 수 있었다.

상수도사업본부의 재정자립도는 2002년 95.4%, 2003년 95.1%에서 2004년 100%로 높아졌고, 부채는 2002년 5,999억원, 2003년 5,400억원에서 2004년 3,962억원, 2005년 3,248억원, 2006년 2,031억원, 2007년 1,496억원으로 줄어들었다. 이에 따라 타 지방자치단체에서 수도요금 인상을 추진하는 것과는 달리 서울시는 2001년 1월 이후 수도요금을 동결해왔고,<sup>9)</sup> 누수가 줄어든 만큼 그 혜택을 수용가에게 환원하고 있다.

유수율 제고는 상수도 사업의 경영합리화로 이어지고 재정적 건전성은, 안전하고 지속적인 시스템의 기술적 토대가 된다. 즉, 유수율 제고는 수도사업의 선순환(Virtuous cycle)을 지속하는데 매우 중요한 요소이다.

이렇게 재정적, 기술적으로 안정된 시스템은, 요금이라는 1차적인 이득 이외에도, 안전한 수질의 확보와 안정적 수도의 공급이라는, 수도사업의 본질적인 목적을 달성하고, 이를 통해 시민들이 안심하고 행복한 생활을 영위할 수 있도록 한다는데 그 정책적 함의가 있다고 할 수 있다.

서울시 상수도사업본부가 사업을 시작하던 1989년 유수율은 55.2%였으나, 향후<sup>11741492670502</sup> 지속적인 유수율 제고 사업을 추진해 온 결과, 2015년에는 유수율 95.2%를 달성할 수 있었다.

1990년부터 2013년까지 유수율 제고를 통해 거둘 수 있었던 경영합리화 효과를 계량화하면, 약 75억 m3의 생산량이 절감(전체 서울시민이 6~7년간 사용할 수 있

9) 서울시 수도요금은, 2012년 9.6%의 요금 인상이 있었지만, 그를 제외하고는, 2001년 이후 현재 까지 요금인상 없이 자체 경영합리화를 통해 생산비용 증가를 흡수, 해결하고 있다.

는 수돗물)되어, 약 4조 2천억원에 이르는 경제적 효과를 거두었다고 할 수 있다. 이 기간 누수건수는 82.5%가 줄어, 이와 관련된 예산 절감액 만도 1조8천억원으로 추정된다. 또한, 유수율 제고로 인해 수돗물 생산량이 줄어들어 당시 10개의 정수장(시설용량 730만 m3/일) 가운데 4개를 폐쇄하고 현재는 6개 정수장(시설용량 435만 m3/일)만으로도 급수수요를 충족할 수 있게 되었다.

폐쇄된 정수장은, 시민을 위한 공원과 시설로 개조하여, 시민들의 삶의 질 향상과 지역발전에 큰 기여를 하게 되었다.

#### 4. 다른 정책과의 관련

물 수요와 공급은, 다른 정책 혹은 사업과 매우 밀접하게 연관되어 있지만, 그 다른 정책이나 사업의 변화에 따른 수도사업 자체의 변화폭은 크지 않기 때문에, 다른 정책과 밀접하게 연관되어 있지만, 동시에 그리 크게 영향을 받지 않는다고 할 수 있다. 따라서, 유수율 제고 사업 자체는 상수도외부의 정책과 직접적인 관련성은 적다고 볼 수 있다.

##### 재개발 재건축 지역 관리

재개발, 재건축 지역의 경우, 유수율 제고 사업과 가장 관련성이 높은 외부 정책이라고 볼 수 있다. 재개발이나 재건축 같은 도시재생사업은 사업은 사업계획 수립 이후 사업시행까지 소요시간이 10년 내외가 걸리는 장기간 사업이다. 유수율 제고 사업을 위한 관망 관리나 노후시설에 대한 개선사업이 어려운 경우가 대부분이다. 따라서, 체계적 정비가 미흡하고, 노후관이나 불용관이 상존하여 유수율 제고 사업에 지장을 초래하게 된다.

특히, 폐관처리나 건물 철거 시 사후조치가 미흡하여 누수발생 가능성이 높고, 사고 발생시 보수기간이 장기화 되어 누수량이 증가하거나 민원이 다수 발생할 수 있다. 도시재생사업의 초기, 폐전이나 분기점 폐쇄, 누수 예방 등 시설관리를 위한 조치가 필요하다. 이를 위한 조치로는 관리카드 등을 작성해서 체계적으로 시설을 관리하는 방안이 있을 수 있다. 시행중인 재개발 사업지역에는 주관로에 유량계를 설치해서 물 수요관리를 세밀하게 할 필요가 있으며, 폐전이나 세대 이주 등으로 발생하는 수요량 저감에 대응할 수 있도록, 공급량과 수압 관리가 필요할 것이다.

##### GIS 고도화

도시재생 사업에 대한 대처뿐만 아니라, 그 외의 시설에 대한 체계적 관리를 위해서 GIS의 고도화가 필요하다. GIS 고도화 정책은 우수율 제고 사업과 별개로 수행될 수 있는 것이지만, 우수율 제고 사업을 효율적으로 수행하기 위해서 매우 효과적인 도구이므로 이에 대한 적극적인 고려도 필요하다. 우수율 제고 사업과 관련된 관망 자료나, 도시재생사업과 관련된 정보를 GIS 시스템에 등록, 관리함으로써, 관련 사업을 체계적으로 관리할 수 있고, 궁극적으로는 우수율 제고사업을 긍정적인 방향으로 유도할 수 있을 것이다.

전식방식 시설

우수율 제고 사업에서 가장 중요한 기술적 대상은 관망이며, 누수에 직접적인 영향을 주는 것은 부식이다. 특히, 지하에 많은 지장물 등이 매설되어 있는 도시환경에서, 전식방식 시설의 설치 우수율 제고 사업에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 하지만, 수도관의 방식은, 다른 지하매설물의 부식축진과 상보적인 관계가 있기 때문에, 전식방식 시설을 설치 운영할 때는 다른 지하 매설물에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 해야 한다.

도시안전 문제

수도관의 누수는 직간접적으로 도로 함몰과 같은 도시안전문제와 관련될 수 있다. 따라서, 우수율 제고 사업이 다른 도시안전 부문의 주요 정책적 우선사업과 연관되어 진행된다면, 도시안전 정책을 효과적으로 수행하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

다른 수도정책

우수율 제고 사업은, 수도사업의 내부적으로, 물 수요<sup>10)</sup> 및 공급 관리, 관망개선 사업(노후관 교체, 갱생, 관리), 투자 및 자금 운영 전략과 밀접하게 연관될 수 있다.

**5. 정책 목표**

2016년 8월 현재, 서울시 상수도우수율은 95.7%로 세계적인 수준이다. 서울시는

10) 물 수요관리: Water Demand Management (WDM). 한정된 수자원을 공정하고, 효율적이며, 지속가능한 수준으로 소비하기 위해 물 수요에 영향을 주기 위한 전략을 개발, 적용하는 것

세계 최고의우수율을 달성하기 위해, 각 사업소의 중블럭 유지관리 상황, 재개발이나 재건축 등과 관련된 현장 조건 변화, 그리고 유량감시 시스템을 통한 공급량 관리 등을 고려하여, 연 0.2~0.3% 우수율 향상이 가능한 것으로 판단하였고, 최종적으로 2022년 97% 우수율 달성을 목표로 설정하였다. 이 정도의 우수율은, 수도시스템이 가질 수 있는 최고 수준의 효율성이라고 할 수 있다. 지역적, 기술적, 재정적 상황에 따라 상이하겠지만, 대략 이 수준 이상이 되면, 투자비용이 우수율 제고를 통해 실현될 수익보다 많아질 수 있기 때문에, 우수율 제고 사업의 전략적 목표를 체계적이고 과학적으로 선정할 필요가 있다.

우수율 제고 사업의 궁극적 목표는,

- 1) 높은, 하지만 적정한 수준의 우수율 관리를 통한 수도시스템의 효율성 제고와,
- 2) 양적, 질적으로 수준 높은 수도물의 안정적인 공급, 그리고
- 3) 균형 있는 수요/공급 관리를 통한 수도 시스템의 생산성 향상이라고 할 수 있을 것이다.

**6. 주요 정책 내용**

주요 정책적 내용을 개괄적으로 정리하면 아래와 같다.

- 상수도 전담 조직의 발족과 운영
- 과학적, 체계적 누수탐지 특히 ICT를 활용한 누수탐지 사업
- 야간 최소유량 측정 사업
- 노후 상수도관의 정비(교체, 갱생) 사업
- 중력을 이용한 자연유하식 급수체계인 배수지 시스템 구축 사업
- 유량감시 시스템에 기반한 과학적인 물 관리
- 우수율 제고 사업의 경험과 지식의 공유 사업

주요 정책의 단계별 추진 연혁은 아래와 같다.

제1단계

우수율 향상 초기 단계로, 시기적으로는 상수도사업본부가 발족하여 사업을 시작한 1989년부터 1995년까지의 시기이다. 이 시기의 수도정책 가운데, 상수도사업을 위한 전담조직인 상수도사업본부가 발족하게 된 것은 가장 큰 정책적 발전이었다. '선택과 집중'을 통해 상수도 서비스를 한 단계 높이기 위한 노력의 시작은, 그

러한 ‘선택과 집중’ 을 수행해 나갈 조직적 기반의 구축이라고 할 수 있기 때문이다.

이 시기의 또 다른 정책적 목표는, 우수율 제고를 위한 기반, 즉, 계측 시스템 기반 구축이라고 할 수 있을 것이다. 이를 통해, 구역별로 유량을 모니터링 할 수 있는 구역유량계가 설치되었고, 이를 기반으로 사업소 별로 유량산정이 가능한 계측 시스템이 구축완료 되었다. 또한 노후화 된 배급수관을 집중적으로 정비(1991 - 1993)함으로써 본격적인 우수율 제고 사업을 추진하기 위한 기반을 마련하였다.

2단계

우수율 제고 사업을 본격적으로 추진하는 단계이며, 이 기간은 1996년부터 1999년까지의 기간을 포함한다.

이 기간 동안에는 상수도사업 가운데 우수율 제고 사업을 전담할 조직- 우수율 제고 추진대책반 -을 만들어 운영하기 시작(1998년 10월 12일)했다. 이는 앞서 말한 ‘선택과 집중’ 의 폭과 깊이를 더한 전략적 조치로서, 우수율 제고 사업을 본격적으로 추진할 수 있는 인적, 조직적 구조를 마련한 것이었다.

1단계에서 구축된 시스템을 기반으로 구체적인 우수율 관련 데이터와 정보가 산출, 축적되었고, 이들 데이터와 정보를 분석하여 본격적인 우수율 관리 사업이 시작되었다.

구체적으로는 사업소 별로 공급량과 우수율이 산정, 관리되었고, 보다 체계적이고 과학적인 계량을 위해, 수리학적 조건에 맞지 않는 부적정 계량기를 교체하였고, 서울시 전체 급수지역을 2,037개의 소블록으로 구분하고 야간최소유량을 측정함으로써, ‘분리와 해결(divide and conquer)’ 이라는 전략을 통해 우수율을 높여나갔다.

이 시기의 또 다른 주요한 정책은, 우수율 제고 사업에 영향을 끼치는 재개발 및 재건축 사업에 대한 정책이었다. 앞서 언급한 바와 같이 재개발 및 재건축 사업은 사업계획에서부터 인가와 사업추진까지 오랜 시간이 걸리는 사업이며, 재개발 및 재건축이 계획된 순간부터 이 지역 내 상수도시설을 포함한 사회기반시설에 대한 관리가 소홀해지는 경향이 있다. 따라서, 이러한 사업 지역 내 상수도시설에 대한 증점적이고 세밀한 관리가 필요하다. 재개발/재건축 사업이 증가함에 따라, 서울시는 1999년부터 재개발/재건축 현장의 상수도 시설관리를 체계적으로 시행해나갔다.

3단계

앞서 추진한 사업들을 지속가능 하도록 하는 단계이다. 다시 말하면, 우수율 제고사업의 정착단계인데, 이 시기는 2000년부터 시작되어 현재까지를 포함하는 기간이다.

이 시기에는 우수율 제고를 위한 생산과 공급 시스템을 구축하여 향후 지속적으로 높은 우수율이 유지되도록 하는 것이 주요한 정책적 목표라고 할 수 있을 것이다. 이를 위해, 특수조직형태였던 우수율 제고 전담조직을, 상시적인 조직인 ‘우수율과’ 로 개편해서 보다 체계적이고 지속적으로 우수율 제고 사업을 전담할 수 있는 조직적 기반을 마련했다.

또한, 서울시는 배수지를 집중적으로 확충하여 전체 수돗물 공급 시스템을, 간접수계 형태로 전환했으며(2000 - 2003년), 배수지 시스템과 가압펌프의 적절한 운영으로 관내의 적정수압을 관리해나가기 시작했다. 펌수업무이나, 수돗물 생산과 공급, 특히 우수율 제고와 직접적 연관성이 적은 업무인 수도계량기 검침업무를 민간 위탁으로 전환함으로써, 인적자원을 효율적으로 이용할 수 있도록 하였다(2001년). 이 시기의 주요한 관망관리는 크게 두 가지로, 하나는 불용관을 체계적으로 관리하는 것이었고, 다른 하나는 중블록 시스템을 구축해서 우수율을 중블록 별로 관리하기 시작했다는 것이었다. 공급관리 부문에서는 유량모니터링 시스템을 기반으로, 공급량 분석 및 유량제어를 시작한 것이 주요한 정책적 발전이었다.

기술적으로는, 과학적인 누수탐사를 위해 다점형상관식 누수탐지기가 도입되어 보다 체계적이고 효과적으로 누수를 탐지해나갈 수 있게 되었다.이러한 우수율 제고 사업을 위한 정책의 성공적 수행으로, 2015년 현재 서울시의 우수율 수준은 세계적인 수준으로 95.2%에 이르고 있다(그림 4).

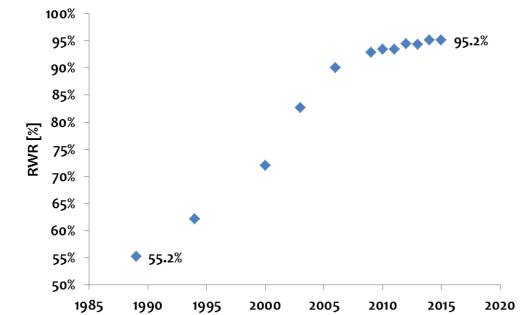


그림 4. 서울시 연도별 우수율 현황

유수율 제고사업에 있어서 적절한 수준의 경제성을 고려한 목표를 설정하는 것은 매우 중요한 일이다. 이를 위해서는 수돗물의 손실로 인한 경제적인 손실과 유수율을 높이기 위해 투자되어야 하는 비용을 비교해야 한다(그림 5). 수돗물의 손실로 인한 비용은 물리적인 손실과 상업적인 손실을 통해 발생한다. 물리적인 손실량은, 인건비, 약품비, 에너지 비용과 같은 운영비용과 함께 산정되는 반면, 상업적 손실량은, 수도요금과 함께 산정되어야 한다. 또한, 유수율 관리를 위한 비용은, 인건비, 장비, 운송을 포함한 다른 요인들을 포함한 유수율 향상에 사용된 비용을 말한다. 따라서, 유수율이 증가함에 따라, 유수율 관리를 위한 비용도 증가하게 된다.

이 정도 수준의 유수율은, 투자와 수익의 분기점에 근접한 것이다. 따라서, 향후 유수율 제고 사업의 중점적인 정책 목표는 유수율을 향상시키는 것 보다 효율적으로 유지하고 관리하는 것이 되어야 할 것이다.

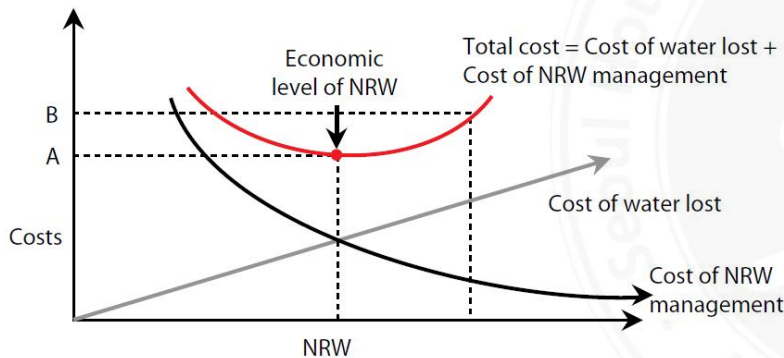


그림 5. 경제성을 고려한 NRW의 설정

(NRW와 유수율은 반대의 개념이므로 위 그래프를 상하로 뒤집으면 유수율의 경제성에 대한 그래프라고 할 수 있다)

111741492670502

### 7. 기술적 내용

#### 노후관 교체

2015년 현재, 서울시 상수도관의 총 길이는 약 13,697 km로 이는 지구 지름 (12,756 km) 보다 약 1.1배 더 길다. 유수율 제고 사업을 위한 방법 가운데 가장

효과적인 것은, 노후관을 교체하는 것이다. 서울시 상수도사업본부는, 유수율을 향상시키기 위해 1984년부터 2003년까지, 1조 6,743억원을 투입해, 노후수도관의 86.9%에 해당하는 1만 1,221 km를 교체하는 등, 지속적인 노후관 교체사업을 벌여, 2016년 현재, 총 3조3백억원의 예산을 투입, 전체 상수도관 가운데 97%에 해당하는 13,292 km의 관을 정비하였다. 남은 정비대상 405 km에 대해서는 2018년까지 연차 별로 정비하여 노후관 교체를 완료할 예정이다.

상수도관은 관종과 관경에 따라 다소의 차이가 있지만, 일반적으로 30년의 내용연수<sup>11)</sup>를 가지고 있다. 따라서, 노후관 교체 사업은, 기술적 재정적 고려를 통해 지속적으로 시행되어야 할 사업이다. 효율적인 사업추진을 위해, 노후관에 대한 판단 기준을 정립하고, 재정적 투자의 효율성을 확보하기 위한 상수도자산관리 시스템에 대한 연구가 추진되고 있다.

#### 야간 최소유량 측정

야간 최소유량 측정이란 수돗물 소비가 하루 중 가장 적은 자정에서 오전4시 사이의 시간대에 블록 내 최소유량을 측정하는 것이다. 급수형태에 따라 다소의 차이가 있는데, 허용 누수량인 최소 0.5 m<sup>3</sup>/hr-km에서 최대 1.0 m<sup>3</sup>/hr-km범위를 초과하는 경우, 이 블록에 대해 누수탐지를 집중적으로 실시하여 누수를 조기에 발견하고 조치하여 유수율을 높이는 방법이다. 서울시에서는 2,037개의 소블록 전체에 대해 1998년부터 2005년까지 야간 최소유량 측정을 실시했고, 그 이후부터는 제한적으로 실시해 오고 있다.

야간 최소유량 측정을 위해서는, 4~5명으로 구성된 팀이 밤을 새워 작업을 진행해야 한다. 블록과 블록의 경계에 설치되어 있는 계수변으로 해당 블록을 고립시키고 유입량과 수압을 측정한다(그림 6). 나머지 인원은 청음봉으로 세대별 수도계량기를 확인하게 된다. 또한 블록 내 모든 하수도의 맨홀을 열고 하수 유량을 관찰하여야 하고, 의심스러운 곳은 직접 좁고 위험한 공간에 들어가 누수여부를 확인하게 된다.

11) 내용연수: 내구연한은 사전적으로는 어떠한 물건을 원래 상태로 사용할 수 있는 기간을 말한다. 누수나 오염 등 물리화학적 변형과 이로 인한 수돗물 공급의 질적, 양적 변화가 시 혹은 국가가 정한 기준에 적합한 상태로 유지되고 사용될 수 있는 기간을 말한다. 하지만, 내구연한 혹은 내구연수는 관종, 관령은 물론, 관이 매설된 지중환경, 해당 지역의 토양 부식성, 교통량, 급수인구 및 밀집도, 수압, 수량 등 다양한 요소에 의해 영향을 받기 때문에, 내구연수를 특정하기 어렵다. 따라서, 현재 상수도관에 대해서는 감가상각의 감소를 고려한 내용연수를 사용한다.

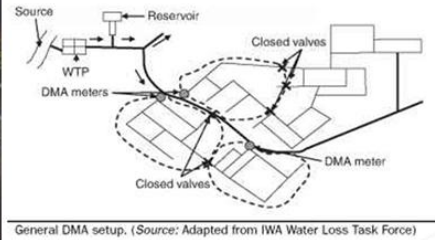


그림 6. 야간 최소유량 측정

출처: <http://goo.gl/gjnMl1>(좌), <http://goo.gl/Ju0azi>(우)

블록 시스템 기반 체계적 누수관리

‘블록 시스템’이란 효율적인 배관망 관리와 급수 수요량의 조정을 위해 급수지역의 특성(고도, 도로, 하천, 철도 등)을 고려하여 급수지역을 분할(블록화)하여 관망을 구성하는 방법이다. 국제적 혹은 학술적으로는 District Metered Area (DMA)라는 개념이 유사한 개념으로 사용되고 있다. 급수지역을 상수도 공급을 위한 수리학적 조건에 따라 소지역(중블럭, 소블럭) 단위로 구분하게 되면, 수운용 정보와 공급량, 누수량의 증감요인 분석 등이 용이하게 된다. 따라서, 이러한 정밀한 데이터와 정보의 분석결과를 바탕으로 유량, 수압, 수질 등의 관리가 효과적으로 이루어질 수 있게 되고 궁극적으로는 유수율 제고에 기여하게 된다.

2014년 말 현재 서울시 전체 급수지역은, 소블럭 2,037개, 중블럭 100개, 대블럭 29개로 구성되어 있다.

노후관 정비, 관로 누수 탐지 및 시설물 정비를 위해, 블록 가운데 최소 단위인, 소블럭을 중심으로 블록 관망이 형성된다. 소블럭에 대한 야간 최소유량 측정은 1998년부터 시범적으로 실시되었고, 1999년부터 2005년까지 서울시 2,037개 전체 소블럭에 대한 측정이 완료되었다. 소블럭 별 유수율 관리는 매우 효과적이거나, 시간, 비용 및 인력이 과다하게 소요되는 단점이 있다(표 1). 서울시에서는 현재 중블럭 단위로 유수율을 관리하고 있으며, 유수율이 낮은 중블럭의 경우에 한해 소블럭 단위의 관리를 실시하고 있다.

표 1. 소블럭 단위 유수율 관리 절차와 내용

단계	단계별 목표	사업내용
1 단계	소블럭 별 현황조사	블록의 고립가능여부, 지역특성, 급수설비현황 등 소블럭별 현황표 작성
2 단계	대상블럭 선정	고립가능지역 가운데 누수다발지역 등 취약지역 선정
3 단계	공급량 및 사용량 계측	소블럭 내 공급량 및 사용량을 계측(3회 실시)
4 단계	유수율 산정 및 전략 수립	공급량 및 사용량 증감에 따른 유수율 향상 전략 수립

2004년부터 유수율이 낮은 지역을 대상으로 시범적으로 30개 중블럭을 구성, 운영하였다. 2005년도에는 전체 지역으로 확대하여, 총 80개 중블럭을 구성하고 중블럭 별로 유수율 분석 및 문제점을 도출하여, 유수율이 낮은 블록에 대한 집중정비를 실시하였다. 2007년에는 91개, 2009년 96개, 2010년에는 100개 중블럭이 구성되어, 중블럭 별 공급량과 조정량 분석 및 유수율 분석이 가능토록 하였다. 일부 규모가 지나치게 커서 유수율 관리에 어려움이 있는 중블럭을 세분화하여 관리하기 위해, 2030년까지 총 142개의 중블럭을 구성하기 위한 계획을 수립 추진 중이다.

지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)

유수율 제고 사업의 핵심은, 수도물의 공급 과정에서 손실되는 수도물의 양을 줄이는 것이다. 이를 위해서는 ‘누수탐지’와 ‘노후관 교체’가 가장 기본적이고 효과적인 기술적 접근이라고 할 수 있다. 지하에 매설되어 있는 상수도관의 상태를 진단하여 사전에 누수와 노후로 인한 손실과 사고를 예방하는 것이 유수율 제고를 위해 효과적인 전략이라 할 수 있다.

이를 위해서는 정확한 상수도관의 위치와 속성(attribute) 정보가 필요하다. 상수도 배관 및 부속 시설물, 일반 시설물에 대한 도형 및 속성자료를 체계적으로 축적, 관리할 수 있는 데이터베이스 및 전산관리 시스템이 상수도 지리정보 시스템이다. 사용자는 상수도 지리정보시스템을 이용하여 상수도 공간정보를 검색할 수 있고, 이를 바탕으로 시설물 공사, 관리는 물론, 누수, 노후관 분석 및 예측을 할 수 있고, 이는 유수율 제고를 위한 시설의 과학적, 체계적, 선제적 관리 방법이라고 할 수 있다.

상수도관의 효율적 관리를 위해, 1998년부터 2001년까지, 서울시 상수도 지리정보 시스템이 구축되었다(표 2).



표 2. 서울시 상수도 지리정보시스템 구축 연혁

사업 목표	사업내용
상수도 GIS 구축	1998: 서울시 상수도 GIS 사업계획 수립 1999: 서울시 상수도 GIS 사업 착수 2001: 서울시 상수도 GIS 사업 준공
상수도 GIS 안정화	2002~2004: 서울시 상수도 GIS 유지관리
상수도 GIS 고도화	2005: 상수도 GIS 유지보수 사업 2007~현재: 상수도 GIS DB 정확도 개선 사업

상수도 지리정보시스템의 도입 후, 도로 및 지하철 공사 등 지하시설물 공사 시 정확한 상수도 공간정보가 제공되어 다른 지하시설물 공사로 인한 상수도관 누수 사고 건수가 꾸준히 감소되고 있다. 또한 누수 위치를 정확하게 굴착할 수 있게 됨으로써, 복구비용을 크게 절감하고 있다. 또한 신속하고 정확한 누수관 굴착 및 복구 공사를 통해 단수발생시간을 최소화함으로써, 시민들의 상수도 행정에 대한 신뢰도를 향상시키는데 크게 기여하였다.

향후, 서울시 상수도 지리정보 시스템은, ICT기술과 접목, 현장업무의 효율적 지원은 물론, 과학적 예측과 분석이 가능한 의사결정지원시스템으로 진화해 나갈 것이며, 이 시스템을 통해 수집된 정보는 빅데이터 분석(Big Data Analytics)과 사물인터넷(IoT, Internet of Things)을 활용한 상수도 시스템 관리에 사용되어 유수율을 포함한 상수도 시스템의 효율적인 운영에 적극적으로 활용될 것이다.

배수지 시스템을 활용한 수압관리

배수지는 정수장에서 송수를 받아 해당 배수구역의 급수량에 따라 배수하기 위한 저류지이다. 도시의 수돗물 급수 시스템은 정전, 누수 등 사고 발생 등의 비상시에도 일정한 수량과 수압을 유지해야 하기 때문에 배수지는 수돗물 공급 시설 가운데 가장 중요한 시설물 가운데 하나이다. 특히, 구릉형의 지형적 특성을 가지고 있는 서울시는 표고차이를 이용한 배수지 시스템의 구축과 운영을 통해, 수압관리는 물론 효율적인 수질관리와 에너지 사용까지 다양한 형태의 시스템 효율화를 추구할 수 있다.

111741492670502

서울시는 2000년부터 표고에 따라, 지역배수지, 1차배수지, 2차배수지를 건설했고, 2015년 현재 총 120개소(242만 m<sup>3</sup>)의 배수지를 운영하고 있다. 서울시 배수지 시스템의 구성과 운영을 살펴보면, 배수지의 각 단계별 표고차는 약 30 m이며, 시민들은 자신이 주거하고 있는 지점을 기준으로 단계별 상위 배수지로부터 수돗물을 공급받게 된다(그림 7). 따라서, 불필요한 수압을 줄일 수 있어, 적절한 수준의 수압을 유지할 수 있게 된다. 이는 누수를 줄이는데 매우 효과적인 시스템이라고 할

수 있다. 또한, 저렴한 전기를 활용하여 야간 시간대에 수돗물을 배수지로 이송시키고, 주간 시간대에 중력을 이용한 자연유하로 수돗물을 공급할 수 있게 됨으로써, 수돗물 공급을 위한 이송 에너지를 대폭적으로 절감할 수 있게 되었다.

서울시 배수지의 평균 체류시간은 16.7 시간으로 환경부에서 제정한 상수도시설기준의 12시간보다 훨씬 길다. 전체 배수지 가운데 약 5%에 해당하는 일부 배수지의 경우, 체류시간이 12시간 미만인 경우가 있어, 이러한 지역을 위한 배수지 확충 및 신설 사업이 추진되고 있다.

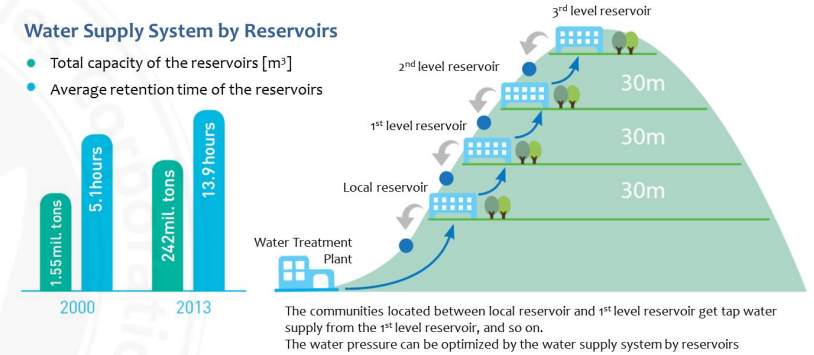


그림 7. 배수지를 이용한 서울시 수돗물 공급 시스템

다점형 상관식 누수탐지(기)

상수도 관로상에 부설되어 있는 제수밸브, 소화전, 계량기 등에 누수로 발생하는 소리 데이터를 수집할 수 있는 센서를 설치하여 데이터를 수집하고, 이 데이터를 분석하여 누수지점을 찾아내는 시스템 혹은 기기를 말한다.

이 시스템을 활용하여 누수진단을 할 경우, 약 80%의 확률로 누수여부를 판단할 수 있다고 한다. 하지만, 배관이 복잡하게 매설되어 있거나, 수돗물 변동이 큰 지역, 구조적인 특징으로 인한 마찰음이 심한 조건에서는 신호대잡음(S/N)비가 작아져 데이터 분석에 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 가능하면 수돗물 사용량이 최소화되고 주변의 잡음이 최소화되는 야간에 데이터를 수집하고, 수집횟수를 늘리는 것이 좋다.



그림 8. 다점형 상관식 누수탐지 시스템을 이용한 누수진단

(상좌-누수탐지기 장비, 상중-제수밸브실에 데이터 로거설치, 상우-로거 연결 및 자료 수집, 하좌-다점형 누수탐지 자료 분석, 하중-누수징후 탐지(붉은색 마크), 하우-데이터를 통한 누수확인)

### 8. 정책 효과

앞에서도 언급되었지만, 우수율 제고사업을 통한 정책적 효과는 매우 분명하고 직접적이다.

우수율이 높다는 것은, 수도물의 생산과 공급 과정에서의 손실이 적다는 것을 의미하며, 이는 생산량 축소와 이에 따른 원수 구입비의 절감, 처리와 공급과정에 필요한 여타의 재료비와 에너지 관련 비용의 절감으로 이어진다.

결과적으로 상수도 경영의 효율성이 높아짐으로서, 최종 소비자인 시민들에게 경제 11741492670502 적인 이익이 돌아가는 것은 물론, 상수도 행정과 이와 직간접적으로 연관된 서울시의 공공 서비스에 대한 시민들의 신뢰도가 높아지게 되고, 이로 인한 사회적 편익은 막대할 것이다.

2000년 서울시 수도 시스템의 우수율은 80%를 넘어서게 되자, 정수장은, 하루 생산량 344만 m3만으로도 전체 시민들의 급수수요에 충분하게 대처할 수 있었던 것은 물론, 권고 시설가동률(75%) 보다 훨씬 낮은 60%대의 가동률로 운영될 수 있

었다. 이에 따라 2002년에 구의정수장 일부, 2003년에 뚝도정수장 일부 와 2003년에 신월정수장, 2004년에 보광동정수장이 폐쇄되었다. 우수율 제고로 생긴 생산량의 여유분은, 인구의 급속한 유입으로 수도물 공급이 어려워진 인근 지자체에 공급할 수 있었고, 추가적인 급수수익을 얻을 수 있게 되었다.<sup>12)</sup>

우수율 제고 사업으로 인한 시민편익증대 효과는 수도물 요금의 동결로 나타났다. 우수율 제고 사업으로 인한 재정적 능력이 커진 서울시는 2001년부터 2011년까지 수도요금을 동결할 수 있었다. 그간 생산비용이 증가했음에도, 우수율 제고와 조직 효율화를 통해 요금인상 요인을 흡수함으로써, 시민들의 재정적 부담을 줄일 수 있었던 것이다. 2012년 9.6%의 요금인상이 있었지만, 이는 그간의 수도요금 동결로 인한 적자분 일부와 고도정수처리 시스템 도입으로 인한 재정투자로 인한 것이었으며, 새로운 우수율 제고 사업과 경영 효율화를 통해 수도요금은 현재까지 동결될 수 있었다.

한편 폐쇄된 정수장은 시민들을 위한 공원 및 편의시설로 사용됨으로써 시민을 위한 공공 서비스의 질을 한층 높이는 데 커다란 기여를 하였다.

우수율 제고사업의 성공적 수행으로 발생한 이러한 다양한 형태의 공공 서비스 향상을 통해, 수도물에 대한 시민들의 인식을 일신할 수 있었고, 수도 서비스에 대한 시민 만족도를 높일 수 있었다.

### 9. 주요 장애요소/장애극복방법

우수율 제고 사업의 가장 큰 장애는, 서울시의 도시화의 진행에 따라 복잡하게 구성된 지하매설물들로 인해 수도관의 교체와 갱생이 용이하지 않다는 물리적인 것이다. 상수도지리정보 시스템의 정확도 개선사업을 통해, 보다 정확한 위치와 구조를 파악하고 대처할 수 있는 개선이 지속적으로 이루어지고 있다.

누수에 대한 관리를 보다 세밀하게 하기 위해서 블록단위를 보다 체계적이고 과학적으로 분할, 관리하기 위한 노력도 이루어지고 있다.

12) 2001년부터 시계 외 급수 지역에 대한 상수도 실태 조사를 벌인 뒤 현재 경기도 광명·하남·구리·남양주·과천·성남시 등에 하루 7만 5,000 m3가량의 수도물을 공급하고 있다. 특히 호평 별내 지구 등 대규모 택지 개발이 이루어지고 있는 남양주시에 대해서는 상수도 공급량을 하루 1만m<sup>3</sup> 이상 늘렸다. 이 밖에도 장기적으로 의정부·동두천 등 경기 북부 지역과 상수도 공급 논의 방침을 밝히는 등 적극적으로 '수도물 세일즈'에 나서고 있다

서울시 상수도 관련 사회기반시설은 안정기에 들어선지 오래되었다. 시설 안정화의 또 다른 측면은, 시설 노후화이다. 이미 97%의 노후관이 정비되었고, 2018년까지 모든 노후관이 정비되겠지만, 이 시점이 되면, 최초로 정비되었던 관은 이제 더 이상 신규관이 아닌 또 다른 노후관이 된다. 즉, 지속적 재정투자와 선제적 노후관 교체 및 관리가 필요하다. 장기적 재정투자 계획의 수립과 상수도 자산관리 시스템의 구축을 통해 이러한 장애를 극복할 수 있을 것이다.

배수지 시스템 역시 안정화 단계로 접어들었지만, 일부 배수지 공사와 관련해서, 지역 주민과 구청의 협조가 필수적이다. 왜냐하면, 배수지 건설을 위해서는 휴식 공간인 공원과 산 등의 훼손이 불가피하기 때문이다. 이러한 문제는 배수지 건설계획 초기부터, 주민들을 적극 설득하기 위해 각 자치구와 협력하고, 배수지 상부 공간을 활용하여 주민편익을 증대할 수 있는 방안을 마련함으로써 해결될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- Arntzen, J., 2003, Incorporation of water demand management in national and region water policies and strategies, IUCN
- Choi, Y.J., 2016, Time to share! A centennial journey of Seoul Waterworks System, Addis Ababa-Seoul Urban Planning Capacity Building Program I
- Desalege, W.B., 2005, Water Supply Coverage and Water Loss in Distribution Systems, International Institute for GIS & Earth Observation, Enschede, The Netherlands
- Farley, M., et al., 2008, The manager's Non-Revenue Water Handbook, USAID
- Simbeye, I., 2010, Managing Non-Revenue Water - NRW Sourcebook for Trainers WAVE Pool, ImWent
- 강신재 외, 2015, 서울의 상수도 유수율 백서
- 서울시 상수도사업본부, 2008, 서울시상수도백년사
- 서울시 상수도사업본부, 2014, 유수율 및 누수관리, 서울정책아카이브 (<https://goo.gl/NT0uJo>)