

# 서울시 하수처리장(물재생센터) 유입량 감소원인 분석

김 갑 수\* · 나 유 미\*\*

## The Cause of Decreasing Influent at Four Sewage Treatment Plants (Water Reclamation Centers) in Seoul

Kap-Soo Kim\* · Yu-Mee Na\*\*

요약 : 서울시 4개 물재생센터에 유입된 하수량은 청천시 기준으로 1998년에서 2004년까지 864천  $m^3$ /일 감소하였다. 이 중 중랑물재생센터에서의 감소량은 564천  $m^3$ /일로 가장 많았으며 탄천, 서남, 난지물재생센터에서는 각각 41천  $m^3$ /일, 119천  $m^3$ /일, 140천  $m^3$ /일 감소하였다. 감소원인을 분석하기 위하여 유입하수를 구성하고 있는 상수 사용량, 지하수 사용량, 지하철 지하수 배출량 및 불명수량을 각각 조사해 본 결과 불명수량이 유입하수량 감소의 주요 원인으로 나타났다. 서울시는 2004년 유입하수의 32.3%를 차지하고 있는 불명수 유입감소를 위해 간·지선관거정비를 계속 추진하여 불명수는 7년간 중랑, 탄천, 서남, 난지물재생센터에서 각각 90천  $m^3$ /일, 20천  $m^3$ /일, 67천  $m^3$ /일, 45천  $m^3$ /일 감소한 것으로 나타났다. 그러나 이 양은 전체 불명수 감소량의 각각 16.4%, 39.2%, 42.4%, 36.3%만을 차지한다. 계곡수나 하천수 등으로 인한 불명수의 유입을 감소시키는 차집관거연장 확장은 다른 처리구역에 비해 중랑하수처리구역에서 2.8~13.8배 많이 정비되어 중랑물재생센터의 급격한 유입량 감소는 차집관거 연장 확장에 의한 불명수 감소에 따른 것으로 판단된다.

주제어 : 하수발생량, 상수사용량, 지하수 사용량, 불명수, 관거정비, 간·지선관거, 차집관거

**ABSTRACT** : The influent of 4 sewage treatment plants(STPs) located in Seoul decreased by  $864 \times 10^3 m^3/day$  during last 7 years(1998~2004). Among these plants, the influent in Jungnang STP showed the largest decline by  $564 \times 10^3 m^3/day$ ; 41, 119, and  $140 \times 10^3 m^3/day$  in Tanchon, Seonam and Nanji STP, respectively. To analyze the causes of decreasing influent, investigation was conducted on the tap water consumption rate, groundwater consumption rate, groundwater flow produced from subway station, and infiltration/inflow(I/I). As a result, I/I was the main factor of reduction of influent to STPs. The rehabilitation of public and private sewers caused the reduction in infiltration and inflow of Jungnang, Tanchon, Seonam and Nanji subareas by 90, 20, 67 and  $45 \times 10^3 m^3/day$  during last 7 years. These reduced amount in each subarea corresponded to 16.5%, 42.2%, 39.8% and 36.5% of totally reduced I/I. The interceptors of Jungnang, Tanchon, Seonam and Nanji subarea had been extended by 24.8km, 8.8km, 1.8km, 2.5km, respectively. The construction extending the interceptors in Jungnang subarea was implemented 2.8 times to 13.8 times as much as it was in 3 other subareas. It was concluded that the rehabilitation of the interceptors makes the most impact on the reduction in I/I.

\* 서울시정개발연구원 도시환경부 선임연구위원(Senior Research Fellow, Development of Urban Environment, Seoul Development Institute), 주논문작성자임.

\*\* 서울시정개발연구원 도시환경부 초빙부연구위원(Visiting Associate Research Fellow, Development of Urban Environment, Seoul Development Institute)

**Key Words** : quantity of sewage, tap water use, groundwater use, infiltration/inflow(I/I), rehabilitation, public and private sewer, interceptor

## I. 서론

서울시 4개 물재생센터의 시설용량은 총 581만 $\text{m}^3$ /일로 중랑, 탄천, 서남, 난지물재생센터 각각 1,710천 $\text{m}^3$ /일, 1,100천 $\text{m}^3$ /일, 2,000천 $\text{m}^3$ /일, 1,000천 $\text{m}^3$ /일이다. 4개 물재생센터에 대한 1998년도부터 2004년까지 7년간의 평균 유입하수량을 조사한 결과 중랑물재생센터는 1998년 2,154천 $\text{m}^3$ /일에서 2004년에 1,622천 $\text{m}^3$ /일로 532천 $\text{m}^3$ /일이 감소하였다. 같은 기간에 탄천물재생센터는 897천 $\text{m}^3$ /일에서 901천 $\text{m}^3$ /일로서 거의 변화가 없었으며, 서남물재생센터도 1,768천 $\text{m}^3$ /일에서 1,730천 $\text{m}^3$ /일로서 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 난지물재생센터는 1998년에 988천 $\text{m}^3$ /일에서 2004년에 873천 $\text{m}^3$ /일로서 115천 $\text{m}^3$ /일이 감소하였다(환경부, 2004b).

중랑물재생센터의 유입하수량은 2002년까지도 시설용량을 초과하는 하수가 유입되어 서울시에서는 시설용량의 확장을 고려했었으나 유입하수량이 계속해서 감소하여 2003년 이후로는 시설용량 1,700천 $\text{m}^3$ /일 이하의 하수가 유입되고 있다. 또한 다른 세곳의 물재생센터보다 유입하수량이 매우 급격하게 감소하고 있다. 따라서 본 연구에서는 탄천, 서남, 난지물재생센터와는 달리 중랑물재생센터에서 나타난 급격한 유입하수량감소의 원인을 조사 분석하고자 한다.

## II. 연구 방법

각 물재생센터로 하수를 배출하는 구역(이하 하수처리구역)과 각 자치구와의 포함관계를 보면 대부분의 자치구는 4개 물재생센터 중 한 곳으로 하수를 배출하고 있으나 종로구, 중구, 성동구는 중랑과 난지물재생센터로, 강남구와 서초구는 서남과 탄천하수처리장으로 나뉘어 하수를 배출하고 있다. 이상 5개구를 각 하수처리구역별로 나누기 위해 하수처리면적에 해당하는 인구비를 각 동 자료를 이용하여 계산하였다. 그 결과 종로구는 중랑 72%와 난지 28%, 중구는 중랑 88.6%와 난지 11.4%, 성동구는 중랑 73.4%와 난지 26.6%, 서초구는 서남 85.5%와 탄천 14.5%, 강남구는 서남 19.5%와 탄천 80.5%로 나타났다. 각 자치구별로 구분되어 있는 상수사용량, 지하수사용량, 상수관거, 하수관거와 같은 통계자료를 하수처리구역별로 나눌 때 위의 비율을 사용하였다.

상수사용량과 상수관망 자료는 상수도통계연보(서울특별시 상수도사업본부, 1999~2005년), 지하수 사용량은 지하수조사연보(건설교통부, 1999~2005년), 하수관거 통계자료는 서울시 하수계획과 내부자료를 이용하였다.

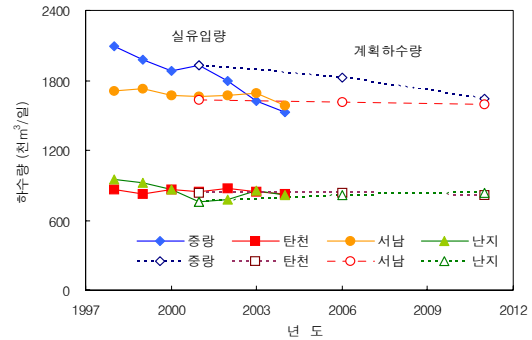
### III. 결과 및 고찰

#### 1. 물재생센터의 유입하수량 및 농도 변화

합류식 하수도가 대부분인 서울시는 강우시 물재생센터에 유입되는 하수는 빗물을 많이 포함하고 있으므로 서울시에서는 강우시(강우 발생일과 다음날 포함)와 청천시의 유입하수량을 구분하여 하수도정책에 사용하고 있다. 1998년에서 2004년까지 서울시 4개 물재생센터의 청천시 유입하수량을 <그림 1> 및 <표 1>에 제시하였다. 서울시 4개 물재생센터에 유입되는 하수는 1998년 5,615천m<sup>3</sup>/일에서 2004년 4,751천m<sup>3</sup>/일로 7년간 864천m<sup>3</sup>/일 감소되었다. 이 중 중랑물재생센터에서의 감소량은 564천m<sup>3</sup>/일로 가장 많았으며 탄천, 서남, 난지물재생센터에서는 각각 41천m<sup>3</sup>/일, 119천m<sup>3</sup>/일, 140천m<sup>3</sup>/일 감소하였다. <그림 1>을 보면 서울시에서 제시한 2011년까지의 계획하수량과 2004년까지의 실유입량을 비교하면 탄천, 서남, 난지물재생센터의 경우 큰 차이를 보이지 않으나 중랑물재생센터의 경우 상당한 차이를 보이고 있다.

유입량과 함께 유입수질을 대표하는 BOD농도의 7년간 변화를 알아본 결과, <그림 2>에서 알 수 있는 것처럼 4개 물재생센터에서 모두 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 유입되는 하수 중에 오염물을 적게 포함한 부분이 감소하여 상대적으로 수질이 증가한 것으로 예상된다. 탄천물재생센터에서 나타나는 2000년 이후의 급격한 증가는 1년간 수행한 연구결과에 의하면 주로 강동구 음식물재활용센터에

서 발생한 음식물 쓰레기 침출수의 유입에 의한 것으로 확인되었다(김갑수·김영근, 2002).

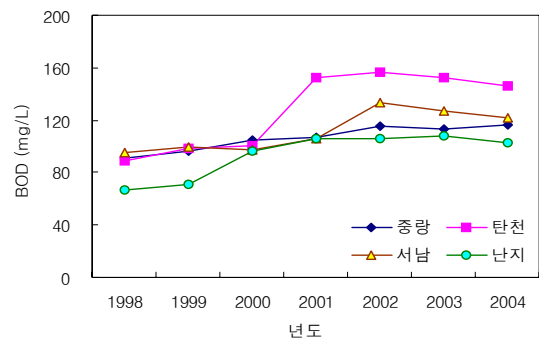


<그림 1> 물재생센터의 실유입량과 계획하수량

<표 1> 물재생센터의 유입하수량 변화(청천시)

(단위 : 천m<sup>3</sup>/일)

구 분	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	감소량
합 계	5,615	5,457	5,287	5,195	5,116	5,009	4,751	864
중랑물재생센터	2,088	1,973	1,884	1,930	1,796	1,627	1,524	564
탄천물재생센터	866	826	869	846	876	847	825	41
서남물재생센터	1,707	1,732	1,672	1,657	1,668	1,686	1,588	119
난지물재생센터	954	926	862	762	775	850	814	140



<그림 2> 물재생센터의 BOD 농도 변화

## 2. 유입하수량 감소원인 분석

유입하수량 감소원인을 인구변화, 상수 사용량 변화, 지하수 이용량 변화, 하수유량산정방식의 변화, 불명수량의 변화, 시계의 유입하수량 변화와 같은 원인으로 나누어 분석하였다.

### 1) 인구변화

유입하수량은 7년간 5,615천 $\text{m}^3$ /일에서 4,751천 $\text{m}^3$ /일로 15.4%감소하였으나 같은 기간에 서울시 하수도 보급 인구는 10,319천명에서 10,285천명으로 7년 동안 0.33%(34천명) 감소하여 유입하수량 감소는 인구변화와 무관한 것으로 판단된다. 특히, 4개 물재생센터 중 중랑물재생센터의 유입하수량은 7년 동안 27%의 감소가 일어났으나 인구의 변화는 3,548,483명에서 3,538,200명으로 0.28% 감소한 것으로 나타나 인구변화에 의해 유입하수량이 감소하지 않았음을 알 수 있다.

### 2) 상수 사용량 변화

서울시 상수의 생산량은 1998년 4,586천 $\text{m}^3$ /일에서 2004년 3,608천 $\text{m}^3$ /일로 978천 $\text{m}^3$ /일(21.3%) 감소하였다(환경부, 2004a). 상수생산량 중 각 가정이나 사무실에서 사용되는 유수수량<sup>1)</sup>이 실제로 하수로 전환되는 것으로 보기 때문에(서울특별시, 2002) 유입하수량변화에 직접 영향을 미치는 것은 유수수량이다. 유수수량은 같은 기간에 2,971천 $\text{m}^3$ /일에서 3,073천 $\text{m}^3$ /일로 102천  $\text{m}^3$ /일 증가하였다. 유수수량의 증가에도

불구하고 상수 생산량이 7년 동안 978천 $\text{m}^3$ /일 감소한 것은 노후 상수관 교체에 따른 유수율 향상에 의한 것이다.

1998년에서 2004년까지 7년간의 유수수량을 각 하수처리구역별로 나누어 보면 <표 2>와 같다. 중랑, 탄천, 서남하수처리구역의 유수수량은 각각 40천 $\text{m}^3$ /일, 5천 $\text{m}^3$ /일, 60천 $\text{m}^3$ /일 증가하였고 난지하수처리구역의 경우 3천 $\text{m}^3$ /일 감소하였다.

### 3) 지하수 이용량 변화

서울시 지하수는 2004년 기준 하루에 98천 $\text{m}^3$  양수되어 생활용(84.4%), 공업용(4.7%), 농업용(8.9%), 기타용(2.0%)으로 사용되었다(건설교통부, 2005). 생활용으로 사용된 지하수는 거의 대부분 하수로 전환되어 하수처리장으로 유입된다. 지하수 이용량은 서울시 전체 유입하수량(2004년 기준, 4,751천 $\text{m}^3$ /일)의 1.7%에 지나지 않았다. 서울시 전체 지하수 이용량은 7년간 거의 변동이 없었으나 하수처리구역별로 나누어 검토하면 <표 2>와 같다. 중랑과 난지하수처리구역의 지하수 이용량은 각각 11.6천 $\text{m}^3$ /일, 0.4천 $\text{m}^3$ /일 감소하였고 탄천과 서남하수처리구역의 경우 각각 5.2천 $\text{m}^3$ /일, 0.5천 $\text{m}^3$ /일 증가하였다.

### 4) 지하철 지하수 배출량 변화

서울시 하수처리구역에 속하는 지하철 역사 247개소 중 지하수를 배출하는 역사는 152개소이고 이곳에서 발생하는 지하수는 1일 약

1) 수도물 사용량을 요금으로 징수할 수 있는 수량을 말함.

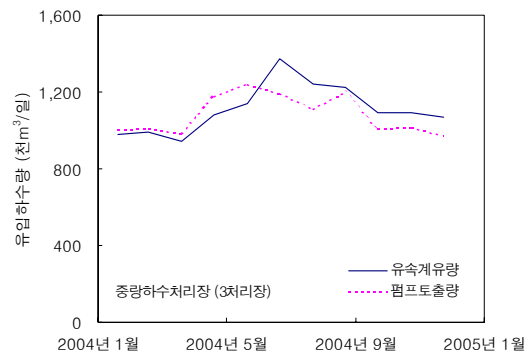
130천 $m^3$ 이다(서울특별시, 2000). 각 하수처리 구역으로 나누어 보면 중랑, 탄천, 서남, 난지 하수처리구역에서 각각 70.8천 $m^3$ /일, 9.1천 $m^3$ /일, 27.7천 $m^3$ /일, 21.9천 $m^3$ /일의 지하수가 발생하고 있다. 1997년 이전에는 모두 하수관거로 유입되었으나 최근에 친수공간 조성 및 확보를 위한 하천유지용수로 사용하기 위해 지하수를 하천으로 방류하는 지하철 역사가 증가하고 있어 2004년 말 현재 각각 44.3천 $m^3$ /일, 8.8천 $m^3$ /일, 26.7천 $m^3$ /일, 12.3천 $m^3$ /일에 이르고 있다. 1998년부터 2004년까지 하수관거로 배출되지 않은 지하철 지하수의 증가량은 중랑, 서남, 난지 하수처리구역에서 각각 44.2천 $m^3$ /일, 21.8천 $m^3$ /일, 12.3천 $m^3$ /일로 이 양만큼 물재생센터의 유입하수량은 감소하였을 것이다.

#### 5) 하수유량산정방식 변화

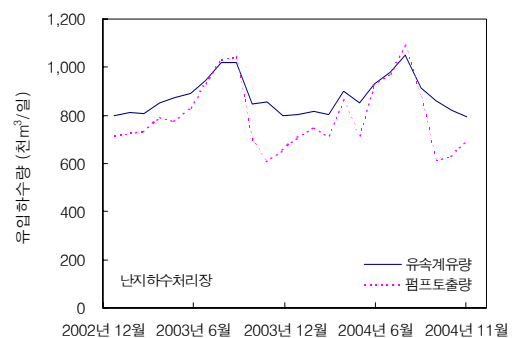
2004년 12월 기준으로 서울시 4개 물재생센터 유입하수량 계측은 모두 유량계를 통해 이루어지고 있다. 중랑 및 난지물재생센터의 경우 2002년까지는 유입된 하수를 침사지에서 1차 침전지로 이송시키는 펌프의 토출량을 통해 유입하수량을 산정하였고 2003년부터 유량계를 이용하여 유입하수량을 산정하기 시작했다.

이와 같은 하수유량산정방식 변화에 따라 유입하수량의 차이가 발생할 가능성이 있어 같은 시기에 펌프토출량 및 유속계유량방식에 의한 유입하수량을 비교해보았다. 그 결과 중랑물재생센터(제 3처리장)의 경우 <그림 3>과 같이 평균 28천 $m^3$ /일의 차이를 나타내고 있으나 이 양은 7년간 유입하수량 감소량인 564천 $m^3$ /일의 4.9%에 해당하는 양으로 유량산정방식

차이가 중랑물재생센터의 유입량변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 난지물재생센터의 경우 <그림 4>와 같이 펌프토출량이 유량계 계측량에 비해 평균 81천 $m^3$ /일 작게 산정되는 것으로 나타났다. 이러한 차이로 인해 <표 1>에서 제시된 2002년에서 2003년 사이에 유입하수량이 775천 $m^3$ /일에서 850천 $m^3$ /일로 75천 $m^3$ /일 증가한 것으로 판단된다.



<그림 3> 중랑하수처리장의 유속계유량과 펌프토출량 비교



<그림 4> 난지하수처리장의 유속계유량과 펌프토출량 비교

#### 6) 시계 외 유입하수량의 변화

중랑물재생센터를 제외한 탄천, 서남, 난지 물재생센터에서는 서울시에서 발생하는 하수

외에도 시계 외의 하수를 위탁처리하고 있다. 탄천물재생센터는 하남시 전부와 과천시 일부, 서남물재생센터에서는 광명시 일부, 난지물재생센터에서는 고양시 일부에서 발생하는 하수가 각 물재생센터로 유입된다. 외부에서 유입되는 양은 서울시의 상수사용량이나 지하수 사용량, 지하철 지하수 배출량 등에 전혀 영향을 받지 않는 독립된 변수로 유입하수량 감소에 영향을 줄 수 있는 한 요인으로서 3개 물재생센터에 대해 검토하였다.

탄천물재생센터에 유입되는 과천시와 하남시의 하수량은 1999년 34.9천 $\text{m}^3$ /일에서 2004년 44.9천 $\text{m}^3$ /일로 10천 $\text{m}^3$ /일이 증가하였다. 서남물재생센터에 유입되는 광명시의 하수량은 2001년에 121.4천 $\text{m}^3$ /일에서 2004년 131.0천 $\text{m}^3$ /일로 9.6천 $\text{m}^3$ /일이 증가하였다. 난지물재생센터에 유입되는 고양시의 하수량은 1998년에 14.7천 $\text{m}^3$ /일 2004년 12.0천 $\text{m}^3$ /일로 2.7천 $\text{m}^3$ /일 감소하였다.

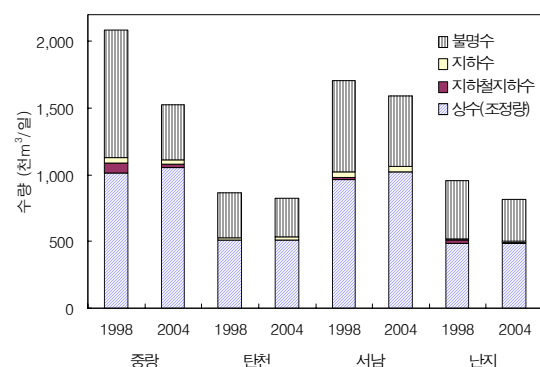
#### 7) 불명수량에 의한 변화

서울시 전체 하수관거의 연장은 2004년 기준으로 총 10,157km으로 간·지선관거 9,728km, 차집관거 429km로 이루어져 있으며 간·지선관거의 90.1%가 합류식으로 되어 있다(환경부, 2004). 과거에는 하수도 시설은 시가지 침수방지를 위한 신속한 우수배제가 목적이었기 때문에 합류식으로 하수도가 시공되어 계곡수나 하천수가 유입되는 경우도 많았다. 또한 급격한 도시 인구 증가 및 산업발달에 의한 다양한 목적의 지하공간 활용은 하수관거의 파손

의 원인이 되기도 하였다. 이러한 원인으로 하수관거에는 배출원을 알 수 없는 불명수의 유입이 상당한 것으로 파악되었다(서울특별시, 2002).

청천시에 하수관거에 유입되는 하수는 상수 사용량, 지하수 사용량, 지하철 역사 지하수 배출량외에도 불량한 하수관거로 침입되는 누수된 상수, 지하수, 하천수, 계곡수 등 불명수가 있다. 10,157km의 하수관거에서 발생하는 불명수량을 계측을 통해 파악하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 물재생센터 유입하수량에서 상수사용량(유수수량), 지하수 사용량, 지하철 역사 지하수 배출량을 제외한 부분을 불명수량으로 산정하였다.

<그림 5>와 <표 2>에서와 같이 중랑, 탄천, 서남, 난지하수처리구역에서 유입되는 불명수는 1998년에서 2004년까지 각각 549천 $\text{m}^3$ /일, 49천 $\text{m}^3$ /일, 167천 $\text{m}^3$ /일, 123천 $\text{m}^3$ /일 감소하여 유입하수량 감소의 주요한 원인으로 판단되었다.



<그림 5> 서울시 물재생센터의 유입하수 구성별 변화

&lt;표 2&gt; 서울시 물재생센터의 유입하수량 분석 결과

(단위 : 천m<sup>3</sup>/일)

		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	증/감
중랑	유입하수	2,088	1,973	1,884	1,930	1,796	1,627	1,524	-564
	상수(유수수량)	1,016	1,081	1,044	1,056	1,038	1,046	1,056	40
	지하철지하수	71	71	53	53	51	49	27	-44
	지하수	38	32	33	35	31	27	27	-11
	불명수	963	789	755	787	675	505	415	-548
탄천	유입하수	866	826	869	846	876	847	825	-41
	상수(유수수량)	507	526	515	517	509	511	512	5
	지하철지하수	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0
	지하수	16	17	22	23	25	19	21	5
	불명수	342	283	332	306	342	317	291	-51
서남	유입하수	1,707	1,732	1,672	1,657	1,668	1,686	1,588	-119
	상수(유수수량)	961	1,010	981	994	983	999	1,021	60
	지하철지하수	23	23	14	14	1	1	1	-22
	지하수	36.8	39.0	43.0	40.3	38.5	46.9	37.3	0.5
	불명수	687	661	634	609	645	639	529	-158
난지	유입하수	954	926	862	762	775	850	814	-140
	상수(유수수량)	487	490	477	483	476	478	484	-3
	지하철지하수	22	22	12	12	11	10	10	-12
	지하수	13.4	14.2	14.9	15.7	13.9	12.1	13.0	-0.4
	불명수	432	400	358	250	274	350	308	-124

## 3. 불명수량 감소원인 분석

불명수량은 1998년에서 2004년 사이에 모든 하수처리구역에서 감소하였으며 특히 중랑하수처리구역에서 급격한 감소가 나타났다. 이러한 불명수량의 감소가 물재생센터의 유입하수량 감소의 주요한 원인으로 나타났으나 서울시 전체 하수관거의 침입수/유입수(Infiltration/Inflow)분석이 없이는 불명수 발생원을 명확히 밝히기는 매우 힘들 것으로 판단된다. 따라서 불명수의 하수관거 유입 가능성을 감소시킬 수 있는 노후상수관 교체사업 및 하수관거 정비사업 등을 각 하수처리구역별로 알아보았다.

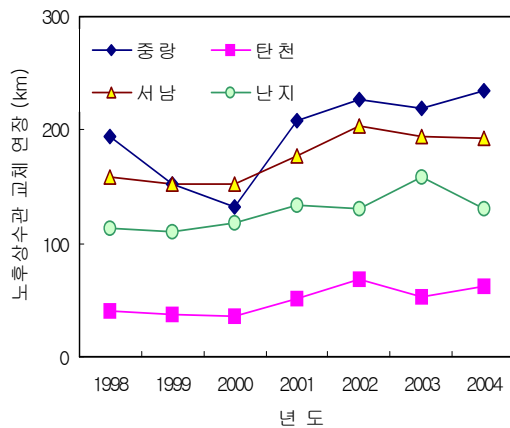
사고나 노후로 인해 누수된 상수는 인근의

하수관거로 유입되는 부분이 있어 상수관 교체사업에 의해 누수가 줄면 유입하수량이 감소될 수 있다. 또한 간·지선관거 정비를 통해 지하수가 유입되는 것이 차단될 수 있으며 하천변에 위치하여 하천물이 그대로 유입되던 차집관거의 정비를 통해 하천물의 유입을 배제시킬 수 있다.

1) 노후상수관 교체사업에 의한 상수 누수량 감소

노후상수관 교체연장을 4개 하수처리구역별로 나누어 보면 <그림 6>과 같다. 중랑, 서남, 난지, 탄천하수처리구역 순서로 노후상수관 교체가 많이 일어난 것으로 나타났으며 그 결과 누수량도 같은 순서대로 많이 감소한 것으로

나타났다(<표 3> 참조).



<그림 6> 4개 하수처리구역의 노후상수관 교체 연장

<표 3> 4개 하수처리구역의 상수누수량의 변화

(단위 : 천 $m^3$ /일)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	감소량
중랑	403	270	256	197	111	164	131	-272
탄천	66	29	48	29	23	58	55	-11
서남	330	211	194	163	115	173	139	-192
난지	333	255	221	170	126	143	110	-223
계	1,132	765	719	559	375	538	435	-698

상수의 누수량은 상수생산량에서 유수량, 계량기 불감량과 수도사업소 사용량을 제외하여 산정하고 있으나 여기에 나타난 누수량은 각 구별 상수생산량에서 유수량, 계량기 불감량을 제외하여 계산된 것이다. 수도사업소 사용량은 각 하수처리구역별로 나누어 파악할 수 없어 누수량 계산에 포함시키지 않았지만 상수생산량의 0.1%에 그치지 않아 그 양은 고려되지 않아도 전체 값에 큰 변화를 주지는 않는 것으로 판단되었다.

누수량은 7년간 중랑, 탄천, 서남, 난지하수

처리구역에서 각각 272천 $m^3$ /일, 11천 $m^3$ /일, 192천 $m^3$ /일, 223천 $m^3$ /일 감소한 것으로 나타났다. 누수가 전량 하수처리장으로 유입되었다고 가정한다면 누수감소량만큼 불명수 감소량에 반영되었을 것이나 서남과 난지하수처리구역의 경우 불명수 감소량이 누수감소량보다 적게 나타났다. 즉, 그동안 누수된 상수가 하수관거로 많이 유입되지 않았던 것을 의미한다. 중랑과 탄천하수처리구역은 누수의 감소량이 불명수의 감소량보다 작게 나타나기는 했으나 누수량의 감소가 불명수 감소에 미치는 영향을 정량적으로 파악하는 것이 현재로는 불가능한 것으로 판단된다.

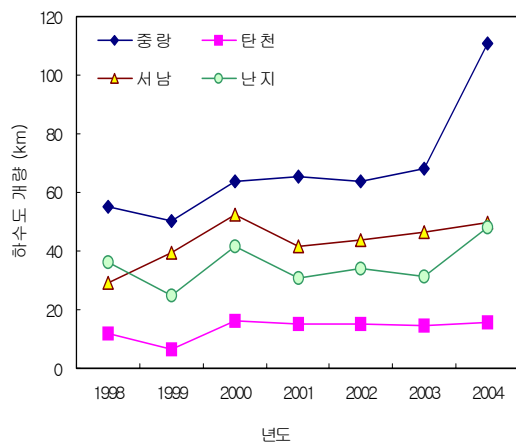
## 2) 하수관거 정비에 의한 불명수 유입 차단

이음부 연결이 불량하거나 타관이 통과하는 하수관거는 하수의 누출 및 불명수의 유입의 원인이 되고 있어 서울시에서는 우선순위를 정하여 간·지선하수관거 정비사업을 실시하고 있다. 중랑, 탄천, 서남, 난지하수처리구역에 있는 간·지선관거 연장은 2004년 기준 각각 3,522km, 1,471km, 2,849km, 1,887km이다.

간·지선관거 개량사업은 4개 하수처리구역에서 <그림 7>과 같이 시행되었다. 1998년에서 2004년 동안 중랑, 탄천, 서남, 난지하수처리구역에서 각각 총 477km, 95km, 302km, 247km의 연장의 하수관거 개량이 이루어졌으며 이 값은 2004년 기준으로 총연장의 13.5%, 6.5%, 10.6%, 13.1%에 해당된다. 중랑하수처리구역의 하수관거 개량이 가장 많이 일어나기는 했으나 간·지선관거 연장 또한 가장 길어 개량된 관거 비율이 다른 하수처리구역과 비슷한



수준으로 나타났다. 하수관거 부대시설의 개량은 <표 4>에서와 같이 맨홀과 하수횡단거는 중랑하수처리구역에서 빗물받이는 서남하수처리구역에서 많이 시행된 것을 알 수 있다. 중랑하수처리구역은 다른 구역에 비해 중구, 종로구, 동대문구 등의 구도심에 해당되므로 서울시에서 우선적으로 정비를 실시해왔다.



<그림 7> 4개 하수처리구역의 간·지선관거 개량 실적

간·지선관거 개량연장과 간·지선관거 연장당 불명수량을 사용하여 간·지선관거 개량

에 따른 불명수 감소량을 계산해 보면 <표 5>와 같다. 간·지선관거 연장당 불명수량은 매년 간·지선관거 현황과 불명수량으로 구해진 값이다. 간·지선관거 개량에 따른 불명수 감소량은 중랑, 탄천, 서남, 난지하수처리구역에서 7년 동안 각각 90천m<sup>3</sup>/일, 21천m<sup>3</sup>/일, 67천m<sup>3</sup>/일, 45천m<sup>3</sup>/일 일어났을 것으로 추정된다. 이 양은 7년간 불명수 감소량의 각각 16.5%, 42.2%, 39.8%, 36.5%를 차지하는 값이다.

탄천, 서남하수처리구역에서는 간·지선관거 개량이 불명수량 감소에 40%정도의 높은 영향을 미치고 있으나 불명수 감소량이 가장 큰 중랑하수처리구역에서 간·지선관거 개량이 불명수량 감소에 미치는 영향은 가장 적은 것으로 나타났다. 즉 중랑하수처리구역의 불명수량 감소에 간·지선관거 개량 보다 차집관거에 의해 영향을 미치는 것으로 추측되었다.

간·지선관거의 하수는 주로 하천변에 설치된 차집관거로 모여져 하수처리장으로 유입된다. 차집관거는 우수시 도시침수방지 및 강우시 시간당 유입하수량의 3배(3Q)에 해당하는

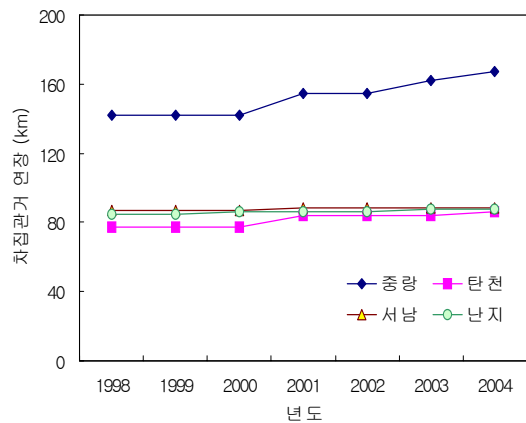
<표 4> 하수처리구역의 하수관거 부대시설의 개량 실적

	하수처리구역	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	계
맨홀 (개소)	중랑	1,164	1,164	1,403	1,871	1,637	2,249	2,679	12,168
	탄천	141	141	334	358	389	280	2,251	3,894
	서남	1,722	1,722	1,590	1,375	1,276	1,298	1,673	10,656
	난지	401	401	1,103	975	911	959	1,258	6,007
빗물받이 (개소)	중랑	2,730	2,730	2,562	2,571	2,835	4,160	4,558	22,146
	탄천	709	709	1,003	1,901	1,910	1,494	3,154	10,881
	서남	2,372	2,372	5,919	4,261	3,866	3,855	4,260	26,904
	난지	1,000	1,000	2,506	1,763	1,447	1,867	1,774	11,357
횡단하수거 (개소)	중랑	0	0	386	507	610	755	942	3,201
	탄천	0	0	26	36	13	56	46	176
	서남	0	0	136	217	379	202	200	1,135
	난지	0	0	171	114	258	420	301	1,263

하수량을 유입시키기 위한 목적으로 설치되었기 때문에 차집관거에 인근의 계곡수나 하천수가 유입되는 경우가 많았다. 이로 인해 물재생센터의 유입량 증가 및 하수의 농도 저하로 하수처리장 처리효율 저하 등 운영에 많은 문제점을 일으켜 서울시에서는 최근에 차집관거 정비 및 확장사업을 통해 하수는 하수관거로 계곡수나 하천수는 그대로 하천으로 흐를 수 있도록 하고 있다.

<그림 8>에 각 하수처리구역의 차집관거연장을 나타내었다. 중랑하수처리구역에서의 1998년 차집관거 연장은 141.1km였으나 2004년에는 166.9km로 24.8km확장된 것을 알 수 있다. 같은 기간 동안에 탄천, 서남, 난지하수처리구역에서는 각각 8.8km, 1.8km, 2.5km의 차집관거연장이 확장되었다. 중랑하수처리구역에서의

차집관거 연장확장이 다른 처리구역에 비해 작게는 2.8배에서 크게는 13.8배까지 크게 정비된 것이다. 따라서 중랑하수처리구역에서 나타난 급격한 불명수량 감소는 차집관거 연장확장에 따른 계곡수 및 하천수의 유입량 감소가 원인인 것으로 판단된다.

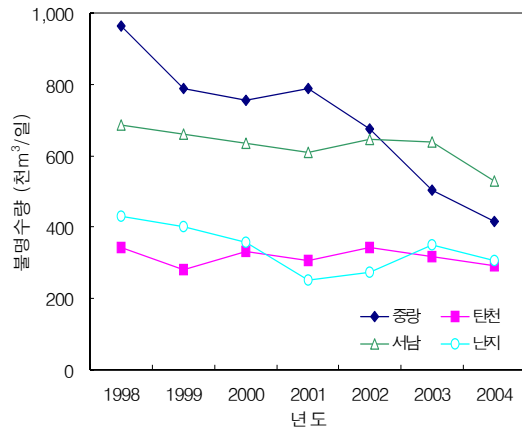


<그림 8> 4개 하수처리구역의 연도별 차집관거 연장

<표 5> 4개 하수처리구역의 간·지선관거 개량에 따른 불명수 감소량

		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	비고
중랑	불명수(천m³/일)	963	789	755	787	675	505	415	548감소
	간·지선관거현황(km)	3,549	3,427	3,454	3,479	3,494	3,507	3,522	
	관거연장당불명수(m³/km/일)	271	230	218	226	193	144	118	154감소
	간·지선관거개량연장(km)	55	50	64	65	64	68	111	477합계
	개량에 따른 불명수감소량(천m³/일)	15	12	14	15	12	10	13	90합계
탄천	불명수(천m³/일)	342	283	332	306	342	317	291	51감소
	간·지선관거현황(km)	1,486	1,458	1,462	1,464	1,467	1,469	1,471	
	관거연장당불명수(m³/km/일)	230	194	227	209	233	216	198	32감소
	간·지선관거개량연장(km)	12	7	16	15	15	14	16	95합계
	개량에 따른 불명수감소량(천m³/일)	3	1	4	3	3	3	3	20합계
서남	불명수(천m³/일)	687	661	634	609	645	639	529	167감소
	간·지선관거현황(km)	2,853	2,795	2,799	2,822	2,830	2,837	2,849	
	관거연장당불명수(m³/km/일)	241	236	227	216	228	225	186	55감소
	간·지선관거개량연장(km)	29	39	52	41	44	46	50	302합계
	개량에 따른 불명수감소량(천m³/일)	7	9	12	9	10	10	9	67합계
난지	불명수(천m³/일)	432	400	358	250	274	350	308	124감소
	간·지선관거현황(km)	1,872	1,819	1,829	1,838	1,848	1,853	1,887	
	관거연장당불명수(m³/km/일)	231	220	196	136	148	189	163	67감소
	간·지선관거개량연장(km)	36	25	41	31	34	31	48	247합계
	개량에 따른 불명수감소량(천m³/일)	8	5	8	4	5	6	8	45합계

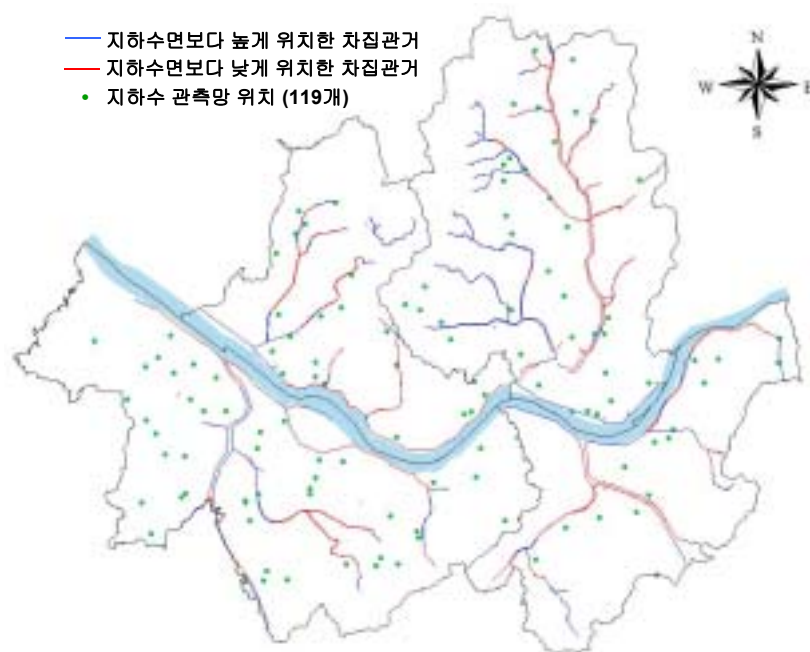
특히 <그림 9>에서 나타나는 중랑하수처리 구역에서 2001년 이후의 불명수량 감소는 차집관거 연장 확장과 크게 관련이 있는 것으로 판단된다.



<그림 9> 서울시 물재생센터에 유입되는 불명수량의 변화

#### 4. 지하수면과 하수관거 매설깊이 비교

간·지선관거의 매설깊이는 보통 1.2m로 서울시 평균 지하수위(9.1m)보다 지표면에 가깝게 위치하기 때문에 간·지선관거로 지하수가 유입될 가능성은 거의 희박하다고 할 수 있다. 그러나 차집관거는 하천변에 위치하는 경우가 많아 지하수면보다 낮게 존재하는 비율이 <그림 10>과 <표 6>에서 보는 바와 같이 상당히 높은 것으로 나타나 차집관거로 지하수가 유입될 수 있는 가능성이 높을 것으로 판단된다. 그러나 차집관거에 지하수가 유입되려면 불량한 차집관거가 지하수면보다 낮게 위치해야 할 뿐 아니라 차집관거 내에 지하수가 유입될 수 있는 공간이 존재할 때 가능할 것이다. 그러나 지표에서 깊게 존재하는 차집관거는 많은



<그림 10> 차집관거 고도와 지하수면의 비교

부분 하수로 가득 차 있다고 알려져 있어 지하수 유입 여부는 불확실한 실정이다. 차집관거의 지하수 유입여부는 차집관거 실증 조사를 통하여 확인해야 하지만 현재로서는 흐르는 하수를 다른 곳으로 저류 및 송수할 방법이 없어 시행되지 못하고 있다.

<표 6> 지하수면보다 낮게 위치한 차집관거 연장 현황

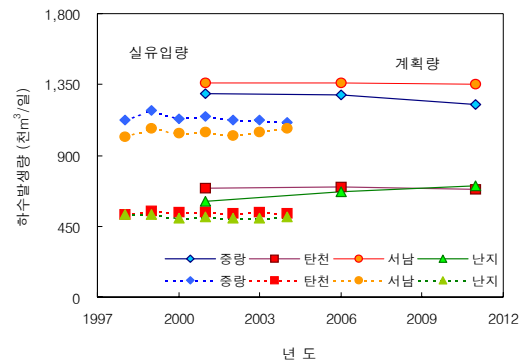
	차집관거 총 연장 (m) (A)	지하수면보다 낮게 위치한 차집관거 연장 (m) (B)	B/A (%)
중랑	168,313	94,988	56.4
탄천	89,636	76,632	85.5
서남	83,306	52,997	63.6
난지	82,076	61,113	74.5

#### 5. 서울시 계획하수량과 실유입량 차이 분석

서울시는 물재생센터의 운영 및 하수관거관리 등 하수도사업을 원활하게 추진하기 위해 서울시의 인구 및 각 자치구의 하수 발생 원단

위 등을 과거자료로부터 구하여 물재생센터로 유입되는 하수량과 하수수질을 예측하고 있다. 2011년까지의 4개 물재생센터의 계획하수량은 <표 7>과 같다.

<표 7>에 제시된 4개 물재생센터의 계획하수량 중 서울시 하수, 공장폐수, 시계외 하수의 합계를 <그림 11>의 계획량으로 표현하였고 이 값을 실유입량과 비교하였다. 4개 물재생센터에서 모두 계획량보다 실유입량이 많은 것으로 나타났다.



<그림 11> 4개 하수처리장의 불명수량을 제외한 하수 발생량

<표 7> 4개 하수처리장의 계획하수량(서울특별시, 2002)

(단위: 천m³/일)

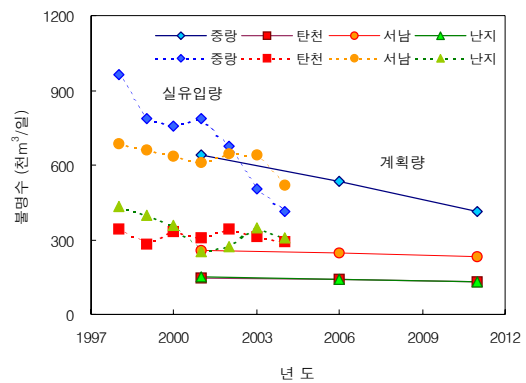
	하수처리구역	서울시 하수	불명수	공장 폐수	시계외 하수	유입 하수량	비 고
2001	중 랑	1,289.0	641			1,930.0	
	탄 천	651	143.7		41.7	836.4	하남시+과천시
	서 남	1,266.8	258.9	17.1	91.5	1,634.3	광명시
	난 지	586.8	148.9		19.9	755.6	고양시
	합 계	3,793.6	1,192.5	17.1	153.1	5,156.3	
2006	중 랑	1,283.5	536.5			1,820.0	
	탄 천	654.1	139		42	835.1	하남시+과천시
	서 남	1,252.3	246	9.9	104.4	1,612.6	광명시
	난 지	649.1	143.2		19.9	812.2	고양시
	합 계	3,839.0	1,064.7	9.9	166.3	5,079.9	
2011	중 랑	1,226.0	415.2			1,641.2	
	탄 천	639.4	130.5		42.3	812.2	하남시+과천시
	서 남	1,235.1	232.2	9.9	118.6	1,596.3	광명시
	난 지	685.6	131.1		19.9	836.6	고양시
	합 계	3,786.1	909.5	9.9	180.8	4,886.3	

계획량은 각 구의 생활오수 원단위, 공장폐수 원단위로 이루어져 있고 생활오수 원단위는 상수도 유효수량 원단위와 지하수 사용량 원단위로 이루어져 있다. 각각의 원단위는 각 구별로 이루어져 있으며 과거 5년간(1995~1999년)의 사용자료 변화 형태와 지역특정상 지하수 연속 가능성 등을 평가하여 구한 값이다. 상수도 유효수량 원단위는 2011년 유수율 목표 80%를 감안하여 감소하는 것으로 계획하였으나 2004년 현재 유수율은 85.3%에 달하고 있어 유수율이 계획했던 것보다 빠르게 향상된 것이다. 이러한 요인은 상수도 유효수량 원단위에 직접적인 영향을 미치므로 서울시 전체의 유효수량 원단위의 수정이 요구된다.

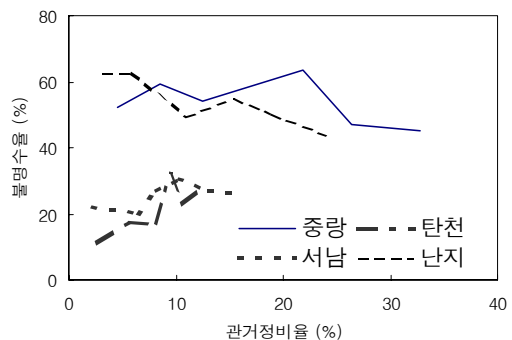
<표 7>에 제시된 불명수량을 그림으로 나타내면 <그림 12>의 계획량과 같으며 이 값을 실유입량과 비교 검토한 결과 탄천, 서남, 난지물재생센터는 계획량보다 실유입량이 적은 것으로 나타났다. 한편, 중랑물재생센터의 경우 불명수의 실유입량이 계획량보다 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 계획하수량 산정시 사용한 계획 불명수량은 서울시 관거정비율을 고려하여 추정한 것이나 <그림 13>에서 보여지듯이 서울시에서 제시된 처리구역별 관거정비율과 불명수율의 상관관계가 높게 나타나지 않고 있다. 따라서 각 하수처리구역의 불명수량을 계산할 때 관거정비율만을 고려할 것이 아니라 좀 더 구체적인 방법을 고려해야 할 것이다.

현재 서울시에서는 시범대상을 정하여 관거내의 유량 변동을 실시간으로 측정하여 불명수량을 측정하려고 노력하고 있다(서울특별시,

2006) 불명수는 일정하게 유입되며 그 외 하수관거로 유입되는 물은 인위적인 활동에 의해 발생한다고 가정하면 인위적인 활동이 가장 적은 새벽에 유입되는 물은 불명수로 볼 수 있을 것이다. 이 외에도 하수관거 정비 사업을 실시하는 기업에서는 각 사업의 효과를 알아내기 위하여 공사 전후의 하수관거 유입량을 측정하기도 한다. 이렇게 불명수량을 알아내려는 다각적인 방법을 통해 도출된 결과로 앞으로 불명수량을 현재보다 정량적으로 파악할 수 있다면 좀 더 정확한 계획하수량 산정이 가능할 것으로 보인다.



<그림 12> 4개 하수처리장의 불명수 유입량



<그림 13> 4개 하수처리구역의 불명수율과 관거정비율 관계

#### IV. 결론

서울시 4개 물재생센터에 유입된 하수량은 청천시 기준으로 1998년에서 2004년까지 864천 $\text{m}^3$ /일 감소하였다. 그 중 중랑물재생센터에서 가장 많은 감소가 일어났으며 유입하수량을 각 발생원별로 분류하여 검토해본 결과 상수 사용량, 지하수 사용량, 지하철역사 지하수 유입량, 시계의 유입량, 유량산정방식 변경보다 불명수량의 변화가 유입하수량 감소의 주요한 원인으로 판단된다.

불명수량 감소원인은 다음과 같다. 첫째, 노후상수관 교체 및 정비에 의한 누수량의 감소는 그 양만큼 4개 하수처리장 유입하수량 감소에 그대로 반영되지 않아 정량적인 분석이 어려운 것으로 판단되었다. 둘째, 중랑하수처리구역에서의 간·지선관거 개량은 다른 3개 처리구역보다 1.6배에서 5배 많이 시행되어 이로 인해 감소되는 불명수량은 다른 하수처리구역보다 중랑하수처리구역에서 가장 많았으며 불명수량 감소에 16.5%의 영향을 미친 것으로 유추하였다. 셋째, 차집관거 정비 및 확장공사는 다른 하수처리구역보다 중랑하수처리구역에서 2.8에서 13.8배까지 많이 시행된 것이 확인되었다. 따라서 중랑하수처리구역의 급격한 유입하수량 감소는 차집관거 확장공사에 따른 계곡수 및 하천수 등의 불명수 감소로 인한 것으로 판단되었다. 서울시 하수도정비기본계획(변경)보고서에서 제시한 2011년까지의 계획

하수량과 현 시점에서의 실 유입량은 발생하수량과 불명수 부분 모두에서 많은 차이를 보이고 있어 현 시점에서 새로운 계획하수량 산정이 필요하다고 판단된다.

#### 참고문헌

- 건설교통부, 1999~2005, 『지하수조사연보』  
 김갑수·김영근, 2002, 『서울시 하수처리장 유입수 농도증가 원인조사와 대책방안강구』, 서울시정개발연구원.  
 김윤중·원종석·이석민, 2000, 『서울시 지하수관리 통합시스템 구축방안』, 서울시정개발연구원.  
 서울특별시, 1998, 『서울시 하수도 정비 기본계획』  
 서울특별시, 2000, 『지하수관리계획』  
 서울특별시, 2001, 『서울시 하수관거조사 및 정비 기본 설계 종합보고서』.  
 서울특별시, 2002, 『서울시 하수도 정비 기본계획(변경) 보고서』.  
 서울특별시, 2003, 『2002년도 지하수관측자료 분석 및 중랑천유역의 지하수개발가능량 연구』.  
 서울특별시, 2004a, 『제44회 서울통계연보』.  
 서울특별시, 2004b, 『서울시 물순환기본계획 연구』.  
 서울특별시, 2006, 『하수도 종합정비사업의 효과분석』.  
 서울특별시 상수도사업본부, 1999~2005, 『상수도통계연보』.  
 환경부, 2004a, 『상수도통계』.  
 환경부, 2004b, 『하수도통계』.  
<http://jhasu.seoul.go.kr>  
<http://nanji.seoul.go.kr>  
<http://www.tancheon.com>  
<http://www.seonam.seoul.kr>

원 고 접 수 일 : 2006년 11월 1일  
 1차심사완료일 : 2006년 12월 4일  
 최종원고채택일 : 2006년 12월 18일