

하수관거 정비사업의 새로운 시도와 과제

이두진 _ 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, 공학박사

서론

도시의 하수도시스템은 크게 하수관거, 처리장, 방류선(하천, 호수 등)으로 구성되며, 이 세가지 요소의 유기적인 운영과 관리를 통하여 궁극적으로 방류선의 수질향상을 꾀할 수 있다. 이 가운데 하수관거는 인체의 정맥과 같은 역할을 수행하며, 가정이나 공장에서 배출하는 오염된 물을 공공처리장까지 안전하게 수송하는 역할을 수행한다.

하수관거가 기능을 제대로 수행하지 못하면, 하수처리시스템 전반에 영향을 미치게 되고, 하천, 호수 등의 방류수역은 물론이고, 지하수까지 오염을 유발하게 된다.

1979년 우리나라 최초의 도시 하수처리장인 청계하수처리장(현 중랑 하수종말처리장)이 가동되면서 비로소 근대적인 하수도사업이 시작되었다고 할 수 있다. 1988 올림픽 개최를 전후하여 부족한 하수처리장 보급에 전력을 다하였고, 90년대 후반부터는 하천, 호수 부영양화 문제가 심각해짐에 따라 하수처리장 방류수 수질기준에 영양염류(질소, 인)가 추가되고 이로 인하여 고도처리공법이 적극적으로 도입되었다. 2000년대 접어들면서 부실하수관거에 의한 하수도시스템 운영문제가 지속적으로 제기됨에 따라 하수관거 정비사업의 중요성을 인식하고, 사업의 우선순위를 수정하였다.

최근에는 점오염원 관리가 한계에 이르고 방류수역의 오염부하에 비점오염원의 기여도가 높아짐에 따라 하수도시스템과 연계된 비점오염원을 관리하기 위하여 4대강을 대상으로 비점오염원 관리 시범사업이 추진되고 있다.

이러한 정책적 변화과정에서 환경부는 2001년을 “하수관거 정비

元年”으로 선포하고 그동안 공공하수처리장건설 중심의 하수도 정책에서 하수관거 보급 확대 및 부실하수관거 정비 중심의 정책으로 전환하였다.

본격적인 정비사업의 시행에 앞서 타당성 조사를 수행한 결과, 약 26조원의 예산으로 50,607km의 관거정비가 필요한 것으로 조사되었으며, 세계적으로 유례를 찾기 힘든 단기간의 대규모 하수관거 정비사업이 계획되었다. 이를 바탕으로 2001년부터 시작된 “하수관거정비 타당성 조사”, “한강수계 하수관거정비 시범사업”, 댐상류 하수도확충사업 “하수관거 BTL 사업” 등 굵직한 사업들이 연이어 추진되고 있다. 하수도 설계, 시공, 장치 관련 분야에서는 百家爭鳴의 호시절을 만났다고 반기는 이도 있고, 이러한 급속한 사업과 예산투자가 과연 언제까지 지속될 수 있을 것인지, 걱정하는 이도 적지 않다. 단기간에 너무 많은 사업물량이 시행되다 보니, 심지어 전문인력이 부족한 기현상까지 빚어지고 있다.

하수관거는 도시기반시설로서 최소 30년 이상의 내구연수를 고려해서 설계되어야 하고, 도시의 발전과 거주민 삶의 질과 직접적으로 관련이 있기 때문에 더욱 신중하게 계획하고, 시행되어야 할 기초사업이다. 이번 하수관거 정비사업에서는 기존 하수관거 신설이나 정비에서는 시도되지 않았던 새로운 평가기법과 관리방안을 도입함으로써 보다 내실있는 사업진행과 결과를 도출하고자 하였다.

본 고에서는 1단계 하수관거 정비사업(’01-06)이 종료되는 시점에 즈음하여 그동안 사업을 추진하면서 제기되었던 몇가지 문제점들을 짚어보고 향후사업에서 반영할 수 있는 발전적인 대안을 찾고자 하였다.

문제제기

금번 하수관거 정비사업에서 새롭게 도입되었던, 제도 및 평가 방법은 다음 3가지로 요약할 수 있다.

- I. 침입수/유입수 평가
- II. 성과보증 제도
- III. 하수관거 모니터링 시스템 구축

침입수/유입수 평가는 그동안 CCTV, 육안조사에 의존하던 하수관거의 부실을 불명수 유량산정을 통하여 정량적으로 평가하는 것으로 미국, 유럽 등에서는 오래전부터 사용하던 방법이다.

성과보증 제도는 하수관거 정비의 목표달성여부를 정량적으로 평가하기 위하여 앞서 언급한 침입수/유입수의 저감량, 설계수질 달성율, 계획수질 달성여부 등을 도입한 것으로 성과보증 목표치를 사업준공의 필요조건으로 제시함으로써 보다 엄격한 사업관리가 가능하도록 하였다.

하수관거 모니터링 시스템은 하수관거내 유량을 실시간으로 측정할 수 있는 시설로서 하수유량에 대한 정보를 각 소비수역별로 수집하여 관거의 운영상태를 간접적으로 모니터링하고 하수처리장과 연계하여 통합제어가 가능하도록 한 것이다.

이러한 새로운 시도는 그동안의 하수관거 정비사업이 가지고 있던 문제들 즉, 관거부실의 정량적 평가, 정비전, 후의 효과 검증, 관거시스템에 대한 지속적인 감시등을 보완하려는 목적으로 도입되었으며, 하수관거 사업의 수준을 한단계 높일 수 있을 것으로 기대된다. 다만 새로운 정책의 시도 후에는 늘 보완해야 할 문제가 나타나기 마련이고, 더 많은 고민과 논의를 통하여 보다 완성도 높은 제도와 평가기법들로 자리잡을 수 있을 것이다. 이들 제도와 관련하여 그동안 사업에 참여하고 있는 관련 공무원, 설계회사, 건설사들로부터 주로 논의가 진행되고 있는 몇가지 문제를 제기하면 다음과 같다.

- (1) I/I는 외국에서 현재는 쓰지 않는 방법 아닌가?
- (2) I/I는 신설관거에는 적용이 어렵고 관거의 유지관리나 개·보수시에만 적용가능한 것 아닌가?
- (3) 하수관거 정비의 정의 및 범위?
- (4) 하수관거 정비 성과보증 방법?
- (5) 하수관거 모니터링 시스템의 활용방안?

이러한 문제들은 금번 하수관거 정비사업에서 새롭게 시도된 제

도와 관련하여 충분한 이해와 논의가 부족했던 것이 원인으로 여겨진다. 각 주제별로 국내외 사례나 제도를 비교하여 문제점을 되짚어 봄으로써 건설적인 대안을 찾는 데 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

본 론

I/I는 외국에서 현재는 쓰지 않는 방법 아닌가?

I/I는 하수관거의 부실(노후도포함)을 평가하는 여러 가지 방법 중 하나이며, 미국을 중심으로 유럽이나 일본에서도 유량, 수질 모니터링을 통한 I/I 조사 및 평가는 현재에도 널리 이용되고 있다. 하수관거의 성능을 평가하기 위해서 미국에서는 Sewer System Evaluation Survey(SSES)를 실시하고 있으며 여기에는 smoke test, CCTV, I/I 등이 포함되어 있다. 특히 침입수/유입수에 의한 하수관거 과부하, 하수처리장 운영상의 문제 등을 방지하기 위하여 과잉 I/I(Excessive I/I) 개념을 도입하였고 이에 대한 기준을 설정하여 관리하도록 권장하고 있다(EPA, 1985)

Excessive I/I = Transportation + Treatment cost \geq Sewer rehabilitation cost

Non-excessive infiltration : Average DWF \leq 120gpcd(454lpcd)

Non-excessive inflow : Average WWF \leq 279gpcd(1041lpcd)

과잉 I/I란 처리장까지 이송, 처리하는 비용이 관거정비를 통하여 I/I를 저감하는 비용보다 큰 경우 그 초과비용만큼의 저감이

그림 1 비용효과 분석을 통한 적정 I/I 저감량 산정

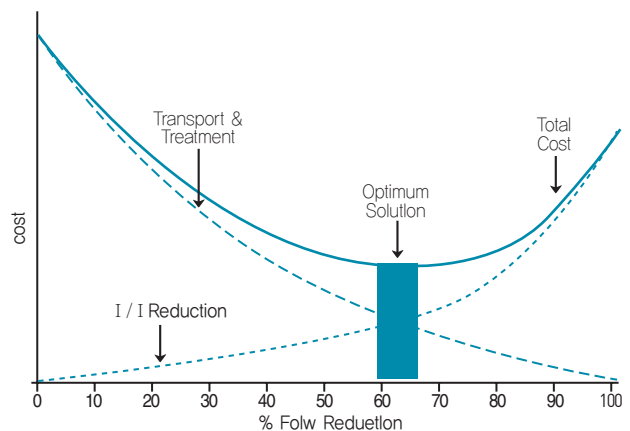
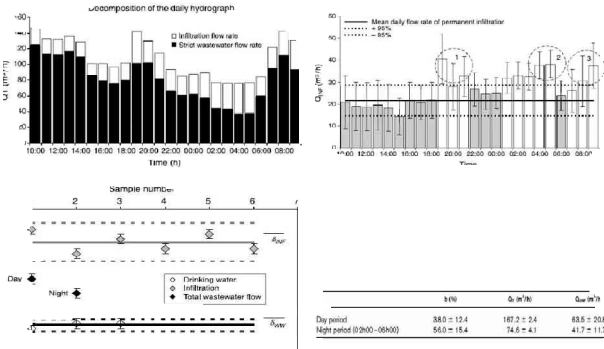


표 1 I/I 조사 및 평가 국외사례

U.S.A	U.K.												
<ul style="list-style-type: none"> - Merrill et al., 2001 <ul style="list-style-type: none"> - detailed and good quality flow monitoring is helping to target priorities and therefore lead to a more cost effective and successful removal program - Controlling inflow and infiltration in wastewater collection system(Wade, 1999) <ul style="list-style-type: none"> - I/I removal rate exceed 50%, most cities can expect cost recovery within a 3 to 5 year period - Niehaus, 1995 <ul style="list-style-type: none"> - One of the most difficult factors involved in removing significant quantities of I/I from sewer systems is the large percentage of sources that are located on private property - Inflow Reduction for CSOs(EPA, 1999) <ul style="list-style-type: none"> - An estimated 20% of CSO volume came from runoff drains. As a result of a \$40 rebate for voluntary redirection and other efforts, some 18,000 homes redirected their roof drains over a three-year period. - In indianapolis, flow monitoring in 400 sub-catchments found that only 27% of the system contributed 80% of the I/I. 	<ul style="list-style-type: none"> - Control of infiltration to sewer(CIRIA, 1996) <ul style="list-style-type: none"> - 1,646 catchment included in survey, 28% were reported to have greater than 25% infiltration and 9% to have more than 50% infiltration - Dry weather flow in sewers(CIRIA, 1998) <ul style="list-style-type: none"> - dry weather flow data from 95 sites in Englands and Wales. Infiltration ranged from 0-89% of total measured dry weather flow, with a mean of 45%(115-120 litres/capita/day) - Sewers for Adoption(Water Uk/WRC, 5th editon 2001) <ul style="list-style-type: none"> - One of the most difficult factors involved in removing significant quantities of I/I from sewer systems is the large percentage of sources that are located on private property - Inflow Reduction for CSOs(EPA, 1999) <ul style="list-style-type: none"> - The guide requires an design flow of 4000 litres/unit dwelling/dry for gravity sewers serving new residential developments. The derivation of this figure effectively allows for 10% infiltration, which equates to 120litres/capita/day 												
FRANCE	Elsewhere												
<ul style="list-style-type: none"> -Measurement of infiltration rates in urban sewer systems by use of oxygen isotopes(Denedittes and Bertrand-Krajewski, 2005) - to measure infiltration rates in sewer systems based on the use of oxygen isotopes(18O)  <table border="1" data-bbox="462 1185 758 1239"> <thead> <tr> <th></th> <th>Q_{inf} (l/s)</th> <th>Q_{ww} (l/s)</th> <th>Q_{tot} (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Day period</td> <td>38.0 ± 12.4</td> <td>187.0 ± 24</td> <td>83.8 ± 20.8</td> </tr> <tr> <td>Night period (0200-0600)</td> <td>56.0 ± 18.4</td> <td>34.6 ± 4.1</td> <td>41.7 ± 11.7</td> </tr> </tbody> </table>		Q _{inf} (l/s)	Q _{ww} (l/s)	Q _{tot} (l/s)	Day period	38.0 ± 12.4	187.0 ± 24	83.8 ± 20.8	Night period (0200-0600)	56.0 ± 18.4	34.6 ± 4.1	41.7 ± 11.7	<ul style="list-style-type: none"> - Singapore(Sharpe and Turner,1999) <ul style="list-style-type: none"> - Detailed hydraulic models were built in each catchment and a total of 178 flow monitors were used with an average sub-catchment size of 32.5ha. Dry weather infiltration 0-57%, storm inflow contributions more than doubled the peak dry weather flow in a 1yr return period event in some catchments. - The New Zealand Infiltration and Inflow Control Manual(1996) <ul style="list-style-type: none"> - Three major issues which have an important influence on successful I/I control . Flow measurement(before and after remedial work), careful investigation of sub-catchments to locate the worst problem areas, and house lateral rehabilitation.
	Q _{inf} (l/s)	Q _{ww} (l/s)	Q _{tot} (l/s)										
Day period	38.0 ± 12.4	187.0 ± 24	83.8 ± 20.8										
Night period (0200-0600)	56.0 ± 18.4	34.6 ± 4.1	41.7 ± 11.7										

필요한 I/I 량을 의미하며, 관거정비의 목표치를 비용-효과 분석에 기초하여 과잉I/I가 발생하지 않는 수준으로 설정하고 있다. 참고적으로 하수관거 침입수/유입수관련하여 최근 외국에서 연구되거나 기술로서 적용되고 있는 사례를 표1에 소개하였다.

I/I는 신설관거에는 적용하기 어렵고 관거의 유지관리나 개보수시에만 적용가능한 것 아닌가?

하수관거 I/I 조사는 관거의 신설, 개·보수에 모두 활용될 수 있다. 신설관거의 경우 수밀테스트가 관거의 누수/침입수를 평가하는 보다 엄격한 기준임에 틀림없으나, 수밀테스트는 일정구간, 즉 맨홀과 맨홀사이의 수밀성을 테스트하는 기준이기 때문에 유역전체에 대한 관거성능을 평가하기에는 무리가 있다. 다시 말해

서 관망(network)으로 형성되어 있는 상태에서 선개념의 수밀테스트만으로는 소유역별로 관거의 건전성을 비교하기 어렵다. 또한 수밀테스트는 강우시 발생하는 I/I에 대해서는 적절하게 평가할 수 없다는 단점이 있다. 기존관거의 경우 지속적인 유량/수질 모니터링을 통하여 I/I를 평가할 수 있고, 특히 관거정비 효과를 정량적으로 평가하기 위해서는 정비 전후의 I/I 평가를 통하여 그나마 정량적인 결과를 얻을 수 있다. 신설관거의 경우에는 I/I 가운데 건기 침입수에 해당하는 허용침입율이라는 기준을 이용

표 2 관경별 허용 침입률 기준

Pipe Diam(in)	Infiltration Permitted	
	(gpd/mile)	(gpd/in. diam/mile)
8	3,500 to 5,000	450 to 625
12	4,500 to 6,000	374 to 500
24	10,000 to 12,000	420 to 500

하여 시공결과를 평가할 수 있다. 표2와 3은 미국의 하수도 설계 기준에서 제시한 허용침입수 기준의 예이다(WEF&ASCE, 1986).

미국은 환경당, 관길이당 허용량을 제시하고 있는 반면, 우리나라에서는 I/I를 총하수량 대비 불명수 유량으로 산정하고 있다. 유량중심의 I/I 비율은 기준하수량의 변동에 의하여 I/I 비율이 변동되는 문제가 있다. 예를 들면 물사용량이 많은 대형건물이 신축되거나 도시인근의 공장이 이전하는 경우, 기초 하수량자체에 큰 변화를 가져오기 때문에 실제로 관거에는 아무런 변화가 없지만 I/I 비율은 높아질 수도 낮아질 수도 있는 맹점을 가지고 있다. I/I를 기준값으로 이용하고자 하는 경우, I/I율의 단위(차원)에 대해서도 재검토가 필요할 것이다.

표 3 도시별 허용침입을 범위

Number of Cities Reporting	Allowance(gpd/in. diam/mile)
4	1,500
4	1,000
1	800
2	700
1	600
63	500
11	450 to 300
16	250 to 150
21	100
5	50

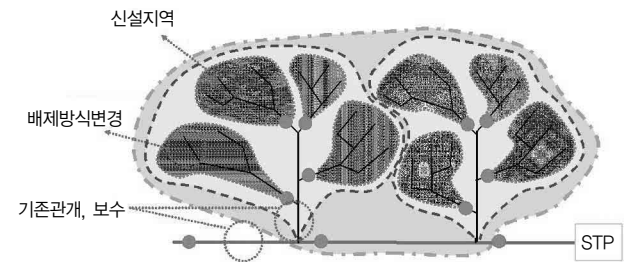
하수관거 정비의 정의 및 범위?

현재 하수관거 사업은 “하수관거 정비”라는 용어에 모두 포함되어 있다. 실상은 하수관거 신설, 기존 합류식 하수관거의 분류화, 분류식 오수관거나 차집관거의 부분적인 개, 보수를 분리해서 이해할 필요가 있다. 모두 하수관거를 개선하는 공통의 목표를 가지고 있지만, 각각의 목적은 다르다. 문제는 이러한 여러 가지 목적의 관거개선 사업이 한 도시내에서도 동시에 추진되고 있다는 점이다. 미보급지역에는 새로운 관거가 건설되고 있고, 합류식으로 매설되어 있던 지역은 분류화를 시행하고, 차집관거는 부분보수를 시행하고 있는 것이다.(표4 참조) 이처럼 여러 가지 목적의 관거사업이 동시에 추진되는 것은 단기간에 하수도 보급율을 향상시키고, 합류식하수관거 월류수, 침입수/유입수에 의한 하수처리장 저농도 하수 등의 문제를 일시에 해결하고자 하였기 때문

표 4 하수관거 정비사업 구분

목적	내용
1. 하수관거신설	미보급지역 관거신설 (분류식 우, 오수관거 신설)
2. 배제방식변경	합류식관거 분류화 (오수관거 신설, 배수설비 분리접속)
3. 부실관거 부분 개, 보수	분류식 오수관거, 차집관거 부분/전체보수

그림 2 하수관거 정비사업의 정의와 구성



이다. 이렇게 여러 가지 목적이 동시에 추진되다 보니, 사업의 우선순위를 설정하는데 어려움이 있고, 사업성과를 평가할 잣대를 제시하기가 쉽지 않은 문제를 낳았다.

방류수역의 수질관리 관점에서는 미보급지역의 관거신설이 최우선되어야 한다. 도시내에서는 서로 다른 배수구역 사이에 신설이 필요한 지역별로 우선순위를 선정하여 신설사업을 추진하고, 배제방식 변경의 경우 상류지역부터 단계적으로 오수관거를 신설하고 우, 오수를 분리하는 것이 바람직할 것이다. 점진적으로 정비사업 구역이 확대될수록 기존관거의 성능을 개선하기 위하여 부분 개, 보수중심의 관거사업으로 안정화를 찾을 것으로 예상된다.

하수관거 정비 성과보증 방법?

성과보증은 사업의 당초 목표가 계획대로 달성되었는지 여부를 정량적으로 평가하기 위하여 도입된 제도로서 계획당시에 정비사업 후 변경될 유량과 수질에 대한 보증수치를 제시하고 단계별로 사업이 종료되는 시점에서 이를 검증하는 형태로 추진되고 있다. 제도의 기본적인 취지는 부실사업을 방지하고 책임시공이 이루어지도록 하기 위한 목적으로 성과보증을 만족하지 못하는 경우, 준공이 되지 못하고 지체상환금을 물어야 할 정도로 엄격

하다. 시범사업 초기에 성과보증 지표로 제시한 것은 일최대 하수량 10%미만의 I/I와 계획대비 85% 수질(BOD기준)이었다. 당시에도 수질이 성과지표로서 적절한지에 대해서는 논란이 많았고, 유량조사사건, 우기에 대한 뚜렷한 구분이 없는 문제, 일최대 하수량의 10%가 적절한 수치인지 등에 대해서 의문이 제기되었다. 실제로 영국(CIRIA, 1998)에서도 수질(NH₄)을 이용하여 침입수/유입수를 평가한 사례가 있었고, 일최대 하수량의 10%는 하수도시설기준에서 제시한 허용지하수량에 근거한 것이었다. 지

금까지 정비사업이 진행되고, 일부 완료된 지역의 성과보증에서 수질은 여전히 많은 문제를 노출시키고 있다. 설계당시 오염부하 원단위, 용수사용량 원단위 등에 대한 자료가 부족하였기 때문에 수질 예측치를 신뢰하기 어렵고, 분류화에 따른 분뇨직투입 등이 시행되면서 많은 변동요인이 발생하였기 때문이다. 유량의 경우에도 미국이나 유럽의 기준과 비교할 때 일최대 하수량의 10%는 매우 엄격한 수치임을 알 수 있다(표5 참조). 일본 하수도시설기준에서도 허용지하수유입량을 일최대 하수량의 10~20%로 범위에서 정하고 있으나, 이는 건기에 해당하는 것

표 5 인구밀집도에 따른 허용침입율 기준

Population Density	Lateral Spacing(ft)	Population (four persons per lateral)	Per Capita Wastewater (gpd)	Total Wastewater	Infiltration (gpcd)	Total(gpd)	Infiltration (%)	Per Capita Infiltration (gpd)
Low	150	141	60	8,460	4,000	12,460	32	28
Medium	100	211	60	12,660	4,000	16,660	24	19
High	50	422	60	25,320	4,000	29,320	14	9.5

표 6 하수관거 정비사업 성과보증 방법 비교

구분	한강수계(1-6공구) 하수관거	BTL 하수관거(16개시, 군)	P시 하수관거(2)	K군 하수관거
발주시기	2002. 12	2005. 6	2004. 10~12	2006. 5
성과보증항목	- 수질(BOD) 및 I/I유입량을 성과보증	- I/I유입량을 성과보증	- 하수량 및 발생수질을 보증	- 하수량 및 발생수질을 보증
성과보증기간 (공사완료후)	- 12개월	- 12개월 동안 I/I유입량을 측정, 분석기간 1개월을 포함하여 총 13개월	- 6개월 연속유량 및 수질조사를 시행	- 6개월 연속유량 및 수질조사를 시행
성과보증방법	- 수질 : 공사완료 후 보증지점에서 1년간 측정된일수질 분석값(유량가중 평균농도)들의 유량가중 평균값이 보증기준 이상 - I/I유입량 : 공사완료후 보증지점에서 1년간 측정된월별 I/I유입량 분석값의 산술평균 값이 보증기준 이하	- 하수처리장 유입부에서 측정되는 일최대 하수량을 토대로 산정된 I/I유입량이 일최대 오수량의 10%(분류식), 15.0%(합류식)이하로 설정 - 일최대 오수량 : 일평균 오수량 × 변동부하율 - 일평균 오수량 : 성과보증기간 동안 측정된 일평균 하수량에서 I/I유입량을 차감한 량 ※ 합류식 지역이 혼재되어 있는 경우 청천시 자료만으로 산정	- 6개월 연속유량 및 수질조사를 시행하고 분석된 결과치가 계약상대자가 제시한 기준을 만족 - 필요시 실시설계 및 공사준공 이전에 현장조사 결과 내지 처리구역내 급격한 인구증가 등의 조건변동으로 유량 및 수질 변동이 예측된다고 판단될 때는 계약상대자 책임하에 전문가의 자문 및 관련자료를 첨부하여 모델의 예측을 통하여 확실한 근거자료를 제시한 경우에는 유량 및 수질조건의 변경제시는 각 입찰사가 제시한 기본설계 제시조건을 상회하거나 20%이내 감소만이 가능하다.	- 6개월 연속유량 및 수질조사를 시행하고 분석된 결과치가 계약상대자가 제시한 기준을 만족 - 필요시 실시설계 및 공사준공 이전에 현장조사 결과 내지 처리구역내 급격한 인구증가 등의 조건변동으로 유량 및 수질 변동이 예측된다고 판단될 때는 계약상대자 책임하에 전문가의 자문 및 관련자료를 첨부하여 모델의 예측을 통하여 확실한 근거자료를 제시한 경우에는 각 입찰사가 제시한 기본설계 제시조건을 변경 가능하다.

으로, 분류식하수관거에서는 우기시 설계자가 신중하게 판단하여 별도의 허용유입량을 인정해야 한다고 명시하고 있다. 표5는 미국의 하수도시설기준에 제시하고 있는 허용 I/I를 하수유량비율로 환산한 값이다. 도시의 주거밀집도에 따라 차이가 있으나 우리나라 시설기준에서 제시하고 있는 일평균 하수량의 1.5배를 일최대 하수량으로 고려하는 경우 침입수비율은 9.5~24% 사이임을 알 수 있다.

성과보증에 대한 논란이 끊이지 않는 가운데, 유역특성과 정비사업의 진행방향이 다른 여러 지자체에서 획일화된 성과보증 기준의 적용이 가능한지에 대해서 많은 논란이 야기되고 있다. 표6는 관거정비 사업별 성과보증 방법을 비교한 것으로 시범사업단계에서도 성과보증방법이 조금씩 차이가 나고 있고, 설계당시에 자체기준을 제시하는 방향으로 전환되고 있음을 알 수 있다.

이처럼 성과보증 기준이 관거정비사업의 정량적인 평가기준으로 제역할을 다하지 못하는 원인은 어디에 있는가? 이는 현재 추진되고 있는 관거정비사업의 구조적인 문제에 기인하는 것으로 생각된다. 관거정비사업의 용어정리에서도 언급하였듯이 동일한 사업구역내에서 관거신설, 배제방식변경, 부분적인 개, 보수사업이 동시에 추진되고 있기 때문이다. 이 세가지 사업은 관거정비내에 포함될 수 있지만, 각각의 목적이 다르기 때문에 이를 하나의 성과보증(I/I를 중심으로 한)기준으로 평가하기에 어려움이 있는 것이다. 관거신설의 경우 전, 후 I/I조사를 통하여 성과보증을 평가할 대상이 아니며, 배제방식변경의 경우 기존 합류식 하수관거에서 조사한 I/I가 큰 의미를 가지기 어렵다. 따라서 각 정비사업의 목적별로 차별화된 성과지표가 필요하며 사업의 특성을 반영할 수 있는 평가방법에 대해서 더 많은 고민이 필요할 것으로 사료된다.

수밀test, CCTV, 허용 Infiltration rate

USA

- Maximum allowable infiltration rate: 5-20 L/d/mm diam/Km
- Allowance for manhole : 4L/hr/m diam/m head

REF. : ASCE & WPCF, Gravity Sanitary Sewer Design and Construction(1982)

U.K.

The guide requires a design flow of 4000 litres/unit dwelling/dry for gravity sewers serving new residential developments. The derivation of this figure effectively allows for 10% infiltration, which equates to 120litres/capita/day

REF. : Water UK/Wrc, 5th edition(2001)

JAPAN

지하수량 : 경험적으로 1인 1일 최대 오수량의 10~20%를 목표로 계획(청천시)

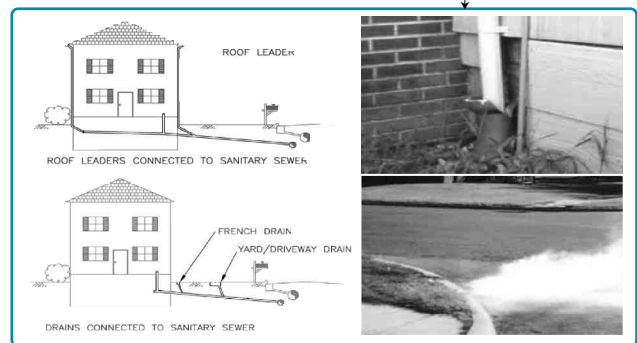
(1) 관거 신설지역

새롭게 관거를 매설한 지역에서는 기존에 시행하고 있는 수밀시험과 CCTV 조사에 덧붙여 설계 허용 I/I율 도입하여, 건설 이후 관거 I/I량(건기)이 허용기준을 만족하는지 여부를 평가할 필요가 있다. 허용 I/I율은 아래와 같이 각 국가별로 기준을 제시하고 있는데, 특징적인 것은 침입율의 기준을 산정하는 방식이 모두 다르다는 것이다. 미국은 관경당, 관길이당 발생유량을 기준으로 하고, 영국은 일인당 하루발생유량(LPCD)으로 일본은 하수유량대비 비율로 정하고 있다. 우리나라 관거에 적용할 수 있는 기준을 마련하는 것이 시급하며, 택지개발지구, 신도시 등을 대상으로 기초자료를 축적한다면 우리나라 실정에 맞는 허용 I/I율을 도출할 수 있을 것이다.

(2) 배제방식 변경지역

합류식에서 분류식으로 전환하는 경우 기존관거를 우수관거로 활용하고 새롭게 오수관거를 매설하는 형태로 진행되기 때문에 형식적으로는 관거 신설지역과 동일하다고 할 수 있다. 그러나 현재의 관거정비사업에서 가장 까다로운 부분이 배제방식 변경 구간이다. 배수설비에서부터 우, 오수분리가 제대로 이루어져야 하고, 배수유역사이에서 불완전하게 분류화가 이루어지므로, 한 시적으로 합병식의 형식을 유지할 수밖에 없다. 분류화로 전환된 우수관거를 이미 시행하고 있는 CCTV나 Smoke test를 통한 오점조사와 함께 허용 I/I 율을 반영하는 것이 바람직할 것이다.

수밀test, CCTV, 허용 Infiltration rate, 오점조사



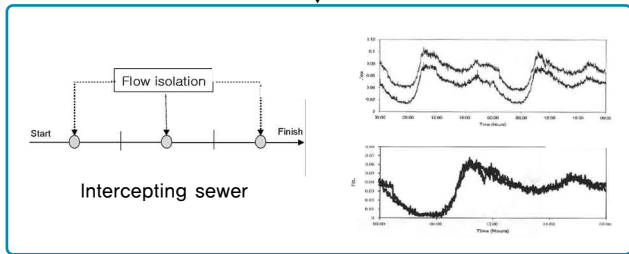
(3) 기존 관거 개·보수

기존관거 개·보수의 경우 관 상태가 취약한 일부구간을 부분적으로 보수하는 형태로 부분 굴착, 비굴착 전면, 비굴착 부분보수 공법들이 적용된다.

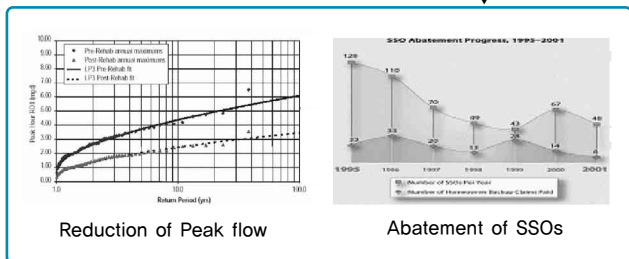
관거시스템에 큰 변화가 없기 때문에 사업 전, 후의 I/I를 비교하

는 것이 가능하며, 분류식지역에서는 우기시 강우유발 침입수/유입수(Rainfall dependant infiltration/inflow)를 조사하여 동일한 강우량조건에서 전후 감소량을 비교하는 것도 한 방법이 될 수 있다.

수밀test, CCTV, 사업 전·후 Infiltration rate(건기) RDI/I



수밀test, CCTV, 사업 전·후 Infiltration rate RDI/(우기)



(4) 성과보증방법 제안

하수관거 정비사업의 성과보증제도는 고질적으로 문제로 인식되어 온 부실시공문제를 개선하고, 보다 과학적인 시공관리가 가능하도록 도입한 제도이다. 도입 취지와는 달리 다소 논란의 여지가 있으나, 관거정비 사업의 목적별, 지역별 특성, 비용-효과 등을 고려하여 보다 유연하고, 논리적인 성과기준으로 수정, 보완한다면 하수관거 정비사업의 새로운 지침이 될 수 있을 것이다. 덧붙여 모든 지역에서 획일화된 기준을 적용하는 것은 바람직하지 않으며 하수관거 정비목적별로 평가방법을 달리하는 것이 타당할 것이다.

앞서 언급한 정비사업의 특성을 고려하여 몇가지 방법을 제안하면 다음과 같다.

제 1 안 허용 I/I 기준달성 비율을 점수화하는 방법

: 신설, 배제방식변경, 기존관 보수 대상관로 길이비율에 각 사업의 허용 I/I rate 달성율을 곱하여 최종점수 도출(기준점수 100점)

$$(1) Lt = Ln + Lc + Lr$$

(Ln: 신설관거길이, Lc: 배제방식변경관거길이, Lr:기존관 개보수 관거길이)

$$(2) \text{신설지역의 관로길이 비율} = Ln/Lt$$

$$(3) \text{신설지역의 I/I rate 달성율} = AIr/NIr$$

(NIr: 신설지역 I/I율, CIr: 배제방식변경지역 I/I율, RIr: 기존관 개보수지역 I/I율, AIr: 허용 I/I율)

$$(4) \text{최종점수} = 100 \times (Ln/Lt \cdot AIr/NIr + Lc/Lt \cdot AIr/CIr + Lr/Lt \cdot AIr/RIr)$$

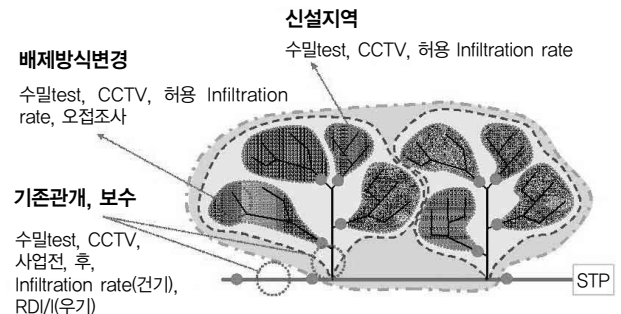
(필요하다면 신설, 배제방식변경, 부분보수 사업의 중요도에 따라서 각각 가중치 부여, 신설(0.4), 배제방식변경(0.4), 부분보수(0.2))

제 2 안 목적별 구간별 주요 지표로서 성과평가

: 각 목적별로 제시된 기준값의 만족여부로 성과 평가

- (1) 신설 및 배제방식 변경구간 : 수밀시험기준, 허용 I/I rate 모두 만족
- (2) 기존 관 개, 보수 구간 : 계획시 I/I 목표 저감량 설정 후 달성여부 평가

그림 3 하수관거 정비 목적별 성과평가 방안



제 3 안 비용-효과분석을 통한 성과평가

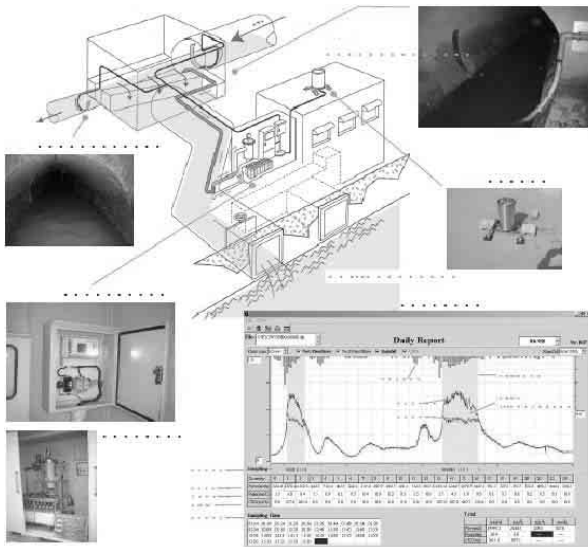
: 관거정비의 최종목적은 방류수역의 수질향상이므로, 각 요소 사업별로 투자대비 오염저감효과를 비용으로 분석하는 방법이다. I/I저감량은 하수처리비용 절감으로, 배제방식변경효과는 방류수역의 유출오염부하 저감량을 제시하고 이를 달성하기 위하여 기존관거 시스템에서 추가적인 처리시설(월류수를 대상으로)에 소요되는 비용을 산정한 후 관거정비 사업비와 비교하는 것도 한 방법이 될 수 있을 것이다.

하수관거 모니터링 시스템의 활용방안?

하수관거 모니터링 시스템은 관거 내에 유량을 실시간으로 측정하여 하수관거 기초자료와 함께 DB로 구축하는 것을 의미하여, 하수관거 이상유무 파악, 관거 부실도 정량분석, 유지관리 원격

체계 등의 작업을 수행하도록 설계된다. 몇몇 지자체에서 시범사업을 통하여 영구적인(Permanent) 모니터링 시스템이 도입되고 있다.

그림 4 하수관거 모니터링 시스템 개요



최근 상,하수도의 다양한 분야에서 유비쿼터스(Ubiquitous) 개념의 실시간 모니터링(Real Time Monitoring), 원격제어(Remote Control), 실시간제어(Real Time Control), 의사결정지원(Decision Support System) 등 IT에 기반을 둔 첨단기술의 접목이 시도되고 있다. 특히, 상하수도시스템에서는 지속적으로 공급되는 상, 하수량을 실시간으로 감시하고, 제어하기 위한 장치와 기술개발이 이루어지고 있다. 하수관거 모니터링시스템도 이러한 기술의 일환으로 볼 수 있으며, 계측센서, 네트워크시스템, DB 시스템 등의 관련 산업이 연계되어 있다. 하수관거의 실시간 감시에서 취득가능한 자료는 1차적으로 유량자료이다. 관거 내 설치된 유량계로부터 유속과 수위가 측정되고, 해당구역의 실시간 유량이 DB 연산서버에 저장되며, 분석작업에 맞도록 가공하여 이용된다. 문제는 5분에서 10분단위로 측정된 유량데이터를 어떻게 활용할 것인가? 하는 것이다. 사업계획서 등에서 제시하는 활용방안도 실시간 1/I 분석, 하수원단위 산정, 강우유입 유량 산정 등으로 기본적이고, 단순한 활용에 그치고 있어 더 많

그림 5 유량패턴분석을 통한 과유량 현상 해석

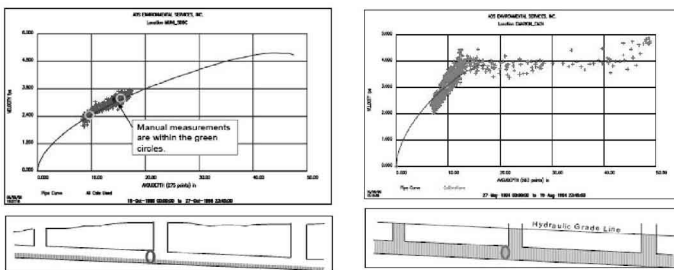


그림 6 유량패턴분석을 통한 과유량 발생지점 해석

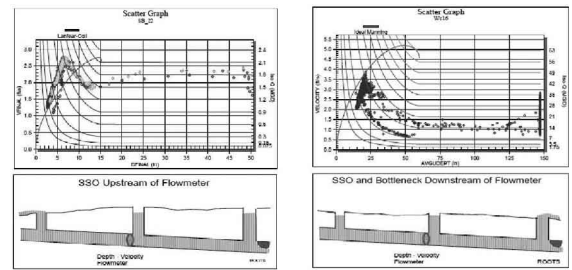
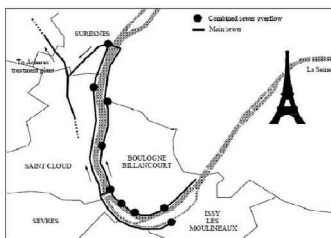
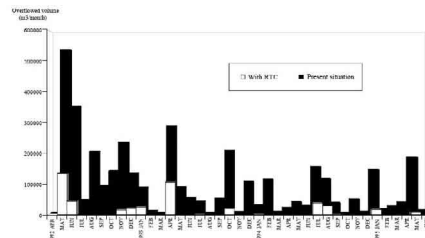


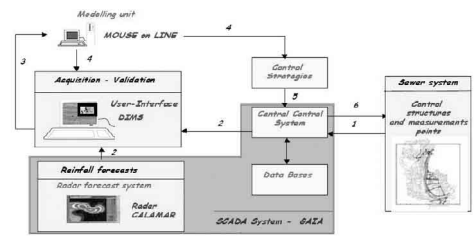
그림 7 RTC를 이용한 월류유량 제어 프로젝트 사례



a) 유역의 월류지점



b) RTC를 통한 월류유량 저감효과



c) RTC 개념도

은 고민이 필요한 것으로 판단된다. 실시간 모니터링은 궁극적으로 실시간 제어시스템을 염두에 둔 것으로, 하수관거에서 발생가능한 문제점을 사전에 인지하고 이를 적절하게 관리할 수 있는 알고리즘과 시스템 구축이 뒤따라야 한다.

외국의 몇가지 예를 살펴보면, 분류식 오수관거에 설치된 유량계로부터 취한 자료를 scattergraph로 표현하고, 해석하여 상관관계를 파악하게 되면 강우유발침입수에 의해 발생하는 surcharge나 back water의 발생원인, 발생지점 등에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그림 5는 유량 scattergraph를 이용하여 정상시 유량과 과유량시 나타나는 유량패턴을 비교한 것이고, 그림 6은 과유량 발생지점에 따른 유량패턴을 해석한 결과이다.

그림7은 프랑스 Boulogne Billancourt를 포함한 유럽의 8개 도시에서 추진 중인 SPRNT226 프로그램의 일환으로 Seine강 유역에서 하수관거-하수처리장 통합모델을 이용하여 월류수를 실시간으로 제어하는 프로그램을 개발하는 프로젝트를 소개한 것이다. 강우량에 따른 강우유출 모델과 펌프장, 월류수문이 연동되는 실시간 제어 프로그램을 통하여 월류유량 80%, 월류오염 부하 90%를 저감시킬 수 있는 것으로 예측되었다(Kopecny, et al., 1999).

실시간 유량 감시의 경우 특히, 강우시 발생유량을 예측하고, 하수처리장에서 대응운전이 가능하도록 기초자료를 제공할 수 있으며, 궁극적으로 방류수역으로 배출되는 오염총량을 저감시킬 수 있는 효과가 있다.

결론

금번 하수관거 정비사업은 하수도분야에서 흔히 이야기 하는 blue ocean으로서 새로운 시장을 창출하고 있다. 많은 예산과 인력을 투입하여 타당성조사와 시범사업이 수행되고 있으며, 시범사업에서 도출된 몇가지 문제들을 수정, 보완하면서 각 지자체별로 추진되고 있다.

이번 정비사업을 통하여 하수관거의 설계, 시공, 유지관리 전반에 걸쳐 새로운, 아니 기초에 충실한 기술과 경험을 습득하고 정책적, 기술적으로 한단계 성장할 수 있기를 기대한다. 기초자료 및 정보의 체계적인 관리, 정비우선지역의 선정방법, 정량적인 성과평가 방법, 선진화된 하수관거 유지관리 기법, 관거 - 처리장 연계운영 기법, 하수관거와 연계된 도시 비점오염원 관리 등 조금 더 고민하고 가야할 문제가 아직도 많다. 타당성 조사와 한

강수계를 중심으로 한 1차 시범사업('01-' 06)이 종료되고 있는 시점에서 하수관거 정비사업의 방향을 다시한번 整備하는 여유가 필요하다.

하수관거의 설계, 시공, 유지관리 관련기술들은 IT로 대별되는 소위 High technology와는 거리가 먼 오히려 Low technology라 할 수 있는 기초기술이 대부분이다. 기초가 부실하면 응용이 어려운 것은 비단 수학문제에 해당되는 것이 아님을 우리는 잘 알고 있다.

High tech와 유비쿼터스를 논하는 시대에 19세기 기술로 인식되는 하수관거사업의 중요성이 갑자기 부각된 것은 아이러니가 아닐 수 없다. 하지만 우리사회가 그동안 기초에 충실한 것, 정도를 지키는 것의 가치에 인식하지 않았는지 되묻고 싶다. 화려해 보이는 IT, BT 기술로 인해 우리나라는 첨단기술 강국으로 포장하고 있지만, 부실한 관거로 인하여 하천으로 방류되는 우수관거에서 오수가 흘러나오고 비가 오면 하천에 물고기가 떠오르는 사진을 어렵지 않게 접할 수 있다.

하수관거 정비사업이 범 국가적인 사업으로 추진되는 것은 이번이 마지막일 것이다. 부실시공, 부실관리로 인한 하수관거정비사업도 이번이 마지막이길 기원한다.

지금부터 건설되는 하수관거는 50년, 100년이 지난 우리 후대기술자에게 선배들의 지혜와 정성이 고스란히 전달될 수 있는 역사가 되길 기대한다. ☺

참고문헌

ASCE and WPCF, Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, 1982

CIRIA, Dry weather flow in sewer; CIRIA Report 177; Ainger, Armstrong and Butler, 1998

Enfinger, K.L. and Kimbrough, H.R., Scattergraph Principles and Practice - A Comparison of Various Applications of the Manning Equation, Proceedings of the Pipeline Division Specialty Conference; San Diego, CA: American Society of Civil Engineers: Reston, VA., 2004

EPA, Infiltration/Inflow(I/I) Analysis and Project Certification), 1985

EPA, Innovative Urban Wet-Weather Flow Management Systems, 1999

Kopecny, Emmanuel et al., Real Time Control of the Sewer System of Boulogne Billancourt a Contribution to Improving the Water Quality of the Seine, 3rd DHI Software Conference, 1999

Stevens, P.L. and Sands, H.M., SSOs Leave Telltale Signs in Deph-Velocity Scattergraphs, Seminar Publication – National Conference on Sanitary Sewer Overflows, United States Environmental Protection

Agency, EPA/625/R-96/007: Washington, D.C., 1995
WRc, The Sewerage Rehabilitation Manual(4th edition), 2001

미국물환경연합(WEF) 정기회의 및 전시회 참관단 모집 안내

우리협회에서는 상·하수도부문의 선진기술 습득 및 정보교류를 위하여 금년에 아래와 같이 미국물환경연합(WEF) 정기회의 및 전시회에 파견할 참관단을 모집합니다.

자세한 참관일정 및 신청방법은 내용이 확정되는 대로 협회 홈페이지 게재할 예정이오니, 참관을 원하시는 회원들(지자체공무원, 개인·기업·단체회원)께서는 많은 관심 부탁드립니다.

1. 행사기간 : 2006년 10월 21일(토) ~ 10월 25일(수)
2. 개최장소 : 미국 텍사스주 달라스 컨벤션센터
3. 신청기한 : 8월 중(자세한 내용은 홈페이지 공지)
4. 참석대상 : 지자체공무원, 개인·기업·단체회원

교육
훈련

정보

행사

시험

www.kwwa.or.kr

물은 생명 그리고 미래입니다

☎ 문의처 : 기술지원처 기술연구팀 최성현

(Tel : 02-3156-7753, Fax : 02-3156-7778)

※ 참관일정 및 비용 등 보다 자세한 사항은 추후 공문 및 홈페이지로 공지 예정