

하수관망의 최적 설계 및 유지관리 시스템개발

김응석 (고려대학교 부설 방재과학기술연구소, 선임연구원)

박무종 (한서대학교 토목공학과, 조교수)

김정환 (P.H.D(주), 대표이사)

1. 서론

도시 및 경제적 발전에 따른 용수의 사용의 증가로 인해 하수도의 중요성은 해를 거듭할수록 부각되고 있다. 또한, 현재 국내의 하수도 보급률은 전국에 90% 가까운 실정이다. 그러나 60년대 이후 하수도 보급을 위해 신설한 관로 및 하수처리장 등의 시설물은 2002년 현재 양적인 측면에서는 많은 보급률을 나타내고 있으나 설계 및 유지관리 등의 측면에서 미비한 실정이다. 즉, 하수도의 개념을 관거와 하수처리장만을 생각한 기존의 정책으로 정책에서 비롯된 것이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 보다 더 효율적인 하수관거의 설계 및 유지관리계획의 도입이 필요하다.

경제적 성장과 도시화는 강우로 인한 직접유출량 및 생활오수량의 증가를 가져왔으며 이는 심각한 수질오염문제를 야기한다. 즉, 강우는 생활오수와 함께 각종 오염원을 동반한다. 반면, 국내의 하수관망은 과거 60~70년대에 설치되어 관거의 노후화로 인한 불명수의 증가와 이로 인한 각종 문제가 야기되고 있고, 정확한 수리 수문 해석에 의한 계획

및 설계가 이루어지지 못하고 있다. 따라서 최신기법에 의한 우수 오수 관망 설계는 우수, 오수 및 불명수량의 예측정확도를 높이고 가장 경제적인 접근방법이 도입되어야 한다. 이는 현재 하수도 시설의 건설 및 개 보수를 위한 투자 효율성을 개선시키는데 기여할 수 있다. 즉, 우수 오수 관망의 공사는 많은 투자를 필요로 하는 대규모 사업이기 때문에 최신의 설계기법에 의한 정량적인 최적비용 설계를 위한 기술개발 및 도입의 필요성이 대두되고 있다.

하수도 시설은 크게 생활오수, 강우로 인한 오염수를 차집, 운반, 처리하여 공공수역의 수질방지와 홍수로 인한 시가지 침수 범람 방지의 목적을 가지고 있다. 즉, 수량 및 수질적 측면을 동시에 만족시켜야 한다. 그러나 기존에 설치된 하수도 시설은 우수원단위에 대한 기초자료 미흡, 하수관거의 시설 및 최소관리체계에 따른 누수 및 불명수(I/I) 유입 등으로 실제 하수처리장에 유입되는 하수량 및 수질이 설계값과 크게 다른 결과를 나타내고 있다. 따라서 기존 하수도 시설의 유지관리를 위해서는 보다 정량적인 분석 및 관리를 위한 종합자동화 유지관리시스템의 도입이 절실한 실정이다.

2. 현황 및 문제점

현재 각 지방자치단체에서는 하수관거정비를 위하여 하수도 시설의 전반에 걸쳐서 노후된 하수관거 및 시설을 조사하여 개선하는 사업을 수행하고 있다. 기존의 하수관거정비 사업은 하수관거의 조사방법, 조사항목, 기준 등을 정량적 해석이 아닌 관련 기술자의 정성적 해석에 의해 수행되었다. 따라서 이러한 문제점을 개선하고자 2001년부터 "한강수계 하수관거정비 시범사업"을 수행하고 있다. 그러나 개선하고자 하는 시범사업은 기존의 범주를 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 이러한 대표적인 사례를 열거하면 다음과 같다.

① 현장자료 조사 및 분석

기존의 하수관거정비를 위한 자료 조사는 기초자료, 관련계획, 방류수역, 부하량, 하수도시설, 환경기초시설 등 많은 조사를 수행하고 있다. 그러나 조사된 항목이 실제 관거정비사업에 적용되기보다는 단지 조사에 그치고 있는 실정이다. 또한, 기존의 관거정비 대상 지역의 현장조사는 관거기초, 침입수/유입수 조사 등을 실시하고 있다. 이러한 조사에 있어 조사방법의 기준 및 항목 등이 체계적이라 할 수 없다. 즉, 관거기초 조사항목의 경우 "하수도 시설기준"과 기존의 보고서(대표적으로 1998년에 수행한 서울시 보고서)와 상이한 조사항목을 분석하였다. 또한 침입수/유입수 산정 방법도 다양한 방법이 있으나 지역별로 적합하고 체계적 방법을 제시하지 못하고 있다.

② 초기강우 관리(CSOs)

강우로 인한 방류수역의 오염을 차단하기 위한 초과유량(CSOs)은 현재 규모산정에서부터 많은 문제를 노출시키고 있다. 그러나 "한강수계 하수관거정비 시범사업"에서 월류수 및 초기강우 관리 내용은 단지 우수토실 등과 같은 시설 투자에 국한한 내

용으로 기술되었다. 실제 월류수 및 초기강우의 기준이 되는 가장 중요하면서도 대상지역에 적합한 강우량 산정 기준 및 처리량 산정에 관한 방법론적 분석 기법 등 기본적인 항목 등이 제외되어 있다.

③ 사업우선순위 평가

조사된 자료를 근거로 우선적으로 개량(교체/갱생/유지관리)할 관거의 사업 우선순위를 평가하는 방법은 조사된 항목별 점수를 기준으로 단순히 점수평가(numerical weighting method)에 의해 수행되고 있다. 특히 항목의 선정이나 항목별 가중치 산정에 있어 정확한 기준 없이 기존의 조사결과에 대하여 정성적으로 기술자의 판단에 의해 수행되고 있다. 이는 지하에 매설된 하수도 시설이 지역적 특성에 따라 많은 변수를 내포하고 있다는 사실을 반영하지 못하고 있다. 또한, 우선순위를 광범위하게 행정구역별(구 또는 동)로 구분 선정하여 정확한 예산집행에 어려움을 내포하고 있다. 즉, 보다 정량적 방법에 의해 하수관거 혹은 배수분구별 정확한 개량계획의 수립이 필요하다.

④ 유지관리

하수관거 유지관리를 위해 필요한 모니터링 시스템 구축은 국외의 적용사례를 기준으로 유량계 및 강우량계의 필요성을 언급하였다. 관리시스템 구축에 필요한 자료의 수집 및 관리를 위해 GIS의 필요성을 언급하고 있다. 그러나 유량계 및 강우량계의 설치에 따른 자료의 수집항목 및 이를 이용한 유지관리에 대한 정확한 사용 목적 및 이용방안을 제시하지 못하고 있다. 또한 GIS의 이용은 이미 실제 국내 상수도 시설물 관리에 이미 많이 보급되고 있는 실정이다. 그러나 상수도의 시설물 관리에서 실제 필요한 자료의 관리 항목 및 응용 프로그램의 부제로 인해 현재 GIS 도입 취지가 기능을 하지 못하고 있다. 따라서 하수관거의 유지관리를 위한 GIS적용 및 구축 방안에 대해 보다 신중히 접근 방법이 필요하다.

⑤ 사업효과 분석

하수관거 정비에 개선효과는 수질개선비용의 절감에 따른 편익, 정화조 설치 및 관리비 절감에 따른 편익, 생활환경 개선효과로 인한 편익 등으로 구분하여 언급하고 있다. 그러나 편익분석에 있어서 가장 중요한 요소 값들을 가정하여 분석하였다. 즉, 보다 정량적인 분석 방법을 이용하지 못하고 있다. 특히, 유입하수량 편익분석은 관거사업 완료 후 불명수감소에 따른 하수종말처리장의 유입량의 감소를 가정하여 이를 편익으로 분석하고 있다.

⑥ 하수관망 설계의 문제점

현재 하수관로의 설계는 신설관의 경우에도 과거 60~70년대 설계기법 및 기술자의 임의적 판단에 의하여 하수관거의 설계가 이루어지고 유속범위(0.6~3.0m/sec) 및 지형조건의 적합성을 검증하고 있다. 그러나, 이러한 경우 유속 및 지형조건 만족 범위가 방대하여 경제적인 최적의 설계가 구현되지 못하는 단점이 있다. 따라서 수리적, 지형적 및 기타 정책적 조건을 만족하면서도 최적의 경제적 설계기법을 도입한 하수관로의 설계가 이루어져야 한다. 특히 설계유량의 산정에 있어서 생활오수와 무관하게 발생하는 오염발생 강우량 및 지하수량의 예측이 오수량의 비율로 산정되고 종 평면계획도 임의적 판단에 의해 이루지고 있다.

⑦ 유지관리 체계의 문제점

현재 하수관거의 유지관리는 설계정보를 관리관청에서 보관하고, 하수처리장에서의 유입유량 및 수질계측에 의하여 최소한으로 유지관리되고 있다. 이는 수많은 유역분구로 이루어진 하수처리장으로의 유입관거망에 대한 개별정보 축적이 전무한 실정이다. 따라서 하수처리장 단위로 이루어진 유지관리체계를 하수분구별로 구분하여 유량 및 수질계측과 계측정보의 실시간 정보화 및 정보의 DB화는 물론 GIS를 도입하여 하수관로 및 지형정보체계를 구축하여야 한다. 또한 하수의 처리를 위해 계측된

유량 및 수질 정보로부터 하천내방류 또는 분구내 처리나 하수처리장으로의 방류 등을 실시간으로 조정할 수 있도록 하고, 중장기적으로 하수관거의 개량과 하수처리장의 증설 또는 간이처리시설의 설치 등의 계획 수립체계를 함께 구축 하여 관리하여야 한다.

3. 시스템 구축 방안

3.1 최적설계 시스템

최적 설계시스템은 다음 그림1과 같이 크게 하수관거의 설계 및 평가, CSOs의 최적관리, 개량우선순위 분석, 하수관거 개량효과 검증 등 4가지로 구분된다.

기존의 하수도정비 기본계획에서 하수관망의 설계는 대상유역에 대한 도시 수문해석을 통한 5~10년 정도의 저빈도 홍수량에 설계되어 있으며 갈수록 심각해지는 국지성 호우 등 강우량 증가에 따른 통수능 검토가 이루어져야 한다. 기존의 하수관망의 수리계산은 수리특성곡선을 이용하여 관거의 경사 및 유속, 최소관경 등을 시행착오적 방법으로 산정하였다. 최적 관망시스템 설계는 앞에서 언급한 시행착오적 방법을 이용한 설계와는 달리 관망 설계에 필요한 비용함수 및 제약조건을 바탕으로 최적화 기법을 적용하여야 한다. 이를 통해 설계 유량 및 유속 등을 만족시키면서 최소의 비용이 드는 관망을 설계할 수 있게 된다.

CSOs 최적관리는 강우 초기에 발생하는 유출에 대한 비점오염원 등의 많은 오염물질 등을 관리하는 것이다. 이를 관리하기 위해서는 오수관거로 유입된 강우를 차집관거 등의 시설물이 필요하다 그러나 이러한 차집관거의 용량 설계 및 기준은 설계 강우강도, 강우량, 빈도 등에 따라 결정된다. 따라서 이러한 기준을 제시하기 위해서는 해당지역 적합한 수문해석이 필요하다. 개량 우선순위 분석은

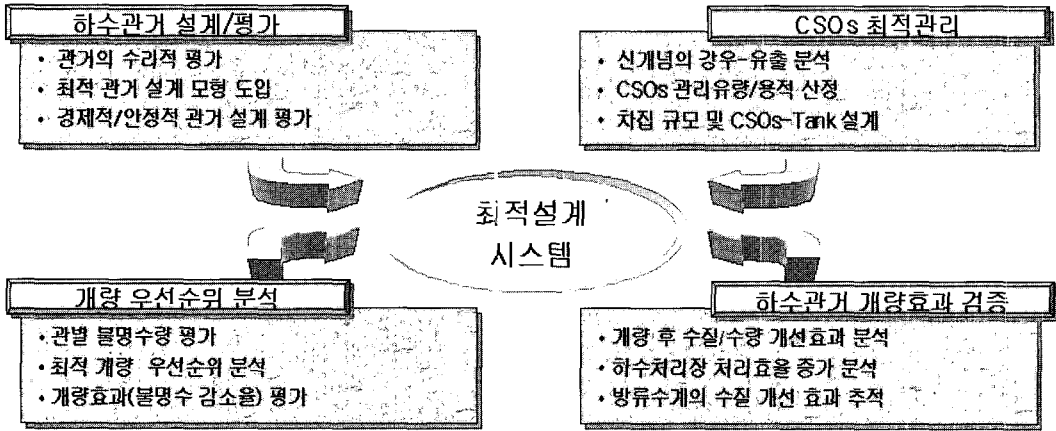


그림 1. 최적설계 시스템

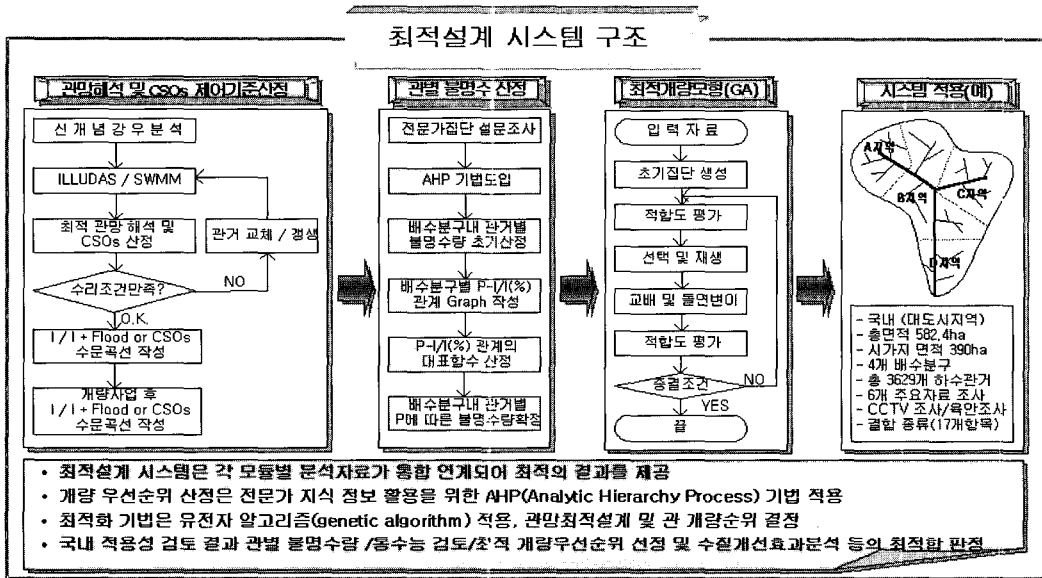


그림 2. 최적설계 시스템 구축 예

관거 정비사업 지역을 대상으로 주어진 예산 범위 내에서 최적의 개량효과를 얻기 위해서 관 및 분구별 불명수량을 산정하여 이를 바탕으로 관 개량 시 불명수 감소율을 산정하고 이를 바탕으로 제한된 예산범위 내에서 최적의 개량우선 순위를 분석하는 것이다. 하수관거 개량효과 검증은 개량 우선순위에 따른 개량 후의 하수처리장의 유입 수질 및

유량을 바탕으로 개량 전의 하수처리후의 처리장 주변의 하천의 수질을 비교하는 것이다. 즉, 하수관거의 개량에 따른 하수처리장의 설계 수질 및 유량을 비교할 수 있으며 또한, 처리장 주변의 수질을 개량 전 후를 비교할 수 있다. 다음 그림 2는 실제 구축된 최적 설계시스템의 예를 나타내었다.

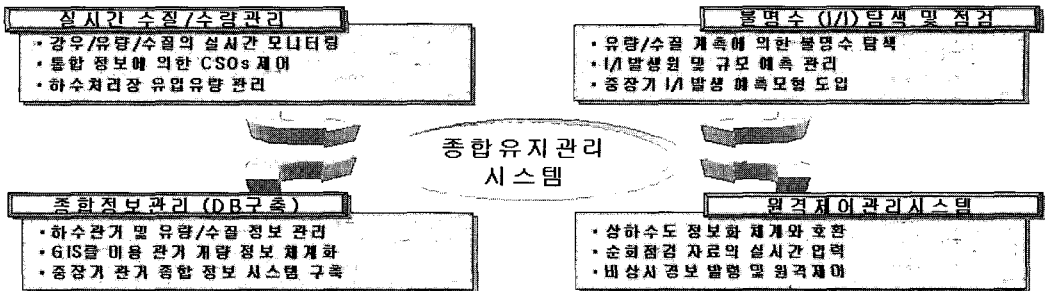


그림 3. 종합 유지관리 시스템

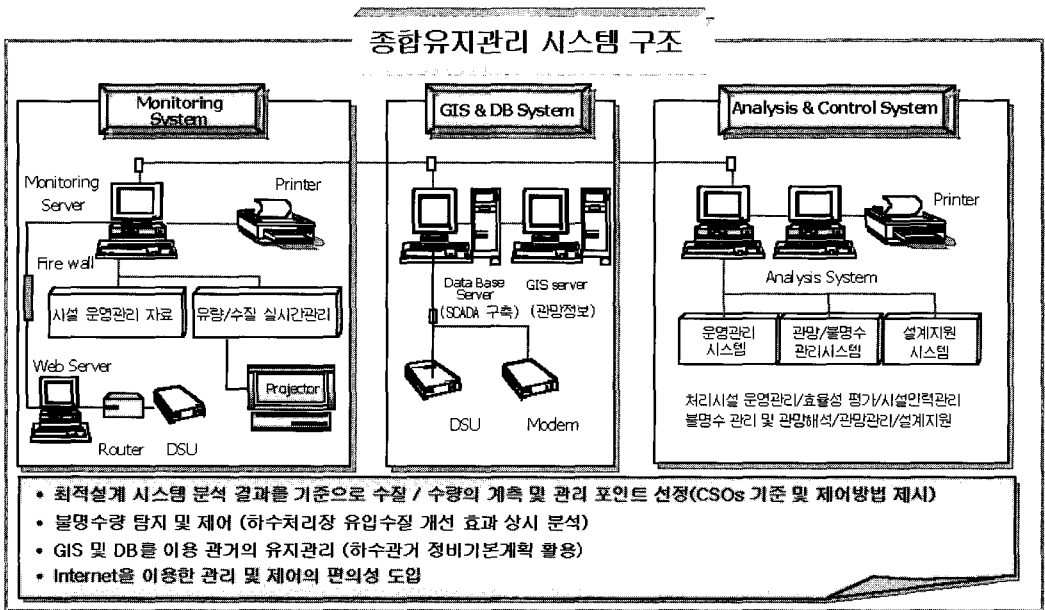


그림 4. 종합 유지관리 시스템 구축 예

3.2 종합 유지관리 시스템

종합 유지관리 시스템은 다음 그림3과 같이 크게 실시간 수질 및 수량 관리, 불명수(I/I) 탐색 및 점검, 종합정보관리, 원격제어 관리시스템 등 4가지로 구분된다.

실시간 수질 및 수량관리는 주요 분구별로 수질 및 수량 계측기를 설치하여 이를 통하여 실시간으로 자료를 수집 및 저장하여 CSOs의 제어 기준에 따라 차집관거 등의 시설물 등을 통하여 실시간으로

하수처리장으로 유입되는 수량 및 수질을 관리하는 것이다. 불명수(I/I) 탐색 및 점검은 토양의 침하 등으로 인해 하수관거의 연결부위 등으로 유입되는 불명수를 실시간 수질 및 수질 계측기로부터 자료를 분석하여 불명수 발생 분구 등을 탐색한다.

또한 이렇게 수집된 자료를 바탕으로 중장기 불명수 발생에 따른 개량 우선순위를 위한 자료로 활용된다. 종합정보관리는 앞에서 언급한 실시간 수질 및 수량관리 및 불명수 탐색 점검 등의 자료를

수집 및 저장하여 중장기 관거 종합 정보시스템으로 구축된다. 또한, 하수관거 등의 지하시설물을 보다 효율적으로 관리하기 위해 GIS를 구축하게 된다.

원격제어 관리시스템 실시간 효율적 관리를 위한 수질, 유량, 불명수 등의 관리를 하게 되며, 국지성 호우 발생시 침수예상 피해 지역에 대해서는 경보 등의 제반 조치를 할 수 있다. 앞에 그림 4는 설명한 종합 유지관리 시스템을 구축한 예를 나타내었다.

4. 시스템구축 기대효과

4.1 하수관거 설계기법의 개선효과

- 유량 산정기법의 개선
- 생활오수량을 기준으로 지하수량 및 차집수량을 예측하는 기존 설계방식을 개선 강우량의 표준화에 의한 배수분구별 오염유발 강우-유출량을 산정하고 지하수량 산정기법을 함께 개선할 수 있다.
- 하수관거의 경제적 설계기법 도입
- 기존의 주관적 판단에 의해 하수관망을 설계하는 방법을 개선하여 최적화기법에 의한 하수관망의 경제적 설계기법을 도입 최소의 예산으로 동일효과 기대된다.
- 하수관거의 최적설계기법의 표준화
- 기술자의 독단적인 판단을 최소화하고 정량적인 최적화기법 및 최근의 신기술 연구성과를 도입하여 하수관거 설계기법 및 모든 설계결과가 가장 효율적이면서 경제적인 성과를 얻을 수 있도록 표준화 할 수 있다.

4.2 하수관거 유지관리 효과

- 하수량 및 수질의 실시간 관리
- 차집유량 및 수질을 배수분구별로 실시간 관측

할 수 있으며, 유량 및 수질정보에 의한 하수처리장 또는 하천 방류의 자동 또는 반자동 선택 관리 할 수 있다. 또한, 유량의 이상변동을 실시간으로 확인 하수관거의 파손 등 점검자료로 활용할 수 있다.

- 중장기적인 하수관거 정비를 위한 정보구축
- 배수분구 단위로 하수관거의 점검, 개보축 및 신증설현황 자료의 DB 구축이 가능하고, 하수 유량 및 수질정보의 축적으로 중장기적인 하수관거정비 기본정보구축 할 수 있다.
- 최적 노후도 예측 및 개량기법을 도입 하수거의 종합개량계획(예산)수립
- 최적화 기법과 하수거 축적정보를 이용 하수도의 노후도 및 관거파손율 등을 예측하여 중장기 하수도 개량 종합계획수립이 가능하다.
- 경제적인 유지관리 및 개량
- 일상적인 유지관리체계 구축으로 관거의 파손을 조기에 발견조치하고 지속적인 관거 및 유량과 수질정보에 의한 하수처리장 처리량 및 처리 효율과 연계하여 경제적인 최적관리 구현할 수 있다.
- 장기적 유량의 증감과 수질변화에 따른 하수처리방법의 조정
- 중장기적인 배수분구별 생활오수, 지하수 및 우량변동으로부터 하수처리장의 증설시기 및 증설규모를 예측하고, 분구말구에 간이처리시설 및 규모 등을 종합적으로 고려하여 중장기 계획수립 자료로 활용이 가능하다.

5. 결론

정부는 "맑은 물 공급 및 물관리 종합대책"의 일환으로 하수처리시설의 확충 및 하수도 시설의 보급을 향상시키기 위해 많은 비용을 도시 및 농어촌을 대상으로 지출하고 있다. 따라서 하수도의 보다

더 나은 정책수립과 더불어 관리시스템의 구축은 필수적이라 할 수 있다. 또한, 2002년에 시작한 "한강수계 하수처리정비 사업"은 보다 더 효율적인 하수관거의 정비를 위해 실시되는 시범사업으로 앞에서 언급한 설계 및 관리시스템의 도입이 절실히 필

요하다. 즉, 도시규모와 지역특성에 적합한 최적 설계시스템 및 종합 유지관리 시스템은 이러한 필요에 부응할 수 있는 시스템으로 국내 하수관거 보다 더 발전된 제시방안으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시(1998), 하수관거조사 및 정비 기본설계 보고서
2. 대한상하수도학회(2001), 하수관리의 국내 외 최신동향
3. 대한상하수도학회(2002), 차세대 하수관거정비 특별 심포지움
4. 환경부(1997), 도심 하수관 정비기법 연구
5. 한국건설기술연구원(2001), 하수관거에서 발생하수량의 모니터링 시스템 구축방안
6. WEF Manual of Fractice FD-6 & ASCE Manual and Report on Engineeing Practic No.62 (1994), Existing Sewer Evaluation & Rehabilitation