

# 하수관거 정비 의사결정지원시스템의 개발과 활용

## Development and Application of the Decision-Support System for Sewer Rehabilitation Planning



황 호 재 |

(주)팬지아이십일 부사장/연구소장  
고려대학교 대학원 토목환경공학과 공학박사  
nutria86@pangaea.co.kr

### 1. 서론

하수관거는 신속한 우수 배제를 통한 침수방지와 오수의 수집 및 이송기능을 담당하는 중요한 도시 기반시설이다. 하수관거 정비사업은 장기간의 투자가 소요되는 국가기간시설 확충사업으로 최근 우리나라뿐만 아니라 유럽과 중동, 호주, 미국 등의 대도시를 중심으로 대대적인 정비 및 신설 공사가 활발히 수행되고 있다.

일반적으로 하수관거는 광범위한 지역에 걸쳐 선형으로 설치되어 있는 지하 매설물이기 때문에 직접 육안으로 상태를 관찰하면서 유지관리 하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 또한 하수도 대장 등 관련 기초자료의 미비, 관리 부실 등으로 실제 관거가 매설된 정확한 위치를 파악하기조차 어려운 실정이다. 이러한 상태에서 하수관거의 정비나 개·보수 계획을 수립하여 효율적이고 체계적인 정비 및 운영관리 사업을 추진하는데 큰 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다.

국내의 하수관거 정비사업은 대규모 임대형 민간투자(BTL) 사업의 형태로 추진되고 있는 추세이다. 한정된 예산으로 보다 효율적이고 경제적인 시공과 유지관리를 수행하기 위해서는 철저한 사전조사를 통하여 기존 관거에 대한 성능 평가, 개·보수 대상의 선정, 개·보수 방법 및 비용의 산정, 다양한 조건을 고려한 사업우선순위의 결정 등의 과정을 통해서 사업 목적에 부합하는 효과적인 정비계획의 수립이 필요하다. 하수관거 정비계획은 방대한 기초자료와 평가기준에 따라 사업의 범위와 방향을 설정해 나가는 의사결정의 과정이다. 따라서 체계적인 자료의 수집 및 관리, 적절한 판단 기준의 설정과 적용이 선행되어야 한다. 아울러 복잡하고 반복적인 업무를 효과적으로 지원해 줄 수 있는 다양한 분석도구와 의사결정지원시스템의 활용이 필수적이다.

따라서 세계 각국에서는 하수관거정비를 위한 국가적 기준을 수립하고, 보다 합리적이고 효율적인 정비방안을 마련하여 적절한 계획을 수립할 수 있도록 다양한 분석도구와 정보 시스템을 개발하여 도입하고 있으며, 국내에서도 이의 필요성을 인식하여 다양한 연구개발이 진행되고 있다.

본고에서는 2005년부터 2007년까지 한국수자원공사의 주관으로 개발된 「하수관거정비 의사결정시스템 (Decision Support System for the Sewer Rehabilitation)」을 중심으로 이러한 시스템의 개

발과정과 현장적용 사례에 대해 소개하고자 한다. 또한 실제 하수관거정비 및 운영관리 측면에서의 활용방안과 개선방향에 대해 논의하고자 한다.

## 2. 국내외 개발 현황

국내에서는 정철권 등(2001), 김태진(2004) 등이 하수관거 유지관리모니터링 시스템과 관련된 연구를 수행하였다. 이들은 불명수(Infiltration/Inflow)의 차단을 주목적으로 기존 하수관거의 불량도를 판정하고, 개보수 비용과 방법을 최적화하는 개념적인 수준의 의사결정지원시스템을 제안한 바 있다. 현장 조사를 통해 획득할 수 있는 분구별 불명수 발생량을 개별 관거의 결합항목과 결합 정도에 따라서 배분하고, 불명수 최소화를 목표로 사업의 우선순위를 결정하는 방법을 제시하였다. 그러나 불명수량 산정 및 평가방법 상의 문제, 표본조사만 이루어진 관거내부조사 결과의 확대적용 등으로 이들이 제시한 분석 및 의사결정지원체계를 실제 정비계획에 적용하는데는 한계가 있었다.

2005년부터는 국내 하수관거정비사업이 본격화되면서 하수관거 유지관리 모니터링 시스템 구축이 본격적으로 이루어졌다. 이들 시스템은 대개 하수관거에 유량계를 설치하여 실제 하수량을 모니터링하고, 이를 바탕으로 불명수 발생량을 산정하여 정비사업의 효과를 분석하는데 사용되었다. 그러나 유량계 설치 범위가 한정적이며, 실측유량의 오차 범위가 넓어 실효를 거두기 어려웠고, 불명수 저감에 초점을 맞추다보니 전반적인 유지관리 시스템으로서의 기능적인 측면에 미흡한 점이 많았다. 2008년에는 환경관리공단을 중심으로 불명수 산정방법에 대한 표준이 정립되었으며, 하수도 대장 전산화를 위한 표준지침이 만들어져 시범적용되고 있는 상황이다.

해외에서도 노후화된 하수관거를 개보수하기 위한 정비사업의 수요가 크게 증가하면서 표준화된

정비계획지원시스템에 대한 필요성이 대두되었다. 특히, 유럽지역의 경우는 국가나 지역별로 상이한 조사, 정비 판단기준과 비과학적인 의사결정 과정을 표준화, 전산화하기 위한 연구가 2000년대 초반부터 활발하게 진행되었다. 유럽표준화위원회(CEN, 2002)는 CCTV나 육안에 의한 관거내부조사 시 하수관거의 구조적인 결함 항목과 정도를 평가하는 표준규격(EN 13508)을 제정하여 자료의 호환성을 증대시키고 전산화의 기반을 마련하였다. Saegrov 등(2006)은 2002년부터 2005년까지 5th EU framework Research Programme의 일환으로 하수관거 정비 및 유지관리 의사결정 지원시스템인 CARE-S (Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks)를 개발하여 표준을 제시하였다.

이 시스템은 그림 1의 구성과 같이 하수관거 관련 정보를 축적한 데이터 베이스와 하수관거의 수리학적 모델, 불량도 평가 모델, 하수관거의 성능과 관련된 평가지표(Performance Indicator, PI) 분석체계를 도입하여 하수관거의 기능을 종합적으로 평가하고, 관거 단위로 개·보수 여부를 판단하여 정비 계획을 수립하고 관리할 수 있도록 하고 있다. 이러한 CARE-S 시스템은 유럽과 미국, 호주 등 17개 지역에 시범적용되어 실효성을 입증하고 있으며, 각 지역별 특성을 반영한 개선 작업이 이루어지고 있다.

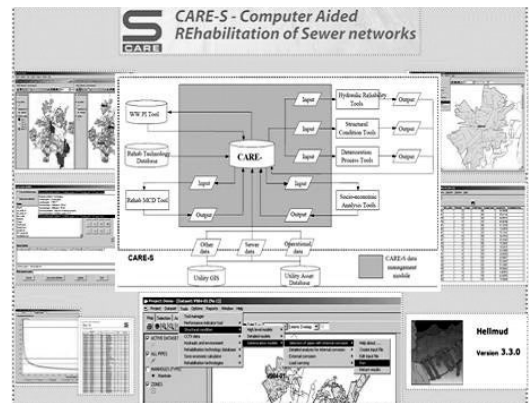


그림 1. CARE-S 시스템 구성

### 3. 하수관거 정비 의사결정시스템 개발 및 구축

2005년부터 한국수자원공사에서는 국내의 하수관거 정비계획 수립 업무를 보다 과학적이고 신속하게 지원할 수 있는 전산화된 의사결정지원시스템을 개발하여 왔다. 이를 위해서 하수관거 정비 계획 및 설계실무 담당자와 설계사, 시스템 개발사 등이 공동으로 하수관거 정비 및 운영계획 수립절차와 업무를 분석하고, 다양한 자료를 수집하여 세부적인 의사결정지원시스템을 설계하고, 하수관거 정보를 집약한 의사결정 지원 데이터베이스(DB)와 함께 개·보수 대상 결정, 공법 선정, 사업비 산정 및 사업우선순위 결정을 위한 4개 모듈 시스템을 개발하여 통합적인 의사결정지원시스템을 구축하게 되었다.

이러한 시스템의 개발을 위해서 하수관거 정비계획의 절차를 분석하여 핵심업무를 도출하였다. 기본적으로 하수관거 관련 정보의 수집과 가공을 통한 데이터베이스 구축, 기존 관거의 기능 진단을 통한 개보수 대상의 결정, 개보수 공법 선정, 사업비용의 산정과 경제성 평가, 사업우선순위 결정 등이 전산화 가능한 핵심업무로 추출되었다.

하수관거정비 의사결정시스템은 사용자의 정비

계획 수립 과정과 동일한 흐름을 갖도록 그림 2의 구성도와 같이 분석자료 구축, 연산, 의사결정의 3 단계로 나누어 구성하였다. 분석자료 구축 단계에서는 하수관거 정비 의사결정에 필요한 하수관거 관련 각종 자료와 정보를 수집하고 가공하여 기본적인 의사결정 데이터베이스(DB)를 구축하도록 하였다. 연산단계에서는 외부에서 실행된 MOUSE/MAKESW/SWMM 등 수리해석모델링의 결과 및 관거내부조사 결과를 연계하여 관거의 구조적 결합과 불량도를 판정하여 다음 단계에서 활용되도록 의사결정 DB를 갱신, 보완할 수 있도록 하였다. 분석 및 판단에 의한 의사결정 단계에서는 의사결정에 필요한 개보수 대상 관거를 추출하여 사업물량을 결정하는 개보수 관거 결정, 대상관거별로 적절한 공법을 선정하여 연결시키는 개보수 공법 선정, 대상 물량을 개보수 하는데 소요되는 사업비를 추정하고 경제성을 검토하는 사업비 산정 시스템 등 3개 주요 시스템과 각 처리구역 내의 처리분구 단위로 사업의 시급성과 필요성을 검토하여 사업의 우선순위를 판단하는 사업우선순위 결정시스템을 구축하여 통합적인 하수관거 정비 의사결정시스템이 완성되도록 구성하였다.

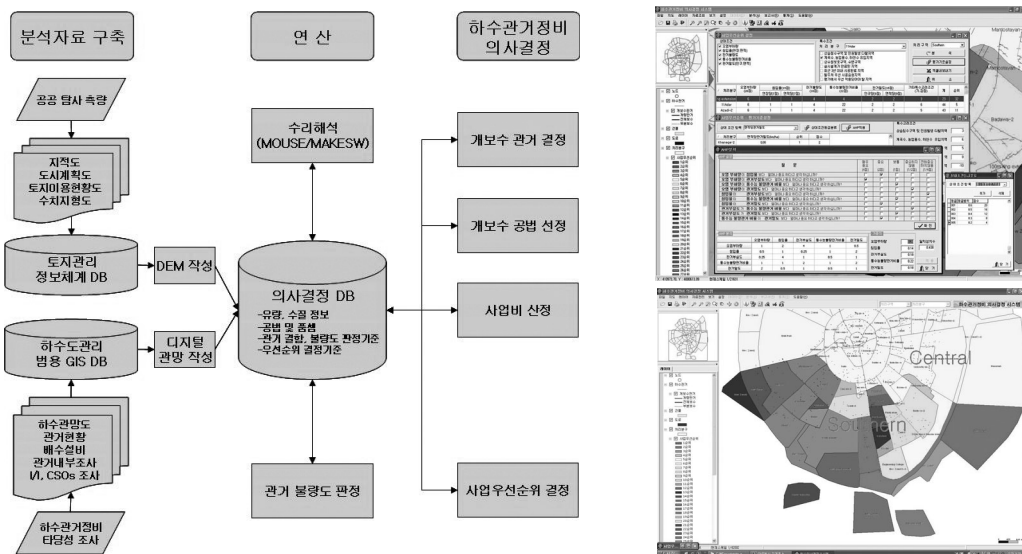


그림 2. 하수관거정비 의사결정시스템 구성도 및 구축사례

#### 4. 현장 적용 및 활용

개발된 하수관거정비 의사결정지원시스템은 청주시 상당구(면적=69.0km<sup>2</sup>, 관거 총연장=319km)와 이라크 아르빌시(면적=118.6km<sup>2</sup>, 관거총연장=247km)에 시범 적용하여 정비계획 수립을 지원하도록 활용되었다. 각 대상지역의 하수도 정비기본계획과 하수관거 정비 타당성조사 자료를 참고하여 수치지도, 하수관망도, 지형자료 등을 확보하고 세부 속성에 대한 수정보완을 거쳐 전산화하였다. 청주시 상당구의 경우 1/1000 수치지도를 합성하여 구조화하고, 전산 하수관망도를 보완·구축하였다. 이라크 아르빌 시의 경우는 2006년에 한국수자원공사에 의해 작성된 1/4000 수치지도를 기반으로 현지 조사를 통해 보완 작성된 CAD 파일 형태의 하수관망도를 입수하여 공간정보 DB를 구축하였다. 이들 자료는 GIS를 기반으로 하는 의사결정 DB의 기본도 및 속성정보로 활용하였다. 또한 시스템 외부에서 실행된 MOUSE 및 MAKESW 모델의 수리해석 결과를 연계하여 입력하였다. 관거내부조사 결과는 국내의 하수관거 유지관리 지침상의 불량도 평가기준에 따라서 평가하여 관거불량율과 불량도를 산정하여 적용하였다.

##### 4.1 개·보수 대상 관거 결정

수리해석 결과를 활용하여 통수능, 관내 유속, 경사 등을 검토하고, 설계 기준에 부적합한 관거를 추출하여 교체 개량 대상 관거를 판정하였다. 또한 관거내부조사 결과를 분석하여 결함항목과 불량개소수를 파악하고 관거에 대한 불량률을 계산하여 불량률 20% 이상의 관거는 비굴착 전체보수, 20% 이하의 경우는 부분보수 대상 관거로 판정하였다. 이러한 결과를 총괄하여 제시하고 도면 상에 표시하여 사용자가 최종적인 사업 대상 물량을 확정할 수 있도록 하였다.

#### 4.2 개·보수 공법 선정 및 사업비 분석

개보수 대상으로 판정된 하수관거에 대하여 굴착 개량, 비굴착 전체보수 및 부분보수로 결정된 각 대상관거별로 결함항목과 정도에 따라 중분류 수준으로 세분화된 공법(한국상하수도협회, 2006)을 선정하여 적용하였다. 이에 따라서 사업비용의 산출과정에서도 관거 연장당 표준공사비를 적용하는 기존의 방식에 비해서 다양한 조건을 적용하여 실효성 있는 사업비를 산출하고 신속하게 비교할 수 있었다. 일반적으로 굴착 개량비용이 비굴착 보수비용보다 저렴하므로 청주시 상당구의 경우 비굴착 보수를 적용한 경우(사업비 736억원)가 적용하지 않은 경우(722억원)보다 약 14억원이 증가한 사업비를 나타내었다. 사업비 산정 시스템에서는 각 관거별로 개량, 전체 및 부분보수의 사업비를 동시에 계산하여 제시하고 경제성 비교가 가능하도록 하였으며, 사용자의 판단에 따라 개보수 대상을 최종 확정할 수 있는 기능을 부여하였다.

##### 4.3 사업우선순위 결정

대부분의 국내 하수관거 정비사업에서는 면정비 개념을 적용하여 각 분구별 사업우선순위를 평가하게 되며, 오염부하량, 관거밀도, 관거 불량도, 불명수 발생량 등 6개 항목을 기본 설정하고, 평가 기준 및 가중치를 변경하여 평가를 수행하도록 하고 있다. 특히, 사업 지역의 특성과 정비 기본 방향 등 전제 조건에 따라서 계층분석적 의사결정 방법론(AHP)을 적용한 가중치 변경 기능을 추가하였다. 이를 통해서 사용자가 다양한 시나리오에 의해 단계별 정비계획을 수립할 수 있도록 정보를 지원할 수 있었다. 각 대상 지역에 특정 시나리오를 적용한 결과 사업비, 통수능, 불량관거비율, 관거불량도, 관거 밀도의 차이에 따라서 각 분구의 우선순위가 변동하고 있음을 알 수 있었다.

## 5. 결론 및 제언

하수관거 정비계획의 핵심요소인 사업규모 산정과 사업우선순위 결정을 지원하기 위해서 하수관거 정비 의사결정지원시스템을 개발하고 현장적용성 검토 및 활용방안을 소개하였다. 하수관거정비 및 운영관리의 효율화를 위해서 본 시스템과 같은 의사결정지원시스템의 활용이 확대되어야 할 것이다. 더욱이 정비사업이 완료된 이후 20-30년간 유지관리 측면에서 장기적으로 활용되기 위해서 기존 하수관거 유지관리 모니터링시스템의 기능을 보완하는 추가적인 개선이 요구된다. 하수관거정비 의사결정시스템의 활용효과와 향후 개선방향을 정리하면 다음과 같다.

1) 본 시스템은 하수관거 정보 전산화의 표준을 준수하도록 설계하여 하수도 대장과 수치지도 등 국가지리정보체계(NGIS) 상의 정보 활용도를 높일 수 있었다. 또한 운영정보를 체계적으로 관리하도록 함으로써 향후 보다 정확하고 다양한 정보를 신속하게 적용할 수 있는 하

수관거 데이터 베이스 고도화를 달성하였다.

- 2) 하수관거 정비사업의 목표성능뿐만 아니라 대상지역의 특성 및 다양한 요구사항을 반영하여 종합적인 평가자료를 제시함으로써 사용자의 전략적 판단과정을 지원할 수 있었다. 또한 계획 변경시의 반복계산 과정을 자동화하여 신속하게 대안을 재평가하고, 계산과정의 오류나 심각한 시행착오를 예방할 수 있었다.
- 3) 유지관리의 측면에서는 상하수도 서비스 국제표준(ISO 24500)의 기본틀을 유지하면서 변화되는 평가지표를 능동적으로 반영할 수 있도록 국제기준 적합성을 확보할 필요가 있다. 선(線) 정비 개념으로 변화하고 있는 유지관리 사업특성에 대응하여 정기적인 관내조사 자료의 갱신과 축적이 필요하며, 기존 유지관리 모니터링 시스템에서 확보되는 자료를 연계하여 수시로 관리지역 내 하수관거의 성능 및 기능의 진단을 실시하고, 단계별 유지관리계획을 수립하는데 활용할 수 있도록 향후 지속적인 기능 개선이 추진되어야 한다. 🍵

## 참고문헌

1. 김태진 (2004). 불명수를 고려한 하수관거 최적개량 의사결정시스템의 개발. 석사학위 논문. 고려대학교 대학원.
2. 정철권, 박규홍, 정연규 (2001). 유전과 알고리즘에 의한 소규모 배수구역 하수관거 정비의 최적화. 대한토목학회지, Vol. 21, pp. 295-304.
3. 한국상하수도협회 (2006). 개정 하수도공사 시공관리요령.
4. CEN(European Standard Committee) (2002), Conditions of Drain and Sewer System Outside Buildings-Part 2: Visual Inspection Coding System, EN 13508-2.
5. Saegrov S. (Ed.) (2006). CARE-S: Computer Aided Rehabilitation of Sewer and Storm Water Networks. European Water Research Report, EVK1-CT-2002-00106. IWA Publishing, UK.