

도시유역 내배수시설 유지관리시스템 개발

Management System about Interior Drainage Facilities in Urban Area

이정호*, 김응석**, 조덕준***, 박정훈****, 김종훈*****

Jung Ho Lee, Eung Seok Kim, Deok Jun Jo, Cheong Hoon Park, Joong Hoon Kim

요 지

우리나라의 경우 근래에 들어 도시지역 내배수시설에 대한 문제점들을 개선하기 위하여 정비사업이 활발히 이루어지고 있으나 시설물에 대한 과거 자료의 데이터베이스(database)화가 전무한 실정이며 정비사업을 시행함에 있어서 체계적인 정비사업 시행이 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 내배수시설의 수리·수문 해석 모듈을 이용하여 우수배제 목적의 합리적 근거를 마련하고, 현재 표본지역의 중요지점에서만 관측되는 불명수에 대하여 관거별로 불명수를 배분하는 불명수 산정모형과 도시 유출 모형을 이용하여 차집관거별로 발생하는 CSOs 발생량을 추정하는 도시 유출 모형 연계 모형을 구축하여 통합한 내배수시설 노후도 평가 모델을 개발하였다. 또한, 시설물 개량사업의 효율성을 높이기 위하여 수리·수문 해석 모듈과 노후도 평가모형이 연계된 최적 개·보수 scheduling 모델을 구축함으로써 최적개량 의사결정 시스템을 구축하였으며, 구축된 시스템은 실제 사업지역에의 적용성을 검토하여 GUI(Graphical User Interface)를 통한 의사결정 시스템인 내배수시설 유지관리시스템을 구축하였다.

핵심용어 : 도시유출, 내배수시설, 유지관리, 최적운영, 불명수

1. 서 론

도시유역의 내배수시설은 공공수역의 수질보전 뿐만 아니라 시가지 또는 농어촌의 우수를 신속히 배제함으로써 내수침수에 의한 재해를 방지하는 기능을 가지고 있다. 우리나라의 경우 최근에 건설된 일부 신시가지를 제외하고는 대부분이 합류식 하수관거가 설치되어 있으며 침수방지 목적으로 건설되었기 때문에 인구 증가 및 산업발달에 따른 오염원 증가에 대비한 우수배제 및 처리기능의 미비로 인하여 도시위생 환경 여건의 악화 및 각종 용수원의 수질오염 문제 등을 야기하고 있다. 근래에 들어 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 하수관거 정비사업이 활발히 이루어지고 있으나 내배수시설 전반에 걸친 과거 자료의 구축이 전무하며 체계적인 사업 시행 및 관리가 이루어지지 않는 실정이다.

또한, 도시화가 진행됨에 따라 토지 이용 변화와 도로 포장물의 증가 등으로 인하여 불투수면적이 확대되어 도시지역 유출량 증가 및 도달시간 단축 등 내수침수의 위험성이 가중되고 있다. 이러한, 도시화에 따른 내수침수를 방지하기 위해서는 내배수시설 전반에 걸친 평시 관리가 중요하며 돌발적인 상황에 대처하기 위한 체계적인 관리 시스템이 구축되어야 한다. 이것을 위해서는 내배수시설에 대한 모니터링 시스템 구축을 통하여 계측 자료의 지속적인 저장과 이를 통한 통계적인 분석이 이루어져야 하며, 이것을 바탕으로 돌발 상황에 대한 예측과 대비 시스템이 운영해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 하수관거, 빗물펌프장 등의 내배수시설과 유역 관리에 따른 종합적인 내배수시설 유지관리 시스템을 구축하여 내배수시설물에 대한 체계적인 관리 및 운영체계를 확립하였다.

* 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정·E-mail : jungho_lee@korea.ac.kr
** 정회원·선문대학교 토목공학과 교수·E-mail : hydrokes@sunmoon.ac.kr
*** 정회원·동서대학교 토목공학과 교수·E-mail : djjo7592@lycos.co.kr
**** 정회원·(주)하존엔지니어링 수자원부·E-mail : ruciel4@shinbiro.co.kr
***** 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 교수·E-mail : jaykim@korea.ac.kr

2. 수리·수문 해석 모듈

하수관거의 수리·수문 해석은 도시지역의 유출특성에 의한 수문해석과 이에 따른 하수관거의 통수능, 최소유속 등의 수리학적 해석이 필요하다. 현재 사용되는 대표적 관거의 수리·수문 해석 모듈은 합리식, RRL, ILLUDAS, SWMM 등이 있다. 본 연구에서는 SWMM을 이용하여 관거내 불명수(Inflow/Infiltration, I/I) 발생량을 산정하는 한편, 유출분석을 통하여 통수능 부족관거 판단 및 침수량 산정하고 CSOs(Combined Sewer Overflows) 발생량 산정하였다.

하수관거내 불명수 발생량 산정은 기존의 물사용평가방법, 일 최대·최소 유량평가법 등 경험적 방법을 통하여 산정되어왔으나 본 연구에서는 SWMM의 부정류 해석모듈인 extran을 이용하였으며 실측하수량의 측정지점에 대한 모의 유출량을 산정하여 불명수 발생량을 평가하였다.

수리·수문 해석 모듈의 통수능 판단, 불명수 산정, CSOs 산정 등의 결과는 하수관거 노후도 평가모델의 판단 근거를 제시하고, 최적 개·보수 scheduling 모듈의 관거 개량비용 산정을 위한 입력값을 제시한다.

다음의 그림 1은 수리·수문 해석 모듈의 전체 시스템내 연계 구성을 나타낸다.

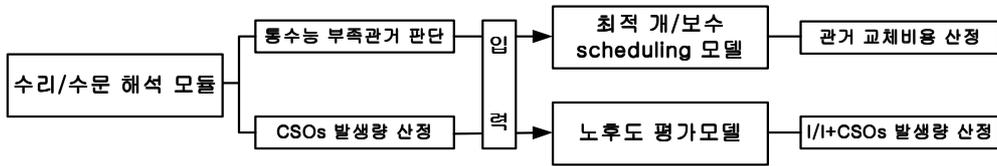
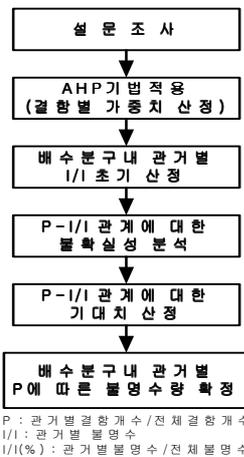


그림 1. 수리·수문 해석 모듈의 시스템 연계

3. 하수관거 노후도 평가모델

본 연구의 하수관거 노후도 평가모델은 하수관거의 내부조사 결과로 나타난 결함상태를 통하여 관거의 노후도를 판단하고, 관거별 노후도의 정량화를 위하여 결함상태에 따른 불명수를 산출하여 노후도 정도를 나타내는 지표로 사용한다. 즉, 현행 하수관거 정비사업은 몇 개 지역을 샘플링하여 조사된 불명수를 해당 사업지역 전체로 확대 적용하고 있으나, 본 연구에서는 수리·수문 해석 모듈을 통하여 대상 지역내 전체 불명수량을 산정한 후 관거별 결함상태에 따라 각각의 하수관거별 불명수 값을 산정하도록 하였으며 이 결과를 통하여 관거별 노후도를 평가할 수 있다.

다음의 그림 2는 노후도 평가모델의 적용 절차를 나타내고 있다.



P : 관거별 결함개수 / 전체 결함개수
I/I : 관거별 불명수
I/I(%) : 관거별 불명수 / 전체 불명수

그림 2. 노후도 평가모델 적용 절차

관거별 불명수량 산정을 위한 결함항목별 가중치는 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 적용하였으며 대상 지역내 전체 불명수량을 통한 관거별 불명수량 산정식은 다음과 같다.

$$x'_n = \frac{\sum_{j=1}^m (c_{nj} \times k_j)}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (c_{ij} \times k_j)}$$

여기서, x'_n 은 n 번째 관거의 가중치 확률, c_{ij} 는 관거별 결함항목별 결함갯수, k_j 는 결함항목별 가중치, i, j 는 각각 관거번호 및 결함항목을 나타낸다.

노후도 평가모델을 통하여 산정된 관거별 불명수는 수리·수문 해석모듈을 통한 결과와 연계되어 최적 개·보수 scheduling 모듈의 input data로 활용된다. 즉, 관거별 결함상태는 개량 비용 산출을 위해 활용되며 불명수 및 CSOs 발생량은 최적 개·보수 schedule 구성을 위한 판단 기준이 된다.

다음의 그림 3은 노후도 평가모델의 시스템 연계과정을 나타낸다.

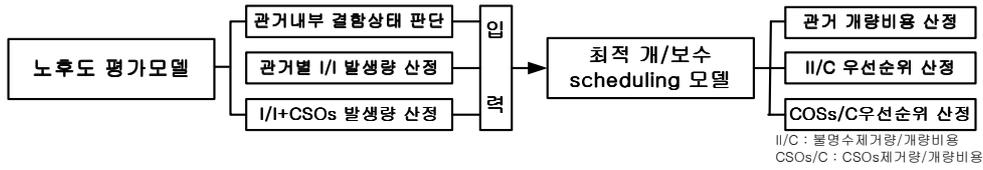


그림 3. 노후도 평가모델의 시스템 연계

4. 최적 개·보수 scheduling 모델

현행 국내 하수관거 정비사업의 우선순위 책정을 위해서는 점수평가법이 사용되고 있으며, 평가항목별 동일 배점에 의한 종합점수의 순위에 따라서 배수분구별 사업우선순위를 결정하고 있으며 처리효율적인 면에서의 고려가 부족한 상태이다. 그러므로 평가항목에 있어서 차등배점 등의 보다 현실적인 고려와 함께 처리 및 비용의 효율적인 면에서의 고려에 따른 사업우순위 결정이 필요하다. 본 연구에서는 이정호(2004)가 제안한 최적 도시유출시스템의 개발에 관한 연구논문을 이용하여 II/C(불명수제거량/개량비용)을 통해배수분구 및 도구별 사업우선순위를 결정하였다.

최적 개량을 위한 의사결정 변수는 통수능 부족관거 교체, CSOs 발생량, 불명수 발생량 및 제거효율 등이며 이상의 결정변수를 통한 의사결정은 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하였다.

최적의 개량비용 산정 및 최적 개·보수 계획 수립을 위한 목적함수 및 제약조건은 다음과 같다.

$$\text{Max. Cost}_1 = \sum_{i=1}^N C_{S_i} = \sum_{i=1}^N (C_{c_i} + Cdt_{c_i} + Cdt_{r_i} + Cdp_{c_i} + Cdp_{r_i} + Cnt_{1_i} + Cn_{m_i} + Cnp_{1_i} + Cn_{r_i} + Ctv_{1_i})$$

$$\sum_{i=1}^N C_{c_i} \leq \text{예산}, \quad \sum_{i=1}^N C_{S_i} \leq \text{예산}$$

여기서, C_{c_i} 는 통수능 부족에따른 교체비용, C_{S_i} 는 하수관거 개량비용, Cdt_{c_i} 는 원형관굴착전체교, Cdt_{r_i} 는 암거 굴착전체교체, Cdp_{c_i} 는 원형관굴착부분교체, Cdp_{r_i} 는 암거굴착부분교체, Cnt_{1_i} 는 전체교체라이닝, Cn_{m_i} 는 준설, Cnp_{1_i} 는 부분라이닝, Cn_{r_i} 는 돌출관제거, Ctv_{1_i} 는 TV 조사공을 나타낸다.

하수관망 개량을 위한 최적 scheduling을 결정하기 위하여 본 연구에서는 수리·수문 해석 모듈 및 노후도 평가모델의 연계가 이루어졌다.

다음의 그림 4는 최적 개·보수 scheduling 모델의 전체 시스템 연계 구성을 나타낸다.

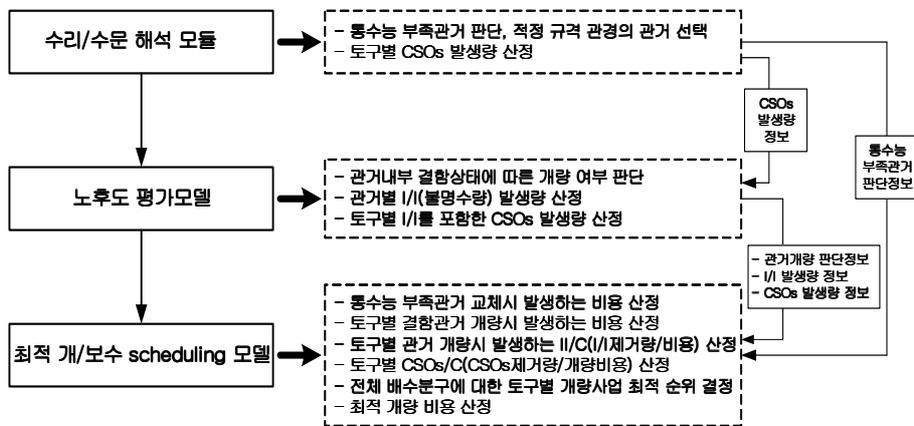


그림 4. 최적 개·보수 scheduling 모델의 시스템 연계

5. 내배수시설 유지관리시스템

본 연구에서는 도시유역 내부수시설의 유지관리를 위하여 수리·수문 해석 모듈, 노후도 평가모델 및 최적 개보수 scheduling 모델의 종합적 연계 시스템을 구축하였으며 해당 시스템의 GUI(Graphical User Interface) 구현을 통하여 합리적이며 체계적인 관거정비 계획 수립, 내배수시설 운영 및 관리를 위한 윈도우용 실행 프로그램을 개발하였다.

개발된 모델의 GUI 구현을 통한 연계 시스템은 총 7개의 분석 모듈로 세분화되며 각 모듈의 연간 결과는 타 모듈의 입·출력 자료로 제공되는 등 상호 유기적 관계를 이룬다. 세부적인 분석모듈은 실시간 모니터링, I/I 분석, 누수 분석, 원단위 분석, CSOs 분석, 수리·수문 해석, 최적개량 scheduling 모듈 등이다.

(1) 실시간 모니터링 Module

실시간 모니터링 모듈은 사업대상 구역의 강우현황, 유출관측현황, 계측기 현황 등의 실시간 조회와 DB의 구축과 전송, 센서 이상유무 파악과 전송자료의 이상치 검정을 통하여 각 module의 기초자료를 제공한다.

(2) 원단위 분석 Module

원단위 분석 모듈은 대상지역에 대한 기초조사 자료를 바탕으로 하수발생량 및 오염부하량 원단위 분석을 실시하며 DB의 누적에 따른 원단위 예측 분석을 통하여 I/I 및 누수분석의 기초자료를 제공한다.

(3) I/I 분석 Module

본 모듈은 분석방법별 I/I를 산정하여 자료계열의 이상치 검정 및 I/I 변동량 분석을 통한 관거 이상유무를 판단하여 개량효과 분석의 기초자료를 제공한다.

(4) 누수 분석 Module

누수분석 모듈은 물수지 관계 및 SWMM에 의한 누수량을 산정하여 누수 변동량 분석에 의한 관거 이상유무를 판단하며 개량효과 분석의 기초자료를 제공한다.

(5) CSOs 분석 Module

본 모듈은 강우기간 분리를 통하여 우수토실에서의 월류량 CSOs를 분석하여 차집관거의 설계용량을 검토하는 한편 월류량 제어를 위한 시설물 설계비용을 산정한다.

(6) 수리·수문 해석 Module

본 모듈은 대상지역내 강우-유출 관계를 분석하여 하수관망의 설계인자를 도출하며 기설치된 관거의 통수능력을 검토하여 최적 개량 분석을 위한 기초자료를 제공한다.

(7) 수리·수문 해석 Module

본 모듈은 각 모듈별 연산 결과를 통하여 대상지역에 대한 하수관거 노후도 평가, 개량 우선순위 및 최적 개량 비용등을 분석하여 하수관거 정비사업을 실시함에 있어서 최적 개량 의사결정을 가능하게 한다.

다음의 그림 5는 모듈별 주요 기능을 나타내며, 그림 6은 최적개량 scheduling 모듈 실행화면을 나타낸다.

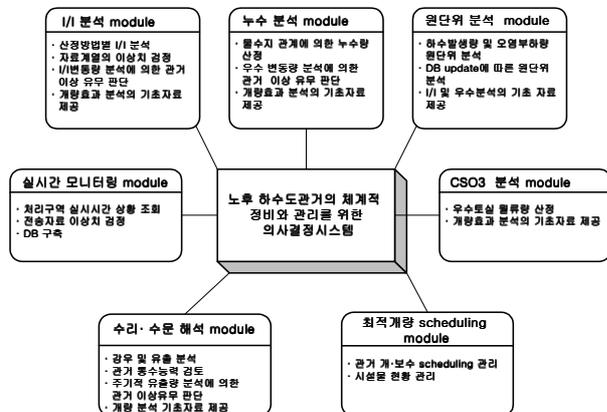


그림 5. 분석 모듈의 기능

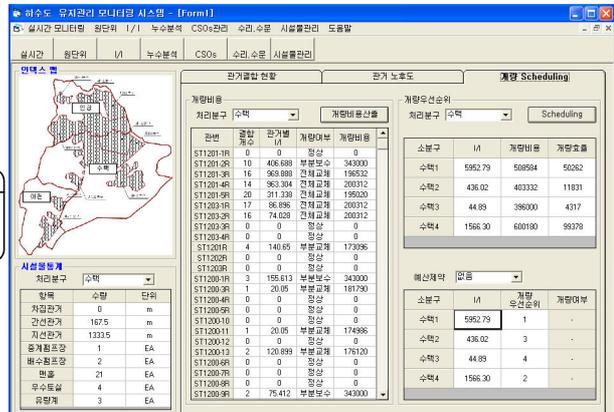


그림 6. 최적개량 scheduling 모듈

6. 결론

본 연구는 노후 하수도관거의 정비와 관리를 위한 내배수시설 유지관리 시스템의 개발을 통하여 사회 간접투자비용의 효율적인 이용과 절감을 가능하게 하며 재정적 제약조건을 포함한 다양한 조건하에서 최대의 관거 정비사업의 효과를 거두려하는데 그 목적이 있다.

본 연구의 내용은 크게 1) 하수관거의 수리·수문 해석 모듈의 개발, 2) 하수관거의 노후도 평가 모형의 개발, 3) 최적 개·보수 Scheduling 모형의 개발이며, 각 모듈의 실제 사업지역 적용을 통한 검증용 거쳐 GUI를 통한 의사결정시스템의 윈도우용 실행프로그램을 개발하였다.

본 연구를 통하여 개발된 내배수시설 유지관리 시스템은 국내 하수관거 정비·관리 공법에 대한 의사결정 방법의 체계를 확립할 수 있을 것으로 기대되며, 관거의 노후도 진단 및 개·보수 우선순위 결정을 통하여 주어진 예산에서 최대의 개량효과를 얻을 수 있으므로 경제적이고 효율적인 정비사업 시행 체계를 구축할 수 있다. 또한, 수리·수문 해석을 통하여 육안 및 CCTV 조사 위주의 현행 관거 진단에 더하여 수리학적 진단 방법을 추가하여 하수관거의 통수능력의 판단 및 예측을 가능하게 하였다. 그리고, 본 연구에서 개발된 모듈은 GUI구현을 통하여 상호 유기적인 관계하에 통합적인 윈도우용 프로그램으로 구축되어 하수관거의 정비사업 실무자들이 손쉽게 사용할 수 있도록 하였다.

국내·외 하수관거 정비·관리에 대한 최적 Scheduling 연구는 미흡한 실정이므로 이상의 개발된 연구성과는 동 분야 연구에서 선도적인 위치로 자리매김할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러, 본 연구의 시스템은 단계적 의사결정 체계로 구성되어 있으므로 향후 연구를 통하여 장·단기 의사결정 시스템에 개발되어야 할 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구 지원(과제번호:R01-2001-000-00474-0)으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1992). 하수도 시설기준, pp.933.
2. 환경부(1997). 도심 하수관 정비기법 연구.
3. 국립환경연구원(1997). 하수도 시설개축 및 기능개선 전략연구.
4. 서울특별시(1998). 하수도정비기본계획 보고서, pp. 181-229.
5. 한국건설기술연구원(2001). 하수관거에서 발생하수량의 모니터링시스템 구축 방안 연구.
6. 정철권, 박규홍, 정연규(2001). 유전자알고리즘에 의한 소규모 배수구역 하수관거 정비의 최적화, 대한토목학회지, Vol. 21, No. 2, pp. 211-214.
7. 김태진(2002). 불명수를 고려한 하수관거 최적개량 의사결정 시스템의 개발, 석사학위논문, 고려대학교.
8. 이정호, 김중훈, 김형수, 김응석, 조덕준(2004). 최적 도시유출시스템의 개발, 한국수자원학회지, 제37권 제3호.
9. Thomas L. Saaty(1994). Highlights and critical points in the theory and application of the analytical hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, North-Holland Pub.Co, Vol. 74, pp. 426-447.
10. Belhadj, N., Joannis, C., and Raimbault, G.(1995). Modelling of Rainfall Induced Infiltration into Separate Sewerage. *Water Science and Technology*, Pergamon, Vol. 32, No. 1, pp. 161-168.
11. deMonsabert(1997). A Benders decomposition model for sewer rehabilitation planning for infiltration and inflow planning. *Water Environment Research*, The Federation, Vol. 69, 1997, pp. 162-167.