

— 기술정보 —

CSOs 저감을 위한 차집관거 최적화 시스템

— Technical Report —

Optimal Sizing of Intercepting Flow for Reducing Pollution Loads Caused by CSOs

공민근 · 배기현* · 강우영

Min-Keun Kong · Ki-Hyun Bae* · Woo-Young Kang

(주) 이피에스솔루션

Abstract

An abrupt high pollution loads in combined sewer systems is believed to be caused by first flushing actions and the resuspension of sediments deposited in sewers. Therefore, pollution loads in each flow regulator have a different tendency. This systems control intercepting flow in each flow regulator using water quality and water level. A desired quantity of intercepting flow was adjusted and the necessary slide position for a constant intercepting is calculated by Optimization programming. This systems make it possible to reduce pollution loads caused by CSOs to water body, may be alternative for the stable operation of STP through improving water quality to STP.

Key words: flow regulator, optimal sizing of intercepting flow, CSOs

주제어: 우수토실, 차집관거 최적화 시스템, CSOs

1. 서 론

건기시에는 하수를, 강우시에는 하수와 강우유출수를 함께 차집·운반하도록 설계된 합류식 하수관거 지역에서는 강우시 유량증가와 동시에 오염물의 농도 변화가 크게 나타난다. 강우시 발생하는 지표유출수는 지표면에 쌓여 있는(build-up) 여러 가지 오염물을 용해시키거나, 씻어내려(wash-off) 관거로 유입시킨다. 유량이 점차 증가하여 처리장으로 이송하는 차집

관거의 통수용량을 초과하는 경우에는 차집조절시설(flow regulator) 즉, 우수토실을 통하여 미차집유량이 방류수역으로 월류하게 된다(Moffa, 1990). 이처럼 합류식 하수관거 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)는 차집관거 용량을 초과한 유량이 방류수역으로 배출되는 유량이다. CSOs에는 지표유출수뿐만 아니라 기저하수가 포함되어 있기 때문에 다양한 오염물이 포함되어 있으며, 방류수역에 미치는 영향이 심각한 것으로 알려져 있다.

우리나라에서는 CSOs의 관리를 위한 규제나 대책

*Corresponding author Tel: +82-31-426-5781, FAX: +82-31-426-5784, E-mail: marine*02@weps.co.kr (Bae, K.H.)

등이 전무한 실정이며, 1998년에 개정된 하수도 시설 기준에서 차집관거 용량증대, 우수체수지, 스월조절조, 실시간 제어방법 등의 월류수 대책을 제안하고 있다. 하지만, 이러한 관리대책이 수립되어 있음에도 불구하고, 실질적으로 CSOs에 대한 규제기준이 없기 때문에 적절한 관리가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 합류식 하수관거 시스템은 하수처리장으로 차집되는 하수량과 CSOs량을 적절하게 조절하여 오염부하량을 최대한 줄임과 동시에 하수처리장의 안정적인 운영을 도모할 수 있는 종합적이고 고도화된 관리대책의 수립이 시급하다.

2. 본 론

2.1. 합류식 하수관거 시스템

2.1.1. 운영 현황 및 문제점

합류식 하수관거는 우수와 오수를 함께 하수처리장으로 이송하는 관거로서, 2002년 말 하수관거 시설 중 합류식 하수관거는 60.5%(45,829km)를 차지하고 있다. 일반적으로 이송된 하수를 모두 처리하는 것이 바람직하지만 강우시 지표유출수의 양이 많으므로 모든 우수를 하수처리장으로 유도하여 처리할 수 있도록 처리장을 건설하는 것은 비경제적이므로 일부만 차집하도록 설계되어 있다. 이에 우수토실을 설치하여 일정량 이상의 물은 차집관거로 유입되지 않도록 조절하고 있어 차집되지 못한 하수는 직접 월류되게 된다. 초창기 하수관거의 주된 기능이 우수배제가 우선 고려되었으므로 관거 수밀성을 확보할 수 있는 완벽한 시공을 기대하기 어려웠으며, 더욱이 시공후 관거유지관리는 제대로 이행되지 못하였다. 이로 인하여 발생하는 관거로의 불명수의 과다 유입, 하수정체로 인한 배수불량, 악취발생 등은 배제방식의 차원을 넘어 관거의 완벽한 시공과 적정 유지관리의 부재에서 비롯하였다는 것이 일반적인 견해이다.

2.1.2. 우수토실

우수토실의 주요역할은 다음과 같다.

- a. 강우시 차집관거 용량만큼만을 처리장으로 전환

시킨다.

- b. 차집관거 초과유량을 월류시킨다.

- c. 월류조절시설을 통하여 방류선으로 월류되는 유량과 빈도를 줄일 수 있다.

현재 우리나라에서는 이와 같은 우수토실의 적정 유지관리 즉, 주기적인 준설 및 청소를 소홀히 함으로써, 강우시 적정량이 차집되지 못하고 방류선으로 월류됨은 물론 건기시에도 일부 우수토실에서 월류하는 사례가 빈번하며, 월류수의 처리에 대한 시설은 전무한 실정이다. 또한, 강우시 과대한 웨어 높이에 의해 상류부에 위치한 우수토실에서 하수량이 과다 차집되어 하류부에서는 통수 용량의 부족으로 인해 고농도 하수가 전량 월류하는 문제가 발생하기도 한다.

2.1.3. 차집관거

차집관거는 오수와 우수의 합류수 중 설계 차집량을 처리장으로 보내기 위한 설비이며, 우수토실이 차집관거로의 유량흐름을 조절한다. 현재 인구 증가 및 불명수의 과다 유입에 의한 용량 부족, 관거내 적정 유속의 미달로 인하여 토사퇴적, HDPE관 사용에 따른 재질상의 내구성 등의 문제점들이 제기되고 있다. 차집관거는 대상지역의 건기시 침투유량, 침입수 등을 고려하여 설계되며, 해외의 경우 초기유출을 차집하기 위해서 평균건기유량의 10배로 설계한 경우도 있다(하수도 시설개축 및 기능개선 전략연구, 1998). 강우의 초기유출수에는 지표유출수내의 고형물뿐만 아니라 선행건기일동안 하수관거내에 침전되어 있던 고형물도 포함하고 있다. 그러므로 초기유출수의 차집은 CSOs에 의한 방류선 수체의 오염부하를 저감시키기 위해 매우 중요하다.

2.2. 기존 월류 부하량 저감방안

CSOs에 의한 방류 부하량을 저감하기 위한 시설은 경제성, 효율성, 유지관리 등 여러 면에서 상당한 제약을 받는다. 즉, 방류지역의 목표수질의 설정, 기술적 가능성 여부, 건설비 및 유지관리비를 포함한 경제성, 유지관리의 편의성 등 종합적인 검토가 필요하다.

2.2.1. 차집용량 확대

차집용량 확대는 차집관거를 보다 큰 용량의 관거로 교체하는 방법으로써, 가장 보편적이지만 교통의 혼잡을 가중시키고 건설비용이 고가이며 처리장의 용량증설 및 효율저하를 유발시키는 단점이 있다. 이와 같이 차집관거의 용량을 증대하는 것만으로는 강우시 유출부하량 저감 목표 달성은 어렵다. 따라서 우수체류지나 우수침전지 등의 다른 방안과 조합시켜 대책을 검토하여야 한다.

2.2.2. 하수관거 분류화

하수관거의 분류화는 합류식 하수관거의 분류식화를 통해 건기뿐만 아니라 우기 중에도 오수를 하천이나 호소로 유입시키지 않고 처리하여 처리장의 효율 및 유지관리를 용이하게 한다. 이는 월류수를 줄일 수 있는 효과적인 방법이지만 건설비용 등과 같은 인자를 충분히 검토하여 판단해야 한다. 일반적으로 분류식의 경우 기존 합류식 하수관거 시스템보다 배수체계가 복잡하여 시공시 오점합 등의 많은 문제점이 발생한다. 또한, 우수관거의 초기강우 유출수에 포함된 초기우수가 하천 등으로 배출되는 근본적인 문제점을 지니고 있어 이에 대한 대책이 요구된다.

2.2.3. 저류시설의 설치

합류식 하수관거 지역에 건설되는 저류시설의 경우 월류부하량 저감뿐만 아니라 홍수 방재를 위한 우수유출 저감기능을 가지며 설계와 운영이 용이하고, 이를 통해 유량변화에 쉽게 대처할 수 있다. 하지만, 넓은 소요부지를 필요로 하여 협소한 국토로 인해 토지이용에 한계가 있는 국내 현실을 고려할 때, 그 이용에 한계가 있을 수밖에 없으며 저류기간 중의 포기과정으로 인한 유지비가 클 수도 있다. 또한, 하수관거내로 유입되기 전의 유출수를 일정한 지역에 머물게 하므로 공중위생 및 보건상 많은 문제점이 제기될 수도 있다.

2.2.4. 실시간 제어방법

실시간 제어방법은 컴퓨터를 이용하여 조작 및 제어가 이루어지도록 하는 시스템이다. 강우시 하수관거내의 유량상태 및 강우형태의 변화에 적정대응하고 용량을 극대화 시킬 목적으로 수문의 위치와 펌프 양

수량을 조절한다. 즉, 여러 지점의 강우측정을 통하여 우수량을 계산하여 최적의 유량 제어방법을 도출하는 것이다. 하지만 일반 시설에 비해 장치가 복잡하고 고가인 단점이 있다.

2.2.5. 스월조절조(swirl regulator)

오염물질을 침전 및 부상을 이용하여 제거하는 장치로서 분리기로 흘러들어난 우수를 나선형으로 흐르게 하여 원심력을 통해 침전물과 부유물질을 걸러낸 후 우수를 배출하는 구조로 되어 있다. 제거효율은 50%이하로 알려져 있지만, 유입수의 고형물 입경분포와 비중, 유입수의 유속에 따라 큰 차이를 나타낸다.

2.2.6. 화학적 살균(disinfection)

일반적으로 염소를 이용하여 월류수를 살균하는 방법이지만 오존 또는 자외선도 자주 사용된다. 하지만 오존이나 자외선은 단독으로 사용되는 예가 거의 없으며, 후처리시설 또는 다른 처리시설과 연계 사용되는 것이 일반적이다. 또한, 자외선 살균은 먼저 부유고형물과 탁도 등을 제거해야만 그 효과를 기대할 수 있다.

2.3. 국외 사례

2.3.1. 미국

미국의 경우 CSOs를 제어하기 위한 수단으로 분류화를 추진해 왔다. 이미 1960년대에 122개 자치체에서 1,755개의 분류식화 사업이 진행되었으나, 합류식 지역의 분류식화 시행과정에서 발생되는 오점합 등의 기술적인 문제와 비용적인 문제로 인해 전면적인 분류식화에서 선택적인 분류식화로 수정하였으며, 관거 매설 상태가 양호한 합류식 관거 보급지역에서는 무리한 분류식보다는 초기강우의 처리에 주력하는 것이 효과적이라는 결론을 내리고 그 방안으로 초기강우 저류시설의 설치, 월류량 제어시설 및 부대시설의 설치를 제시하였다. 또한, 1994년에 연방정부에서 발표한 CSOs 관리정책에 따라 방류선의 수질기준 달성을 위하여 Nine minimum control을 이행하고 장기적인 관리계획(Long Term Control Plan, LTCP)을 수립하고 있다.

2.3.2. 일본

일본에서는 CSOs의 오염부하를 저감시키기 위하여 합류식 하수관거의 재정비(Retrofitting CSSs) 프로젝트를 꾸준히 추진해 오고 있으며, 1982년 공표된 'CSOs 저감을 위한 시범지침과 설계 매뉴얼'에서 CSOs 저감목표를 연간 발생 BOD 부하량의 5% 미만으로 저감시킨다는 정책을 수립하였으며, 이러한 목표를 달성하기 위하여 차집용량 확대, 우수토실 시설개량, 하수관거 분류화, 침입수/유입수 저감, 우수저류조 건설, 월류수 처리시설 등의 대안을 제시하였다. 2003년 9월에 개정된 하수도법 시행령에서는 합류식 하수도의 개선을 위하여 우수의 영향이 크지 않을 경우에 월류 발생을 제한하였으며, 우수토실에 스크린 등을 설치하여 협잡물 등의 유출을 최소화하도록 하고 있다. 또한, 월류가 발생할 경우에도 BOD의 유량이중평균농도를 40mg/l 이하로 규정하고 있다.

2.4. 차집관거 최적화 시스템

기존의 우수토실은 강우시 계획하수량 이상의 과도한 차집을 초래하여 하수처리장의 유입수질 저하 및 수리학적 부하를 가중시키고 있으며, 이로 인하여 하수처리장의 운영효율이 저하되고 있다. 여기에 우수토실의 적정 유지관리 즉, 주기적인 준설 및 청소를 소홀히 함으로서, 우수토실내의 과잉 퇴적 및 협잡물로 인한 스크린 폐색(Fig. 1)이 발생하여 우기시 뿐만 아니라 건기시에도 일부 우수토실에서 오수가 월류하는 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 또한, 우리나라의 대부분의 우수토실이 제외지에 설치되어 있



Fig. 1. 스크린 폐색.

어 하천수위 상승시 저농도 하천수가 차집관으로 유입되기도 하며(Fig. 2), 강우시 상류부에서의 하수량과 대 차집으로 인해 하류부에서는 차집관의 용량부족으로 고농도 하수가 전량 월류하는 문제가 발생하고 있다. 따라서, 우수토실의 구조개선 및 차집 제어 등을 통하여 하수처리장으로 차집되는 하수량과 CSOs량을 적절하게 조절하여 오염부하량을 최대한 줄임과 동시에 하수처리장의 안정적인 운영을 도모할 수 있는 종합적이고 고도화된 관리대책의 수립이 시급하다.

2.4.1. 우수토실 구조개선

차집관거 최적화 시스템에서는 우수토실 내 차집연결관 상류구간의 단면축소를 통하여 유속을 향상시켜 고형물의 퇴적을 줄이며, 차집연결관에 주로 설치되어 있는 스크린을 상류 구간으로 위치를 변경·설치하여 과잉 퇴적 및 협잡물로 인한 수문폐색을 방지함으로써, 건기 월류 사고를 줄일 수 있다(Fig. 3). 또한, 필요시 우수토실 말단에 Baffle, Screen 등을 설치하여 부유물질 및 Oil 등이 유출 되는 것을 방지할 수 있다.

이러한 우수토실의 구조개선은 방류선으로의 오염부하를 줄이고 원활한 유량 차집을 위해 매우 중요하다.

2.4.2. 차집방식의 개선

차집오염부하 최대화 및 월류오염부하 최소화라는 목적 하에, 우수토실에서의 차집방식을 개선하는 것으로서, 기존의 수위에 의해 차집용량이 제어되는 방



Fig. 2. 하천수 역류.

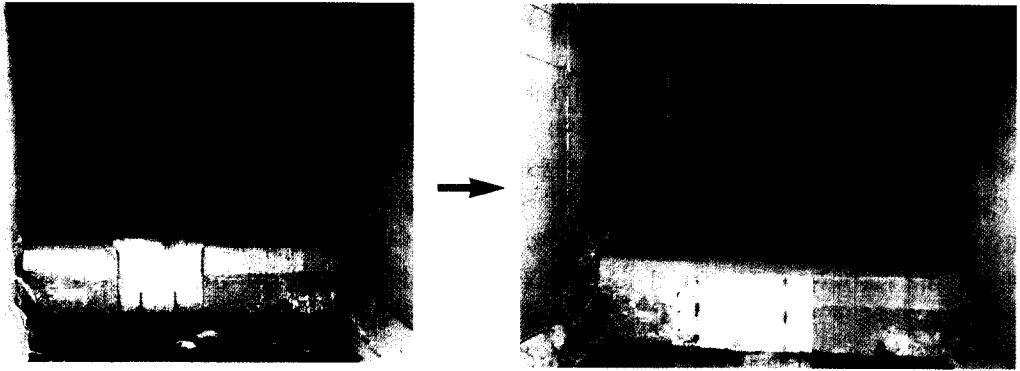


Fig. 3. 우수토실 구조개선.

식이 아니라 강우시 각각의 우수토실내의 하수의 수질농도를 비교하여 상대적으로 고농도인 하수가 발생하는 우수토실의 하수를 많이 차집하고 저농도인 하수가 발생하는 우수토실의 차집량을 줄여 차집오염부하를 최대화 한다. 각 우수토실에 수문을 설치하고 최적화 기법을 적용한 실시간 중앙제어시스템에 의해 수문을 자동으로 제어하여 차집유량 및 월류유량을 조절한다. 본 차집관거 최적화 시스템은 차집유량을 일정하게 제어하는 부유제어방식(Fig. 4) 및 기존 실시간 제어방법(Fig. 5)에 차집오염부하 최대화를 통한 CSOs 부하 저감이라는 개념이 더해진 혁신적인 기술이라 할 수 있다.

이와 같이 차집방식의 개선을 통해 즉, 각 우수토실에서 차집유량을 제어함으로써, 하수처리장의 안정

적인 운영을 도모하고, 고농도 하수의 월류를 방지하여 방류수역으로의 오염부하를 저감하며, 오염부하 차집 측면에서 차집관로 용량을 최대한 활용할 수 있다. 또한, 하천수 유입시 이를 차단함으로써, 차집관의 용량부족 문제점을 해결하는데도 효과적이다.

2.4.3. 구성

차집관거 최적화 시스템은 크게 3가지로 구분된다. 오수의 측정부분을 담당하는 Sensor부, 측정된 Data를 수집 보관 및 처리하여 개폐부의 actuator 및 무선 모듈로 전송하는 Controller, 출력된 4-20mA Data를 받아 오리피스스의 개폐량을 조절하는 개폐부로 나누어진다.

가) 센서부

우수토실로 유입되는 오수의 양을 감지하기 위한 수위 Sensor와 오수의 오염정도를 검출하기 위한 전기전도도계 및 세정을 담당하는 Sensor 세정장치로 나누어진다.

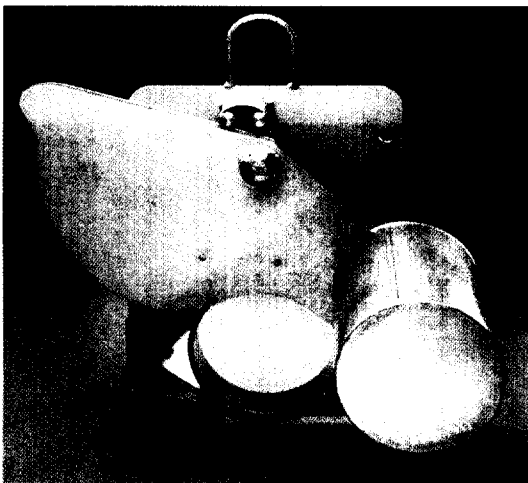


Fig. 4. 부유제어방식.

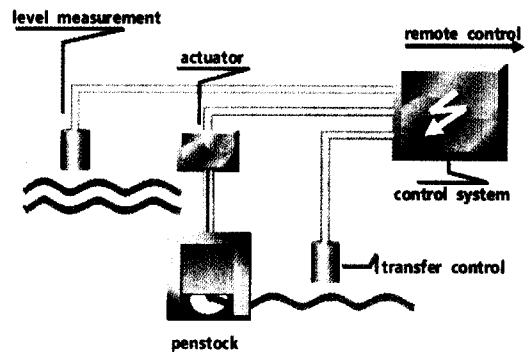


Fig. 5. 실시간 제어.

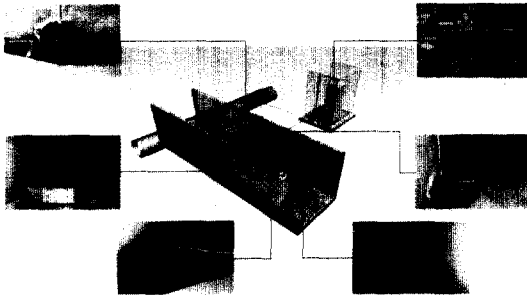


Fig. 6. 차집관거 최적화 시스템.

나) Controller와 통신부

Sensor에서 출력되는 신호를 연산하여 우수토실내의 오수의 양과 오염 정도에 따라 우수토실 연결관의 오리피스 개폐 정도를 제어하고 현재의 측정 Data를 중앙의 하수처리장으로 전송 모니터링을 할 수 있게 한다.

다) 개폐부

컨트롤러의 출력신호에 따라 우수토실 연결관의 오리피스 개폐량을 조절한다.

2.4.4. 차집용량 제어

본 시스템은 강우유출수-전기전도도(electrical conductivity, EC)간의 상관관계를 이용한 차집 연결관 자동수문제어시스템으로서 각 우수토실별 차집용량을 최적화 기법을 사용하여 중앙제어프로그램(Fig. 7)에 의하여 실시간 제어한다.

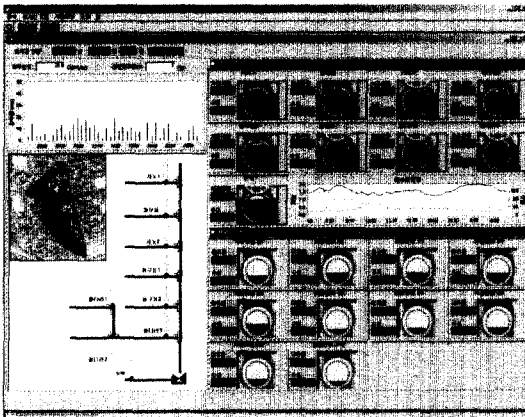


Fig. 7. 중앙제어프로그램.

Table 1. 차집관거 최적화 시스템 효과

구 분	설치 전	설치 후
연간 CSOs 부하량(ton/yr)	132.0	104.7
저감효과(%)		20.7
평균유입수질(mg/l)	60.2	77.8
유입수질개선효과(%)		30.2

2.4.5. 효과

강우유출모델 중 합류식 하수도 월류수의 양 및 질을 예측하는데 적합하고, 현재 미국의 실시간제어시스템의 운영모델로 사용되고 있는 Storm Water Management Model(SWMM)을 이용하여 다양한 강우사상에 따른 월류수의 양 및 질을 예측하고, 이를 통해 차집관거 최적화시스템의 효과를 검증하였다.

모델 구축은 경기도 K시를 대상으로 실시하였다(Fig. 8).

강우유출모델을 이용한 모의 결과 차집관거 최적화 시스템 적용시 연간 CSOs 부하량 중 27.3%를 저감할 수 있었으며, 하수처리장 유입수질은 평균 30.2%의 개선효과를 나타내었다(Table 1, Fig. 9).

3. 결 론

본 차집관거 시스템은 선행건기일수, 강우지속시간, 오수발생시간대 등에 따른 월류량과 월류부하량의 차이를 고려하여 오염부하 차집율을 최대화하는 시스템으로, 이는 각 우수토실마다의 상대적인 농도비교를 통해 지점별 최적 차집량을 결정하여 수문개폐를 실시간으로 조절함으로써 이루어진다.

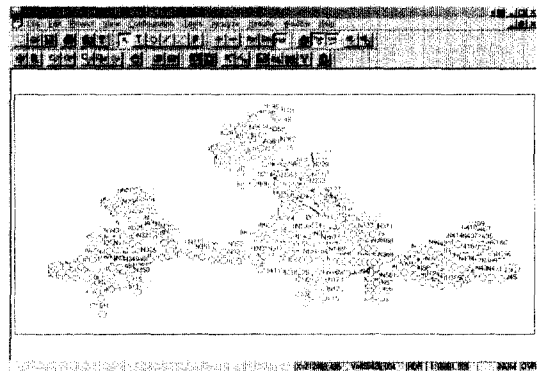
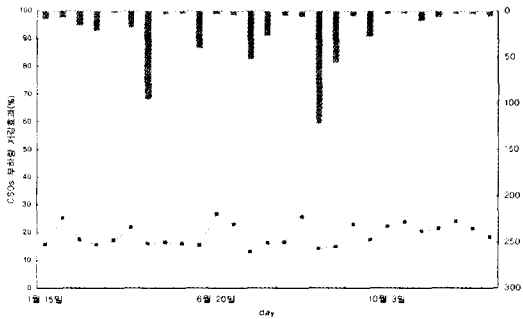
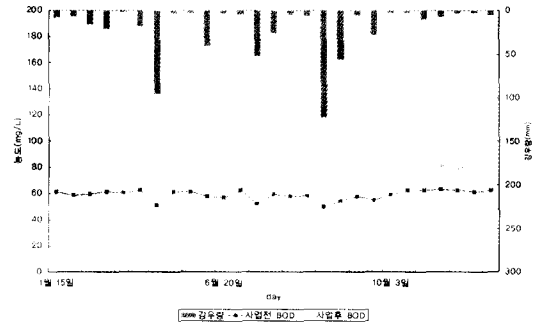


Fig. 8. 강우유출모델 구축.



a) CSOs 부하 저감효과



b) 하수처리장 유입수질 개선효과

Fig. 9. 차집관거 최적화 시스템의 효과.

강우유출모델을 이용한 모의 결과 본 시스템 적용 시 연간 CSOs 부하량의 27.3%를 저감할 수 있었으며, 하수처리장 유입수질은 평균 30.2%의 개선효과를 나타내었다.

본 차집관거 최적화 시스템은 하수처리장으로 차집되는 하수량과 CSOs량을 적절하게 조절하여 오염부하량을 최대한 줄임과 동시에 하수처리장의 안정적인 운영을 도모할 수 있는 종합적이고 고도화된 관리 기술이라 사료된다.

참고문헌

- 국립환경연구원 (1998) 하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구.
- 국토교통성 (2004) 하수도법 시행령 개정의 개요.
- 이두진 (2003) 강우시 도시지역 하수도시스템의 통합운영관리, 한양대학교 박사학위논문.