

비점오염원 저감시나리오에 따른 비점처리시설의 운영방안 연구

A study of the operational plans of non-point treatment facility depending on non-point source reduction scenario

신현석*, 장종경**, 손태석***, 김홍태****, 손정화*****

Hyun Suk Shin, Jong Kyung Jang, Tae Seok Shon, Hong Tae Kim, Jeong Hwa Son

요 지

도시하천의 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 분류되어 점오염원은 하천유입 전에 차집하여 하수처리장에서 처리하는 체계가 갖추어져 있으나 전체 오염부하량의 30%~40% (BOD기준)로 추정되는 비점오염원은 차집되거나 처리되지 않고 그대로 하천에 유입되고 있는 실정이다. 비점오염원은 불특정 오염원으로서 지표의 오염물질이나 합류식 하수관거의 하수가 강우에 의해 발생한 유출과 함께 하천으로 유입(CSOs)되어 우천 시에 하천을 오염시키는 가장 큰 원인이 되고 있으므로 이의 저감하기 위한 효과적인 비점오염원 관리방안이 요구된다.

본 연구에서는 대상유역인 부산광역시에 위치한 온천천 유역을 주요토구별 43개 유역으로 구분하여 SWMM(Storm Water Management Model)을 구축하였고 개별 토구에 Divider를 설치하여 일정 차집량을 초과하는 유량은 처리장으로 유입되는 것으로 모의하였다. 장치형 처리시설은 농도에 따라 일정효율을 가지고 처리시설의 임계유량을 초과하는 경우는 미처리되어 방류되는 것으로 가정하였으며 처리장으로 차집된 유량도 처리장의 시간최대 유량을 초과하는 유량은 간이처리 후 방류되는 것으로 가정하여 시나리오에 따라 모의하였다. 각 토구별로 처리시설을 설치한 경우의 처리효율과 차집비율을 증가시켜 처리장에서 일괄처리하는 경우의 처리효율을 차집비율별로 검토하여 최적의 차집비율을 검토하였다. 또한 오염원 관리측면의 면적당 축적부하량 저감과 발생량 관리측면의 토구의 차집비율 증가 및 토구에 대한 처리시설 설치비용에 따른 효율을 검토하여 처리효율, 오염원 저감 및 차집비율에 대한 상관관계를 도출하였다.

핵심용어: 비점오염원, 온천천, SWMM, 차집비율, 처리효율, 오염원 관리, 발생량 관리

1. 서론

도시하천의 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 분류되어 점오염원은 하천유입 전에 차집하여 하수처리장에서 처리하는 체계가 갖추어져 있으나 전체 오염부하량의 30%~40% (BOD기준)로 추정되는 비점오염원은 차집되거나 처리되지 않고 그대로 하천에 유입되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 오염원 운영방안과 관

*정회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 부교수 · E-mail: hsshin@pusan.ac.kr

**비회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학부 박사과정 · E-mail: jkcopyleft@empal.com

***정회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학부 박사과정 · E-mail: tsshon1@hanmail.net

****정회원 · 금강물환경연구소 연구사 · E-mail: htkim8@me.go.kr

*****비회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학부 석사과정 · E-mail: sjh0217@paran.com

리방안을 동시에 고려하여 시나리오 별로 모의 하였으며, 운영방안으로는 각 도구별로 처리시설을 설치한 경우의 처리효율과 차집비율을 증가시켜 처리장에서 일괄 처리하는 경우의 처리효율을 차집비율별로 검토하여 최적의 차집비율을 검토하였으며, 또한 오염원 관리방안으로는 면적당 축적부하량 저감과 발생량 관리측면의 도구의 차집비율 증가 및 도구에 대한 처리시설에 설치비율에 따른 효율을 검토하여 처리효율, 오염원 저감 및 차집비율에 대한 상관관계를 도출하였다.

2. 연구방법

2.1 SWMM 모형 구축

본 시험유역인 온천천은 부산광역시에 위치하고 있는 수영강의 제1지류로서 수영강 하구로부터 약 3.1km 상류지점에서 수영강의 우안으로 유입하는 지방 2급 하천이다. 수영강 전체 유역면적(전체 유역면적 : 199.57 km², 유로연장 : 28.4km)의 약 28.2%를 점하고 있으며 유역의 형상은 협장한 수지상으로서 그 폭이 동서로 약 4 ~ 6km, 남북으로 15km 정도이다.

온천천 유역의 SWMM모형을 구축하기 위하여 과거 관측된 강우 및 유량 자료를 검토하여 검정 및 검증에 적용할 강우와 유량의 패턴이 양호한 자료를 추출하였다. 검정에 적용할 8개의 강우-유량 자료와 검증에 적용할 4개의 강우-유량 자료를 아래 표 1.과 같이 선정하였다.

표 1. 검정 및 검증에 적용된 자료 현황

검정(calibration)에 적용된 강우 사상				
강우시작	강우종료	강우량(mm)	지속시간(hr)	강우강도(mm/hr)
2006-04-09 20:50	2006-04-11 18:20	99	45.5	2.2
2006-05-06 05:30	2006-05-06 19:20	137	13.8	9.9
2006-05-09 14:10	2006-05-10 12:30	56	22.3	2.5
2006-05-18 20:20	2006-05-19 22:00	78	25.7	3.0
2006-06-14 15:40	2006-06-15 01:50	105	10.2	10.3
2006-07-04 06:20	2006-07-05 03:30	49	21.2	2.3
2006-08-18 15:50	2006-08-19 21:10	73	29.3	2.5
2006-09-15 16:00	2006-09-16 07:00	78	15.0	5.2
검증(verification)에 적용된 강우 사상				
시작시간	종료시간	강우량(mm)	지속시간(hr)	강우강도(mm/hr)
2004-12-04 10:00	2004-12-04 23:00	22.5	13	1.7
2005-05-05 17:00	2005-05-07 00:00	40	31	1.3
2005-09-05 17:00	2005-09-06 22:00	195.0	29.0	6.7
2006-07-10 04:40	2006-07-10 15:50	169	11.2	15.1

검정에 사용할 강우 사상을 구축된 모형에 적용하여 각 매개변수에 대한 민감도를 산정하였다. 매개변수에 대한 불확실성(uncertainty)을 $\pm 50\%$ (단, 면적은 $\pm 5\%$)로 적용하고 강우사상별 매개변수의 변화에 따른 목적함수(침투유량)의 민감도를 검토하였다.

선정된 매개변수를 변화시키고 8개의 강우사상이 적용된 모형에서 동시에 목적함수를 산정하여 오차가 오차함수의 허용 범위 내 존재 여부를 검토하였으며, 반복 작업을 통해 오차함수의 허용 범위를 만족하는 매개변수를 산출하고 검증 절차에 따라 4개의 강우 사상을 적용한 모형에서 오차를 산출하여 허용 범위의 만족 여부를 검토하였다.

8개의 강우-유량 자료를 이용하여 검정을 실시하였으며 반복적인 매개변수의 변화를 적용하여 아래 그림과 같이 평가함수의 허용 임계치(<0.15)를 만족하는 최적 매개변수를 산정하였다.(오차함수의 변화 : $0.93 \rightarrow 0.14$)

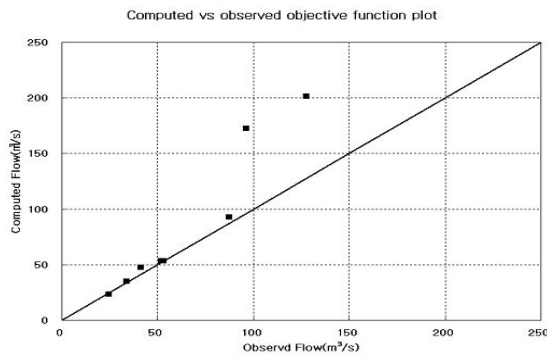


그림1. 검정전

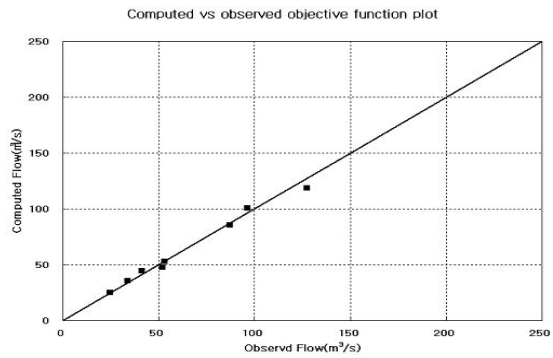


그림2. 검정후

검정 절차에서 허용 범위를 만족하는 매개변수 값을 검증하기 위해 4개의 강우 사상에 대해 산정된 매개변수를 적용하여 허위 오차의 만족 여부를 검토하였다. 산정된 오차가 허용범위(0.3)를 만족하는 0.25를 나타내므로 최종 모형이 완료된 것으로 간주하였다.

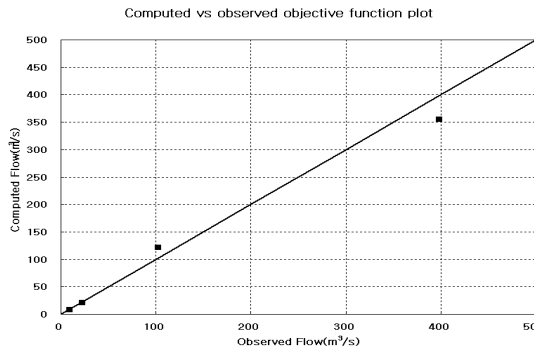


그림3. 모의값과 실측값의 관계-검증절차

목적함수		첨두유량
오차함수		RMSE(dimensionless)
허용 오차	검정(calibration)	0.15
	검증(verification)	0.30

표 2. 검정 및 검증에 적용된 설정값

모형 구축 절차에서 완성된 모형을 기반으로 온천천 유역에 대한 2006년 연속 강우를 적용하여 모의를 실시하였다. 아래의 그림4, 5는 온천천 유역을 43개 소유역으로 분할한 유역 분할도 및 관망도를 나타낸 것이다.



그림4. 온천천 유역 분할도

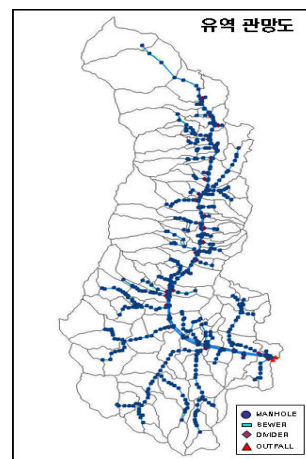


그림5. 온천천 유역 관망도

온천천 유역내에 있는 43개 토구에 대한 효율을 분석하여 토구별 우선순위를 선정하였다.

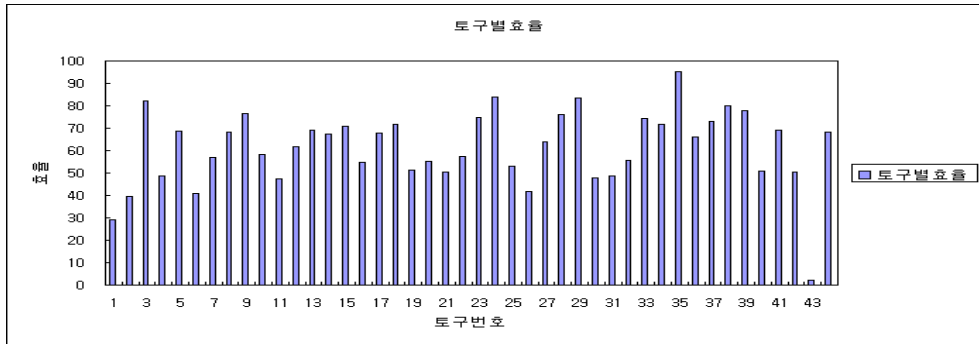


그림6. 토구별 우선순위 그래프

2.2 적용 시나리오 검토

본 연구에서는 부산광역시에 위치하고 있는 온천천 유역을 주요토구별 43개 유역으로 구분하고, 2006년 온천천 세병교의 수문자료 중 강우와 유량에 관한 발생패턴이 일치하는 양호한 자료를 활용하여 온천천의 주요 토구를 포함하는 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 구축하였다. 오염원 감소와 차집비율을 고려함과 동시에 토구에 대해 장치형 처리시설을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우 그리고 하수처리장에서의 장치형 처리시설을 설치한 경우와 1차 침전(간이처리)를 한 경우에 대하여 각각 동시에 적용하여 저감효과에 대해 검토하였다. 현재 모형에 적용된 SWMM 모형에서는 단위 면적당 최대 축적부하량을 2%씩 저감시킴(0%~20%)과 동시에 차집비율을 0.2Q씩의 증가를(1Q~3Q) 통한 모의가 이루어졌으며 온천천 유역 내에 있는 43개 토구에 대해 각각 효율을 분석하여 토구별 우선순위를 선정하였으며, 온천천 유역 내에 처리시설을 설치한 경우를 다음과 같은 시나리오별 처리효율을 산정하여 등효율곡선에 대한 적용방안을 검토하였다.

시나리오(Basic) : 1Q 토구에 장치형 처리시설을 설치하지 않고 처리장에서는 간이처리 하는 방법

시나리오1 : 1Q에서 단위 면적당 최대 축적부하량을 2%씩 저감시킴(0%~20%)과 동시에 토구에 장치형 처리시설을 설치하여 장치형 시설(100%, 75%, 50%, 25%)을 감소시킴과 동시에 하수처리장에서는 1차 침전(간이처리)한 경우의 처리효율을 효율곡선으로 나타냄

시나리오2 : 단위 면적당 최대 축적부하량을 2%씩 저감시킴(0%~20%)과 동시에 차집비율을 0.2Q씩의 증가를(1Q~3Q) 시킴과 동시에 토구에 장치형 처리시설을 설치하지 않고 하수처리장에 장치형 처리시설을 설치한 경우에 대하여 등효율곡선으로 나타내었다.

3. 연구 결과

CSO에 대한 관리방안별 저감효과 즉 오염원 감소와 차집비율 증가와 함께 운영방안별 토구에 장치형 처리시설 유무와 하수처리장에서의 처리시설유무를 동시에 고려함으로써 온천천의 개선효과를 분석하였다.

표3. 토구에 장치형 처리시설 저감에 따른 BOD 총량

합계	BOD(25%)kg	BOD(50%)kg	BOD(75%)kg	BOD(100%)kg
1Q0P(Basic)	1230293.5	1230293.5	1230293.5	1230293.5
1Q0P	1052922.6	1003288.9	975936.7	959307.4
1Q2P	1042588.7	993599.9	966637.4	950221.7
1Q4P	1029942.6	981671.8	955091.4	938901.3
1Q6P	1016290.5	968695.7	942467.9	926496.0
1Q8P	1003052.9	956159.9	930294.2	914524.4
1Q10P	989919.0	943753.2	918215.0	902647.0
1Q12P	977729.3	932223.3	907027.8	891646.6
1Q14P	965913.5	921081.0	896258.3	881059.2
1Q16P	954348.5	910219.6	885783.2	870752.4
1Q18P	944452.5	900970.3	876921.3	862066.9
1Q20P	934978.0	892063.6	868353.4	853704.8

시나리오1를 통하여 BOD 효율곡선과 시나리오2를 통하여 BOD 등효율곡선으로 나타내었으며 등효율곡선 과 효율곡선을 비교하여 적절한 효율을 나타낼 수 있다.

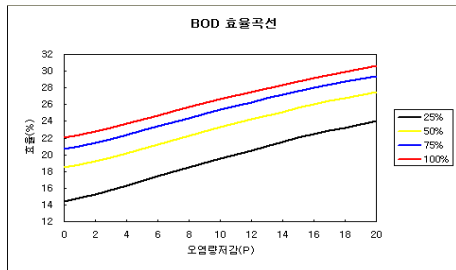


그림7. BOD 효율곡선

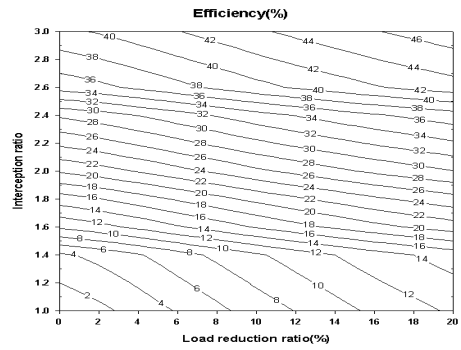


그림8. BOD 등효율곡선

적용방안) 일례로 그림9에서 20%의 효율을 나타내기 위해서는 오염량을 4% 저감 시키면서 토구에 장치형 처리시설을 50%로 설치해야 되지만 그림10에서는 오염원을 4%로 저감했을 때 20%로 효율을 얻으려면 1.9Q 만큼 차집량을 늘려야 20% 효율을 얻을 수 있다.

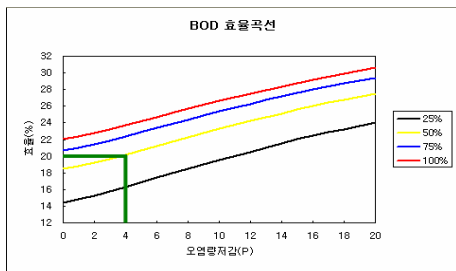


그림9. BOD 효율곡선

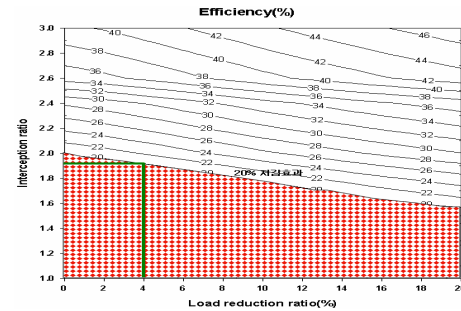


그림10. BOD 등효율곡선

4. 결론

온천천 유역을 43개의 소유역으로 분할하고 연속강우(2006년)에 의한 유출량 및 오염부하량 발생 현황을 검토하였으며 효과적인 CSO 관리를 위해 오염원 관리 방안과 운영 방안을 동시에 고려하여 오염부하량에 따른 BOD 등효율곡선을 산정하였다. BOD 등효율곡선과 BOD 효율곡선을 활용하여 처리시설의 적절한 효율을 산정하기 위한 운영방안을 제시하였다.

감사의 글

본 연구(보고서)는 부산지역기술개발센터에서 위탁 시행한 2007년도 부산지역 강우특성을 고려한 합류식 하수관거 월류수(CSOs)의 최적 관리 방안의 연구성과(2008)입니다.

참 고 문 헌

1. 부산지역환경기술개발센터. 부산지역 강우특성을 고려한 합류식 하수관거 월류수(CSOs)의 최적 관리 방안(2008)
2. 2005, 부산광역시, 하수도 정비 기본계획 보고서
3. 2004, 부산광역시, 온천천 하천정비 기본계획 보고서
4. EPA SWMM USER'S MANUAL Version 5.0