

도시지역 월류수에 의한 비점오염원의 유출 특성과 연계한 하천 영향 평가

Impacts Assessments of River Linked with Runoff Characteristics of Non-Point Source by CSOs in Urban Area

김유성*, 고혁배**, 안상대***, 김원일****, 안원식*****

You Seong Kim, Hyuk Bae Ko, Sang Dae Ahn, Won Il Kim, Won Sik Ahn

요 지

최근에 이상기후로 인한 집중호우는 단시간의 높은 강우 강도의 발생을 증가시켜 재해 유발의 측면에서 뿐만 아니라 유역 내 비점오염원이 합류식 관거의 월류수인 CSOs(Combined Sewer Overflows)의 형태로 강우와 함께 유입되어 수질 및 환경을 오염시키는 문제점이 발생한다. 이에 따라 월류수의 유출특성에 대한 정량적인 분석을 통하여 유량 및 수질 등의 오염부하량에 대한 적절한 저감 방안이 요구되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 비점오염원의 농도가 상대적으로 높은 도시유역에 강우로 인한 월류수의 유출 특성 변화를 분석함과 동시에 월류수가 하천에 방류되었을 때의 하천에 미치는 영향 분석을 통하여 하천의 효율적인 수질 관리 방안을 제시하고자 한다.

경기도 구리시를 대상유역으로 선정하였으며, 도시 강우-유출 모델인 SWMM을 사용하여 유역의 유출량 및 월류수의 수질 모의를 수행하였으며, 유역의 최종 방류구에 비점오염 저감을 위해 설치된 저류지를 통해 하천으로 배출되는 유출수와의 연계는 미국 환경청에서 개발된 WASP 모델을 적용하여 왕숙천 본류에 대한 월류수 변화가 하천에 미치는 영향을 분석하였다.

저류지 설치 전·후의 하천에 월류수가 미치는 영향을 BOD 농도를 중심으로 비교·분석하였다. 분석 결과 저류지 설치 후 BOD 농도의 저감율은 설치 전 보다 최소 1.9 %, 최대 81.2 %의 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 향후 신뢰도 높은 수질모의를 위해서는 월류수 발생시 월류수와 하천의 지속적인 모니터링을 통해 현장 여건을 반영할 수 있는 입력변수의 도출이 매우 중요한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 도시유역, 월류수(CSOs), 저류지, SWMM, WASP

1. 서 론

합류식 하수관거는 청천시 배출되는 하수(생활하수, 공장폐수, 상업폐수 등) 전량을 하수처리장으로 수송하여 처리하지만, 우천시에는 배수유역 내 지표면 유출수의 관내 유입으로 관거내 유량이 증가한다. 일정유량은 차집관로를 통해서 하수처리장으로 수송되어 처리되지만, 차집되지 않은 나머지 유량은 월류조절시설을 통하여 방류수역으로 방류되며, 이 유출수를 합류식 하수관거의 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)라 한다.

* 정회원 · 수원대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : shingoza@nate.com
** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : khyug2002@hanmail.net
*** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 박사수료 · E-mail : blueasd@skec.co.kr
**** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 박사수료 · E-mail : wikim@suwon.ac.kr
***** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : wsan@suwon.ac.kr

지표면 오염물질을 수반한 강우 유출수의 하수관거 유입과 함께 우수받이, 측구 내에 투기된 오염물질의 씻김, 관거 내의 유량증가로 인한 관거 내의 퇴적물질의 재부유 등으로 건기하수 성상에 비하여 오염물질 부하가 현저하게 상승하여 방류수질에 악영향을 미친다. 이렇게 방류된 월류수는 아무런 처리과정을 거치지 않은 상태로 방류수역 내로 유입되어 단기 및 장기적으로 하천의 수질을 악화시키는 요인이 된다.

이에 본 연구에서는 월류수를 제어하기 위한 많은 방법들 중에서 유출량과 오염물질 부하량을 동시에 제어할 수 있는 저류지를 유역 최종 방류구 지점에 설치하였고, 저류지를 거친 방류수가 방류수역에 미치는 영향을 분석하여 향후 하천 수질의 개선효과 방안을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

2. SWMM과 WASP 모델의 개요

2.1 SWMM 모델의 개요

SWMM(Storm Water Management Model)은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy 사가 Florida 대학 및 W.R.E와의 공동연구로 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 모의할 수 있게 개발하였다. 도시유역 내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리 등을 모의할 수 있는 종합적인 모델이다.

지표면유출에 대한 기본방정식은 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 kinematic wave 근사법인 비선형저류 방정식이 사용된다. 각 소유역에서의 수심과 유량을 결정하기 위해 연속방정식과 Manning 방정식을 사용한다. 소유역에서의 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = A_s i - Q \quad (1)$$

2.2 WASP 모델의 개요

WASP(Water Analysis Simulation Program) 모델은 미국 환경청에서 개발한 모델로서 호소, 하천, 하구 및 해안 등 광범위한 수계에 적용할 수 있어 수질예측과 관리에 널리 사용되고 있는 모형으로서 지표수 내의 수질과 오염물의 반응, 유동을 모의하는 모델로서 유동, 확산, 점오염원과 경계조건의 시간에 따른 변화를 고려할 수 있다. 기초가 되는 3차원 미소 체적에 대한 물질수지식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) \\ & + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) + S_L + S_B + S_K \end{aligned} \quad (2)$$

3. 대상유역 현황

본 연구 대상인 구리시는 경기도 북동부에 위치하고 있으며, 동서간 연장은 6 km, 남북간 연장 9 km에 이르는 총면적 33.29 km²의 도시로 1986년 1월 1일부로 구리읍에서 시로 승격되었고, 왕숙천은 유로연장 37.0 km, 유역면적 276.52 km²인 한강의 제1지류이고, 하천 수질(BOD 기준)은 상류에서 진건천의 합류점까지는 2 등급 수준이나 진건천 합류부 이후는 등급의 수질이고, 한강 합류점까지는 3 ~ 5 등급 정도의 수질을 나타낸다.

4. 수치 모의

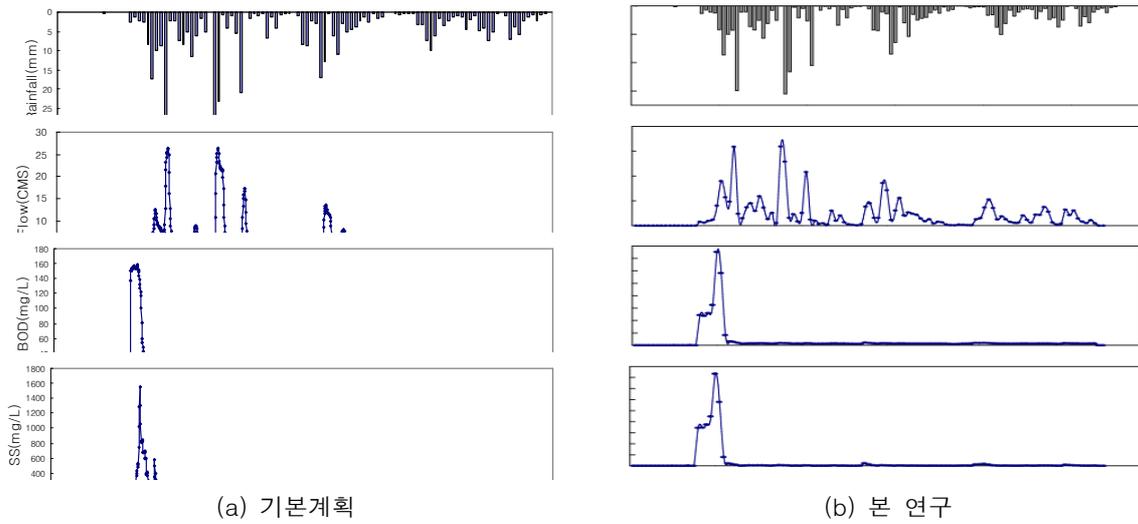


그림 3. 10년 빈도 강우 모의결과 비교

4.3 WASP 모델 구축 및 모의

왕숙천 하천 정비기본계획을 토대로 수리학적 특성이 유사한 구간을 하나의 소구간으로 구성하여 왕숙천을 총 6개의 Segment로 분할하였다. 환경부 실측 수질자료 중 2007년 자료를 바탕으로 왕숙천의 수질 매개변수 보정을 실시하였다. 매개변수 보정은 WASP 매뉴얼에서 제공하는 매개변수의 추천 값을 토대로 매개변수 값을 비교·분석한 후 오염정도를 알아볼 수 있는 BOD, T-N 및 T-P를 중심으로 매개변수를 시행착오법을 통해 보정하였다.



그림 4. 소구간 분할

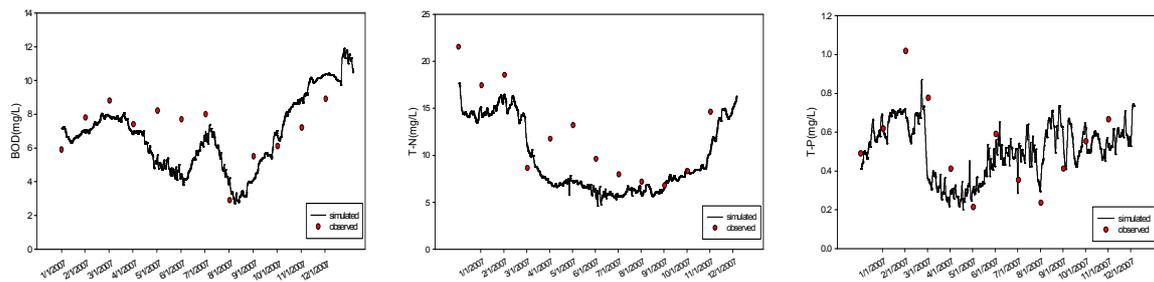


그림 5. WASP 보정 결과

4.4 모의 결과

대상유역의 최종 방류구 지점에서 월류수가 발생하였을 때, 저류지 설치 전·후의 하천에 월류수가 미치는 영향에 대해 BOD 농도를 중심으로 비교·분석하였다. 2007년 강우 일수는 총 60회 발생하였고, 왕숙천의 월류수 유입으로 인한 하천에 크게 영향을 미치는 강우는 총 14회로 분석이 되었다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 선행건기일수, 강우강도 및 강우지속시간 등의 차이로 인한 것으로 판단된다.

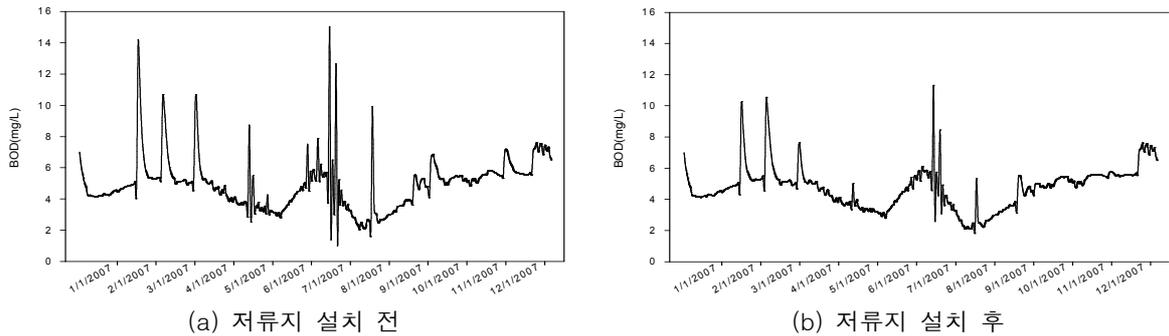


그림 6. 왕숙천 하류부의 저류지 설치 전·후의 BOD 변화

5. 결론 및 향후 대책

저류지 설치 전·후의 하천에 월류수가 미치는 영향을 각 월별 대표되는 일시를 선정하여 왕숙천의 BOD 농도를 비교·분석하였다. 분석 결과 저류시설 설치 후 BOD 농도의 저감율은 설치 전 보다 최소 1.9 %, 최대 81.2 %의 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다(표 3).

표 3. 저류지 설치 전·후의 BOD 농도

강우 일시	저류지 설치전 BOD (mg/L)	저류지 설치후 BOD (mg/L)	저감율 (%)	강우 일시	저류지 설치전 BOD (mg/L)	저류지 설치후 BOD (mg/L)	저감율 (%)
07/02/13	13.3	9.4	29.3	07/03/04	10.2	10.0	2.0
07/04/01	9.9	5.9	40.4	07/05/10	8.9	3.8	57.3
07/06/24	7.5	4.7	37.3	07/07/11	15.4	2.9	81.2
07/08/13	9.9	3.1	68.7	07/09/27	6.1	5.0	18.0
07/10/29	5.2	5.1	1.9	07/11/23	7.1	5.8	18.3

현재 SWMM 모델 보정은 구리시 하수도 정비기본계획을 반영하여 수행하였지만 영양염류에 대한 자료(T-N, T-P)가 없어 향후 월류수 발생시 영양염류의 수질측정을 실시하여 총체적인 하천 수질에 대한 평가가 필요한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 이두진, 신응배(2004). 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 저류시설의 용량결정에 관한 연구(I) - 월류수 발생특성 분석 -, 대한환경공학회 논문집, pp. 362-369.
2. 이두진, 윤현식, 선상운, 곽수동, 이동훈(2004). 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 저류시설의 용량결정에 관한 연구(II) - 저류조 설계를 중심으로 -, 대한환경공학회 논문집, pp. 370-380.
3. 구리시(2002). 한강수계 하수관거 정비공사 기본계획보고서
4. Huber, W. C. and Dickinson, R. E.(1988) Storm Water Management Model User's Manual(Version 5.0), U. S. EPA.
5. Wool, T.A., Ambrose R. B., Martin, J. L., and Corner, E. A.(2001), Water Quality Analysis Simulation Program, WASP6 User's Manual(Version 6.0), U. S. EPA.