

초기우수처리에 따른 소규모 저수지 수질개선 효과 수치모의

Numerical Simulation the Effect of Stormwater Treatment on the Water Quality Improvement in a Small Reservoir

예 령*, 유 환**, 이홍수***, 김유경****, 정세웅*****

Lyeong Ye, Huan Liu, Heung Soo Lee, Yu Kyung Kim, Se Woong Chung

요 지

합류식 하수도는 우수와 오수를 동시에 배제하는 하수관거 시스템으로 시공이 쉽고 건설비용이 저렴한 반면에 강우시 차집되지 않고 월류되는 유출량으로 인해 수체에 악영향을 초래한다. 관거에서 유출되는 유출수는 강우 초기에 유역에서 집중적으로 유출되는 비점오염원과 하수 및 관거내 오염물질 등을 동반하여 수질 개선을 어렵게 하고 수질 악화를 가중시킨다. 본 연구에서는 기존 유역에 설치된 합류식 하수관거를 분류식으로 개선하고 강우시 초기 세척에 의해 유입하는 비점오염원을 삭감하기 위한 초기우수 처리시설 설치에 따른 M 저수지 수질개선 효과를 수치모델을 사용하여 모의하였다. 저수지의 수질예측은 횡방향 평균 2차원 저수지 수리 및 수질모델인 CE-QUAL-W2를 사용하였다. 저수지 유입량은 군산기상대에서 관측한 일별 강우량 자료를 이용하여 일별 유출량을 산정하였고, 댐 방류량 자료는 M저수지의 2006년 일별 관측수위를 이용하여 유입량과 수위-체적 곡선으로부터 산정하였다. 모델의 보정은 2005년 5월과 8월에 측정한 수질자료를 이용하여 수행하였으며, 저수지의 관측값과 모의결과는 저수지 중앙부 대표지점에서 이루어졌으며, 모델은 관측값을 잘 반영하였다. 모의 결과 M 저수지의 연평균 BOD농도는 합류식(1.25 mg/L)에 비해 분류식 하수관거(0.91 mg/L)를 도입할 경우 27.2% 개선되었으며, 초기우수 처리시설(0.84 mg/L)을 추가 할 경우 32.8% 까지 개선효과가 상승하였다. 기존 합류식 하수관거의 경우 연간 유출부하량은 7,713 kg/yr이었으며, 분류식으로 전환할 경우 2,256 kg/yr, 초기우수처리시설을 추가할 경우 902 kg/yr로 삭감되는 것으로 예측되었다. 분류식하수관거와 초기우수처리를 모두 이행할 경우, BOD와 COD 기준이 호수 수질 기준 II등급 이내로 유지되며, T-P 농도는 0.02mg/L 이하로 유지되어 6월 이후 여름철에 저수지내 조류성장 억제에 효과가 클 것으로 예측되었다. 하수관거 정비사업을 통해 M 저수지는 기존의 농업용 저수지의 목표수질뿐만 아니라, 친수공간으로써 적합한 II등급 수질을 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 초기우수처리, 저수지 수질개선, 하수관거 정비, CE-QUAL-W2

1. 서 론

우리나라의 하수관거시스템은 대부분 우수와 오수를 동시에 배수하는 합류식 하수관거이다. 합류식 하수관거는 경제적, 기술적으로 유용한 장점이 있지만 설계 용량을 초과하는 강우 발생시 차집되지 않고 월류수가 발생한다. 이런 월류수는 불투수지역에 쌓여있는 오염물질을 포함하여 유출되기 때문에 수용 수체의 수질에 직접적 영향을 끼친다. 합류식 하수관거를 통해 부하되는 도시지역의 비점오염원은 수질오염총량관리제의 성공에 큰 부담을 줄 것으로 예측된다. 최근 하수관거 정비 민자사업(BTL)으로 분류식 하수관거 정비사업이

* 충북대학교 환경공학과 석사과정 · E-mail : withye@chungbuk.ac.kr

** 충북대학교 환경공학과 석사과정 · E-mail : baobeiyitouzhu@hotmail.com

*** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 박사과정 · E-mail : lhs092311@hotmail.com

**** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 박사과정 · E-mail : heyjub@chungbuk.ac.kr

***** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 부교수 · E-mail : schung@chungbuk.ac.kr

많이 시행되고 있다. 그러나 엄청난 예산 투자에 비해 수질개선 효과에 대한 평가는 미흡한 실정이다. 본 연구의 목적은 유역에 설치된 합류식 하수관거를 분류식으로 개선하고, 강우시 초기 세척에 의해 유입하는 비점오염원을 삭감하기 위한 초기우수 처리시설 설치가 소규모 저수지인 M-저수지의 수질개선에 미치는 효과를 평가하는데 있다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

M 저수지의 총 저수량은 3,950 천m³이고, 유효저수량이 3,918 천m³이며, 저수지 하류 1,000 ha의 농경지에 관개용수를 공급하는 소규모 저수지이다(한국농촌공사, 1977). 총 유역면적이 366 ha이고 만수면적이 88 ha로서 유역면적/만수면적의 비는 4.2이다(표 1). 유역면적의 대부분을 인근 유원지가 차지하고 있고 주요 오염원은 강우시 합류식 하수관거를 통해 유입하는 하수(Combined Sewer Overflows)와 주변 유원지의 음식점 등에서 배출되는 생활하수이다. 저수지의 수질은 2005년 5월과 8월에 농림부 한국농어촌공사에서 실시한 수질측정망 조사결과, COD의 경우 각각 4.5 mg/L, 4.3 mg/L로써 호소수질환경기준 III등급으로 농업용수 수질환경기준 IV등급을 만족하였다. 또한, T-P는 0.030 mg/L, 0.027 mg/L로써 양호한 편이지만, 미국 환경부(EPA)의 부영양화 평가 기준인 0.02 mg/L를 초과하고 있다. COD와 BOD의 비율은 약 3.0배 정도를 보였으며, 조사시기 동안 Chl.a의 농도는 10 mg/m³ 이하를 보였다(표 2).

표 1. M 저수지 시설현황

구 분	현 황
총 저수량	3,950 천m ³
유효저수량	3,918 천m ³
유역 면적	366 ha
만수 면적	88 ha
수혜 면적	1,000 ha
설계홍수량	15.8 m ³ /sec
제당 길이	269.6 m
제당 높이	9.7 m
관리 주체	농촌공사(군산지사)
준공 년도	1959

표 2. M 저수지 수질 현황

항 목	'05. 5	'05. 8
Temp. (°C)	19.7	28.6
pH	6.8	7.0
EC (μ S/cm)	162.0	141.0
DO (mg/L)	8.0	7.3
BOD (mg/L)	1.4	1.5
COD (mg/L)	4.5	4.3
T-N (mg/L)	0.407	0.599
T-P (mg/L)	0.030	0.027
SS (mg/L)	4.8	1.8
Chl.a (mg/m ³)	5.5	7.4

2.2 모델개요 및 적용

본 연구에서는 하수관거 정비사업에 따른 오염부하량 변화가 저수지 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해 미국공병단에서 개발한 횡방향 평균 2차원 저수지 수리 및 수질예측 모델인 CE-QUAL-W2(Cole and Wells, 2004)를 사용하였다. W2 모델은 연속방정식과 x-방향 및 z-방향 운동량 방정식, 자유수면 방정식, 밀도 상태방정식, 물질수지방정식의 6개 지배방정식으로 구성되며, 6개의 미지수 즉, x-방향 유속(u), z-방향 유속(w), 수압(P), 밀도(p), 저수지 수위(n), 수질농도(C)를 유한차분 수치해석기법을 사용하여 계산한다(Cole and Buchak, 1995; Cole and Wells, 2004).

수치해석을 위해 저수지 지형자료는 수계 형상을 고려하여 3개의 구획(Branch)으로 구분하고, x-방향으로는 100m 간격으로 수계전체를 33개의 요소(Segment, $\Delta x = 100m$), 수심방향으로는 1m 간격으로 11개 층(Layer)으로 구성하였다(그림 1). 저수지 지형(Bathymetry) 자료는 농촌공사의 수심측량 결과(한국농촌공사, 1977)로부터 추출하였으며, 모형에서 계산한 저수지 수위별 용량곡선을 실측자료와 비교한 결과 결정계수값 (R^2)이 0.9713으로 매우 높았다(그림 2). Branches 1 ~ 3의 저수지 유입량은 군산기상대에서 관측한 일별 강우

량 자료를 이용하여 합리식으로 일별 유출량을 산정하였으며, 댐 하류 관개용수로 지선으로부터 제수문을 통해 양수된 물의 유입량은 농촌공사의 월별 양수장 가동 자료를 수집하여 사용하였다. 댐 방류량 자료는 M저수지의 2006년 일별 관측수위를 이용하여 유입량과 수위-체적 곡선으로부터 산정하였다. 그림 3에 저수지 유입량과 방류량 자료를 경계조건으로 사용하여 모의한 저수지 수위와 실측수위를 비교하였다.

모델의 보정은 2005년 5월과 8월에 측정한 제한된 수질자료를 이용하였고 저수지 중앙부 대표지점에서 관측값과 모의결과를 비교하였다. 그림 4에 BOD와 TP의 관측값과 모의값을 보정한 결과, 모델의 모의값은 관측값을 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 저수지 수질은 강우시 합류식 하수관거의 유출수가 부하되는 시기에 일시적으로 악화되는 경향을 보였다.

모의 시나리오는 기존의 합류식 하수관거 운영(S-1), 분류식 전환(S-2), 분류식 전환과 초기우수 (~ 10 mm) 처리(S-3)로 구분하여 실행하였다. 합류식을 분류식으로 전환할 경우 70%의 오염부하가 삭감되며, 초기우수 처리를 포함할 경우 추가적으로 18%의 부하가 삭감되었다.

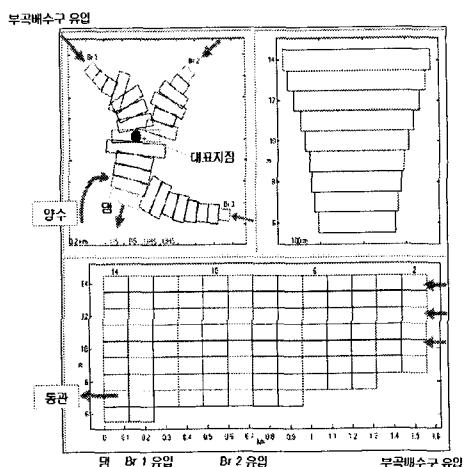


그림 1. M저수지 수질모델링을 위한 유한차분 격자 구성

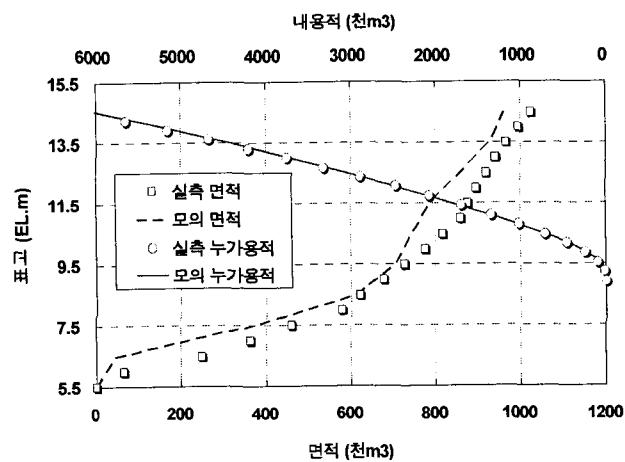


그림 2. 미제저수지 표고별 면적 및 용적곡선 실측값과 모의값 비교

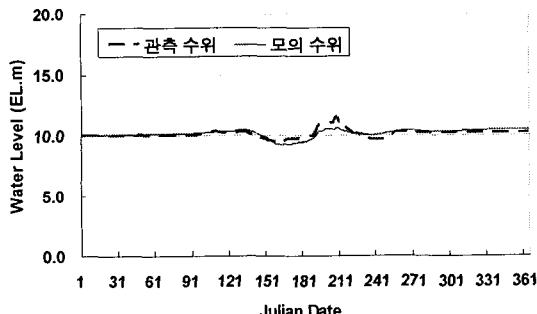


그림 3. 저수지 관측수위와 모의수위 비교

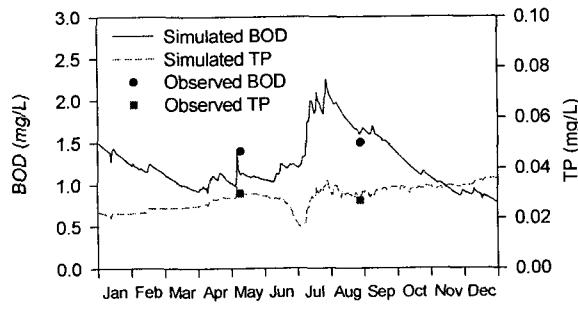


그림 4. 저수지 수질예측 보정 결과

3. 결과 및 고찰

3.1 연중 수질변화

기존 합류식 하수관거의 경우, BOD의 연간 유출부하량은 $7,713 \text{ kg/yr}$ 이며, 분류식으로 전환할 경우 $2,256$

kg/yr, 초기우수처리시설을 추가할 경우 902 kg/yr가 산감되었다(그림 5). 그럼 6은 하수관거 정비 시나리오별 수질농도를 예측, 비교한 결과로 합류식 하수관거를 분류식으로 정비할 경우 저수지의 수질농도는 크게 개선되는 것으로 나타났다. 특히, 강우량이 많은 여름철에 수질개선효과가 매우 큰 것을 예측 되었다. 또한 오수펌프장의 여유용량을 이용하여 오염도가 높은 초기우수(10 mm 미만)를 저류하여 처리할 경우 추가적인 수질개선효과를 기대할 수 있다. 분류식 하수관거와 초기우수처리를 모두 이행할 경우, 여름철 저수지내 BOD와 COD 농도는 각각 1.0 mg/L, 3.0 mg/L 이하로 유지되며, 호수 수질기준 II등급 유지가 가능할 것으로 판단된다. T-N과 T-P의 농도는 조류 성장과 매우 밀접한 관계를 보였으며, 분류식 하수관거로 전환할 경우 상당한 수질개선 효과가 기대되었다. 분류식 하수관거와 초기우수처리시설을 모두 설치할 경우, 수온이 높아 조류 성장이 활발해지는 여름철에 저수지 T-P 농도를 0.02 mg/L 이하로 유지 가능 할 것으로 예측되었다. 따라서 분류식 하수관거와 초기우수처리 대책은 저수지내 6월 이후 여름철에 저수지내 조류 성장 억제에 효과가 클 것으로 판단된다.

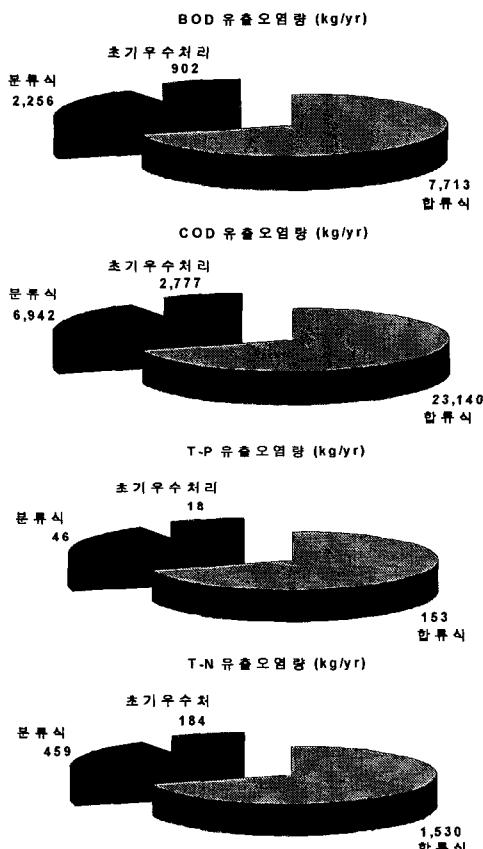


그림 5. 하수관거 정비 시나리오별
배수구역 연간 유출부하량

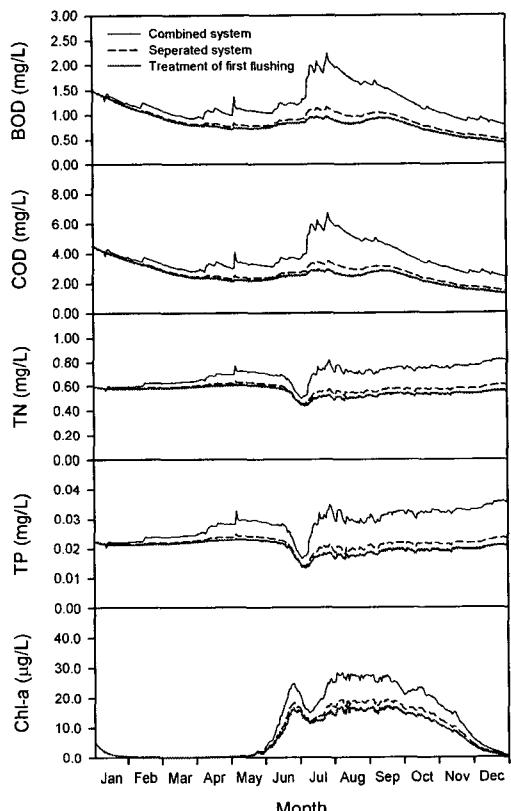


그림 6. 하수관거 정비 시나리오별 수질농도
예측 결과 비교

3.2 연평균 수질개선 효과

기존에 설치된 합류식 하수관거, 합류식 하수관거를 분류식으로 개선, 초기우수 처리시설의 추가 설치에 따른 연평균 수질개선효과를 그림 7에 나타내었다. 합류식(1.25 mg/L)에 비해 분류식 하수관거(0.91 mg/L)는 연평균 BOD 농도를 27.2% 개선되었으며, 초기우수 처리시설(0.84 mg/L)을 추가 할 경우 32.8%까지 개선되는 것으로 나타났다. 연평균 COD 농도는 합류식(3.75 mg/L)에 비해 분류식 하수관거(2.72 mg/L)에서 27.5%

개선되었으며, 초기우수 처리시설(2.51 mg/L)을 추가 할 경우 33.1%까지 개선효과가 상승했다. 또한, 합류식(0.70 mg/L)에 비해 분류식 하수관거(0.58 mg/L)는 연평균 T-N 농도를 17.1% 개선되었으며, 초기우수 처리시설(0.55 mg/L)을 추가 할 경우 21.4%까지 개선되는 것으로 나타났다. 연평균 T-P의 농도는 합류식(0.028 mg/L)에 비해 분류식 하수관거(0.022 mg/L)에서 21.4% 개선되었으며, 초기우수 처리시설(0.020 mg/L)을 추가 할 경우 28.6%까지 개선효과가 상승했다.

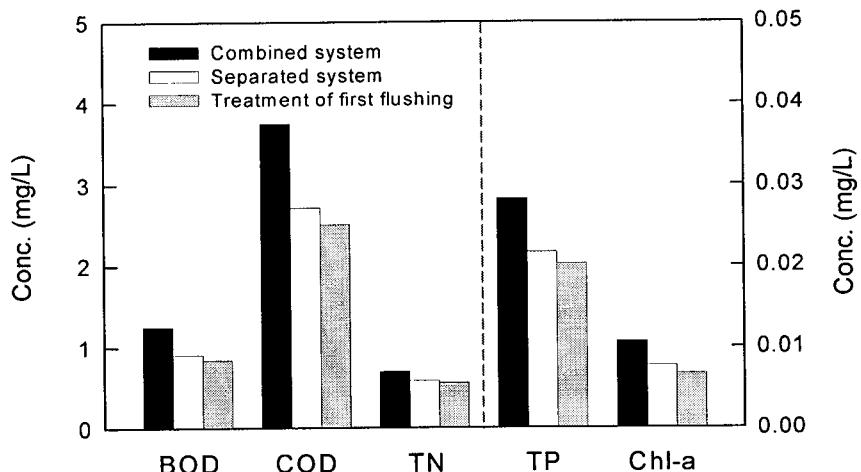


그림 7. 저수지 연평균 수질비교

4. 결 론

M 저수지의 주요 오염원인 기존의 배수구역 합류식 하수관거를 분류식으로 개선할 경우, 저수지의 BOD, COD, T-N, T-P 및 Chl.a의 농도는 현재보다 20 ~ 30% 정도 개선 될 것으로 예측된다. 또한, 하수관거의 분류식 전환에 따라 여유가 있는 오수펌프장을 이용하여 오염도가 높은 초기우수(10 mm 미만)를 일시 저류하여 처리할 경우, 추가적으로 5 ~ 6%의 수질개선 효과가 상승할 것으로 예측된다. 따라서 하수관거 정비사업을 통해 M 저수지는 기존의 농업용 저수지의 목표수질 뿐 만 아니라, 인근 유원지의 친수공간으로써 적합한 II 등급 수질을 달성할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에 적용된 수질모델링 기법은 광범위하게 진행되고 있는 하수관거정비 사업의 수질개선 효과를 평가하는데 유용하게 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 농림부 (2005). 2005 농업용수 수질측정망조사 보고서
- 한국농촌공사 (1977). 농업기반시설(저수지) 등록부
- Cole, T. M. and Wells, S. A. (2004). CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2 User Manual, U.S. Army Corps of Engineers.
- Cole, T. M., and Buchak, E. M. (1995). CE-QUAL-W2: A Two-dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, user's manual, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.