

대전광역시 소유역에서 합류식 하수관거 월류수(CSOs)의 배출특성 모델링

김정곤[†] · 고익환

한국수자원공사 수자원연구원

(2006년 1월 11일 접수, 2006년 6월 16일 채택)

Modeling of Discharge Characteristics of Combined Sewer Overflows(CSOs) from a Small Urban Watershed in Daejeon City

Jeongkon Kim[†] · Ick Hwan Ko

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

ABSTRACT : This study investigated the discharge characteristics of combined sewer overflows(CSOs) at a small watershed located in the Ojeong-cheon area of the Daejeon-cheon, Daejeon City. The long-term variations of discharges, water quality, and SS loads from 2001 to 2004 were simulated using SWMM. The simulation results indicated that suspended solid(SS) loads during the rainy seasons(July~August) were highest throughout the whole year, but not substantially higher than those during the dry seasons. This result is due to the fact that contaminants do not buildup significantly because of frequent rainfall events during the wet seasons. It was estimated that about 9.3% of SS was discharged to the receiving body the during dry seasons while 90.7% during the rainy seasons. Further analysis showed that during the wet seasons SS loads discharged at the site as CSOs and at the wastewater treatment plant without treatment were 38% and 62%, respectively.

Key Words : Urban River, CSOs, Water Quality, SWMM

요약 : 본 연구에서는 대전천에 위치한 오정천지역의 소유역을 대상으로 CSOs 배출특성에 관한 모델링을 실시하였다. SWMM을 이용하여 대상유역에서 2001~2004년까지의 연간 유량, 수질, 및 부하량 변화에 대하여 모의를 실시하였다. 모의결과에 의하면, 강우에 의해 발생된 SS 유출부하량은 강우가 집중되는 7~8월에 가장 높게 나타났으나, 이때 강우의 증가에 비하여 부하량의 증가는 크지 않았는데 이는 강우가 잦은 7~8월에는 짧은 건기일수로 인하여 유출수의 SS농도가 낮아졌기 때문이다. 2001~2004년 동안의 유량과 수질을 기초로 유출부하량을 산정한 결과 SS가 연간 하천에 미치는 부하량은 건기에 9.3%, 우기에 90.7%로 우기에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 우기시에 우수토실에서 월류를 통해 유출되는 CSOs는 38.4%, 차집관거로 차집 되어 하수처리장 방류구를 통해 방류되는 부분은 61.6%로 산정되었다.

주제어 : 도시하천, CSOs, 수질, SWMM

1. 서론

합류식 하수도는 우수와 오수를 신속하게 배제하여 생활환경개선 및 침수대책을 동시에 달성할 수 있는 합리적인 배제시스템이지만 강우시에 발생하는 우수 전량을 처리하는 것은 시간적, 재정적으로 어려우므로 자연히 하수처리능력을 초과하는 우수는 하천으로 유출되는 구조로 되어 있다. 우리나라 도시지역의 하수 및 우수의 배제는 합류식하수관거(65%)와 분류식하수관거(35%)를 통해 이루어진다.¹⁾ 그러나 현재 분류식하수관거지역으로 분류된 지역이라 할지라도 신도시지역을 제외하고는 대부분이 부분 분류식으로 이루어져 있기 때문에 도시지역에서의 하수 및 우수의 배제는 대부분이 두 가지를 한 관거에서 배제하는 합류식하수관거

시스템에 의해 이루어진다고 할 수 있다.

합류식하수관거의 우수배제는 초기에는 하류간선 또는 구간선 하수관거에 설치된 우수토실(Regulator)을 통해 차집관거로 유입된 후 하수처리장으로 이송되지만, 차집관거 용량 이상의 우수가 발생시에는 차집 관거로 유입되지 못하고 직접 방류선 수체(하천, 해양, 저수지 등)로 유출된다. 이와 같은 유출수를 합류식하수관거 월류수(CSOs : Combined Sewer Overflows)라 한다. CSOs에는 우수와 함께 지표면 오염물질, 관거 내 퇴적물, 미처리된 하수 등이 함께 유출되기 때문에 건기하수에 비해 수배 이상의 고농도를 나타내며 방류수수질기준의 수십 배가 넘는 유출수가 인접수역으로 직접 배출되므로 하천을 오염시키는 주요 원인의 하나로 알려져 있고, CSOs의 저감대책을 위한 많은 연구가 진행되었다.²⁻¹²⁾

대전광역시의 경우 90년 초를 기점으로 적극적인 하천정화 활동을 통하여 많은 수질개선효과를 보이고 있다. 하지만 도시화에 따른 불투성층의 증가와 저류능력 감소, 치수를 목적으로 한 하도정비 등에 의하여 기저유출량은 과거에 비해

[†]Corresponding author
E-mail: jkkim@kwwater.or.kr
Tel: 042-860-0430

Fax: 042-860-0349

현재까지 감소하였으며, 이로 인하여 갈수기에는 유량이 적어 생태적이고 친수적인 다양한 하천기능 수행에 많은 어려움을 초래하고 있다. 또한, 과도한 불명수가 유입되어 대전하수종말처리장의 운영효율이 저감되어 운영되고 있는 실정이다. 또한 합류식, 분류식지역이 혼재하여 분류식의 효과가 저감되고 있으며, 기존 관거의 노후화에 의한 유하능력 부족 및 하수관거의 파손은 하천의 오염을 가중시키고 있다. 또한, 강우초기에 발생하는 비점오염원은 하천의 환경·생태계를 악화시킴으로써, 대전광역시가 현재 추진 중인 대전3대하천 생태복원사업의 효과를 저하 시킬 뿐만 아니라, 공공수역의 막대한 예산의 수질오염개선대책에도 불구하고 수질 개선이 이루어지지 않는 요인이 될 수 있다.

대전광역시는 바람직한 하천기능의 회복을 위해 대전3대하천의 도심생태하천조성과 병행하여 오염총량관리 시행을 위한 오염원 저감대책 방안으로 하수관거 정비 및 다양한 하천의 수량 및 수질 개선 사업을 추진할 계획이다.¹³⁾ 본 연구에서는 대전3대하천유역의 대전천에 위치한 오정동지역의 소유역을 대상으로 합류식 하수관거에서의 CSOs 배출특성에 관한 연구를 실시하였다.

2. 연구방법

2.1. SWMM 모형의 개요

본 연구에서는 도시유출해석에서 일반적으로 사용되는 SWMM ver. 5.0을 사용하여 대상유역에서 발생하는 연간 오염 부하량을 모의하였다.¹⁴⁾ SWMM 모형은 도시유역 내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 해석, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다.

SWMM에서 투수유역으로부터의 침투는 Horton 또는 Green-Ampt 방정식을 선택하여 사용할 수 있고, 지표면유출에 대한 기본방정식은 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 kinematic wave 근사법인 비선형저류방정식을 사용한다. 각 소유역에서의 수심과 유량을 결정하기 위해 연속방정식과 Manning 방정식을 사용하며, 계산을 수행하기 위해 상류부 경계조건만이 필요하고, 각 수로요소는 다른 요소에 대해 독립적인 계단형 수로로 가정된다. 관로유출은 비선형 저류방정식으로부터 계산되며, 해를 구하기 위하여 모형개발 초기에는 수정 Euler방법을 사용하였으나, 후에 보다 안정된 해를 얻기 위해 Newton-Raphson 방법으로 대체되었다. 유출현상의 동역학적 거동은 준 정상(Quasi-steady) 상태로 근사 처리된다. 이 방법은 수심과 단면적이 시간에 따라 급하게 변화하지 않는 경우에 그 적용성이 크다.

강우 시 유역에서의 오염물 유출은 두 가지 자연현상으로 이루어진다. 먼저 강우가 시작되기 이전 건조기 때의 오염물의 증착(Build-up)과 강우개시 이후의 강우의 역학적인 작용으로 인한 쓸림(Wash-off)이다. 이렇게 유역에서 쓸려 내려온 오염물질은 도시지역의 경우 우수관거 또는 합류식 하수

관거에서 하류로 이송되며, 비도시지역의 경우는 지표면 위로 흐르는 우수에 포함되어 하천으로 유입이 되어 하천에서의 오염물질 부하를 증가시킨다. 비점오염원에서의 오염물질의 증착은 상당히 복잡한 자연현상으로서 청정기간, 도로청소 정도, 토지이용, 강우 등 여러 요인에 따라 그 변화가 심하므로 SWMM에서는 다양한 경험식들을 제공한다.

2.2. 연구지역 특징

현재 대전광역시의 하수관거는 동구, 중구 서구, 대덕구의 기존 구도심 지역의 경우 합류식하수관거이며 둔산, 대덕연구단지, 노은지구 등이 분류식하수관거로 이루어져 있다(Fig. 1). Table 1은 우수관과 오수관의 배수구역별 현황을 보여 주고 있는데, 총 6개의 지천으로 배수되며 우수관은 분류식과 합류식 관거에서의 총 관수로로 약 1,813개를 차지하고 오수관은 분류식의 경우로 약 317개를 차지하고 있다. 오수관의 경우 대부분이 감천으로 배수되는 관거였으며 다른 배수구역의 경우는 대부분이 합류식의 우수관으로 갑작스런 우수시의 CSOs로 인한 하천오염을 야기하는 원인으로 나타났다. 대전광역시는 대전하수처리장 구역 내 합류식 지역 중 유성천, 월평, 회덕, 오정천지역 등을 분류식화 하여, 합류관거 내의 생활계오수 및 공장폐수를 우수와 혼합하지 않고 배출시켜 배출수 수질을 향상시킬 계획이다.¹⁵⁾

Table 1. Drainage data of major rivers and stream in Daejeon

배수구역	오수관	우수관	총 계
대전천	10.2	606.2	616.4
유등천	77.4	538.4	615.8
감천	209.4	475.6	685.0
진잠천	2.4	20.6	23.0
유성천	-	63.9	63.9
금강	17.5	108.9	126.4
총계	316.9	1,813.6	2,130.5

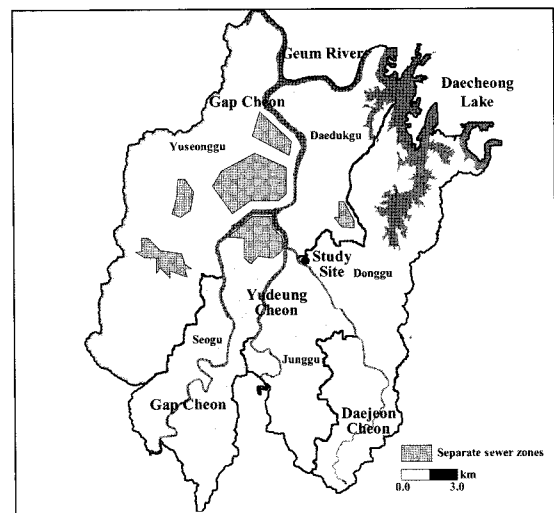


Fig. 1. Map of Daejeon city with major separate sewer zones and the study site location.

Table 2. Characteristics of the study area

위치	하수 배제방식	인구(인)	면적(ha)	토지이용특성(%)
대전광역시 대덕구 오정동	합류식	16,289	136.2	주거지역(73.4) 상가지역(5.5) 비개발지역(6.8) 도로(14.2)

연구 대상유역의 선정은 대전 3대 하천 유역 가운데 환경부의 오염총량관리제에서 시행하고 있는 분류식화 추진지역인 유성지역, 월평지역, 회덕지역, 오정동 지역의 4개 지역중에서 유역의 접근성, 안전성, 이동성, 대표성 등을 고려하여 오정동 지역의 소유역으로 선정하였다(Fig. 1). 연구유역은 관거 시공이 1996년 이전에 완료된 처리구역으로 학교, 단독주택, 아파트, 도로 및 상가가 복합된 일반적인 도시지역의 특성을 나타내고 있다(Table 2). 이 지점의 CSOs는 대전광역시의 중심부를 관통하는 3대 하천의 하나인 대전천으로 방류된다.

3. 결과 및 토의

3.1. 입력자료 구축 및 보정결과

모형의 구축을 위하여 대상유역에서 조사된 유역자료 및 수질 자료를 이용하였고, 모의에 대한 보정 및 검증은 대상 유역에서 실측된 측정 자료를 이용하였다.¹⁶⁾ 연구 대상지역의 배수계통을 고려하여 구축된 모형은 구축하였다. 연구 지역의 유역특성 및 배수관망을 고려하여 Subcatchment(소유역)는 29개, Junction Nodes와 Conduit Links는 각각 23개, 토지이용은 거주지와 상가 및 미개발지역의 3개 지역으로 구분하여 모형을 구축하였다(Fig. 2). Infiltration은 HORTAN 식을 적용하였으며, 오염물의 증착에는 Power-Linear 공식을 사용하였다.¹⁴⁾

측정된 강우사상 중 2004년 4월 1일에 발생한 강우사상을 대상으로 유출량과 SS 농도에 대해 모형의 보정을 실시하였다(Fig. 3). 유출량의 경우 모형이 시간에 따른 유량변화를 잘 모의하는 것으로 나타났으나, SS의 경우는 강우 후반기에 관측 값을 다소 과소추정하고 있다.

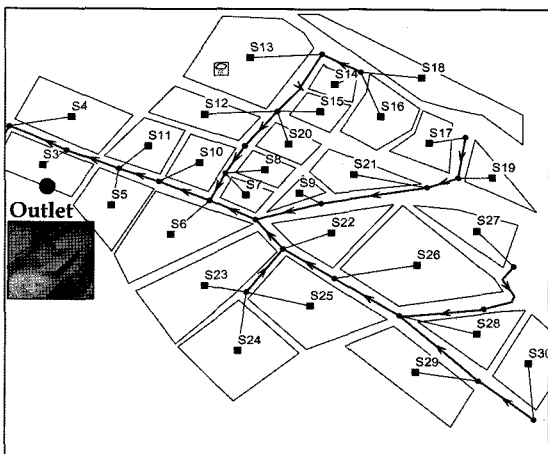
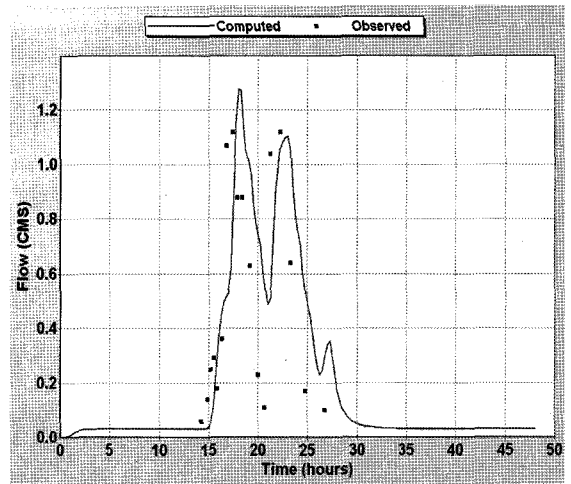
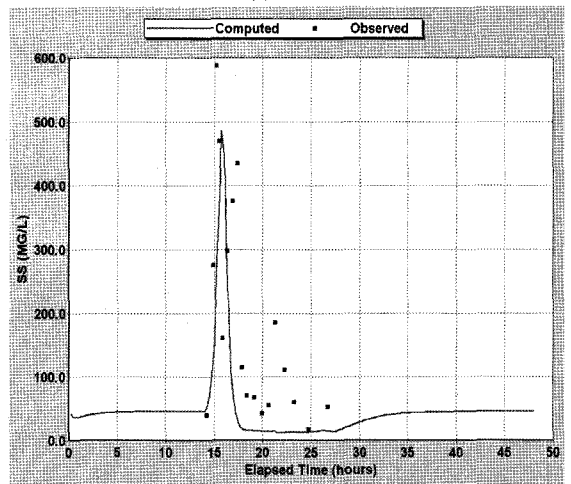


Fig. 2. Delineated sewer networks for SWMM model simulation.



(a) flow



(b) SS

Fig. 3. Calibration results for (a) flow and (b) SS concentration.

3.2. 장기 유출에 의한 CSOs 발생 및 오염 부하량 산정

보정된 모형을 이용하여 연구유역에서 2001~2004동안의 CSOs 발생 특성 및 연간 발생하는 오염부하량을 산정하였다. 강우자료는 대전지방기상청의 2001~2004년 강우자료를 이용하였다. Fig. 4는 연구유역에서 2001에 산정된 연간 유량, SS 농도 및 SS 부하량에 대한 결과를 보여주고 있다. CSOs 발생량은 강우강도에 비례해서 증가하므로 강우강도가 높은 우기 기간에 큰 값을 보여주고 있다. 그러나 SS농도는 선행 건기일수에 영향을 받게 되므로 봄철에 큰 값을 보이고 있고, 연간 다소 균일하게 분포되어 있는 것을 알 수 있다. SS 부하량은 유량과 SS농도의 곱에 의해서 결정되므로, 유량과 농도가 높을 때에 부하량이 커지게 된다. Fig. 5는 연구유역에서 2002~2004년 강우자료를 이용하여 산정된 연간 SS 부하량에 대한 결과를 보여주고 있다.

모델링 결과를 토대로 분석한 연별 CSOs의 발생특성을 Table 3에 나타내었다. 여기서 ②는 미국 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System)의 기준에 따라 유출이 발생할 수 있는 유효강우에 대한 크기(일 누적강우량 0.1 inch 이상, 평균강우강도 0.01inch/day 이상)를 기준으로

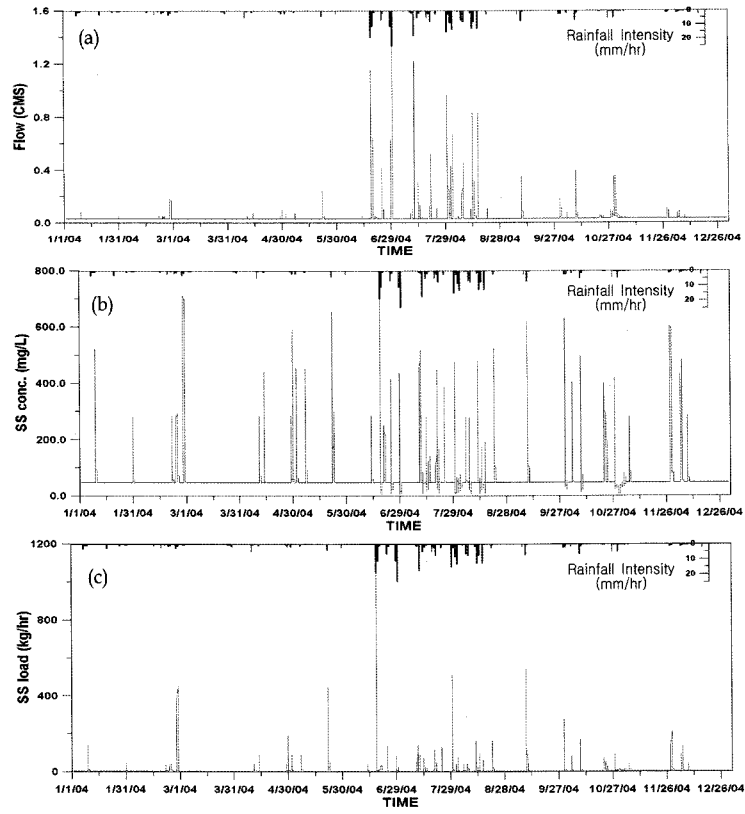


Fig. 4. Simulation results : (a) flow, (b) SS concentration, and (c) SS load in 2001.

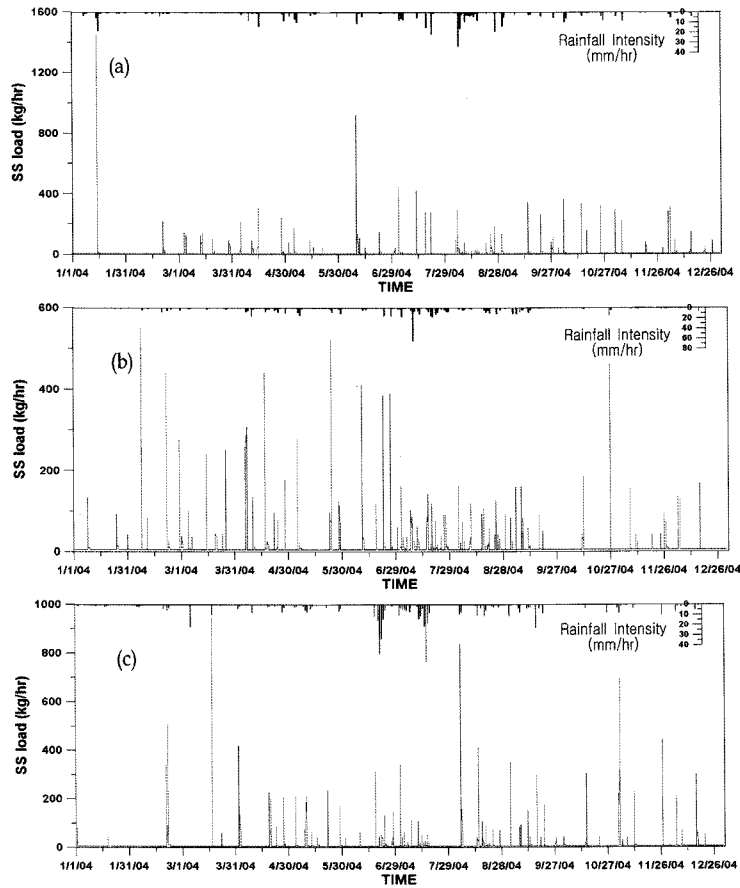


Fig. 5. Estimated SS loads : (a) 2002, (b) 2003, and (c) 2004.

Table 3. CSOs generation characteristics

발생특성	2001	2002	2003	2004
① 총 강우량(mm)	829	1,379	1,749	1,497
② 총 강우 유출 Event(회)	34	42	36	36
③ CSO가 발생된 Event(회)	19	24	28	25
④ 연간 총 유출량(m ³)	1,125,738	1,264,284	1,332,414	1,280,295
⑤ 강우에 의한 총 유출량(m ³)	1,071,697	1,259,523	1,299,077	1,256,550
⑥ CSO 형태의 총 유출량(m ³)	126,153	231,984	289,494	256,167
⑦ Peak Flow(m ³ /sec)	1.5	2.2	4.3	3.9
⑧ Base Flow(m ³ /sec)	0.03	0.03	0.03	0.03

산정하였다.¹⁷⁾ ③은 본 연구지점에서 실측결과 유량이 약 0.17 cms 이상에서 CSOs가 발생하기 시작하였는데 이를 기준으로 발생 횟수를 산정하였다. ④는 매년 건기시와 우기시에 우수토실지점에서 유출된 총 유량을 산정한 것이고, ⑤는 ⑧의 건기유량 이상의 값을 산정한 크기이다. ⑥은 앞에서 언급한 0.17cms 이상의 유출유량을 나타낸 것이다. 총 강우량에 비례해서 CSOs 발생량이 증가 하였으며, 강우횟수보다는 강우강도의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

강우에 의해 발생된 SS 부하량을 월별로 Fig. 6에 나타내었다. 강우에 의한 유출 부하량은 강우가 집중되는 7~8월경에 높게 나타났다. 그러나 이 기간의 강우량 증가에 비하여 SS 부하량은 비교적 큰 증가를 보이지 않고 있는데, 이는

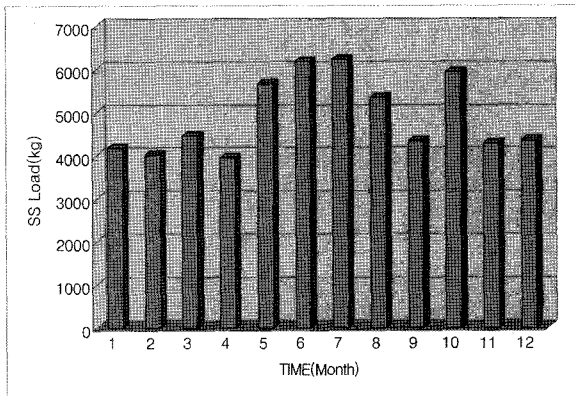
Table 4. Summary of water quality for various sources(2001~2004)

유출수 수질(mg/L)	2001	2002	2003	2004
① SS Peak conc	743	728	695	754
② SS Average conc	175	176	168	173
③ 건기 하수 농도	50	50	50	50
④ 하수처리장 방류수 농도	4	4	4	4
⑤ Standard deviation	152	149	143	151

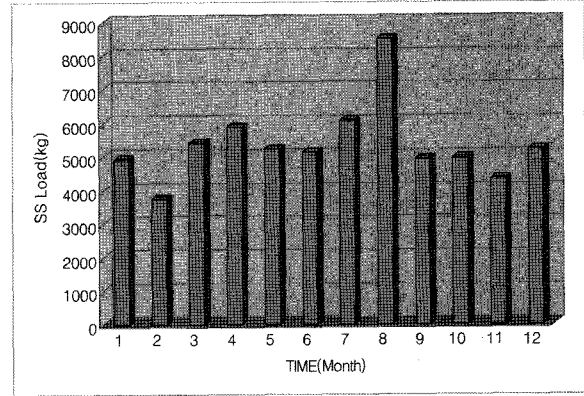
Fig. 6의 연간 SS의 변화 그래프에 나타나 있는 바와 같이 강우가 잦은 7~8월에는 하수관거 내에 SS의 축적보다는 쓸림량이 증가하여 유출수의 SS 농도가 낮아지기 때문이다.

연구유역에서의 연별 유출수질을 Table 4에 요약하였다. 여기서, ①은 연 모의에 대한 SS의 최대값을 나타낸 것이고, ③은 건기시 연구유역의 우수토실 지점에서 실측된 유출수의 농도를 나타낸 것이다. ④는 일반적인 하수처리장 방류수의 SS 농도를 나타낸 것이다. 2001~2004년 동안 유출 SS의 농도는 연도 별로 약간씩 차이가 있었으나, 건기하수농도나 하수처리장 농도는 같은 수준으로 조사되었다.

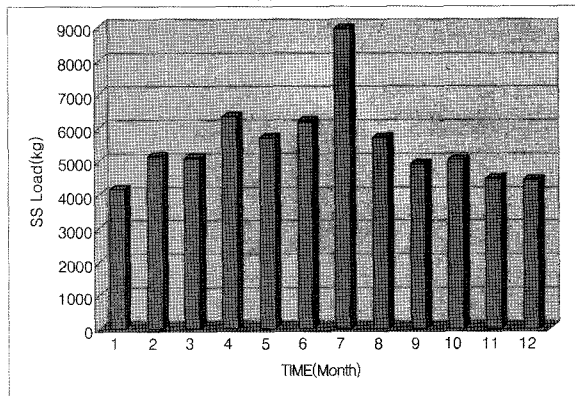
Table 5는 연구유역에서의 연별 유출 부하량을 나타낸다. 여기서, ①은 건기하수의 부하량과 강우유출수에 부하량을 합한 값이고, ②는 ①의 건기하수가 정상적으로 하수처리장에서 처리된 후의 크기를 적용한 것으로 연간 하천에 영향



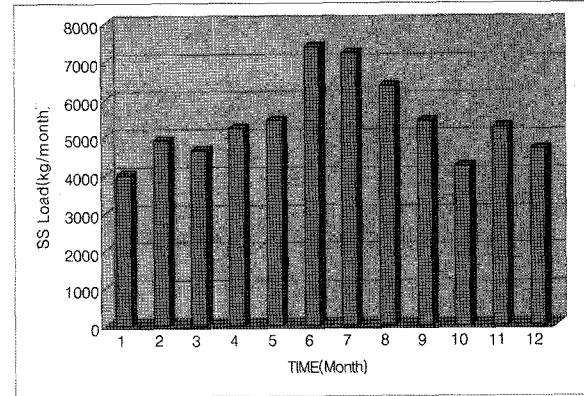
(a) 2001



(b) 2002



(c) 2003



(d) 2004

Fig. 6. Monthly SS discharge loads(2001~2004)

Table 5. Summary of discharge loads(2001~2004)

유출 부하량(kg)	2001	2002	2003	2004
① 우수토실지점에서 하수의 총 방류 부하량	72,039	75,768	74,800	75,295
② 강우유출수 부하량 + 하수처리장 방류 부하량	32,483	37,906	37,701	36,712
③ 강우 유출수 부하량	28,998	34,535	34,387	33,282
④ CSO 형태로 유출된 부하량	7,542	11,616	12,163	12,776
⑤ 강우시 하수처리장 방류구를 통해 유출된 양	21,456	22,919	22,224	20,506
⑥ 건기시 하수처리장 방류 부하량	3,485	3,371	3,314	3,430

Table 6. Summary of SS loads to the river at each discharge point

Discharge Points	SS loads
① 건기 WWTP	3,430kg(9.3%)
② CSOs 형태	12,776kg(34.8%)
③ 우기 WWTP	20,506kg(55.9%)

을 미치는 실제 크기를 의미한다. ③은 강우에 의해 증가된 부하량의 총량을 나타낸 것이고, ④는 유량이 0.17 cms 이상의 크기로 유출될 경우에 대한 부하량을 나타낸 것으로 연구구역의 우수토실 지점에서 직접 하천으로 유입되는 부하량의 크기를 의미한다. ⑤는 강우시 차집관거로 차집된 유량이 하수처리장으로 이송되어 방류구를 통해 방류된 부하량의 크기를 나타낸 것이고, ⑥은 건기에 정상적으로 하수처리가 된 후 방류되는 부하량을 나타낸 것이다. 총부하량과 강우유출수부하량의 경우 2002년에 가장 크게 나타났으며, 2001년에 최소값을 나타냈다. 그러나 CSOs 형태로 유출된 부하량의 경우는 오히려 2003년과 2004년에 더 많이 발생하였는데, 이는 관거형태와 불명수의 오염물질에 따른 영향으로 해석할 수 있다.

건기시에 유출되는 SS의 부하량과 우기시에 유출되는 부하량을 Table 6에 비교하였다. SS가 연간 하천에 미치는 부하량 중 건기시의 부하량이 9.3%, 우기시의 부하량이 90.7%로 우기시에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 우기시에 우수토실에서 월류를 통해 유출되는 CSOs 부분과 차집관거로 차집되어 하수처리장 방류구를 통해 방류되는 부분을 비교한 결과 CSOs는 38.4%, 하수처리장 방류구는 61.6%로 나타나, 유출부하량은 우기시 하수처리장 방류구의 영향이 크게 작용하는 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구에서는 대전3대하천구역의 대전천에 위치한 오정동지역의 소유역을 대상으로 합류식 하수관거에서의 CSOs 배출특성에 관한 연구를 실시하였다. 대상구역에 대해 SWMM을 이용하여 모형을 구축하고 2001~2004년까지의 강우자료를 이용하여 연간 유량, 수질, 및 오염부하량에 대하여 모의 실시하였다.

모의결과에 의하면, 강우에 의해 발생된 SS부하량을 월별로 나타낸 결과 유출부하량은 강우가 집중되는 7~8월에 가장 높게 나타났다. 그러나 이 기간 동안에 강우의 증가에 비하여 부하량의 증가는 크지 않았는데, 이는 강우가 잦은 7~8월에 짧은 건기일수로 인하여 유역 및 관거내 오염물질의 축적이 적어 유출수의 SS농도가 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다. 2001~2004년 동안의 유량과 수질을 기초로 유출부하량을 산정한 결과, 건기에는 9.3%, 우기에는 90.7%로 연간 하천에 미치는 SS 부하량 중 우기시에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 또한, 우기시에 우수토실에서 월류를 통해 유출되는 CSOs는 38.4%, 차집관거로 차집 되어 하수처리장 방류구를 통해 방류되는 부분은 61.6%로 나타났다.

비점오염원을 적절히 관리하기 위해서는 우선적으로 비점오염물질의 유출특성을 파악하여야 하며, 유역별 또는 소수계별로 조사대상을 선정하여 장기간에 걸친 현장조사를 수행하여 자료를 확보해야 할 것이다. 따라서 본 연구를 바탕으로 대전광역시 전체수계에 대하여 합류식 하수관거에서의 CSOs 발생으로 인한 비점오염물질 발생현황을 파악한다면, CSOs에 의한 비점오염 저감대책을 세우는데 많은 도움이 될 것이다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 환경부, "하수도 통계," (2001).
2. 이종각, 방기용, 이준호, "합류식하수관의 오염물질 유출특성에 관한 연구," 대한환경공학회논문집, **18**(10) 1147~1160(1996).
3. 최지용, 신은성, 이동훈, "서울 도시지역의 비점오염원 유출특성에 관한 연구," 한국물환경학회지, **15**(3), 315~323(1999).
4. Cho, Y., Seo, J., Yu, M., Kim, H., and Ahn, S., "Characterization of comined sewer overflows(CSOs) quality and prediction of CSOs flow rate using SWMM," 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, 104~109(2004).
5. Lee, J. H. and Bang, K. W., "Characterization of urban stromwater runoff," *Water Res.*, **34**, 1773~1780(2000).
6. Gupt, K. and Saul, A. J., "Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows," *Water Res.*, **30**, 1244~1252(1996).
7. Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G., and Saget, A., "Distribution of pollutant mass vs. volume in stromwater discharges and the first flush phenomenon," *Water Res.*, **32**(8), 2341~2356(1998).

8. Deletic, A., "The first flush load of urban surface runoff," *Water Res.*, **32**(8) 2462~2470(1998).
9. Lee, J. H., Bang, K. W., Ketchum, L. H., Choe, J. S., and Yu, M. J., "First flush analysis of urban storm runoff," *The Science of the Total Environment*, **293**, 163~175(2002).
10. Lee, H., Lau, S.-L., Kayhanian, M., and Stenstrom, M. K., "Seasonal first flush phenomenon of urban storm-water discharges," *Water Res.*, **38**, 4153~4163(2004).
11. 최성현, 최승철, 원철희, 김병욱, 임재명, "강우시 합류식 하수관거의 유출특성 및 차집유량 산정," 대한상하수도학회 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, G141~144(2002).
12. 환경부, "기존 우수지(빗물펌프장)를 이용한 CSOs 대책 타당성 조사," (2006).
13. 대전광역시, "도심생태하천조성 학술연구," (2003).
14. 환경부, "대전광역시 금강 오염총량 관리 시행계획(안)," (2005).
15. 여중현, 김건하, "도시 소구역에서 하수관거 월류수의 배출특성연구," 대한토목학회논문집, **25**(1B), 75~82(2005).
16. US EPA, "Storm Water Management Model, User's Manual Ver. 5.0," (2004).
17. US EPA, "Combined Sewer Overflows, Guideline for Monitoring and Modeling," (1999).