

오염부하 물질수지 분석을 통한 합류식 하수관거 적정 차집용량 결정(1)
- 오염부하 물질수지 분석 -

Determination of Interception Flow by Pollution Load Budget Analysis in
Combined Sewer Watershed
- Analysis of Pollution Load Budget in Watershed -

이두진* · 김주환 · 우형민 · 안효원

Doojin Lee* · Juwhan Kim · Hyungmin Woo · Hyowon Ahn

한국수자원공사 수자원연구원 국제상하수도연구소

(2005년 6월 17일 논문 접수; 2005년 10월 12일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The objective of this study is to obtain adequate intercepting flow during wet weather conditions in combined sewer system. Two study sites are selected under considering different population density, one is developed area with heavy urbanization. Another is recently developing area. In the analysis of field investigation, SS was most significant in initial flushing effects compared with other factors and showed the result with the order of COD, TP, TN.

As compared with event mean concentration(EMC) of runoff, BOD, TN and TP showed high concentrations in wide area with relatively large population density. It is by the reason that much pollution load was discharged to receiving water from urbanized area during wet period. According to results of stormwater modeling, 53% of total COD and 52% of total SS pollution load were discharged to receiving water by overflow than intercepting capacity in middle population density site. Also, in the urbanized area, pollution load was discharged to receiving water by 49% of total COD and 77% of total SS. These results can be applied to setup for pollution load flow(budget) generation, collection, treatment and discharging in order to obtain adequate intercepting flow.

Key words: Combined sewer overflows, Intercepting sewer, Stormwater runoff, Stormwater management model, First flush

주제어: 합류식 하수관거 월류수, 차집관거, 강우유출수, 강우유출모델, 초기세척

*Corresponding author Tel: +82-42-860-0391, FAX : +82-42-860-0399, E-mail: djlee@kowaco.or.kr (Lee, D.J.)

1. 서 론

2004년말 현재 하수관거 시설연장은 82,214km로 하수도정비기본계획상의 계획연장 120,814km의 68.1%이며, 이중 우수와 오수를 동시에 배제하는 합류식 관거는 47,255km(57.5%), 우수와 오수를 분리하여 배제하는 분류식 관거는 34,959km(42.5%)로 합류식 관거가 더 많은 비중을 차지하고 있다(환경부, 2005).

최근 비점오염원 관리의 중요성이 증대되면서 합류식 하수관거 지역에서 강우시 발생하는 차집초과유량 즉, 월류수(combined sewer overflows, CSOs)에 의한 방류선 오염문제에 관심이 커지고 있다. 특히 계절적으로 건기일수가 긴 3~5월 중에 내리는 강우에는 장기간 지표면에 축적되어 있던 오염물과 관내 퇴적물이 일시에 방류선으로 유출되어 물고기 폐사, 퇴적오염물 교란 등의 방류수역 생태계 피해사례가 빈번하게 보고되고 있다(국립환경연구원 1998).

우리나라 하수도 시설기준에서 합류식 하수도의 차집관거용량은 청천시 계획시간최대오수량에 차집우수량 즉, 2mm/hr를 합한유량으로 정하고 있다. 또한 처리장관점에서 차집유량과 동일한 의미인 우천시 계획오수량은 "계획시간최대 오수량의 3배 이상으로 한다"고 규정되어 있다(한국수도협회, 1998). 이러한 차집용량은 일본의 하수도기준과 유사한데, 일본에서는 1982년 공표된 「CSO 저감을 위한 시범지침과 설계 매뉴얼」에서 CSOs 저감목표를 '연간 발생 BOD 부하량의 5% 미만으로 저감시킨다'라는 정책을 수립하였으며, 100여 개가 넘는 지역을 대상으로 월류수 발생 현황을 조사한 결과, 3Q(Q: 시간최대오수량) 차집을 통하여 월류오염부하를 유역의 연간발생 BOD부하 가운데 5% 미만으로 저감시킬 수 있을 것으로 추정하였다(Inoue, 2001). 이에 반하여 미국이나 유럽에서는 차집관거용량에 대하여 단일기준을 적용하지 않으며, 해당 배수유역의 수리, 수문특성, 강우유출오염부하 발생경향, 하수처리장의 처리용량, 방류선의 목표수질 등을 고려하여 차집용량을 정하고 있다. 특히 미국에서는 월류수의 발생빈도와 양을 극히 제한하고 있으며, 별도의 저류시설을 설치하거나 가능한 차집관거용량을 증대시켜 처리장으로 이송,

처리하도록 권고하고 있다. 유럽에서는 합류식지역에서 차집관거 설계용량을 건기침두유량에 4~8배로 사이로 하고 있으며, 많은 곳은 건기하수에 더하여 5.4mm/hr 강우를 차집할 수 있도록 설계된 곳도 있다(Novotny, 1995).

우리나라에서는 그동안 CSOs에 대한 관심이 부족하였기 때문에 CSOs 발생특성, 방류수역에 미치는 영향 등에 대한 장기적이고 체계적인 조사가 이루어지지 못하였으며, 적절한 차집용량의 산정, 차집유량을 효과적으로 처리하기 위한 강우시 하수처리장 운전방안 등에 대한 검토가 부족한 것이 사실이다.

본 연구에서는 CSOs 관리의 기본이라고 할 수 있는 차집용량 산정방안에 대하여 살펴보고자 하였다. 현재 차집용량의 적절성을 평가하기 위하여 유역의 특성이 서로 다른 두지역을 대상으로 강우시 발생하는 강우유출수 및 월류수의 오염부하 특성을 조사하고 강우유출 모델을 이용하여 월류수의 연간발생 오염부하량을 예측하였으며, 이를 통하여 유역에서 발생, 배출되는 오염부하의 물질수지를 도출하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 대상지역

본 연구의 대상지역은 고밀도의 주거밀집지역과 중밀도의 주거, 상업 혼합지역을 대상으로 강우시 차집용량의 적절성을 평가하였다.

H지역은 구도심지로 개발이 완료된 고밀도 지역으로 주거형태가 대부분 단독주택인 반면, S지역은 최근 택지개발이 진행되면서 아파트가 들어서고 있는 중·저밀도 지역이다. 지역의 일반현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of catchment basin in study area

Item	S site	H site
Type of sewer system	CSS	CSS
Catch basin area(ha)	8.63	195.52
Type of residence	High density residual area	Residual area (Apartment)
Population density (person/ha)	197	368

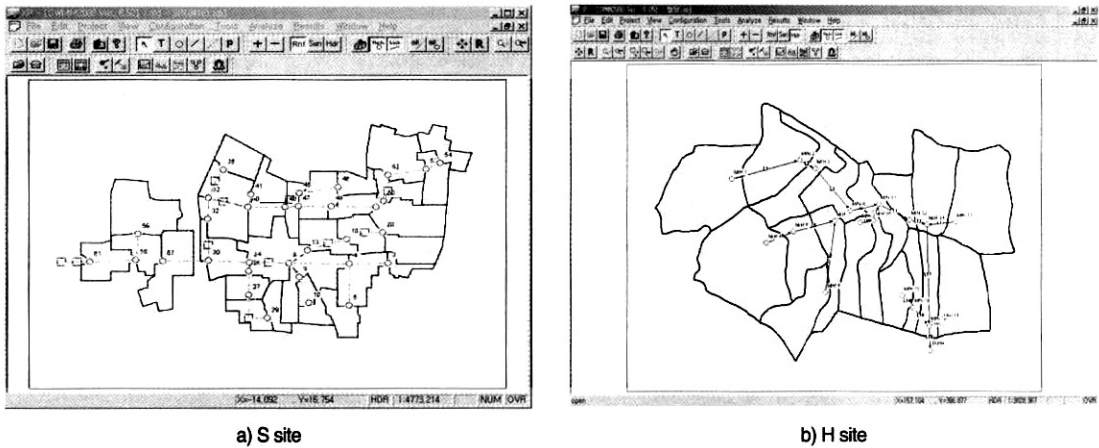


Fig. 1. Subcatchment and sewerlines of study area.

2.2. 건, 우기 하수, 월류수 발생특성 조사

유량 측정은 자동연속측정 및 data 저장이 가능한 SIGMA 920, 950 모델을 사용하였으며, 유량 측정간격은 10분으로 설정하였다. 수위와 유속은 각각 압력수두법과 도플러 방법에 의해 감지하며 이를 입력된 관거제원에 따라 연속방정식에 의하여 유량을 계산하게 된다.

유량계의 검측부(probe)는 월류위어 전·후단에 1개소씩 설치하여 총 강우유출량(wet weather flow, WWF)과 월류량을 측정할 수 있도록 하였다.

조사대상 강우는 미국 WEF(1992)의 NPDES(national pollutant discharge elimination system)의 기준에 따라 선행건기일 3일 이상, 일 강우량 0.1inch(2.54mm) 이상의 강우를 유효 강우일로 정하였다. 강우량은 자동측정 및 data logging이 가능한 유량계를 설치하여 유량과 동시에 측정하였으며, 측정간격은 유량 측정간격과 동일하게 10분으로 설정하였다.

수질조사를 위한 시료는 강우유출수 발생초기에는 10~15분 간격으로 조밀하게 채취하고, 발생 중·후기에는 30~120분 간격으로 후반부로 갈수록 채수간격을 넓게 하였다. 이는 강우유출수의 경우 지표면 초기세척과 관내퇴적물 재부유 등에 의하여 초기에 수질변동이 급격하게 발생하기 때문이다. 시료채취는 1L 무균 채수병을 이용한 grab sampling을 실시하였고, 채수 즉시 4°C 이하의 ice box에 보관하여 실험실로 이동하였다. 수질분석은 Standard method(1998)에 준하여 실시하였다.

2.3. 강우유출 모델 구축

본 연구에서 CSOs 유량과 수질을 모의하기 위하여 U.S. EPA에서 개발하여 강우유출 해석에 가장 널리 이용되고 있는 SWMM(storm water management model)을 이용하였다. SWMM의 모의수행은 Runoff block에서 강우로 인하여 생성되는 지표유출유량과 오염물질이 기저하수(baseflow)와 합산되어, Transport block에서의 추적을 통하여 이루어진다. Runoff block에는 유역특성자료(지형, 배수, 인문)가 입력되고, Transport block에는 관거 및 맨홀의 제원에 관한 자료가 필요하다. 하수관망도와 지형도(1:5000)를 바탕으로 간선관거를 중심으로 소유역을 구분하여 주요 관망을 구성하였으며, 간선관거의 합류점 및 크기가 큰 맨홀을 기준으로 유출량 산정지점을 선정하였다.

각 소유역에 대하여 유역면적, 유역폭, 평균경사, 불투수 면적비율 등의 지형특성인자를 도출하고, 유출특성을 나타내는 조도계수, 표면저류, 침투손실 등에 대한 매개변수를 산정하였다. 구성된 관망에 대해서는 각 구간별로 관거와 맨홀의 제원을 입력하였다.

오염물의 추적은 Michaelis-menton 방정식, 세척은 Rating curve method를 이용하였으며, 보정 및 검증과정을 통하여 적합한 매개변수를 설정하였다.

2.4. 강우유출 모델의 보정 및 검증

보정작업은 PC-SWMM에서 제공하는 자동보정

Table 2. Upper and lower bounds of calibration parameters and variables.

Parameter	Corresponding variable	Initial variable estimates	Range of allowable value of corresponding variable
x1	Manning's roughness of pervious area	0.30	0.03~0.51
x2	Depression storage of pervious area	7.5mm	1.5~10.5mm
x3	Initial infiltration rate(Horton's)	45~80mm/hr	6.75~160mm/hr
x4	Ultimate infiltration rate(Horton's)	2.5~3.5mm/hr	0.0~11.3mm/hr
x5	Infiltration decay rate(Horton's)	0.00005/sec~0.0011/sec	0.000035~0.0022/sec
x6	sub-catchment width	Varies with sub-catchment(92~2132m)	± 50% of the initial value
x7	percent impervious area	Varies with sub-catchment(0.03~0.376)	± 50% of the initial value
x8	sub-catchment slope	Varies with sub-catchment(0.02~0.10)	± 50% of the initial value

Table 3. General calibration/validation tolerance or target (Donigian, 2000)

	Difference Between Simulated and Observed Values(%)		
	Very good	Good	Fair
Hydrology/Flow	< 10	10~15	15~25
Sediment	< 20	20~30	30~45
Water Temperature	< 27	28~12	13~18
Water Quality/Nutrients	< 15	15~25	20~35

도구(automatic calibration tool)를 이용하였다. PC-SWMM에서 제공하는 자동보정도구는 Kuch(1994)에 의해 개발되었으며, 민감도 분석결과를 토대로 민감도가 큰 인자를 중심으로 유전자알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 Runoff 유량을 보정하는 방법이다. Wan 등(2002)은 이 도구를 이용하여 도시지역 강우유출을 모의한 결과, 약 57번의 연산을 수행하여 97%의 정확도를 나타내는 것으로 보고하였다.

PC-SWMM을 이용한 보정작업은 Table 2와 같이 8가지 매개변수에 대하여 이루어졌으며, 이 변수들은 선행연구자들에 의해 도시강우유출에 가장 크게 영향을 미치는 민감한 인자로 보고된 변수들이다(Ibrahim 등, 1992, 1993; Liong 등 1995; Nguyen 등, 2000). 또한 Table 2에서는 보정과 검증과정에서 변동시킬 수 있는 각 변수들의 실질적이고 의미있는 제한범위를 선행연구자들이(Huber 등, 1992; WP-Software, 1993) 제시한 일반적인 값과 Liong 등(1995)이 Singapore, Upper Bukit Timah(UBT)지역에 대하여 실제 적용한 값에 기초하여 정하였다.

보정 및 검증 결과 발생하는 오차의 허용한계에 대해서는 환경관련 모델링을 수행하는 그룹사이에서 오랫동안 논의되어 왔으나, 적절한 기준에 대해서는 여전히 논란이 많다(Love 등, 2002).

본 연구에서 Table 3과 같이 HSPF(Hydrologic Simulation Program - FORTRAN) 그룹에서 제안한 허용 오차한계와 목표치를 참고하였으며, 현상측정결과와 변동성을 감안하여 가능한 허용범위 내에서 보정이 완료될 수 있도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. CSOs 발생특성분석

3.1.1. 초기세척효과

초기 세척 현상(first flush)은 강우시 관거유출의 초기단계에서 유량과 수질이 급격히 증가하는 현상으로 강우유출 시작부터 30분 이내 또는 유출수 농도가 건기시 평균농도를 초과하는 유출로 정의하기도 한다(EPA, 1993). Fig. 2는 H site에 대하여 Saget 등(1996)이 제안한 초기세척 현상을 평가하기 위한 무차원의 L(V) 곡선을 도시한 것이다. 그래프에서 세로축은 총 유출오염부하량에서 유출부피에 해당하는 오염부하량을 의미하며, 가로축은 총 유출부피에서 유출된 부피의 비율을 의미한다. 곡선의 휨정도는 'a' 값의 대소에 따라 결정되는데, 1보다 크면 오목형으로, 작으면 볼록형으로 휘어진다.

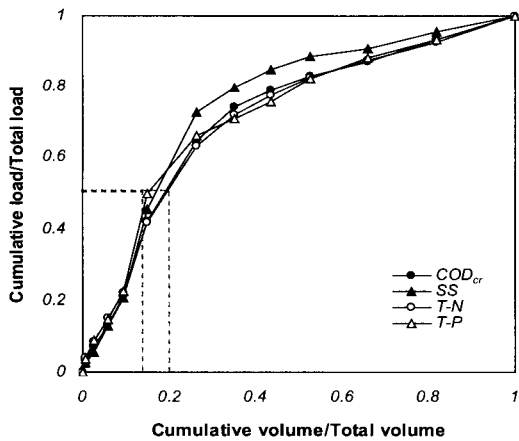


Fig. 2. Flush curve of pollution load at H site (2002. 8. 31).

$$L(V) = V^a, \quad a = \frac{\text{Log } L(V)}{\text{Log } V} \quad \text{식 (1)}$$

오목형이면 희석(dilution)이, 볼록형이면 세척(flush)이 일어나는 것을 의미하며, Saget 등(1996)은 오염부하의 50%가 총유출유량의 30%에 해당하는 'a' 값 0.576 이하를 초기세척으로 정의하였다.

Fig. 2에서 총 누적유출유량 15~20%에서 유출오염부하의 50%가 유출되었으며, TP, SS, COD, TN 순으로 초기세척현상이 현저함을 알 수 있다.

Table 4는 H지역에서 조사된 3번의 강우사상에 대하여 COD, SS, T-N, T-P의 'a' 값을 구한 결과이다. 2002년 10월 31일 강우의 경우 1시간 동안 10.5mm의 강우가 집중됨에 따라 일시에 강우유출유량과 오염부하가 유출되어 강우전반 걸쳐 높은 오염농도가 나타났으며, 특히 짧은 강우시간과 관거유하시간으로 인하여 강우종료시점에서 침투유량이 발생함에 따라 초기세척현상이 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 판단되었다.

강우사상과 수질항목별로 큰 차이가 있어 정량적

인 비교는 어렵지만, 수질항목별 'a' 값의 경우 SS와 TP가 COD, TN에 비해 초기세척효과가 큰 것으로 나타났다.

3.1.3. 유량가중평균농도

강우에 의해 유출되는 월류수 및 우수유출수의 수질은 일반적으로 강우초기에 유량증가와 함께 급격히 증가하다가 유량이 감소함에 따라 완전히 감소하는 경향을 나타낸다. 따라서 월류수 및 우수유출수의 특성을 파악하기 위해서는 유량을 고려하여 농도변화를 해석하는 것이 수계에 미치는 영향을 평가하는데 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. 산술평균농도 이외에 유량을 고려한 유량가중평균농도(event mean concentration, EMC)는 해당구간의 유출유량에 대한 총 오염부하 비를 통하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{유량가중평균농도(EMC)} &= \frac{\text{총유출오염부하량}}{\text{총유출유량}} \\ &= \frac{\sum C_i \cdot Q_i \cdot \Delta t_i}{\sum Q_i \cdot \Delta t_i} \quad \text{식(2)} \end{aligned}$$

Table 5는 각 지점별, 강우사상별로 구한 유량가중평균농도의 평균값을 비교한 것이다.

BOD, T-N, T-P는 H지역이 더 높은 값을 보였고, COD과 SS는 S지역에서 더 높게 나타났다. CSOs는 강우지표유출수와 하수가 혼합된 오염부하 특성을 나타내는데, 도시지역에서 BOD, T-N, T-P는 상대적으로 하수에 기인하고, COD, SS는 지표면 세척이 반영된 강우유출수에 영향을 받는 것으로 추측된다. 이러한 관점에서 유역면적이 넓고 고밀도 인 구분포 특성을 가진 H지역의 경우 상대적으로 긴 유하시간을 갖는 관로내에서 건기시 퇴적된 퇴적물이 월류오염부하에 크게 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있고 반면에 S지역의 경우 유역면적이 작고, 최근

Table 4. 'a' values of flush curves of pollution load

Date of precipitation	Characteristics of rain event				'a' Value			
	Total rainfall depth(mm)	Duration (hr)	Antecedent dry weather(day)	Peak rain intensity(mm/hr)	COD	SS	T-N	T-P
2002. 8. 31	45.5	10	3	7.0	0.417	0.404	0.431	0.365
2002. 9. 21	12.0	2	4	11.0	0.594	0.465	0.558	0.424
2002. 10. 13	10.5	1	6	10.5	0.773	0.667	0.909	0.766

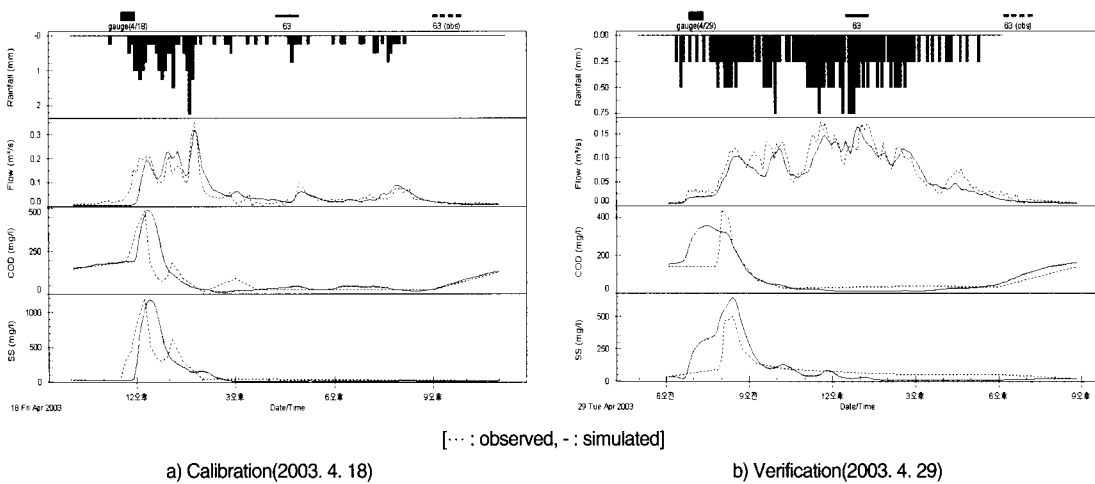


Fig. 5. Comparison between observed and simulated flowrate and water quality at S site.

Table 7. Results of calibration and verification error ratios

Site	Item	Flow		Pollution			
		Peak	Total	Peak conc.(mg/L)		Load(kg)	
				COD	SS	COD	SS
S	Calibration	5.8	7.1	3.9	8.5	6.7	9.4
	Verification	11.1	16.3	21.6	22.0	16.6	16.7
H	Calibration	3.1	13.2	2.4	2.1	13.4	11.0
	Verification	1.3	8.5	7.4	14.6	15.2	11.7

로 평가했을 때 만족할 만한 수준(very good or good)에 이르는 것으로 나타났고, 독립된 단일강우에 대하여 수행한 검증에서는 1.3~16.3%의 오차를 보였다. PC-SWMM에서 제공되는 자동보정도구가 침투유량을 기준으로 매개변수의 조정이 이루어지기 때문에 침투유량에 비해 총누적유량의 오차가 다소 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

수질은 1~3개의 강우사상을 이용하여 보정작업을 수행하고, 독립된 1개의 강우에 대한 검증하였다. 수질의 경우 rate curve method에서 세척함수의 계수와 지수변동에 의하여 침투수질과 발생패턴에 영향을 미치는데, 유량의 증감에 따라 발생수질이 변동하게 된다. 그러므로 침투강우강도가 강우 중후반에 나타나는 경우에는 초기세척에 의한 수질증가가 뚜렷하지 않고 유량패턴에 의존하여 수질이 모의되므로 다소 큰 오차를 보이는 것으로 판단된다. HSPF의 기준에 의하면 수질모의결과는 25% 오차까지는 만족(good)

하는 수준이고 35%까지 적절(fair)한 것으로 평가하였기 때문에 본 결과를 이용하여 연속모의를 수행하는 것에 무리가 없을 것으로 판단되었다.

3.2.2 연속모의결과

연속모의는 동절기를 제외하고 2002년 3월부터 11월 사이에 관측된 강우를 이용하였으며, 지표면유출이 발생할 수 있는 최소강우 2.5mm 이상, 6시간 이상의 무강우를 독립강우로 인정하였다(EPA, 1993). 총강우횟수는 S지역은 47회, H지역은 50회였으며, 강우시간은 각각 560, 598시간이었다.

S지역의 경우 연간 47회의 유효강우 가운데 월류수가 발생한 경우는 34회였으며, 총 강우유출유량 가운데 68%가 월류하는 것으로 나타났다. 강우유출 오염부하 중 COD 53%, SS 52%가 월류되는 것으로 모의되었다.

H지역에서 연간 발생하는 유효강우는 50회이며,

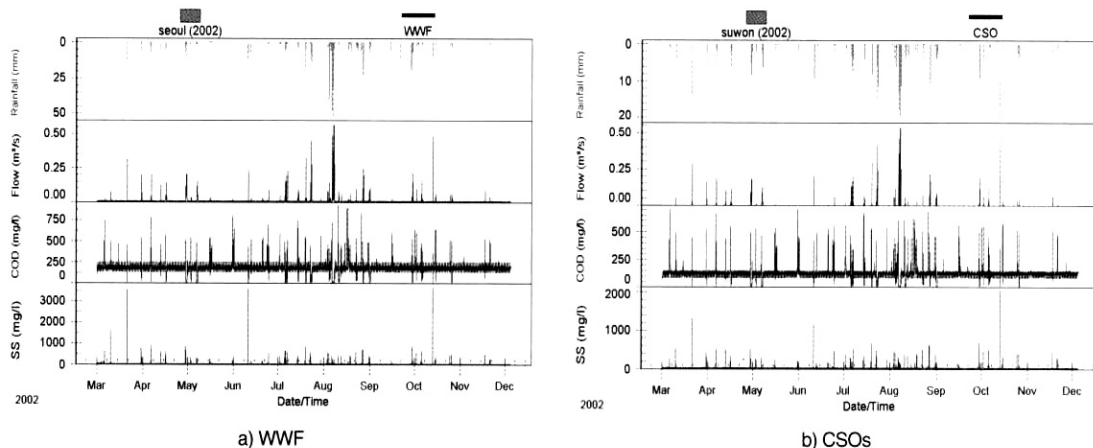


Fig. 6. Results of continuance simulation at S site.

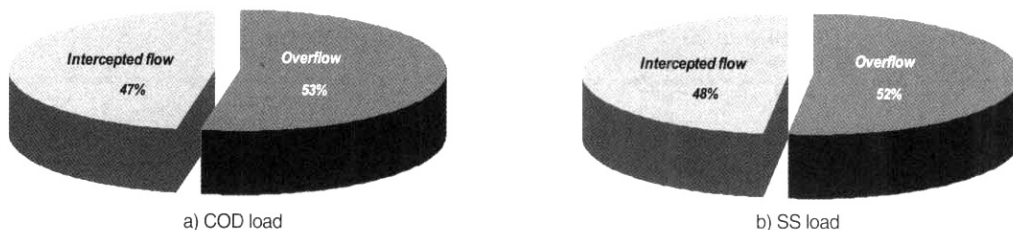


Fig. 7. Comparison of intercepted and overflowed pollution load at S site.

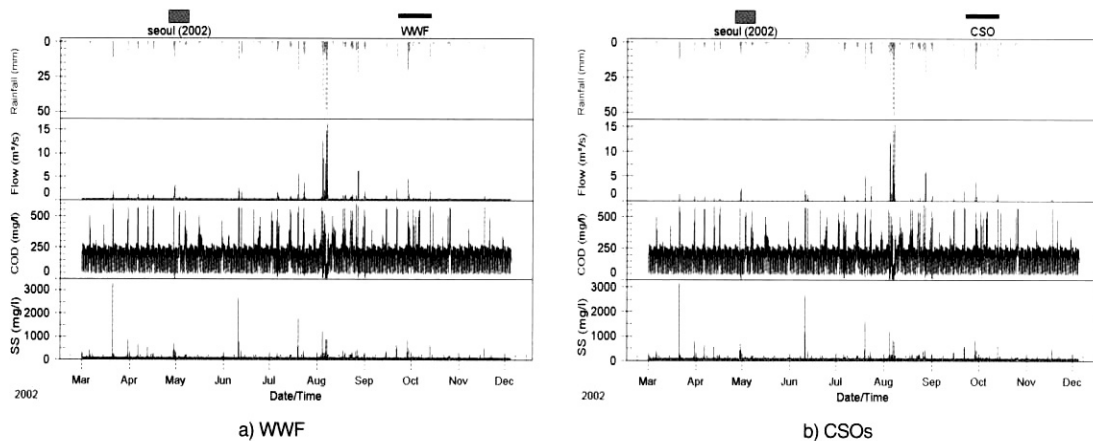


Fig. 8. Results of continuance simulation at H site.

이중 월류수는 35회 발생하는 것으로 예측되었다. 계절적으로 장마와 태풍이 집중되는 6~8월 사이에 강우유출수와 월류수가 집중적으로 발생하고 있음을 알 수 있다. 전체 발생하는 강우유출수 중에서 65%에 해당하는 638,910m³이 방류수역으로 직접 월류되는

것으로 나타나 S지역의 68%와 비슷하였다. 이로 인하여 전체 강우유출 오염부하 중에서 COD는 49%, SS는 77%가 방류수역으로 배출되는 것으로 모의되었으며, 특히 SS의 월류량이 많은 것으로 나타났다.

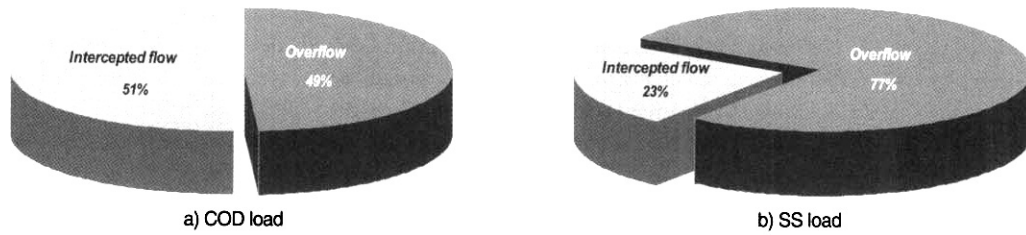


Fig. 9. Comparison of intercepted and overflowed pollution load at H site.

Table 8. Results of simulation for study sites during Mar.-Nov. 2002

Site	Item	WWF	CSOs	CSOs/WWF(%)	
S	Frequency(event)	47	34	72	
	Volume(m ³)	96,333	65,506	68	
	Pollutionload (kg)	COD	11,340	6,010	53
		SS	17,760	9,235	52
H	Frequency(event)	50	35	70	
	Volume(m ³)	1,018,300	661,895	65	
	Pollution load (kg)	COD	178,300	87,367	49
		SS	106,800	82,236	77

4. 결 론

본 연구에서는 합류식 하수관거의 적정 차집용량 산정에 필요한 유역의 오염부하 물질수지를 도출하기 위하여 수행되었으며, 건, 우기시 발생하는 오염부하를 실측하고, 연간발생오염부하를 예측하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 조사된 3회의 강우를 대상으로 발생유량대비 유출오염부하를 산정하여 초기세척효과를 분석한 결과 SS의 경우 초기세척효과가 가장 컸으며, COD, T-P, T-N 순으로 초기세척효과가 나타났다.

2. 강우유출수에 대한 유량가중평균농도를 분석한 결과, 상대적으로 유역면적이 넓고 고밀도의 인구분포 특성을 가진 H지역의 경우 하수 퇴적물에 기인한 BOD, TN, TP의 농도가 높게 나타났으며, 토지개발이 활발한 S지역에서는 지표유출에 기인한 COD와 SS가 높게 나타나 유역특성이 민감하게 반영되는 것으로 나타났다.

3. 강우유출모델의 보정 및 검증결과 독립된 단일 강우에 대하여 수행한 검증에서 유량은 1.3~16.3%의 오차를 보였으며, 수질(COD, SS)은 1.9~22.0%

의 오차를 나타내었다. 유량에 비하여 수질예측오차가 크게 나타났으나, HSPF에서 정한 오차기준에서는 적절한 범위내에 든 것으로 나타났다.

4. 연속모의를 통한 오염부하 발생특성을 분석한 결과, 중저밀도 주거지역의 경우 연간 47회의 유효강우 가운데 월류수가 34회 발생하였으며, 총 강우유출 유량 가운데 68%가 월류하는 것으로 나타났다. 강우유출 오염부하 중 COD 53%, SS 52%가 방류수역으로 월류되는 것으로 모의되었다. 고밀도 주거지역에서는 유효 강우유출수 50회 중 월류수는 35회 발생하는 것으로 예측되었다. 강우유출수 중에서 65%에 해당하는 638,910m³이 방류수역으로 직접 월류되는 것으로 나타났고, 이로 인하여 전체 강우유출 오염부하 중에서 COD는 49%, SS는 77%가 방류수역으로 배출되는 것으로 모의되었다.

참고문헌

한국수도협회 (1998) 하수도시설기준.
 환경부 (2005) 환경백서.
 국립환경연구원 (1998) 하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구.
 APHA, AWWA, WEF (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th edition.

- Donigian Jr., A.S. (2000) *HSPF Training Workshop Handbook and CD*. Lecture#19. Calibration and Verification Issues, Slide #L19-22. EPA Headquarters, Washington Information Center, 10-14 January, Washington, D.C.
- Huber, W. and Dickinson, R. (1992) *Stormwater Management Model, Version 4: User's Manual*, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development.
- Ibrahim, Y., and Liong, S. Y.(1993) A method of estimating optimal catchment model parameters, *Water Resources Research*, **29**(9), pp. 3049-3058.
- Ibrahim, Y., and Liong, S. Y.(1992) Calibration strategy for urban catchment parameters, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **118**(11), pp.1550-1570.
- Inoue, Y, Nakazato, T., Nomura, N., and Otuka, M.(2001) *CSO Abatement Strategy in Japan, Watershed 2001*, EWA, WEF, JSWA, Tokyo.
- Kuch, A. J.(1994) *A sensitivity Analysis Shell for Complex Continuous Water Quality Management Modelling*. M. Sc. Thesis, University of Guelph. Ca.
- Liong, S. Y., Chan, W. T., and Shreeram, J.(1995) Peak-flow for forecasting with genetic algorithm and SWMM, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, **121**(8), pp.613-617.
- Love, J.T., and Donigian, Jr., A.S.(2002) A modeling System of Nutrient Loads to Long Island Sound from Connecticut Watersheds, *Best modeling Practices for Urban Water System*, **10**, pp. 173-195.
- Nguyen, V., Javaheri, H., and Liong, S.(2000) On automatic calibration of the SWMM model, *Applied model of urban water system*, **8**, pp.163-174.
- Novotny, V.(1995) *Nonpoint pollution and Urban Stormwater Management*, Technomic Publishing Company, Inc.
- Saget, A., Chebbo, G., and Krajewski, J.L.(1996) The First Flush in Sewer System, *Wat. Sci. Tech.*, **33**(9), pp. 101-108.
- U.S. EPA(1993) Combined Sewer Overflow Control.
- Wan, B. and James, W.(2002) SWMM Calibration using Genetic Algorithms, *Best modeling practices for Urban Water System*, **10**, Edited by William James.
- WEF(1992) *Stormwater Monitoring, Measurement, and Management*, Pre-Conference Seminar Proceedings, 65th Annual Conference & Exposition New Orleans.
- WP-Software(1993) *XP-SWMM: Stormwater management model with XP graphical interface. User's manual*, version 1.0, WP Software, Belconnen.