

## GIS 기반의 SWMM 모형을 이용한 하수도시스템 선정에 따른 도시하천 수질개선효과의 정량적 분석

장주형<sup>†</sup> · 박해식\* · 박청길

부경대학교 환경공학과

\*부산광역시환경시설공단

## Analysis of the Effects of Sewer System on Urban Stream using SWMM based on GIS

Ju-Hyoung Jang<sup>†</sup> · Hae-Sik Park\* · Chung-Kil Park

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

\*Busan Metropolitan City Environmental Installations Corporation

(Received 9 January 2006, Accepted 11 September 2006)

### Abstract

Generally CSOs (Combined Sewer Overflows) are regarded as one of the most serious nonpoint pollution source in the urban watershed. Particularly, the water quality of the Oncheon stream is seriously affected by CSOs because the capacity of interception sewer system connected to the Suyoung wastewater treatment plant is too small to intercept most storm water discharges. The objective of this study is to evaluate the effect of nonpoint source on an urban stream with regards to combined sewer system and separate sewer system using GIS (Geographic Information System) and SWMM (Storm Water Management Model), and to provide an insight for the management of urban stream water quality. In order to consider the effect of CSOs on the receiving water quality, the flow divider element in SWMM was applied. The model calibration and verification were performed by the measured data of quantity and quality on the Oncheon stream. The quantity data acquired from the Suyoung wastewater treatment plant were also used for this procedure. In case of separate sewer system, the modeling results showed the increased tendency in streamflow compared with the combined system in dry weather. In addition, the water quality is remarkably improved in rainfall events at the separate condition. The results imply that the construction of separate sewer system should be taken into first consideration to restore the quality and quantity of water in urban streams.

**keywords** : Combined sewer overflows (CSOs), Flow divider, Geographic information system (GIS), Storm water management model (SWMM), Urban stream

### 1. 서론

우리나라의 도시하천은 분류식 하수관거가 정비되지 않은 상태에서 수세식 화장실만 우선 설치하도록 하였기 때문에 가정과 도로변의 기존 배수로와 도시하천은 합류식 하수관거로 변하게 되어 도시하천의 수질이 급속도로 악화되었다.

지금까지 하수도 정책은 하수관거 정비보다 하수처리장 건설을 우선으로 하는 정책을 폈왔기 때문에 하수처리장 건설·가동되어도 도시하천의 수질개선 효과가 보이지 않았다.

이를 개선하고자 하수처리장에서 도시하천변의 합류식 지선관거까지는 차집관거를 설치하였으나 각 가정의 오염

원에서 도시하천에 이르는 구간은 우수 배수로에 오수를 유입시키고 있으며, 차집관거에 연결되는 말단부분에서 많은 도시의 실개천이 하수도의 역할을 하고 있는 실정이다. 이로 인해 도시의 실개천은 이미 하천으로서의 기능을 상실하였고, 청천시에는 오수와 함께 지하수까지 모두 하수처리장으로 차집되기 때문에 도시하천의 건천화가 가속화되고, 하수처리장의 효율을 저하시키고 있다. 강우시에는 차집관거와 하수처리장의 용량초과로 합류식 하수관거 월류수(CSOs: Combined Sewer Overflows)가 하천으로 유입되어 수질악화가 재발하고 있다.

이러한 합류식 하수관거 월류수는 생활오수나 공장폐수, 지표면과 관거에 쌓여있던 오염물질이 강우유출수와 함께 유출되는 비점오염원(Gromaire-Mertz et al., 1998; 박, 1998)이기 때문에 이를 정량화하고 저감대책을 수립하는데 있어서 인위적인 배수체계를 가진 도시지역에서 소유역의 토지이용을 고려하여 다양한 오염물질의 농도를 예측하는

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

jangjhy@empal.com

대 용이한 SWMM(Storm Water Management Model 4.4H, U.S EPA) 모형을 선정하였다(Donigian et al., 1991; Shoemaker et al., 1997).

SWMM 모형의 RUNOFF Block을 이용하여 Warwick 등(1991)은 강우시 소유역의 유출량과 수질에 대한 적용성을 검토하였고, Tsihrintzis 등(1998)은 도시의 토지이용별 유출수질을 모의하였다. Krabacher(1999)는 SWMM 모형의 RUNOFF Block과 TRANSPORT Block을 이용하여 합류식 하수관거의 유출량을 연속모의 하였으며, 이 등(2004)은 소규모의 유역에서 합류식 하수관거 월류수의 저류시설 용량을 산정한 바 있다.

이러한 비점오염원 유출모형을 적용하기 위해서는 유역의 특성이나 하천 및 하수관거의 Network과 같은 공간적인 구성요소가 필수적이다. 모형의 기초자료 구축에 있어서 방대한 자료의 처리에 시간과 비용을 줄이고 보다 객관적이고 정밀한 공간적인 구성요소들의 특성을 추출할 수 있는 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)은 유용한 기법으로 여겨지고 있다(Pullar et al., 2000).

따라서 본 연구에서는 GIS와 SWMM을 이용하여 하수처리구역 전체를 포함하는 범위에서 점원 오염물질이 차집관거를 통하여 하수처리장으로 유입되고 강우시에는 도시하천으로 월류되는 현상을 고려하여 비점원 오염 특성을 정량화하고, 하수도시스템의 종류에 따라 도시하천의 수질과 수량에 미치는 영향을 모델링하여 도시하천 수질개선의 근본적인 대책을 제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상지역 및 자료

온천천은 지방 2급 하천인 수영강의 제 1지류로서 유로연장은 14.13 km이며 수영강 하구로부터 약 3.1 km 상류 지점에서 합류한다. 온천천 유역의 위치는 동경 129°02' 40" ~ 129°07' 00", 북위 35°09' 20" ~ 35°17' 30"이며, 유역면적은 55.04 km<sup>2</sup>이다. 본 연구에서는 점원 오염부하량과 하수처리장의 유입량을 동시에 고려해야 할 필요성 때문에 온천천 유역과 수영하수처리구역을 포함한 수영강 하류유역을 대상으로 하였으며 전체 면적은 84.92 km<sup>2</sup>이다(Fig. 1).

부산광역시 보건환경연구원의 1992년 1월부터 2005년 3월까지 온천천 연안교 지점에서의 월별 수질측정치로부터 온천천 수질의 연 변화를 파악하였다. 2004년 12월 4일~5일 그리고 2005년 5월 5일~6일의 강우사상에 대하여 부산광역시 온천천 세병교 지점에서의 유량 및 수질 측정치와 수영하수처리장의 시간별 유입유량을 SWMM 모형의 보정 및 검증자료로 이용하였다.

환경부의 수계오염총량관리기술지침(2004)에 의거하여 수영하수처리구역 내의 행정동별 점오염원 발생부하량과 관거유입부하량을 산정한 후 소유역의 해당위치와 면적배분에 따라 하수관거에 유입되는 건기 하수유량과 농도로 환산하였다.

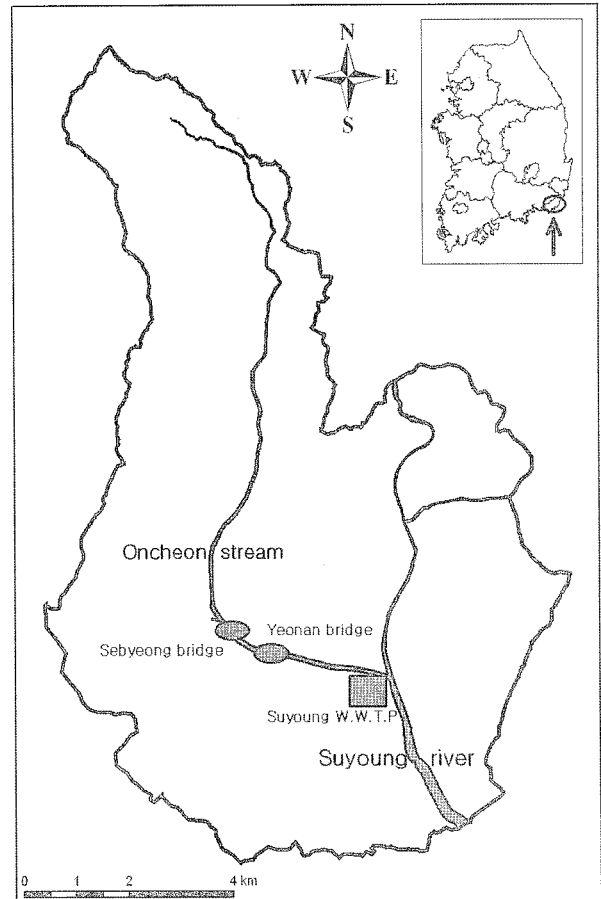


Fig. 1. Geographical location of study area and survey sites.

### 2.2. GIS를 이용한 SWMM 모형의 입력자료 구축

SWMM 모형의 유출수문곡선과 관련된 매개변수는 물리적 매개변수와 수문학적 매개변수 그리고 수질관련 매개변수로 구분할 수 있다(Huber et al., 1988). 수문학적 매개변수는 투수지역과 불투수지역의 Manning 계수, 하천 및 하수관거의 Manning 계수, 투수지역과 불투수지역의 저류량, Horton의 초기침투율·종기침투율·침투감소계수 그리고 소유역의 폭 등이 있다.

수질모의에서는 오염물질의 축적한계량·축적지수·축적계수와 같은 오염물질의 축적관련 매개변수와 오염물질의 쓸림지수·쓸림계수 등이 있다.

이와 같은 수문학적 매개변수와 수질관련 매개변수는 Huber 등(1988)의 값을 기초로 모형의 보정값으로 사용하였다.

소유역면적·불투수면적·소유역경사와 하천 및 하수관거의 길이·폭·깊이·경사 등과 같은 물리적인 매개변수는 지리정보시스템을 이용하여 정밀하게 추출해야 한다(Maidment, 2002).

본 연구에서는 먼저 수치지형도의 표고점과 등고선으로 수치표고모형(DEM)을 생성하고 수문지형인자 추출법으로 배수구역을 설정하였다(Fig. 2(a)). 또한 하수도정비 기본계획서(부산광역시, 1998), 수영강 하천정비 기본계획서(부산광역시, 2002) 및 1:1000 하수도면을 이용하여 합류식하수관거 및 도시하천의 Network(Fig. 2(b))과 차집관거의 Network

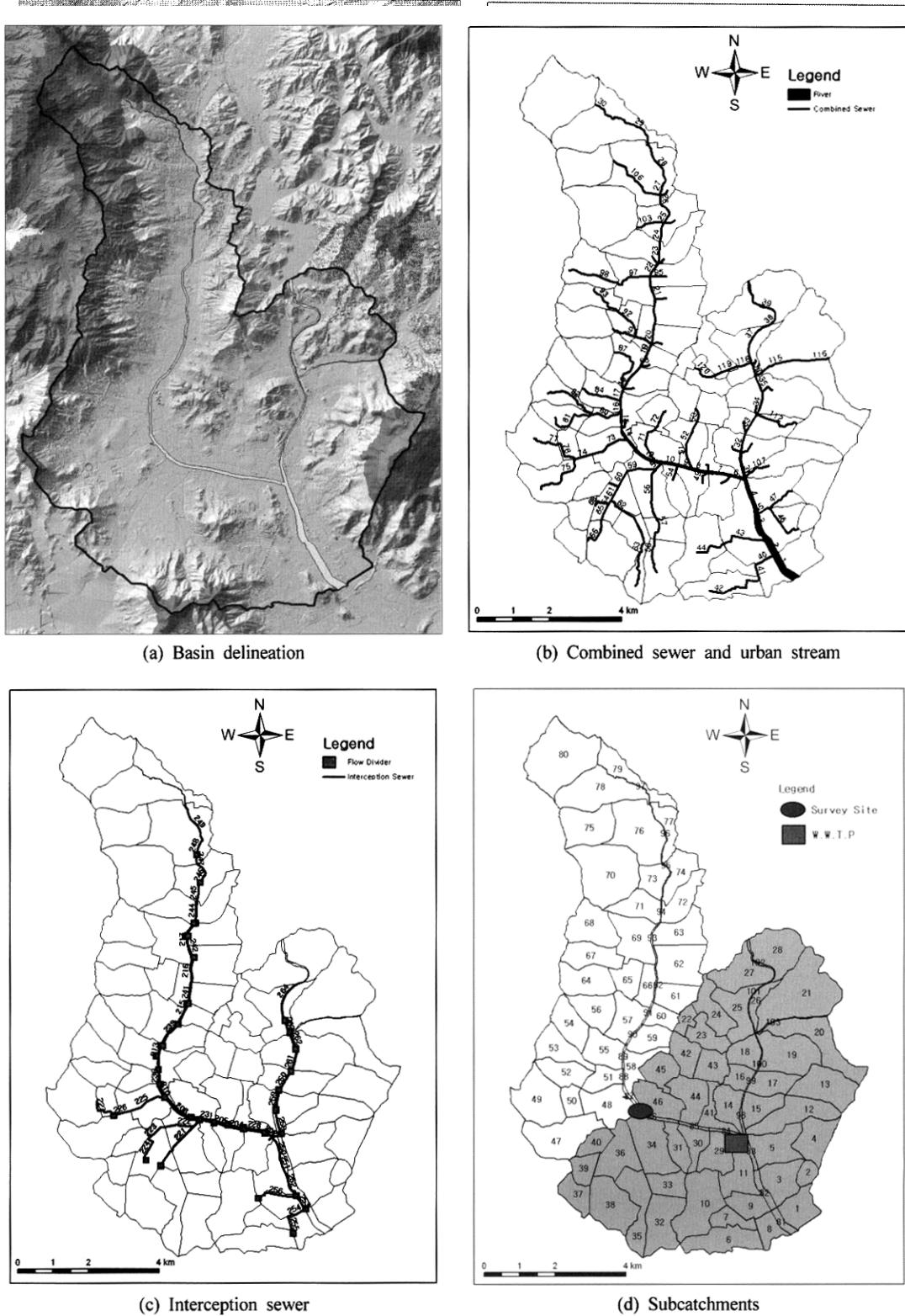


Fig. 2. Construction of flow network and subcatchments for SWMM.

(Fig. 2(c))을 생성하고 각각의 특성을 추출하였다. 하천과 하수관거, 행정동 경계 및 토지피복상태를 고려하여 전체 배수구역을 소유역으로 분할하고 소유역의 특성을 추출하였다(Fig. 2(d)).

전체 유역의 토지피복분류를 살펴보면 시가지/건조지역

48.02%, 농업지역 1.12%, 산림지역 42.87%, 초지 1.33%, 습지 0.25%, 나지 5.16% 그리고 수역이 1.16%로서 도시화된 특징을 보였다.

### 2.3. Flow Divider 기능을 적용한 SWMM 모형

SWMM 모형의 실행 Block 중 강우량 자료의 처리를 위해서 RAIN Block, 강우시 지표면 유출량과 수질의 모의를 위해서 RUNOFF Block, 그리고 RUNOFF Block의 연산결과와 전기 하수 유입량으로부터 하수관망 및 하천을 통한 유출과 오염물질 농도를 계산하기 위해서 TRANSPORT Block을 사용하였다.

기존의 도시하천 수질모형 구축시 차집관거의 고려없이 본류하천의 수량만을 위주로 분석하였으나, 본 연구에서는 합류식 하수처리구역에서의 하천변 차집관거를 통하여 하수처리장으로 유입되는 수량과 월류수량을 고려하여 도시하천에 대한 영향을 분석하고자 하는 것이다.

현재의 합류식 하수도 시스템을 개념화하여 Fig. 3과 같은 Flow Network을 구성하고 SWMM 모형의 Flow Divider 기능을 적용하였다. 합류식 하수관거에 유입된 하수와 강우유출수가 차집관거의 용량을 초과하면 Flow Divider를 통해서 도시하천으로 월류하게 되는 것이다.

합류식 하수관거를 통하여 각각의 Flow Divider로 유입된 유량( $Q_i$ )은 차집관거의 최대용량( $GEOM_1$ )보다 적을 경우는 식 (1), 차집관거의 용량을 초과할 경우에는 식 (2)와 같은 방식으로 분배된다.

$$0 \leq GEOM_1 \leq Q_i ; \quad \begin{aligned} Q_{O1} &= Q_i \\ Q_{O2} &= 0.0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$GEOM_1 \leq Q_i ; \quad \begin{aligned} Q_{O1} &= GEOM_1 \\ Q_{O2} &= Q_i - GEOM_1 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $Q_{O1}$ 은 차집관거를 통하여 하수처리장으로 유입되는 유량,  $Q_{O2}$ 는 하천으로 월류하는 유량이다.

수영하수처리장 유입유량과 온천천 본류의 유량을 보정하기 위하여 전체 유역에 할당된 37개의 Flow Divider에 해당하는  $GEOM_1$ 의 합을 조정하였다.

## 2.4. 하수도 시스템에 따른 시나리오 선정

하수도시스템에 따른 도시하천의 유량과 수질을 예측하기 위하여 Table 1과 같은 시나리오를 선정하였다.

Table 1. Scenarios under various sewer systems

	Time	Sewer system
Scenario I	Present	Combined sewer system
Scenario II	Future	Separate sewer system
Scenario III	Past	None sewer system

시나리오 I은 현재의 하수처리장이 설치되고 도시하천변에서 하수처리장까지 하수 차집관거가 설치된 합류식 하수도시스템의 경우이다. 이때 전기 하수량의 10%로 가정한 기저유량이 차집관거에 연결된 소유역에서는 합류식 하수관거에 유입되며, BOD, TN, TP의 농도는 각각 3.0 mg/L, 4.0 mg/L 그리고 0.2 mg/L인 것으로 하였다.

시나리오 II는 오염원으로부터 오수를 분리하여 하수처리장까지 분류식 하수관거를 설치한 분류식 하수도시스템의 경우이다. 오수는 전량 하수처리장으로 유입되며, 시나리오 I에 적용한 기저유량과 강우유출수는 도시하천으로 유입되는 것으로 가정하였다.

그리고 시나리오 III은 과거에 하수관거와 하수처리장이 설치되지 않아서 도시하천이 합류식 하수관거의 역할을 할 때의 경우로서 오수와 기저유량 그리고 강우유출수가 모두 도시하천으로 유입되는 것으로 가정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 온천천 수질의 연 변화

온천천 연안교 지점의 수질 연 변화는 Fig. 4와 같다. 1992년부터 1997까지의 BOD, TN, TP의 평균농도는 각각 77.3 mg/L, 20.4 mg/L 그리고 1.70 mg/L로 매우 높은 농도를 나타내었으나, 1998년부터 2005년까지의 평균농도는

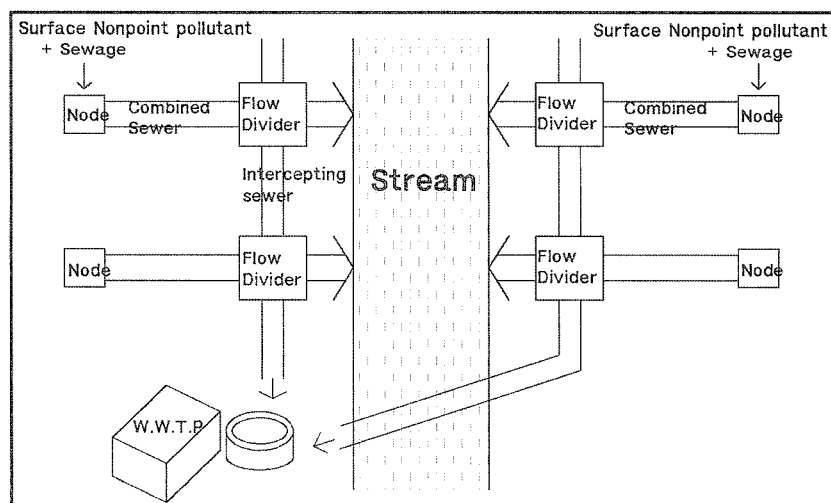


Fig. 3. Conceptualization of flow network for the combined sewer, interception sewer and stream diverted by flow divider.

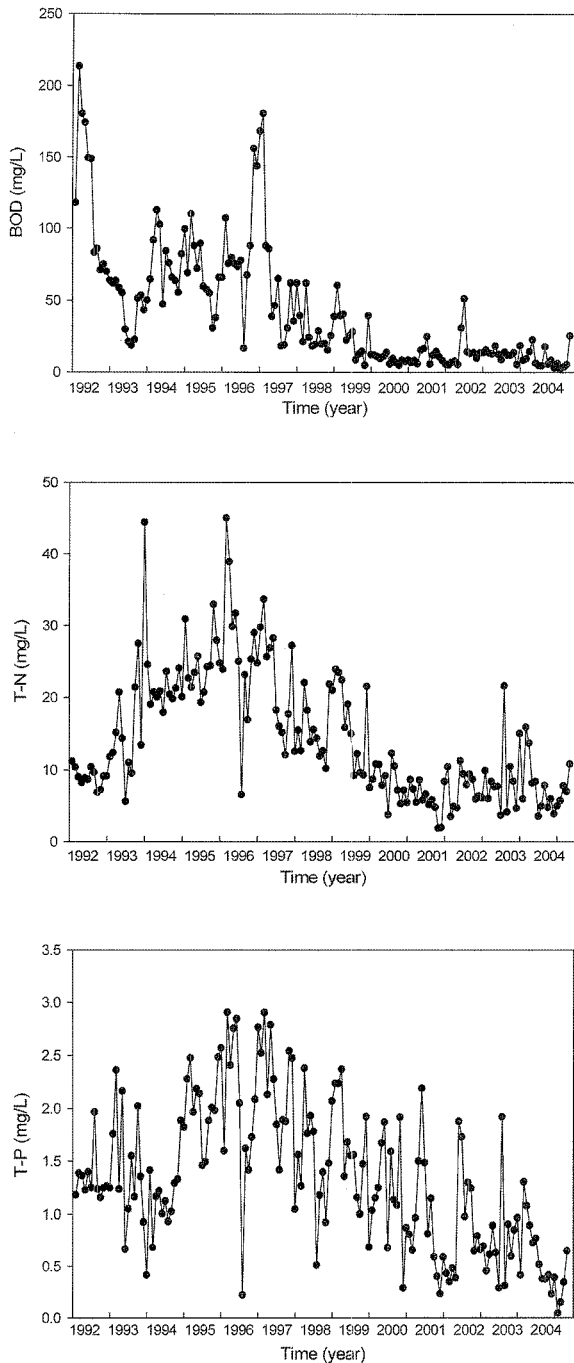


Fig. 4. BOD, TN and TP concentration in Oncheon stream from January, 1992 to March, 2005.

각각 15.6 mg/L, 9.82 mg/L 그리고 1.05 mg/L로 최근 수질이 개선되는 경향을 보이고 있다. 이는 1998년 3월 수영하수처리장 2단계의 완공과 차집관거 시설의 확장에 의한 효과인 것으로 사료된다.

3.2. 점원 오염부하량

수영하수처리구역 내의 생활계 발생부하량에서 정화조에서 분해되고 분뇨처리장으로 이송되는 부하량을 감하고, 산업계 관거유입부하량을 산정한 결과를 Table 2와 같이 요약하였다.

수영하수처리구역 내의 오염부하 특성을 파악하기 위하

Table 2. Sum of input flowrate and loads to sewer conduit in Suyoung wastewater treatment region

Item	Unit	Domestic sewage	Industrial wastewater	Sum
Flowrate	(m <sup>3</sup> /day)	322,306	5,596	327,901
BOD	(kg/day)	51,070	207	51,277
TN	(kg/day)	16,432	80	16,512
TP	(kg/day)	1,782	12	1,794

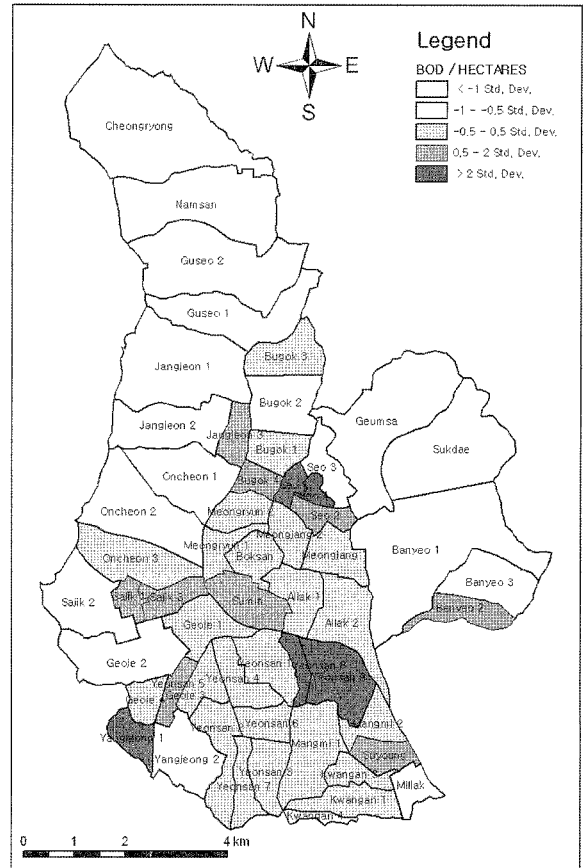


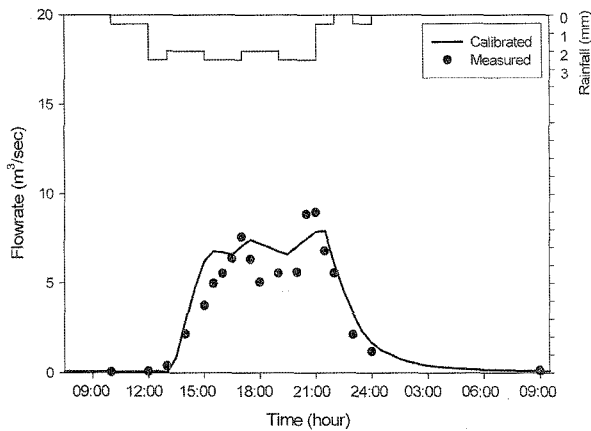
Fig. 5. Distribution of BOD loads normalized by administrative division area.

여 BOD의 관거유입부하량을 행정동별 면적으로 표준화하여 Fig. 5에 나타내었다. Z-score가 0 이상인 것은 평균을 상회하는 것(남, 2001)으로서 도시외곽에 비해서 도심지역에서 면적당 오염부하량이 큰 분포특성을 보였다.

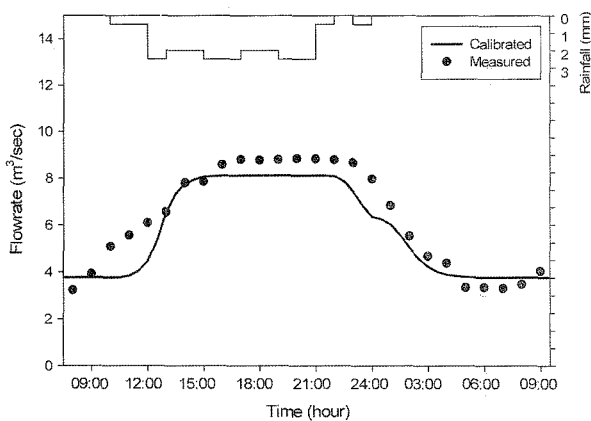
3.3. 모형의 보정 및 검증

온천천 세병교의 유량과 수질 측정자료 그리고 하수처리장의 유량 자료를 이용하여 시나리오 I에 대하여 SWMM 모형의 보정과 검증을 실시하였다.

부산지방기상청 동래 AWS(Automatic weather system)에서 관측한 2004년 12월 4일~5일까지 총 22.5 mm의 강우사상에 대한 시간별 강우자료를 입력인자로 사용하여 보정하였다. Fig. 6은 온천천 세병교 지점과 수영하수처리장의 유입유량에 대해서 동시에 보정한 결과로서 강우에 따른 시간별 변화양상을 잘 반영하는 것으로 나타났다.



(a)



(b)

Fig. 6. Computed versus measured flowrate in Oncheon stream(a) and Suyoung wastewater treatment plant (b) from December 4, 2004 to December 5, 2004.

Fig. 7은 온천천 세병교 지점의 BOD, TN과 TP에 대해서 보정할 결과로서 실측된 오염물질 농도는 침투유량이 발생할 때에는 계산치에 비해서 다소 높은 농도를 보이고 있으나 강우초기에 오염물질의 최대농도를 나타내는 초기 세척현상(Deletic, 1998)을 잘 모의하였다.

2005년 6월 5일~6일까지 총 33.05 mm의 강우사상에 대해서 검증하였다. Fig. 8은 유량에 대한 검증결과로서 보정 강우사상에 비해 강우강도가 크기 때문에 수영하수처리장으로 유입하는 유량의 차이는 거의 없으나 온천천 세병교 지점을 통과하는 유출량은 2 배 이상 증가하였다. Fig. 9는 온천천 세병교 지점의 BOD, TN과 TP에 대한 검증결과로서 보정 강우사상에 비해 오염물질의 농도가 전체적으로 낮게 나타나는 것이 적절히 재현되었다. 이는 보정강우사상에 비해서 유출량이 더 많을 뿐만 아니라 선행 건기일수가 19이었던 보정강우사상에 비해서 선행 건기일수가 4일이었기 때문에 오염물질 축적이 적었기 때문인 것으로 사료된다(Huber et al., 1988; 이, 1998).

### 3.4 하수도 시스템에 따른 수질 모델링

도시하천의 수질관리를 위한 방안을 마련하기 위하여 하수도시스템에 따른 시나리오별 도시하천의 유량과 수질을

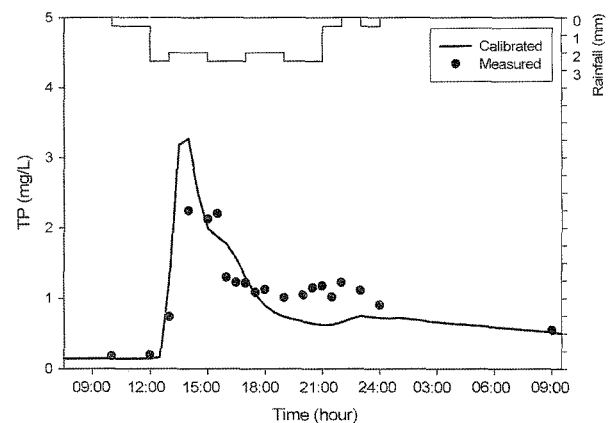
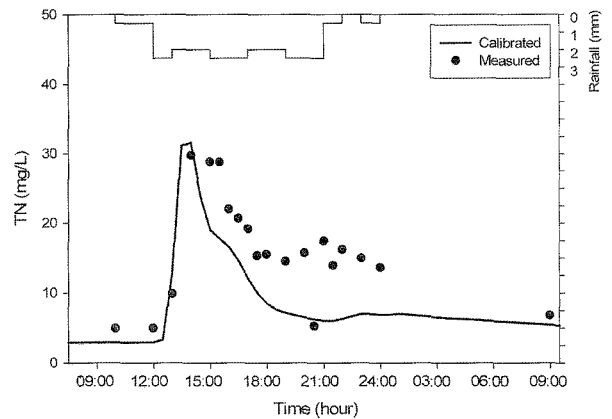
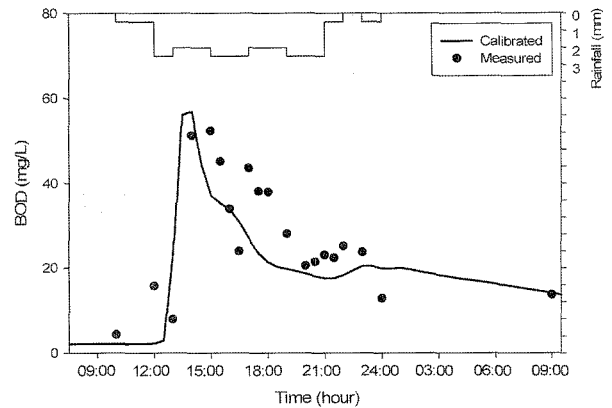
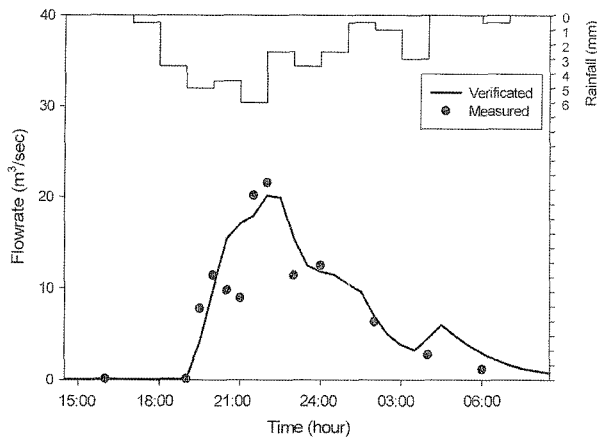


Fig. 7. Computed versus measured BOD, TN and TP concentration in Oncheon stream from December 4, 2004 to December 5, 2004.

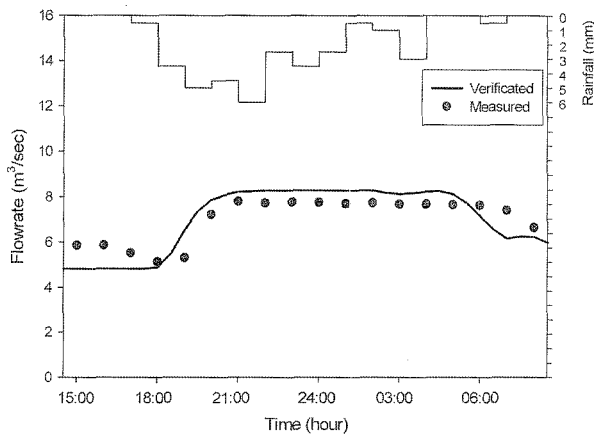
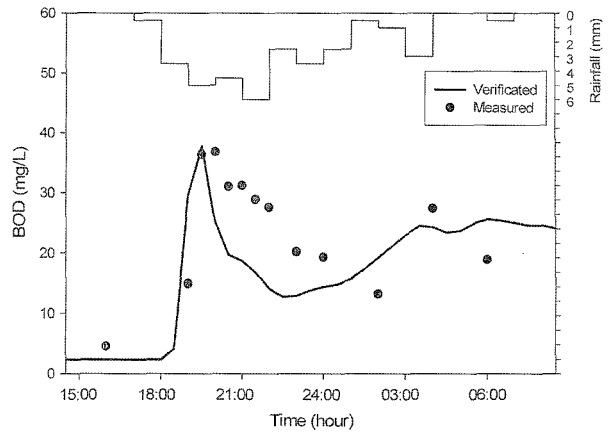
예측하였다. 차집관거의 용량을 초과할 정도의 유량을 나타내는 강우사상 중에서 지속기간이 길고 강우강도가 약한 경우에는 합류식 하수관거 월류수가 도시하천 수질에 미치는 영향이 더욱 크게 나타남으로(Gromaire-Mertz et al., 1998) 2004년 12월 4일~12월 5일의 강우사상을 대상으로 하였다.

시나리오 I의 보정·검증에 적용한 수문학적 매개변수와 수질관련 매개변수를 시나리오 II와 III에 사용하였으며, 각각의 시나리오는 Flow Network만 다르게 설정하였다.

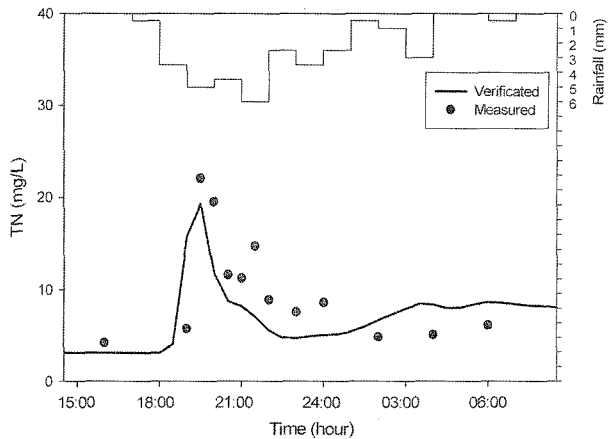
각 시나리오별 온천천의 유량에 대한 모델링 결과는 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 현재에 비해서 하수관거가 없어서 하수가 하천으로 유입되는 상황일 때 유량이 가장 많았으



(a)



(b)

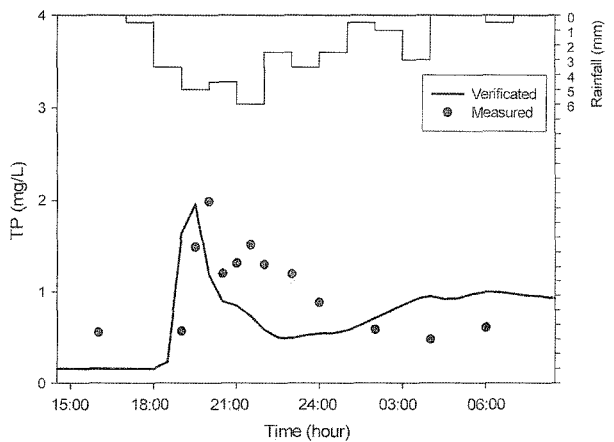


**Fig. 8.** Computed versus measured flowrate in Oncheon stream(a) and Suyoung waste water treatment plant(b) from May 5, 2005 to May 6, 2005.

며, 우수가 하수관거로 유입되지 않는 분류식 하수도시스템 일 경우 현재보다 유량이 증가하였다. 또한 현재의 합류식 하수도시스템인 시나리오 I의 경우에는 강우 전의 기저유량이  $0.07 \text{ m}^3/\text{sec}$ 였으나 분류식 하수도시스템인 시나리오 II의 경우에는  $0.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 기저유량을 나타내어 도시하천의 건천화 방지에도 효과가 있는 것으로 예측되었다. 이는 지하수 등의 하천 유지용수가 오수와 함께 차집되어 하수처리장으로 유입되지 않고 도시하천으로 유입되기 때문이다.

각 시나리오별 온천천의 수질 모델링 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 합류식 하수관거가 설치된 현재 상태의 시나리오 I은 온천천 수질이 강우 전에는 BOD, TN, TP 농도가  $2.18 \text{ mg/L}$ ,  $2.91 \text{ mg/L}$  그리고  $0.146 \text{ mg/L}$ 로 오염물질 농도가 낮았으며, 강우시에는 BOD, TN과 TP의 최고농도가 각각  $56.9 \text{ mg/L}$ ,  $31.6 \text{ mg/L}$  그리고  $3.27 \text{ mg/L}$ 로 높은 농도를 나타내었다.

하수처리장이 설치되지 않아 하수가 하천으로 유입되는 시나리오 III의 경우 강우 전에는 BOD, TN과 TP 농도가 각각  $130 \text{ mg/L}$ ,  $42.7 \text{ mg/L}$  그리고  $4.58 \text{ mg/L}$ 로 도시하천의 오염이 극심하고, 강우시에는 일시적으로 강우유출수에 의한 희석효과로 BOD, TN과 TP 각각  $18.6 \text{ mg/L}$ ,  $6.31$



**Fig. 9.** Computed versus measured BOD, TN and TP concentration in Oncheon stream from May 5, 2005 to May 6, 2005.

$\text{mg/L}$  그리고  $0.66 \text{ mg/L}$ 로 농도가 낮아졌으나 강우가 끝나면 다시 오염되었다.

하수처리장이 설치되고 분류식 하수관거가 설치된 시나리오 II의 경우 강우 전에는 BOD, TN, TP 농도가  $2.77 \text{ mg/L}$ ,  $3.70 \text{ mg/L}$  그리고  $0.185 \text{ mg/L}$ 로 오염물질 농도가 낮았으며, 강우시에는 지표면에 쌓여 있던 비점오염물질의 초기세척효과에 의해서 강우초기에만 오염물질이 고농도를 나타내지만 이후에는 오염물질의 농도가 크게 감소하는 것으로 예측되었다.

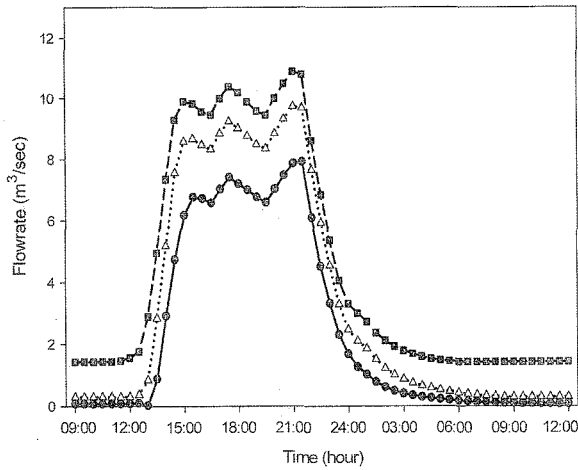


Fig. 10. Hydrographs under various scenarios (—●—: Combined sewer system, ...△...: Separate sewer system, --■--: None sewer system).

2004년 12월 4일~12월 5일의 강우사상에 대해서 현재의 하수도시스템에서는 온천천에서의 BOD, TN과 TP 평균 농도가 각각 18.5 mg/L, 8.06 mg/L 그리고 0.80 mg/L이었던 것이 분류식 하수도시스템에서는 BOD, TN과 TP 평균 농도가 각각 5.4 mg/L, 4.26 mg/L 그리고 0.37 mg/L로 수질이 개선되는 것으로 예측되었다.

#### 4. 결론

GIS와 SWMM 모형을 이용하여 하수도시스템의 종류에 따른 도시하천의 수량과 수질을 모델링한 결과를 요약하면 다음과 같다.

SWMM 모형의 Flow Divider 기능을 적용함으로써 강우시 합류식 하수관거 월류수의 영향으로 인한 도시하천의 수질오염현상을 모의할 수 있었다.

합류식 하수도시스템에서 청천시에는 오수가 하수처리장으로 차집되어 도시하천의 수질이 양호하지만 지하수 등의 하천유지용수가 오수와 함께 차집되기 때문에 도시하천을 건천화시켰다. 강우시에는 차집관거의 용량을 초과하면 합류식 하수관거 월류수가 도시하천으로 유입되어 수질이 매우 악화되는 것으로 나타났다.

하지만 분류식 하수도시스템에서는 지하수가 배수로를 따라 하천으로 유입됨으로써 청천시 도시하천의 건천화를 방지할 수 있고, 강우시에도 오수가 도시하천에 유입되지 않기 때문에 지표면에 쌓여있던 비점오염물질의 초기세척 효과에 의해서 강우초기에만 오염물질의 농도가 증가하고 그 이후에는 오염물질의 농도가 크게 감소하는 것으로 예측되었다.

따라서 도시하천을 본래의 하천모습으로 복원하려면 광범위한 지역의 합류식 하수관거 월류수를 처리할 수 없는 실정이므로 하천에 우수와 지하수만 흐르게 하고 분뇨와 오·폐수는 철저히 배제하는 완전 분류식 하수도시스템을 구축하는 것이 도시하천의 수질을 복원하고 유지수량을 확보할 수 있는 근본적인 대책이다.

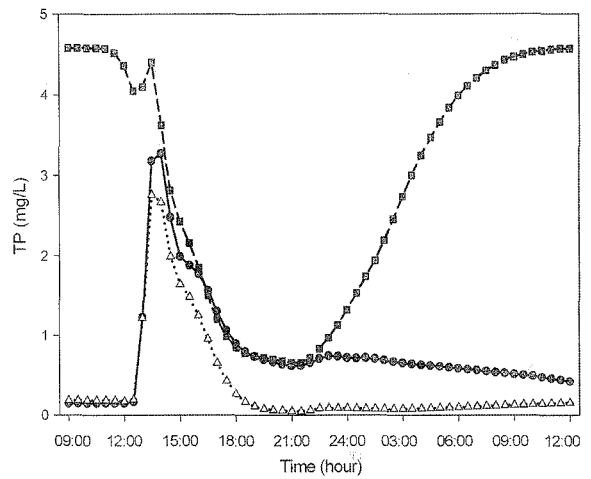
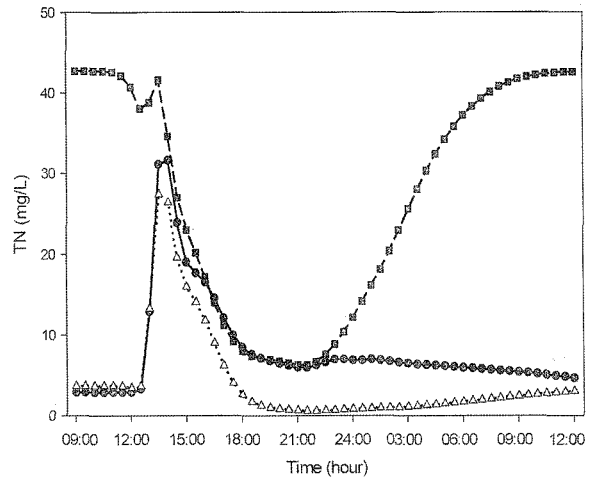
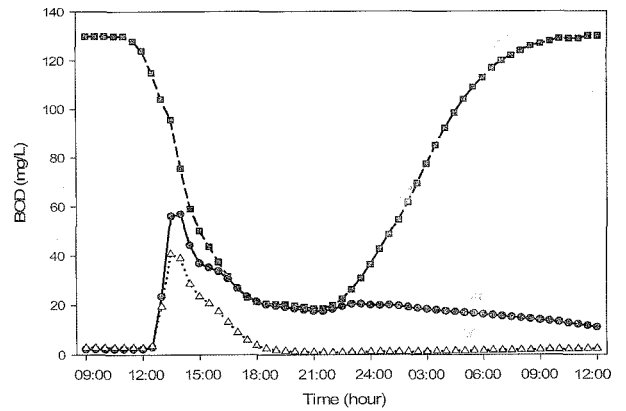


Fig. 11. BOD, TN and TP concentration under various scenarios (—●—: Combined sewer system, ...△...: Separate sewer system, --■--: None sewer system).

#### 사 사

본 연구는 부산지역환경기술개발센터의 연구사업비 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.



## 참고문헌

- 남광우, ST-GIS환경에서 인구분포의 공간적 형태 및 변동성 측정에 관한 연구: 부산광역시(1966년~1995년)를 중심으로, 부산대학교 대학원 박사학위 논문, pp. 103-126 (2001).
- 박중현, 하수도공학, 동명사, pp. 1-69 (1998).
- 부산광역시, 하수도정비 기본계획서, pp. 4.1-5.105 (1998).
- 부산광역시, 수영강 하천정비 기본계획서, pp. 9-88 (2002).
- 이두진, 윤현식, 선상운, 박수동, 이동훈, 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 월류수 저류시설의 용량 결정에 관한 연구(II): 저류지 설계를 중심으로, *대한환경공학회지*, **26**(3), pp. 370-380 (2004).
- 이범희, 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발, 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp. 1-254 (1998).
- 환경부, 수계오염총량관리기술지침, pp. 1-91 (2004).
- Deletic, A., The First Flush Load of Urban Surface Runoff, *Wat. Res.*, **32**(8), pp. 2462-2470 (1998).
- Donigian, A. S. and Huber, W. C., *Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas*, pp. 1-94 (1991).
- Gromarie-Mertz, M. C., Chebbo, G. and Saad, M., Origins and Characteristics of Urban Wet Weather Pollution in Combined Sewer Systems: The Experimental Urban Catchment "Le Maris" in Paris, *Wat. Sci. Tech.*, **37**(1), pp. 35-43 (1998).
- Huber, W. C. and Dickinson, R. E., *Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual*, U.S.EPA., pp. 1-502 (1988).
- Krabacher, M. S., CSO Modeling using RUNOFF and TRANSPORT Modules of SWMM, *WRPMD 1999*, **102**, pp. 12-21 (1999).
- Maidment, D. R., *Arc Hydro: GIS for Water Resource*, ESRI Press, pp. 1-203 (2002).
- Pullar, D. and Springer, D., Towards Integrating GIS and Catchment Models, *Environmental Modelling & Software*, **15**, pp. 451-459 (2000).
- Shoemaker, L., Lahlou, M., Bryer, M., Kumar, D. and Kratt, K., *Compendium of Tools for Watershed Assessment and TMDL Development*, pp. 1-118 (1997).
- Tsihrintzis, V. A. and Hamid, R., Runoff Quality Prediction from Small Urban Catchments using SWMM, *Hydrological Process*, **12**, pp. 311-329 (1998).
- Warwick, J. J. and Tadepalli, P., Efficacy of SWMM Application, *Journal of Water Resource Planning and Management*, **117**(3), pp. 352-366 (1991).