

# 도시 소유역에서의 강우에 의한 오탉부하량 산정

강태호\*, 정연규\*\*, 이종태\*\*\*

## 1. 서론

도시유역에서 강우에 의한 비점원 오탉부하량의 산정은 도시하천에서의 수질환경 계획 및 관리에 매우 중요하다. 하수 및 우수의 처리를 위한 종말처리장 시설의 계획 및 설계에서는 해당유역의 오탉부하량을 기초로 용량 및 시설 등의 제반사항을 수립하게 된다. 도시 소유역의 강우·유출·수질의 설계 및 평가를 위해서는 대상유역 규모의 유량과 수질에 관한 조사와 산정기법에 관한 연구가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 도시유역에 사용되는 SWMM모형을 서울 홍제 배수분구의 남좌좌1유역에 적용하여 유출해석 및 실측 오탉부하량을 산정하고 측정치와의 비교를 통하여 모형의 적용성을 평가하고 강우기간 동안의 유량 및 오탉부하량 곡선을 유도하고 각 오염성분의 농도 및 시간분포에 대하여 검토하였다.

## 2. 강우와 오탉부하량

### 2.1 실험유역의 현황

지표구성이 산지, 주거, 상가, 공장 등 다양하고 지형 및 수문량이 서울지역의 평균상황을 나타내고 있다고 판단되어 홍은 3동을 실험대상 유역으로 선택하였다. 검토대상 유역은 대상유역의 위치 및 현황을 표 1에 수록하였으며, 실험유역 및 배수계통도는 그림 1과 2에 도시하였다.

### 2.2 측정 및 실험방법

배출되는 하수관거의 유량을 유속-면적 적분법을 사용하여 시간단위별로 24시간 연속측정하였고, 오염물질 부하량은 차집관거에 유입되기 전의 채집시료로부터 측정하였다. 이들을 측정하기 위하여 사용된 실험방법은 표 2의 내용과 같다. 측정 시료의 SS, DO, BOD, COD는 연세대학교 환경실험실의 실험기자재를 이용하여 분석하였다. 또한, 도시지역의 비점원 오염물질의 영향을 분석하기 위한 하수의 시료 채취기간 및 강우상태는 표 3과 같다.

### 2.3 SWMM(Storm Water Management Model)모형

도시유역에서의 강우로 인한 홍수량을 산정하는 모형들 중 SWMM모형은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy 사가 Florida 대학 및 W.R.E 와의 공동 연구로 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 시뮬레이션할 수 있도록 개발하였다. SWMM 모형은 도시유역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다.

---

\* 경기대학교 토목공학과 대학원

\*\* 연세대학교 환경시스템공학부 교수

\*\*\* 경기대학교 토목공학과 교수



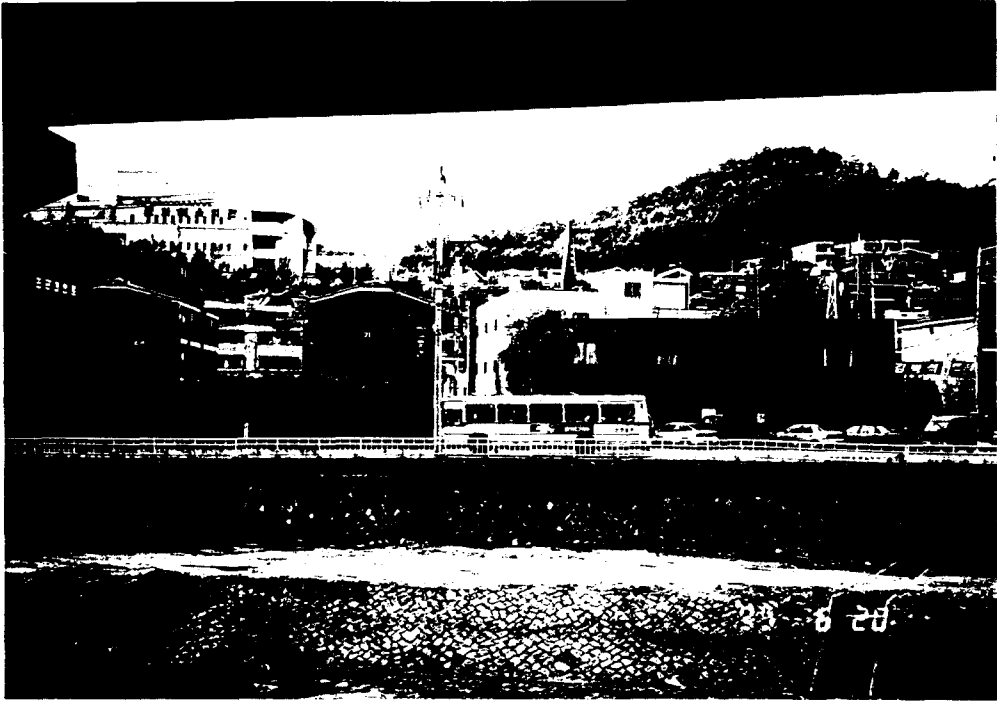


그림 1 실험유역 전경

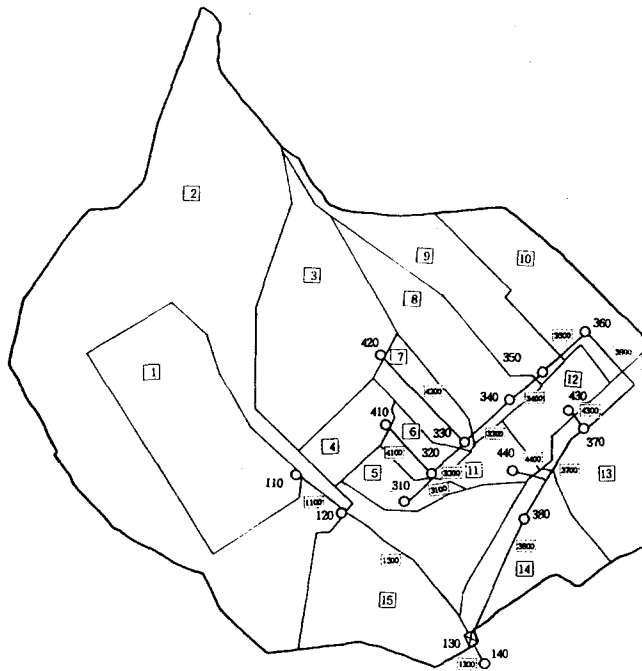


그림 2 실험유역 배수 계통도

### 2.3.1 SWMM의 오탁부하량 산정

SWMM의 오탁부하량은 유출수의 유출강도 즉, 유출율의 함수로 산정된다. 각 시간 단계에서 오염물량은 무게(lb)와 최확치(MPN)로 표현되며, 이를 얻기 위해서는 각 시간간격동안의 오염부하량을 총 유출량으로 나누며, 이로부터 각 관로 동일 지점의 수문곡선과 더불어 오염도곡선이 구해진다.

### 2.3.2 SWMM의 오염물산정 기본이론

강우 시점의 지표면에 누적된 양을  $P_0$ (weight/subarea)하고, 임의 시간  $\Delta t$ 에서의 강우로 인한 오염물 유실량(wash off)  $\Delta P$ 는 지표면의 잔류량  $P$ 에 비례한다고 보아 다음의 1차 미분방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{-dP}{dt} = kP \quad (1)$$

위식을 적분하면

$$P_0 - P = P_0(1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

여기서,  $P_0 - P$ 는 시간  $t$ 에서 유실량이다.

또한,  $k$ 는 유출율  $r$ 에 직접 비례한다고 보아  $k=br$ 로 표현하였다.  $b$ 를 결정하기 위해서 유출이 1/2 in/hr로 일정할 때 한시간에 오염물의 90%가 쓸려 내려간다고 가정하면 다음식으로 표현된다. 이 구성된다.

$$P_0 - P = P_0(1 - e^{-4.6rt}) \quad (3)$$

여기서,  $r$  = 유출율(in/hr),  $t$  = 시간(hr)

이 식을 사용하기 위해 일정한 시간간격  $\Delta t$ 를 선택한다.  $r$ 은 유입수문곡선으로 부터 결정되며, 이 식은 시간에 대하여 연속적으로 적용된다.  $n\Delta t$ 단계에서의 미지값  $P$ 는,  $(n+1)\Delta t$ 에서의 계산에서는  $P_0$ 로 대치된다. 이때의 유출율  $r = 0.5(r_n + r_{n+1})$ 이다.

각 시간 단계에서 농도  $C$ 는  $P_0 - P$ 를 유출량( $m^3/sec$ )으로 나누어 여기에 시간간격 및 단위환산에 필요한 상수를 곱하므로써 다음식으로 결정한다. 여기서,  $A$ 는 집수면적이다.

$$C(mg/\ell) = \frac{268}{t - \Delta t} \cdot \frac{(P_0 - P)}{(r \times A)} \quad (4)$$

## 3. 적용 및 비교검토

### 3.1 유출량 산정

실제강우에 의한 유출량 산정하기 위하여 SWMM의 RUNOFF, RUNOFF+TRANSPORT(RUN+TR), RUNOFF+EXTRAN(RUN+EX)블럭을 사용하였다. 이들 모형에 대한 특성분석은 이종태등(1994, 1996)에 상세히 소개된 바 있다.

적용강우는 1995년 7월25일은 실측강우를 사용하였다. 표 4는 SWMM모형을 사용할 때 입력자료로 사용되는 각종계수를 표시한다. 표 5는 SWMM으로 모의한 값과 실측값과의 비교결과이다. 그림 3은 실제강우에 의한 유출량의 특성치와 유출모형(SWMM)을 이용한 계산치가 비교적 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 이 경우에 있어서는 전유역을 적용 블럭의 구성에 관계없이 거의 대등한 해석 결과를 보여주었다.

표 4. SWMM에 공통적으로 사용된 계수값

초기침투능(mm/hr)	127.0
중기침투능(mm/hr)	6.4
감쇠계수(1/hr)	2
관거조도	0.013
불투수유역 조도	0.014
투수유역 조도	0.06
불투수유역 저류량(mm)	2.5
투수유역 저류량(mm)	7.5

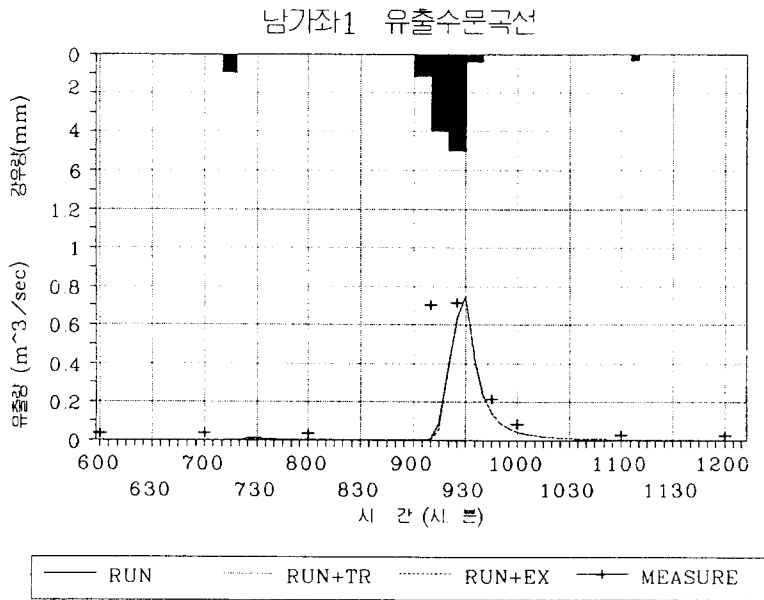


그림 3 실제강우를 이용한 SWMM과 실측 유출수문곡선

표 5. 남가좌1유역 유출특성(실제강우)

특성치 블럭명	유출량(m³)	첨두치(m³/sec)	도달시간(시.분)
RUN	903	0.749	9시 30분
RUN+TR	922	0.756	9시 30분
RUN+EX	802	0.751	9시 30분
실제관측값		0.714	9시 25분

### 3.2 오탉부하량의 산정

소유역에서의 유출에 대한 수질의 변화 및 오탉부하량 산정은 도시하천 수질의 평가 및 개선에 매우 중요하다. 그러나, 이에 관한 자료는 매우 제한되어 있다. 강우·유출·수질관계는 계절적, 지역적 특성에 따라 변하게 된다. 작물경영, 관개, 세차, 산업시설 등과 영농에 따른 비료살포 등과 같은 화학적 작용에 따라 도시와 농촌지역의 수질은 다양하다.

도시유역의 유출·수질 해석모형은 수문과정을 기초로 한 단순한 경험적 방법으로부터 복잡한 모형까지 개발되어지고 있으나 아직도 미완성의 단계이다. 그러나, 모형의 개선을 위해 더욱 많은 자료가 활용되어진다면 그 결과치는 보다 현실성이 있을 것이다. 그러나, 현재까지는 도시유역에서의 강우기간의 연속적인 유출·수질 자료는 거의 없는 실정이다.

도시의 오염물에 가장 큰 영향을 주는 인자는 선행강우후의 비강우기간이며, 그 외 인자는 강우강도와 지속기간, 도시유역의 경사와 토양특성, 오염물 속에 포함된 각 생화학물질들의 양과 농도, 대기중에 존재하는 오염물질과 강우로 인해 지표로 떨어지는 화학물질, 계절, 지역적에 따른 기후, 도시강우시의 오염상태 등이다.

그림 4는 남가좌1 유역의 SWMM으로 모의한 오염도곡선이며, 강우·유출 증가에 따른 오탉부하량의 양상을 잘 모의하고 있음을 알 수 있으며, 또한 전형적인 배출양상인 초기강우로 인한 초기배출(first-flush)이 침투유량의 발생시점보다 앞에서 발생함을 알 수 있었다. 그림 5는 SWMM BOD농도 모의치와 실측치와의 비교이다. 여기서 강우에 의한 오탉부하량의 시간적 변화양상을 잘 묘사되고 있으나, 오탉부하량의 침투치에 있어 상당한 차이가 발생하였다. 이것은 SWMM모의시 각 소유역 도로의 축적된 오염량 산정을 위한 경험계수의 불확실성에 기인한 것으로 판단된다. 그러나, 그림 6의 부유물질(SS) 산정에 있어서는 모의치와 잘 일치함을 알 수 있었다. 이러한 전반적인 상황으로 볼 때 도시 소유역에서 오탉부하량 산정에 있어 SWMM의 적용성을 확인할 수 있었다.

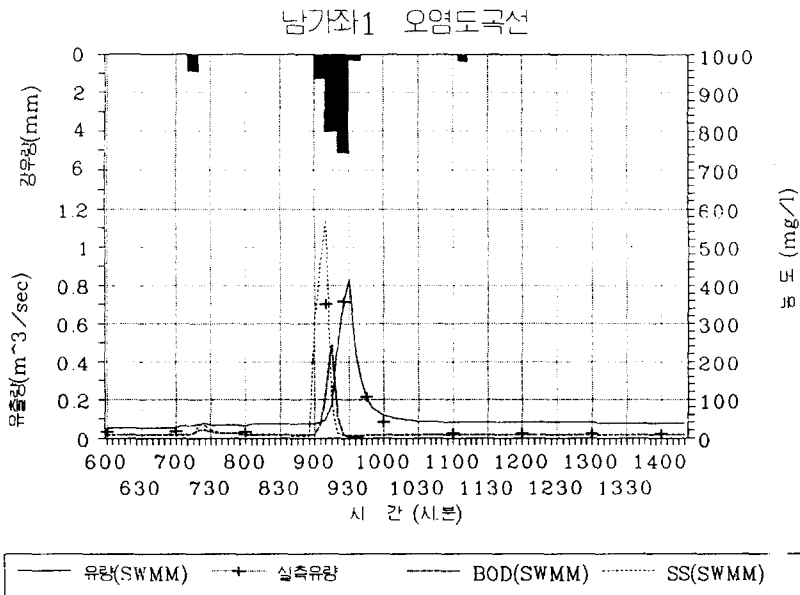


그림 4 SWMM에 의한 오염도곡선

남가좌1 오염도곡선(BOD)

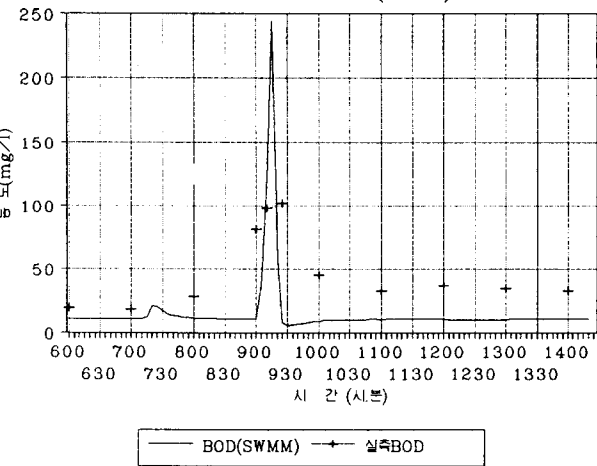


그림 5 BOD농도 곡선

남가좌1 오염도곡선(SS)

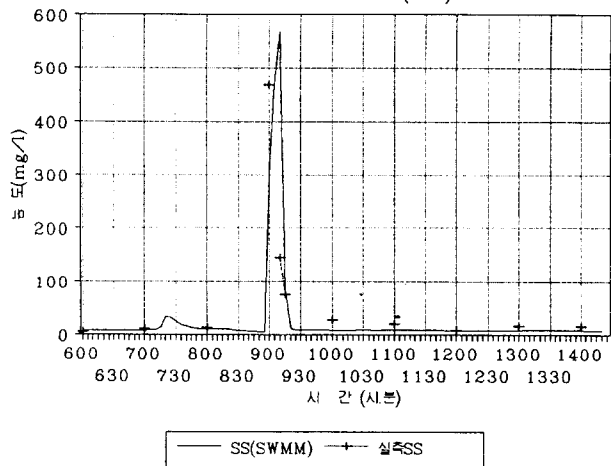


그림 6 SS농도 곡선

#### 4. 결론

- (1) 도시유역의 강우기간동안 유출량 및 오탁부하량을 연속적으로 측정함으로써 유출량의 변화에 따른 오탁부하곡선의 특성을 관찰할 수 있었다.
- (2) 실제강우에 의한 유출량 및 오탁부하량의 측정치와 유출모형(SWMM)을 이용한 계산치가 크기 및 시간적 분포에 있어서 비교적 잘 일치하였다.
- (3) 오탁부하량은 침투부하량 이전의 초기강우기간에 급격히 직전에 증가함을 알 수 있었다. BOD의 산정에 있어서는 편차를 보여주었으나 이는 건기시 오염축적량의 산정에 의한 오차에 기인하는 것으로서 추후의 보다 많은 실측치를 토대로 보완되어야 할 과제이다.

#### 5. 참고문헌

1. 이종태, 윤세의, 김정환(1994), "지표면유출 해석방법이 도시유역의 홍수량 산정에 미치는 영향", 대한토목학회지, 제14권 5호, pp 1167-1175
2. 이종태, 강태호, 김정환(1996), "도시유역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM모형", 수공학 워크샵 교재", pp 97-204
3. Huber, W. C and Dickinson, R. E(1988)., "Storm Water Management Model : User's Manual(Ver 4.2), E.P.A, pp 59-494