

## 도시 배수구역의 유출-수질 특성인자의 민감도 분석 Sensitivity Analysis of Runoff-Quality Parameters in the Urban Basin

이 종 태\* · 강 태 호\*\*

Lee, Jong Tae · Kang, Tae Ho

---

### Abstract

The purpose of the study is to analyze the sensitivity of the parameters that affect the runoff and water quality in the studied drainage basins. SWMM model is applied to the four drainage basins located at Namgazwa and Sanbon in Seoul and Gray Haven and Kings Creek in the USA. First of all, the optimum values of the parameters which have least simulation error to the observed data, are detected by iteration procedure. These are used as the standard values which are compared against the varied parameter values. In order to catch the effectiveness of the parameters to the computing result, the parameters are changed step by step, and the results are compared to the standard results in flowrate and quality of the sewer. The study indicates that the discharge is greatly affected by the types of runoff surface, i.e., impervious area remarkably affects the peak flow and runoff volume while the surface storage affects the runoff volume at mild sloped basins. In addition, the major parameters affecting the pollution concentrations and loadings are the contaminant accumulation coefficient per unit area per time and the continuous dry weather days. Furthermore, the factors that affect the water quality during the initial rainfall period are the rainfall intensity, transport capacity coefficient and its power coefficient. Consequently, in order to simulate the runoff-water quality, it is needed to evaluate previous data in the research performed for the studied basins. To accurately estimate the runoff and water quality of the basin the impervious areas should be separated from the tributary areas and the rational computation methods of the pollutants calculation should be introduced.

---

### 요 지

본 연구는 강우로 인한 도시 배수구역에서의 유출 및 수질 산정을 위한 주요인자들이 모의해석 결과치에 주는 영향을 분석하였다. 적용대상구역으로서 남가좌, 산본 배수구역과 미국의 Gray Haven, Kings Creek 배수구역 등의 4개 지역을 선택하였다. 실측치를 토대로 각 영향인자들의

---

\* 경기대학교 토목공학과 교수

\*\* 경기대학교 토목공학과 박사과정

최적치를 주요 유역영향인자들을 포괄적으로 수용하고 있는 SWMM 모형으로 선정하고, 이를 기준으로 하여 이들이 계산 결과치에 주는 민감도를 분석하였다. 유출영향 인자로서 불투수면적은 침투유출량 및 유출용적에 가장 큰 영향을 줄 수 있었다. 한편 지표면 저류 깊이는 완만한 경사의 유역에서 침투유량 및 유출용적에 상당한 영향을 주었다. 한편, 오염농도 및 오탁부하량에 영향을 주는 주요매개변수로서는 단위면적, 오염축적의 정도를 나타내는 오염축적계수와 오염축적을 지속적으로 가능하게 하는 연속 무강우 일수 등이 큰 민감도를 보여주었다. 이는 비점원 오염물의 절대 축적량이 하천수질에 직접적인 영향을 주고 있음을 의미한다. 한편 강우초기의 수질에 영향을 주는 변수로서는 강우강도와 오염물질의 이송능력을 나타내는 이송계수 및 지수들의 영향이 상당하였다. 따라서 도시유역에서의 유출 및 수질 모의를 위하여서는 충분한 유역자료의 수집과 분석이 선행되어야 하며, 특히 불투수지역의 정확한 분리와 유역별 비점원 오염물의 축적량의 합리적 선정 과정에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

## 1. 서 론

도시화로 인한 불투수면적의 증가는 침투유량 및 유출용적을 증가시키고 도달시간을 단축시킨다. 도시지역은 주로 평탄한 지역에 위치하고 있으나 최근에는 개발 가능 토지의 부족으로 경사가 비교적 급한 산지까지도 도시 및 산업지역으로 광범위하게 개발되고 있는 실정이다. 이러한 도시유역의 급격한 변화는 하류의 유출특성에 큰 변화를 초래하게 되어 침수피해를 유발하는 결과로 나타나기도 한다. 한편, 도시 하천의 적절한 관리를 위해서는 하천환경개선과 친수공간의 제공측면에서 수질관리가 수량관리 못지않게 중요한 분야로 자리잡게 되었다. 따라서, 도시 하천 및 배수계통의 계획 및 설계시에는 유역특성을 고려한 적정 홍수량 및 오탁부하량의 산정이 우선적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 홍수량 및 오탁부하량의 계산 결과에 영향을 미치는 주요 유역인자 및 오탁인자들의 적절한 선택과 그 특성의 이해가 선행되어야 하며, 또한 이들이 결과치에 미치는 민감도를 파악하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 검토대상유역에서의 실측치를 토대로 각 영향인자들의 최적치를 선정하고 이를 기준으로 하여 각 인자들의 민감도를 분석하였다. 이를 위하여 실측 강우-유출자료가 있는 4개 배수구역을 선정하였다. 유출 및 수질 해석을 위하여서는 주요 유출 및 수질영향인자들을 포괄적으로 수용하고 있는 SWMM 모형을 선택하였다.

## 2. 적용대상 유역 및 분석방법

### 2.1 적용배수유역 및 강우사상

본 연구를 위한 적용대상 유역으로서 지표면 경사가 급한 국내의 남가좌, 산본 배수구역과 지표경사가 완만한 미국의 Gray Haven, Kings Creek 배수구역 등의 4개 지역들을 선정하고 유역자료 및 유출와 수질자료를 조사 정리하였다(표 1).

표 1. 대상유역의 특성

배수유역	유역면적(ha)	불투수면적(%)	유역경사 (%)		유역특성
남가좌	20.20	50.5	20.00		산지 및 주거지역
산 본	120.41	33.3	주거지역	2.56	산지 및 아파트지역
			산지	29.80	
Gray Haven	9.40	52.0	0.50		주거지역
Kings Creek	5.95	70.7	1.00		아파트지역

남가좌 배수구역의 면적은 0.2 km<sup>2</sup>로 상류부는 산지이며, 하류부는 주택 및 상가로서 불투수면적 비율이 약 50 %인 급경사지역이다. 우량자료는 인근 서대문 구청에서의 측정자료를 사용하였으며 유량은 출구에서 직접 측정하였다(강태호 등, 1996). 산본 배수구역은 안양시 인근의 자연유역을 개발하여 도시화된 지역으로 유역면적이 1.2 km<sup>2</sup>, 불투수면적 비율이 약 33 %로서 아파트, 상가, 산림 등으로 구성되어 있다. 이 지역에서의 우량 및 유량자료는 한국회와 이길춘(1996)에서 취득하였다.

Gray Haven 배수구역은 미국의 Maryland주 Baltimore에 위치하며 대부분 아파트지역으로 구성되어 있으며, 우량계는 하류부 1개소에서 측정되었다. 이 지역의 유역면적은 0.094 km<sup>2</sup>, 불투수면적 비율은 약 52 %이다. Kings Creek 배수구역은 미국 Florida주 Dade에 위치하며 대부분 아파트지역으로 구성되어 있다. 유역면적은 0.06 km<sup>2</sup>, 불투수면적 비율은 약 71 %이며, 우량측정은 상, 하류부의 각 1개소에서 측정되었다(김정환, 1993). 각 대상 유역에 적용된 실적 강우는 다음의 표 2와 같다.

표 2. 적용강우

배수 유역	대상강우	강수량(mm)	지속기간(분)
남 가 좌	1995. 7. 25	11.7	40.0
	1996. 6. 28	7.5	440.0
산 본	1995. 8. 23	36.0	130.0
Gray Haven	1963. 6. 5	55.9	53.0
Kings Creek	1977. 6. 4	10.8	64.0

## 2.2 해석모형

도시유역에서의 강우로 인한 홍수량 및 오락부하량을 산정하는 모형으로서 SWMM(Storm Water Management Model)은 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.

SWMM은 도시유역내에서 강우로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형으로서 신현석과 윤용남(1993a, b), 이종태 등(1994, 1996)에 의해 우리나라 도시유역에서의 적용성이 검토된 바 있다. 본 연구에서는 SWMM에서의 RUNOFF 블럭을 사용하여 각 유출, 수질인자들이 해석결과치에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2.3 유출해석

### 2.3.1 지표면유출 해석

RUNOFF 블럭에서는 지표면유출에 대한 기본방

정식으로서 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 운동과 근사법으로서의 비선형 저류방정식이 사용된다. 이 방법은 완만한 홍수파의 상승구간에서 그 적용성이 높다. 계산을 수행하는 데는 상류부 경계만이 필요하고, 각 수로요소는 인접요소와 분리된 계단형 수로로 가정하였다. 각 소유역에서의 지표면 저류 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dV}{dt} = A_s \frac{dd}{dt} = A_i i - Q \quad (1)$$

여기서  $d$ 는 수심,  $t$ 는 시간,  $A_s$ 는 지표면적,  $V$ 는 물의 부피(=  $A_s \cdot d$ ),  $i$ 는 초과 강우강도,  $Q$ 는 유출량이다. RUNOFF에서 지표면유출량은 수리반경이 수심과 같다고 보아 다음의 Manning 식으로 계산한다.

$$Q = W_i \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (2)$$

여기서  $W_i$ 는 유역의 폭,  $n$ 는 Manning의 조도계수,  $d$ 는 수심,  $d_p$ 는 지면 요철에 의한 저류 깊이,  $S$ 는 지표면 경사이다. 위의 두 식을  $d$ 에 대하여 재정리하면 다음의 비선형 저류방정식이 유도된다(Huber, 1988).

$$\frac{d d}{d t} = i - \frac{W_i}{A \cdot n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (3a)$$

$$= i + K \cdot (d - d_p)^{5/3} \quad (3b)$$

여기서  $A$ 는 흐름 단면적이며, 미지값  $d$ 에 신속히 수렴하기 위하여서는 Newton-Raphson 반복법이 사용되었다.

### 2.3.2 배수로 흐름 해석

RUNOFF에서 관로유출은 앞에서 기술한 지표면 유출과정을 통하여 측방으로 유입되는 유량과 상류 배수로로부터의 유입량 및 하류로의 유출량 등으로 구성된 비선형 저류방정식으로 부터 계산된다. 본 방정식의 해를 구하기 위하여 모형개발 초기에는 수정 Euler 방법이 사용되었으며 후에 보다 안정된 해를 얻기 위해 Newton-Raphson 방법으로 대체되었다. Manning 식이 각 적분 연산 시간구간에서 사용되며, 유출현상의 동역학적 거동은 준 정상(Quasi-

steady) 상태로 근사 처리하였다. 이 방법은 수심  $d$  와 단면적  $A$ 가 시간에 따라 급하게 변하지 않는 경우에 그 적용성이 크다. 배수로 흐름에 사용되는 연속방정식과 Manning 식은 각각 다음과 같다(Huber, 1988).

$$\Delta V = \Delta t(Q_i + Q_s - Q) \quad (4)$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (5)$$

여기서  $Q_i$ 는 상류구간에서의 유입량,  $Q_s$ 는 측방 유입량,  $Q$ 는 지하수 유입량이다.

### 2.3.3 오락부하량 산정

강우시 배수구역으로 부터의 오염물 배출은 강우 이전까지의 오염물의 축적(buildup)과 강우개시 이후의 지표면에 대한 강우의 충격작용과 지표류의 소류력에 의한 오염물질의 이송(washoff)에 의하여 이루어진다.

오염물의 축적은 물리 화학 생물학적 작용에 의해 복합적으로 이루어진다. 오염물 축적에 영향을 주는 요소로서는 선행 무강수기간, 토지이용도, 도로청소 빈도 등과 강우, 바람 등의 국지 기상현상 등 여러 가지가 있겠으나, 이를 모두 고려하는 방정식의 구성은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서, 오염물 축적량(buildup)은 다음의 단순화된 몇가지 유형으로 구분될 수 있다.

(1) Power-Linear 형:

$$p_b = C_b \cdot D^B \quad (6)$$

(2) Exponential 형:

$$p_b = P_c(1 - e^{-B \cdot D}) \quad (7)$$

(3) Michaelis-Menton 형:

$$p_b = P_c \cdot D / (C_b + D) \quad (8)$$

여기서  $p_b$ 는 오염물 축적량( $p_b < p_c$ ),  $p_c$ 는 한계 오염물 축적량,  $B$ 는 오염 축적지수,  $C_b$ 는 오염 축적계수이며,  $D$ 는 연속 무강수 일수이다.

적용대상 배수구역에 적합한 유형의 선택은 해당 구역에서의 측정자료로 부터 선택하여야 할 것이나 이에 대한 국내에서의 자료는 획득하기 어려웠으므로 본 연구에서는 SWMM에서 일반적으로 사용되고 있는 Power-Linear 형을 사용하였으며 오염축적지수는 1.0으로 하였다.

한편, 오염물의 이송은 강우로 인하여 무강수기간에 축적된 오염물이 지표면으로부터 침식 또는 용해되어 운반되는 과정이다. 일반적으로 이송량은 시간에 대하여 다음의 지수함수 관계를 갖는다.

$$P_w(t) = P_o(1 - e^{-Wt}) \quad (9)$$

여기서  $P_w(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 오염물 쓸림 누가량,  $P_o$ 는 초기 오염물 축적량( $=p_c$ ),  $W$ 는 쓸림계수이다. 또한, 임의 시각,  $t$ 에서 이송 후의 잔류 오염량,  $p(t)$ 는  $P_o - P_w(t)$ 이므로 다음의 식으로 표현된다.

$$p(t) = P_o e^{-Wt} \quad (10)$$

여기서  $p(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 지표면 잔류 오염물량이며,  $P_o$ 는 초기 오염물 축적량이다.

윗 식으로부터 시간에 따른 이송량의 변화율은 다음의 식과 같다.

$$\frac{dp}{dt} = -W \cdot p(t) \quad (11)$$

윗 식은 이송률이 잔류 오염물량에 비례함을 나타내고 있다. 한편 오염물질들은 지표면에서의 소류력에 의하여 운반되며 이로 인한 오락부하량은 유출강도 즉, 유출률(runoff rate; mm/hr)의 함수로 산정된다. 쓸림계수  $W$ 가 유출률의 멱수에 비례한다고 가정하면 쓸림계수는 다음과 같이 표현 가능하다.

$$W = k \cdot r^s \quad (12)$$

여기서  $k$ 는 이송 계수,  $r$ 은 유출률이며,  $s$ 는 이송지수이다.

한편, 각 시간 단계에서의 오염특성은 오염농도와 부하량으로 표현되며, 이를 산정하기 위해서는 각 시

간대에서의 오탁부하량을 먼저 산정하고 이를 유출량으로 나눔으로서 오염농도를 결정한다. 즉,

$$C = \frac{1}{Q} \frac{dp}{dt} = \frac{k \cdot r^{s-1} \cdot p(t)}{A_s} \quad (13)$$

여기서  $C$ 는 오염물질 농도를,  $Q$ 는 지표유출량( $r \cdot A_s$ )을 각각 나타낸다.

또한, 미지 시간대의 잔류 오염물량은 유출률  $r$ 의 시간평균치와 이송계수,  $k$ 로부터 다음식과 같이 산정된다.

$$p(t + \Delta t) = p(t) \cdot e^{Ct} \quad (14)$$

여기서

$$C_i = -k \cdot \frac{[r(t)^i + r(t + \Delta t)^i]}{2} \quad (15)$$

## 2.4 유출인자의 영향 분석

SWMM에서 유출에 크게 영향을 미치는 인자로서는 불투수면적비, 유역폭(지표면 유출방향에 직교하

는 지표면의 길이), 지표 저류깊이, 지표 조도계수, 관 조도계수 등이다.

유출특성의 민감도 분석에 앞서 실측 유출량에 가장 근사한 모의치를 갖는 적정 매개변수의 추정이 선행되었다(Nix, 1993). 즉, 남가좌, 산본, Gray Haven, Kings Creek 등의 배수구역에서 실측치와 모의치가 최적으로 접근하는 매개변수들을 SWMM으로 결정하였다. 이 때, 해당호우 기간에서의 유량측정은 남가좌유역에서는 경기대학교 수공학연구소(강태호와 이종태, 1996)에서 실시하였으며, 산본유역의 경우는 한국회와 이길춘(1996) 등의 측정자료를 활용하였다. 모형에서의 주요 계산과정은 앞에서의 식 (1)~(5)를 기본으로 하고 있다. 이 과정에서 얻어진 최적 매개변수들의 값은 다음의 민감도 분석과정에서 기준값으로 채택하였다. 그림 1~4는 각 유역에서의 최적모의 결과치와 실측치를 비교한 것으로서 유역에 따라 차이는 있으나 비교적 실측치에 근사한 결과를 보여주고 있다.

유출계산을 위한 주요 유역자료의 결정이 결과치에 미치는 영향을 분석하기 위하여 남가좌, 산본, Gray Haven, Kings Creek 등의 유역에서 ①불투수면적비, ②유역폭, ③지표 저류깊이, ④지표 조도계수, ⑤관조도계수 등을 각각  $\pm 10\%$ 씩 단계적으로 각각 변화시켜 나가면서 계산한 유출량을 기준 최

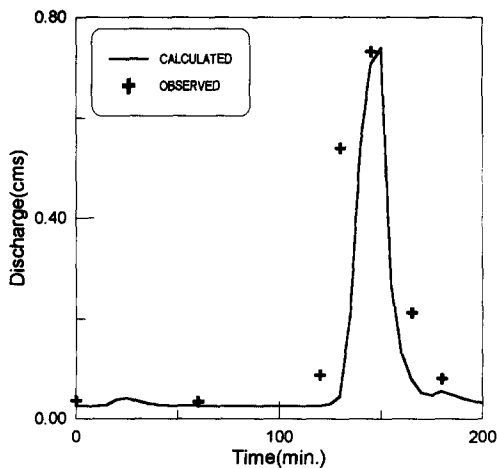


그림 1. 남가좌 배수구역의 유출수문곡선

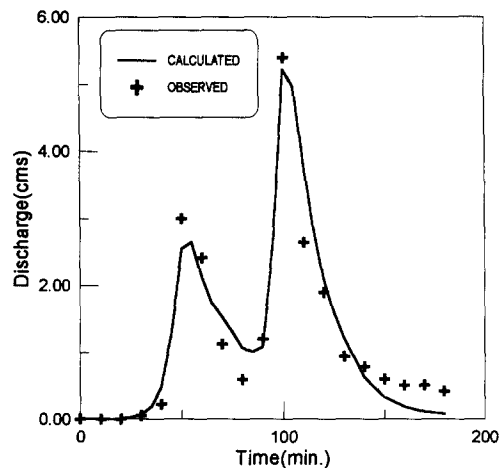


그림 2. 산본 배수구역의 유출수문곡선

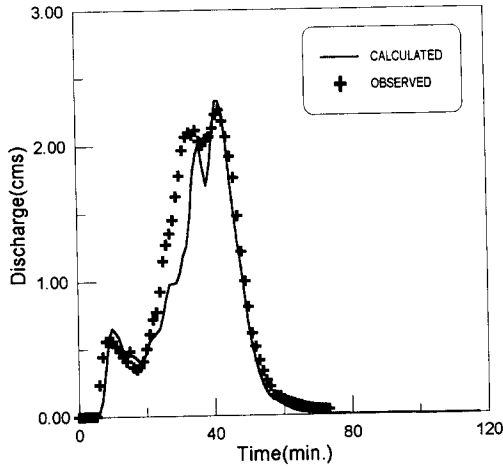


그림 3. Gray Haven 배수구역에서의 유출수문곡선

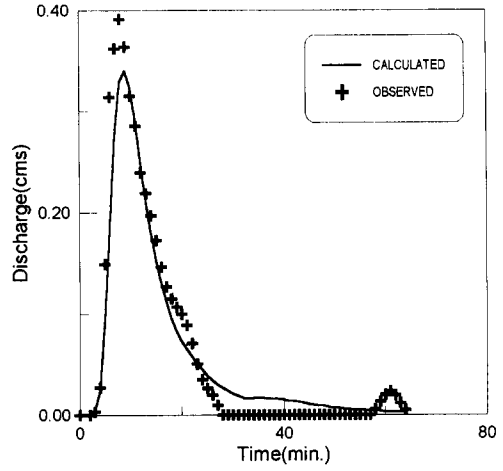
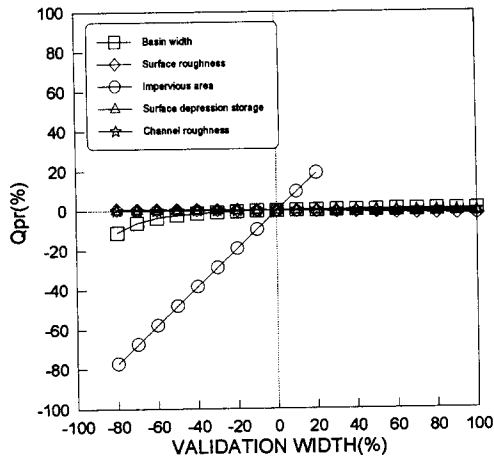
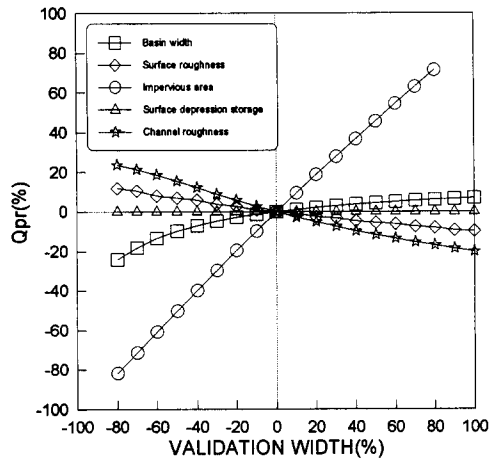


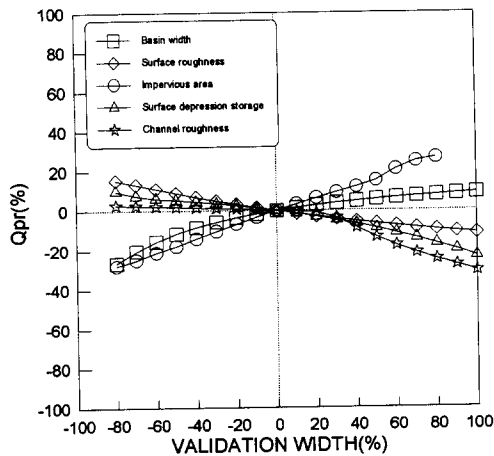
그림 4. Kings Creek 배수구역에서의 유출수문곡선



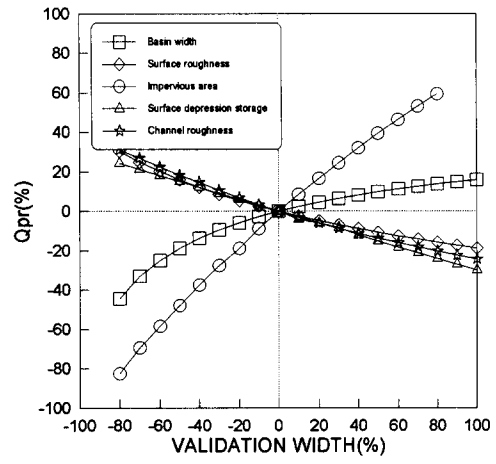
(a) 남가좌



(b) 산본



(c) Gray Haven



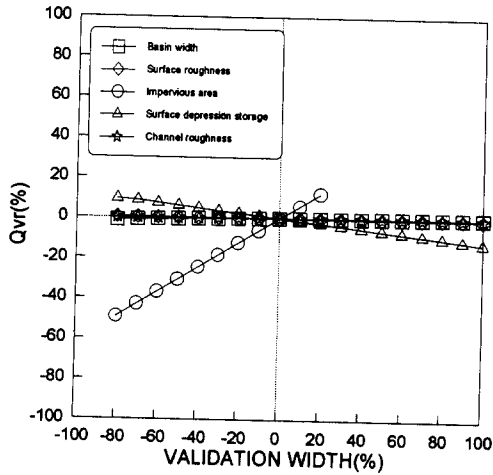
(d) Kings Creek

그림 5. 첨두유량의 민감도

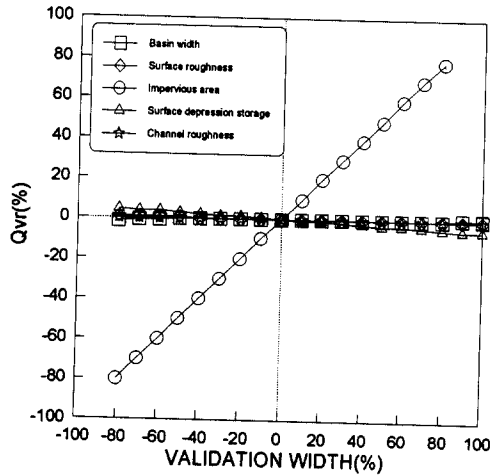
적치와 비교하였으며 그 결과를 침투유량비와 유출용적비에 대하여 각각 나누어 검토하였다. 그림 5는 각 영향인자들이 침투유출량,  $Q_v$ 에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 전 유역에서 전반적으로 불투수면적비가 침투유량에 가장 민감한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 다음으로는 유역폭의 폭이 비교적 침투유량의 크기에 영향을 주고 있음을 보여주고 있다. 나머지 인자들의 영향은 유역에 따라 차이가 있으나 대체로 그 영향은 앞의 두 인자에 비해 작게 나타났다.

또한, 각 유역 특성치들이 총유출량,  $Q_v$ 에 미치는 민감도를 해석하기 위하여 앞에서와 마찬가지로 각

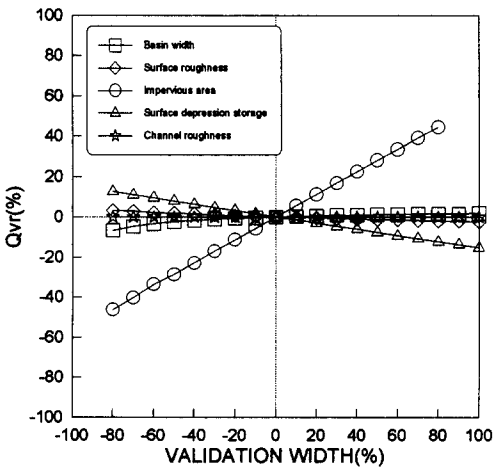
인자들의 값을 기준최적치로부터 각각  $\pm 10\%$ 씩 변화시켜 나가면서 각 유역에 대하여 계산하였으며 그 결과는 다음의 그림 6과 같다. 이로부터 유출용적은 침투유출량에서와 마찬가지로 불투수면적비가 총 유출량에 가장 민감함을 보여주고 있다. 또한 Gray Haven, Kings Creek 등과 같이 비교적 경사가 완만한 유역(표 1)에서는 불투수면적비 다음으로 지표면저류량이 침투유량 및 유출용적에 상당한 영향을 주었다. 그러나, 남가좌, 산본과 같이 경사가 급한 유역에서는 불투수면적비 이외의 인자들이 유출용적에 주는 영향은 상대적으로 작았다.



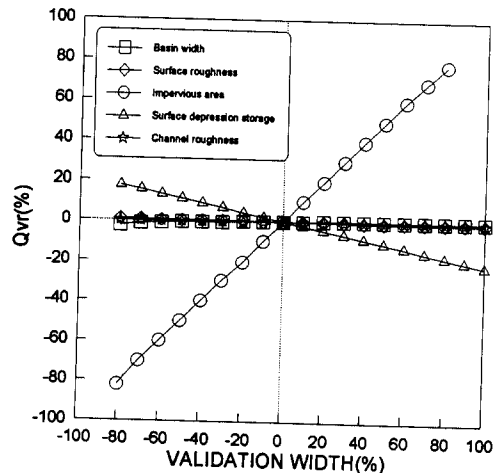
(a) 남가좌



(b) 산본



(c) Gray Haven



(d) Kings Creek

그림 6. 유출용적의 민감도

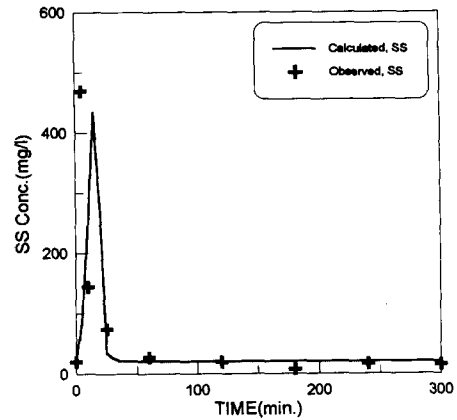
## 2.5 수질 매개변수의 영향 분석

강우-유출분석에서와 마찬가지로 각 수질영향인자들이 결과치에 미치는 민감도를 분석하기 위해서는 실측 농도 및 부하량 등에 근사하는 최적 매개변수의 추정이 선행되었다. 본 연구에서는 합류식 관로인 남가좌유역에서의 강우기간 실측치(1995.7.25)와 모의치가 최적으로 접근하는 SWMM에서의 수질 매개변수들을 추정하였다. 수질측정은 유역출구에서 시간별 채수한 샘플로부터 현지에서 수온, DO, Conductivity 등을 측정하였고, SS, BOD, COD 등은 환경오염공정시험법에 의거하여 경기대학교 수공학연구실 실험실에서 측정하였다. 그림 7은 각 수질항목별 농도 및 부하량을 산정한 것으로서 모의치가 발생 시간 및 첨두치에 있어 실측값에 근접함을 보여주고 있다.

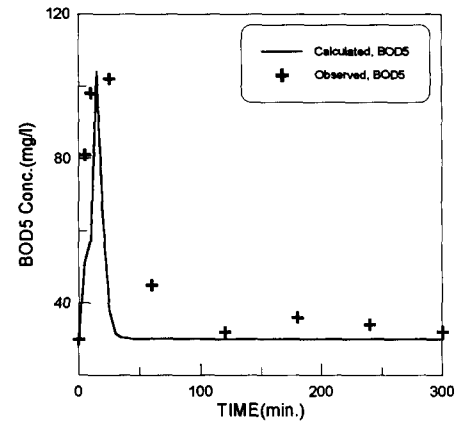
일반적으로 오염 성분의 농도 및 부하량에 크게 영향을 미치는 특성인자로서는 앞에서 설명한 바와 같이 지표면 오염물 축적에 관계되는 주요 변수들로서는 오염축적의 정도를 나타내는 오염축적계수와 오염축적지수 및 건기일수(식 (6)) 등이며, 강우로 인한 오염물 쓸림량 및 오염농도를 산정하는 주요 변수들로서는 오염물 이송계수 및 이송 지수(식 (11), (13)) 등이다.

본 연구에서는 위의 각 영향 인자중에서 ①오염축적계수( $C_s$ ), ②건기일수( $D$ ), ③이송계수( $k$ ), ④이송지수( $s$ ) 등을 검토대상인자로 선택하였다. 이어서 이들의 값을 각각  $\pm 10\%$  씩 변화시켜 나가면서 최적치에 대한 편차의 정도를 먼저 첨두농도비로서 표현하고 그 민감도를 분석하였으며 그 결과는 다음의 그림 8과 같다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 모든 변수들이 고르게 결과치에 상당한 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 민감한 정도로는 건기일수, 오염축적계수, 이송지수, 이송계수 등의 순이었다. 한편 오염지수,  $s$ 의 범위는 1~5 사이의 값으로서 항상 1.0보다 커야 하며 남가좌유역의 경우에는 최적치가 1.5이므로  $-30\%$  이하는 모의할 수가 없었다.

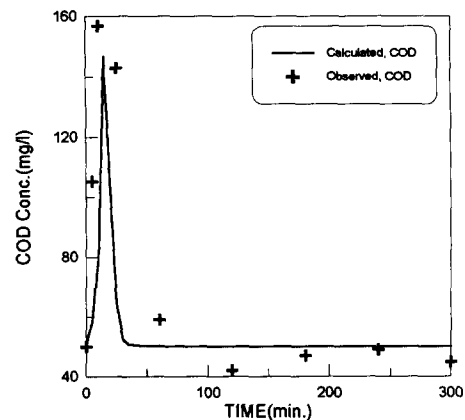
마찬가지의 방법으로 이들 인자들이 각 오염성분의 부하량에 주는 민감도를 분석하였다. 그림 9에서 볼 수 있는 바와 같이 오염부하량에 가장 큰 영향을



(a) SS



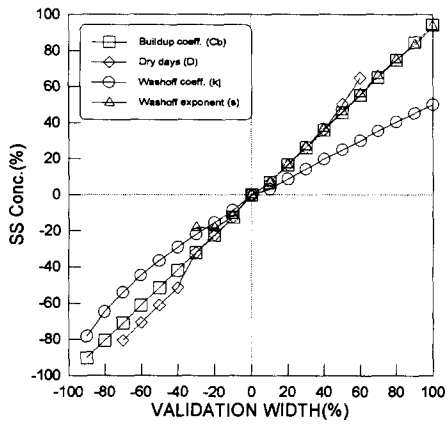
(b) BOD<sub>5</sub>



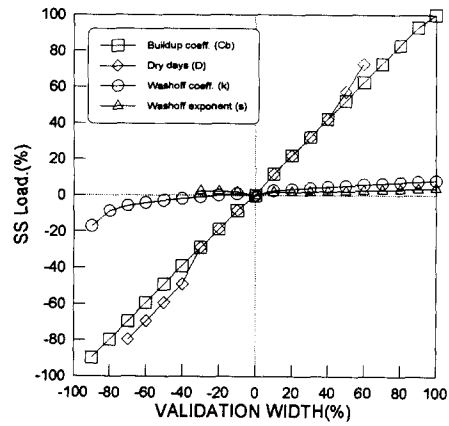
(c) COD

그림 7. 각 수질항목별 농도 산정결과(남가좌)

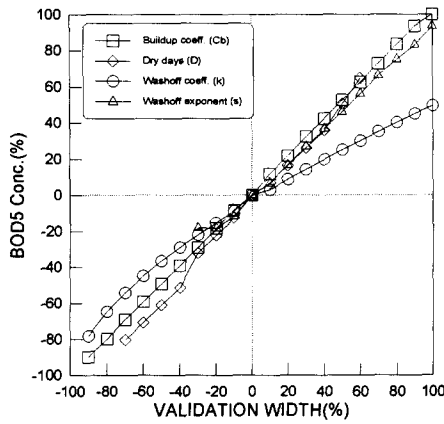




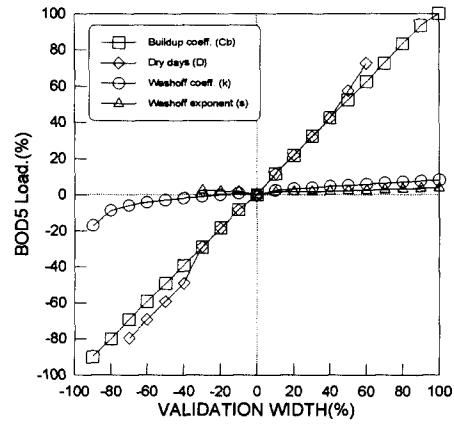
(a) SS



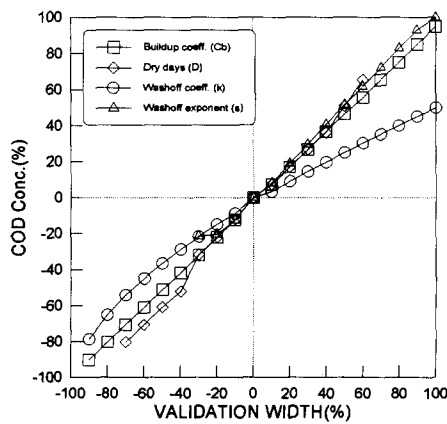
(a) SS



(b) BOD<sub>5</sub>

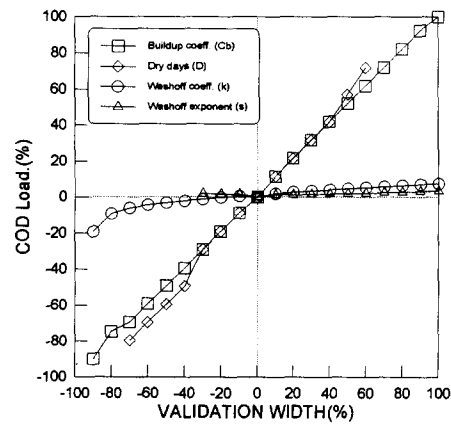


(b) BOD<sub>5</sub>



(c) COD

그림 8. 철두농도의 민감도



(c) COD

그림 9. 오염부하량의 민감도

주는 매개변수로는 오염축적계수,  $C_0$ 와 연속건기일수, D 이었으며 나머지 변수들의 영향은 매우 작은 것으로 나타났다. 이는 강우로 인한 오타부하량은 오염물질의 지표면 축적의 정도에 직접 크게 영향을 받고 있음을 의미한다.

### 3. 비교 및 고찰

이상의 분석과정에서 알 수 있는 바와 같이 유역의 주요 유출 및 수질 영향인자들의 적절한 선택 여부는 모의 결과치의 신뢰성에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 특히 유출해석에 있어서 불투수면적 비의 결정은 매우 중요하다(그림 10). 따라서 서울시 대부분의 배수구역에서 하수도대장 및 도면과 지적, 지형도로 부터 상가지역, 단독, 복합 주택지역, 도로 등의 면적을 정확하게 추출하는 것이 극히 작은 소배수분구를 제외하고는 도상 작업상 많은 어려움이 있음에도 불구하고 불투수지역의 선별작업에 상당한 노력을 기울여야 됨을 시사하고 있다. 한편 비교적 평탄 배수지역의 경우는 지표면의 요철에 따른 저류효과가 상당함을 앞의 유역경사를 달리하는 4개 유역에서의 비교(그림 11)에서 알 수 있다. 즉, 남가좌, 산본 유역에 비해 지표면 경사가 완만한 Gray Haven, Kings Creek 유역에서 민감도가 큼을 보여주고 있다.

한편, 강우로 인한 합류관로의 오타물들은 강우 초기에 유출되며 이 때 유출수의 농도는 오염물 축적량

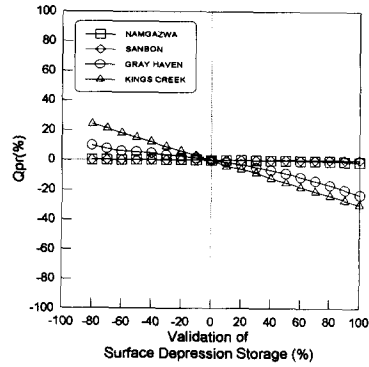


그림 11. 지표면 저류깊이 변화에 따른 배수구역별 민감도 비교

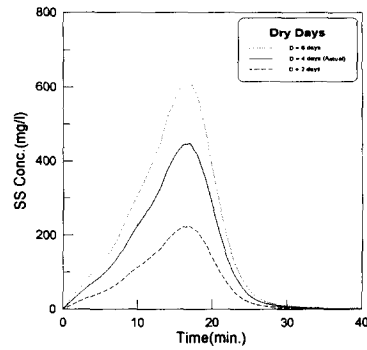


그림 12. 건기일수의 변화에 따른 SS오염도 곡선 (남가좌)

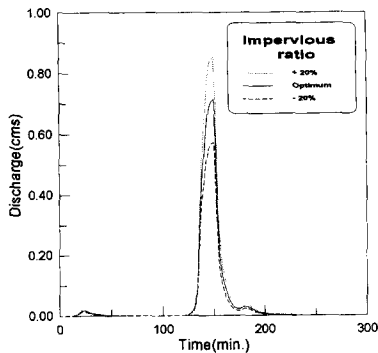


그림 10. 불투수면적의 변화에 따른 유출수문곡선 (남가좌)

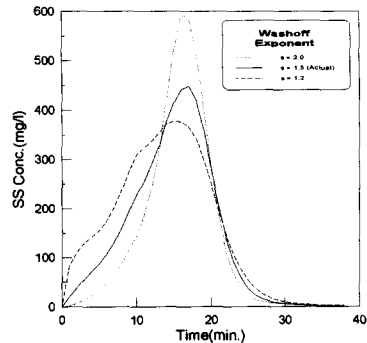


그림 13. 이송지수와 변화에 따른 SS오염도곡선 (남가좌)

과 이송능력에 모두 영향을 받음을 알 수 있다. 특히 연속 건기일수와 오염축적의 정도는 오염농도 뿐만 아니라 오타부하량의 크기에도 영향을 미치는 중요한 인자로서 그 값의 선정에 매우 신중을 기해야 할 것이다(그림 12, 13). 그러나, 배수구역의 오염물질의 축적정도는 토지이용의 상태, 도로 및 교통량, 국지 풍속 등에 따라 다르며, 특히 나지 및 산지의 오염축적량을 측정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 특정지역의 비점원오염량은 본 연구의 경우에서처럼 강우기간의 유출구 수질 및 유량관측을 통하여 비점원 매개변수를 역추적하여 결정하며, 그 관측횟수를 늘려나감으로서 보다 신뢰성 있는 매개변수의 값이 선택될 수 있을 것으로 본다. 이러한 과정을 거쳐 특정 대상구역에서 검정된 매개변수들은 계획 강우를 포함한 임의강우에 대한 유출 및 수질모의 결과치의 정확도를 향상시키는데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 강우로 인한 도시 배수구역에서의 유출 및 수질에 영향을 주는 주요인자들을 선별하고, SWMM 모형으로부터 계산 결과치에 주는 민감도를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 배수구역의 불투수면적은 침투유출량 및 유출 용적에 가장 크게 영향을 주었다. 한편 지표면 저류 깊이는 완만한 경사의 구역에서 유출용적에 상당한 영향을 주고 있다.

(2) 오염농도 및 오타부하량에 영향을 주는 주요 매개변수로서 단위면적, 단위시간당 오염축적의 정도를 나타내는 오염축적계수와 오염축적을 지속적으로 가능하게 하는 연속 무강우일수 등이 결과치에 특히 큰 영향을 주었다. 이는 비점원 오염물의 절대 축적량이 하천수질에 직접적인 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 한편 강우초기에 발생하는 오염물질에 영향을 주는 변수로서는 강우의 강도와 더불어 이송능력을 나타내는 이송계수 및 지수들의 영향이 상당하였다.

(3) 따라서, 도시구역에서의 유출 및 수질 모의를 위하여서는 충분한 구역자료의 수집과 분석이 선행

되어야 하며 특히 불투수지역의 정확한 분리와 유역별 비점원 오염물의 축적량의 합리적 산정 과정에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 1996년도 경기대학교 교내 연구비의 지원으로 이루어진 것이며, 당국에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

강태호, 이종태 (1996). "도시 배수구역에서의 유출 특성 인자 분석." 1996년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(Ⅱ), pp. 235-238.

강태호, 정연규, 이종태 (1996). "도시 소유역에서 강우에 의한 오타부하량 산정." 1996년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 481-487.

김정환 (1993). "도시구역에서 강우 해석을 위한 SWMM 모형의 연구," 석사학위논문, 경기대학교.

신현석, 윤용남 (1993a). "SWMM 모형을 이용한 도시 구역의 유출 및 NPS 오염물 배출 모의." 한국수문화회지, 제26권, 제3호, pp. 125-135.

신현석, 윤용남 (1993b). "도시소유역에서의 유출과 비점원오염물 배출 간의 상관관계 수립에 의한 NPS 오염물 배출량 산정." 한국수문화회지, 제26권, 제4호, pp. 85-95.

이종태, 윤세의, 김정환 (1994). "지표면유출 해석방법이 도시구역의 홍수량 산정에 미치는 영향." 대한토목학회지, 제14권, 제5호, pp. 1167-1175.

이종태, 강태호, 김정환 (1996). "도시구역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM 모형." 수공학익삼 교재, pp. 97-204.

한국회, 이길춘 (1996). "도시화구역에서의 홍수 유출 특성." 한국수자원학회지, 제29권, 제3호, pp. 153-161.

Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988). "Storm Water Management Model: User's manual (Ver 4.2)." US EPA, pp. 59-494.

Nix, S.J. (1993). *Urban stormwater modeling and simulation*. Lewis Publishers.

(접수: 1996년 12월 8일)