XP-SWMM을 이용한 도시화 유역에서의 유출 관리 방안 연구

Management Scheme of Urbanization Runoff Using XP-SWMM

이범희* 채준영**

Beum-hee Lee, Jun-young Chai

Abstract

Recently, runoff characteristics of urban area are changing because of the increase of impervious area by rapid increasing of population and industrialization, urbanization. It needs to extract the accurate topological and hydrological parameters of watersheds in order to manage water resource efficiently.

In this paper, rainfall-runoff analysis in An-Yang stream basin was made using GIS(Geographic Information System) and XP-SWMM(EXPert Stormwater and Wastewater Mangement Model). The basin was divided into 13 sub-basins using GIS.

The area, slope, width of each subcatchment and length, slop of each stream reach were acquired from topographic maps, and imperviousness rate, land use types, infiltration capacities of each subcatchment from land use maps and soil maps using GIS. We gave th runoff management method of urbanization area using XP-SWMM.

Key words: GIS, XP-SWMM, An-Yang stream basin,

요 지

최근 급격한 인구증가와 산업화, 도시화로 포장지역의 증가에 따른 불투수지역의 증가로 유역의 유출 특성의 변화를 유발시키고 있다. 도시화 유역의 효율적인 관리를 위해서는 유역에 대한 정확한 지형인자 및 수문관련 인자들을 추출해야 한다.

본 연구에서는 GIS와 XP-SWMM을 이용하여 안양천유역의 유출분석을 수행하였다. 안양천 유역을 GIS를 이용하여 13개의 소유역으로 분할하고 입력자료를 구축하였다.

GIS를 이용하여 지형도로부터 각각의 소유역에 대하여 면적, 경사도, 폭과 하천 각 구간의 길이, 경사도를 얻었고, 토지이용도와 토양도로부터 불투수비, 토지이용상태, 침투능에 대한 정보를 얻었다. 여기서 얻은 결과를 토대로, 안양천 유역에 도시유출 모형인 XP-SWMM을 적용하여 도시화유역의 관리방안을 제시하였다.

핵심용어: GIS, XP-SWMM, 안양천유역

* 배재대학교 토목환경공학과 조교수 (E-mail : bhlee@mail.pcu.ac.kr)

** 배재대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : juny38@hanmir.com)

1. 서 론

최근 급속한 도시화로 강우-유출현상은 자연하천유역에 비하여 복잡한 양상을 갖게 되었다. 즉, 도시기반 시설확충 및 건물이나 아스팔트, 콘크리트포장으로 피복되어 불투수유역 면적이 증가하고, 유역 출구점까지의 도달시간을 단축시켜 첨두 유출량을 증가시켰다. 또한 하천의 직선화와 콘크리트의 피복, 우수·배수 관거 역시 통수능을 증대시켜 첨두유출량의 증대에 기여하게 되어, 도시화유역에서의 유출해석은 비교적 단기간에 걸쳐서 발생하는 유출현상을 해석하여야 할 필요성이 있다.

도시유출 모의모형은 Mulvany(1850)가 제안한 합리식으로 이후, BRRL(British Road Research Laboratory Method), ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator), ILSD(Illinois Least-Cost Sewer System Design Model), SWMM(Storm Water Management Model) 등이 개발 되어 보급되면서 활발한 연구가 진행중며, 최근에는 GIS를 활용하여 도시 유출모형에 적용하고 있다.

본 연구에서는 강우-유출과정을 신속, 정확하게 해석하고, 유출특성을 파악하기 위하여 GIS로 유역 정보를 추출하였으며, 추출된 정보를 이용하여 XP-SWMM 모형에 적용하였다. 또한, 모형의 매개변수 추정을 통해 모형이 대상유역의 현상을 보다 가깝게 나타낼 수 있도록 하여 도시화 유역의 유출관리 방안을 제시하고자 하였다.

2. 모의모형의 기본이론

SWMM 모형은 1971년 미국 EPA와 Metcalf & Eddy 회사, Plorida 대학 및 WRE(Water Resources Engineers)의 공동 연구를 통해 도시유역 유출량에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다(Huber와 Dickinson, 1988).

2.1 지표면 저류

지표면 유출을 위한 소유역은 지면저류가 없는 불투수성과 지면저류가 있는 불투수성 및 투수성으로 분류된다. 지표면 유출량은 유역을 비선형저수지로 가정하여 연속방정식과 Manning공식에 의해 계산되는데 이 때 각 소유역의 연속방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{dV}{dt} = A\frac{dd}{dt}i = A \cdot i - Q \tag{1}$$

이때 V는 흐름체적, A는 면적, d는 수심, i는 유효우량 및 Q는 유출률이다. 이때 유출률을 Manning공식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$Q = W\frac{1}{n}(d - d_p)^{1.6667} \cdot S^{0.5} \tag{2}$$

여기서, W는 유역의 폭, n은 조도계수, d_p는 지면저류손실깊이이고 S는 유역의 경사이다. 한편 식 (1)과 식 (2)을 다시 나타내면 식 (3) 및 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dd}{dt} = i - WCON \cdot (d - d_p)^{1.6667} \cdot S^{0.5} \tag{3}$$

$$WCON = \frac{W}{A \cdot n} \quad (4)$$

2.2 관거추적

관흐름의 해석은 변형 Nonlinear Kinematic Wave법을 사용한다. 이때 관로경사 S_o는 마찰경사 S_f와 같고 관거흐름은 각 시간간격 사이에서 정상류라는 가정하에 연속방정식과 Manning공식이 사용된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{n} S_o^{0.5} \cdot A \cdot R^{0.666} \quad (7)$$

여기서, x는 관로길이, A는 관의 단면적, R은 동수 반경, S_o는 관로경사, n은 Manning 조도계수이다. 연속방정식을 x-t평명의 4점 음해차분형태로 나타내면 식 (8)과 같다.

$$\frac{(1-W_t)(A_p - A_B) + (A_c - A_B)}{\Delta t} + \frac{(1-W_x)(Q_B - Q_A) + W_x(Q_C - Q_D)}{L} = 0 \quad (8)$$

이때 Q는 유출량, A는 관단면적, L은 관로길이, W_t 는 하류단에서의 시간가중인자, W_x는 각 시간말단에서의 공간가중인자 및 첨자 A, B, C, D는 유한격자의 4개격점을 표시한다.

3. 수문 인자 추출 및 모형의 적용

3.1 연구 대상 유역 선정

도시화에 따른 유출변화 특성을 분석하기 위하여 최근에 급속히 도시화가된 안양천유역을 선정하였다.

안양천은 한강의 제1지천으로서 유역의 위치는 동경 126° 47′ ~127° 04′, 북위 37° 18′ ~37° 33′에 위치한다. 안양천은 오전천, 당정천, 산본천, 도림천, 학의천, 목감천, 삼성천 등의 지류를 지니고 있으며(그림 1), 상류로부터 경기도의 7개시 의왕시, 군포시, 과천시, 시흥시, 안양시, 부천시, 광명시와 하류로는 서울특별시의 7개구 관악구, 금천구, 동작구, 구로구, 영등포구, 양천구 및 강서구를 포함하고(그림 2) 있는 등 안양천을 중심으로 주변 도시들이 급격히 발전하고 있어 도시 형태의 변화에 따른 유출 변화를 살펴볼 수 있는 좋은 대상으로 선정할수 있었다.(이범희, 1998)

3.2 수문 인자 추출 및 모의모형에 적용

본 연구에서는 GIS S/W 중 ArcView를 이용하여 수문 인자를 추출하였다. 우선 DEM자료를 GRID로 분석하여 안양천 유역을 추출하였다(그림 3). 추출된 안양천유역에서 강우와 유량 관측점의 위치에 유역을 분할 하였고. 분할한 유역에서 모의모형에 필요한 매개변수들을 추출하였다.

이에 따라 선정된 적정 유출 매개변수를 표1 과 같이 제시하고 적정 매개변수들을 기준으로 각각

±10 %씩 단계적으로 변화 시키면서 모의 유출량을 기준값과 비교하였다. 비교 결과를 첨두 유량 및 유출총량에 대한 변화비율로 산정하여 각각을 검토하였다. 대상 유역별 첨두유량 및 총유량의 민감도 분석결과를 그림 4 에 정리하였다(Q_p는 첨두유량, Q_v는 유출용적을 의미한다.).

추출된 유역 매개변수들을 XP-SWMM에 입력하여 유출량을 모의 하였다. 모의한 유출과 측정값과 비교해보았다(그림 5).

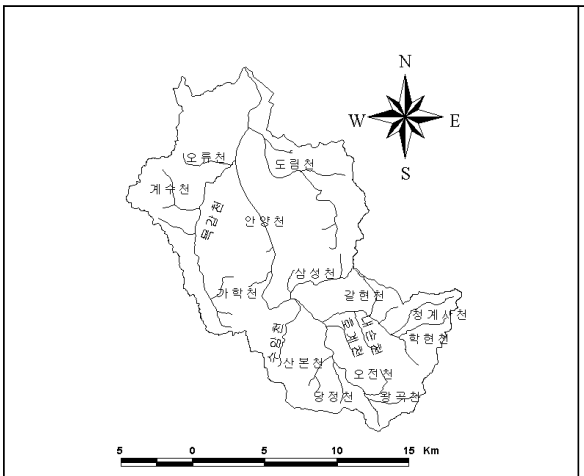

그림1. 안양천 지류

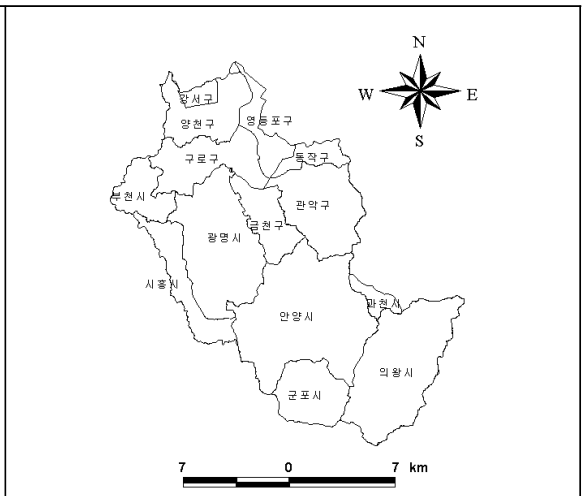

그림2. 안양천 행정구역

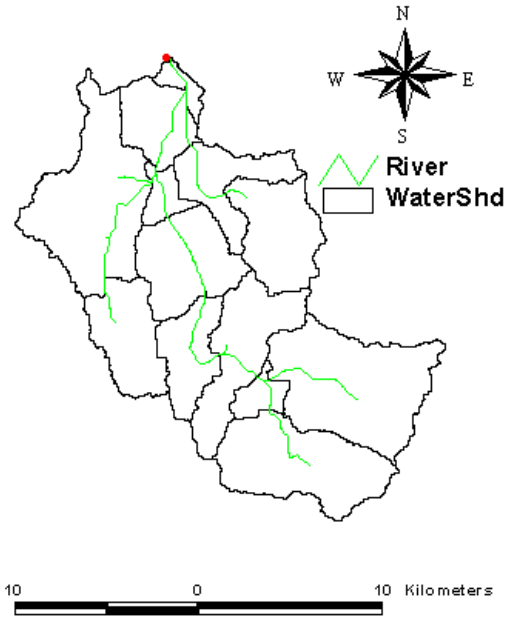

그림 3. 안양천 유역의 추출

표 1. SWMM 매개변수 분류

	매개변수의 구분		변수의 의미
유출수문곡선의모의	물리학적 매개변수 (Physical parameter)	소유역의 구분	소유역의 면적 유역의 평균경사 불투수유역의 면적(%)
		배수체계관련 매개변수	하도 및 관망의 깊이, 관경, 폭, 경사 등
	수문학적 매개변수 (Hydrological parameter)	Manning 계수	불투수 및 투수유역, 하도 및 관망의 Manning계수
		요지저류량 (depression storage)	불투수유역 및 투수유역의 표면 저류
		침투관련 매개변수 (Horton 식)	최대 초기 침투율, 종기 침투율, 침투 감쇠계수
		유역폭	유역폭

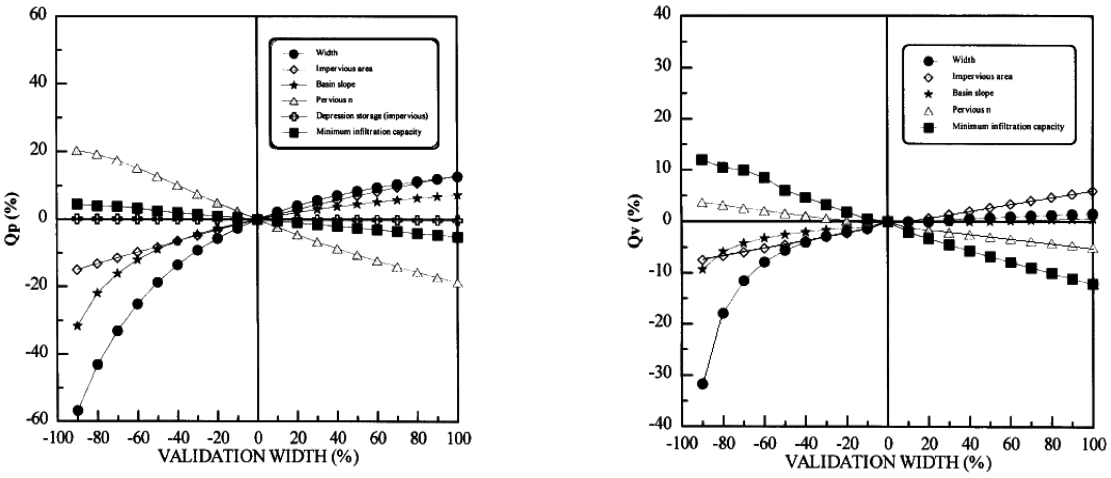

그림 4. 유출 매개변수의 민감도 분석

민감도 분석결과 소유역의 폭과, 불투수지역 넓이, 불투수·투수지역의 Manning 계수, 투수 유역의 표면저류도가 민감한 인자라는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론 및 향후 연구과제

GIS를 이용하여 안양천유역의 입력 매개변수를 추출하여 XP-SWMM 모형에 유출모의를 수행하였다. 모의 후 매개변수의 민감도 분석을 통해 모형에 민감한 매개변수를 선정하였다.

(1) 지리정보체계의 적용을 통한 수문요소의 추출에서 사용자의 정의에 따른 소유역의 자동분할

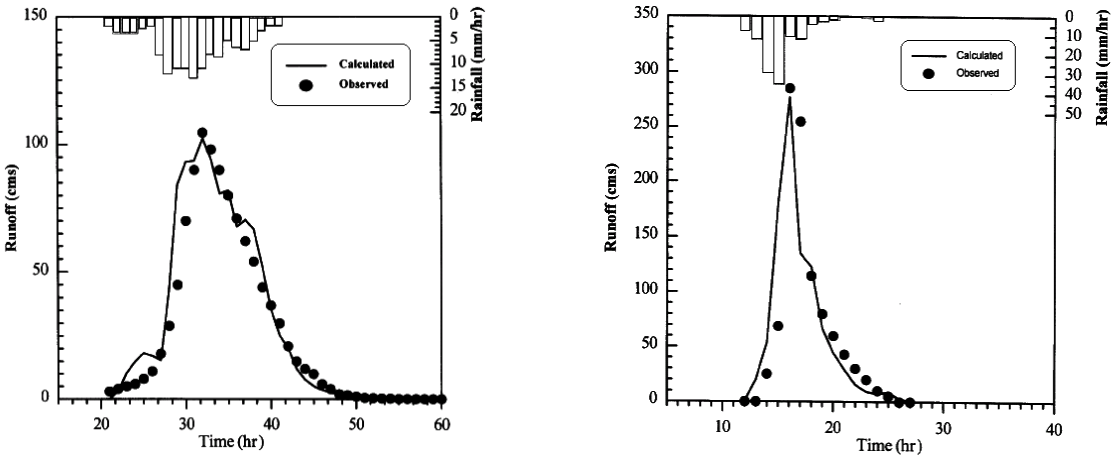

그림 5. 모의 결과와 측정치의 비교

을 통하여 유역의 면적 및 하도의 길이, 경사 등의 요소들을 정확히 추출할 수 있었으며, 유역의 경사도 등은 컴퓨터 연산을 이용하여 유역면적과 하도의 길이 등에 의한 만족한 결과를 제시할 수 있었다.

(2) 도시유역의 유출에 영향을 미치는 주요 매개변수들을 선별하고 그 거동특성을 제시하였으며, 이의 방법으로서 각 경우에 대한 매개 변수들의 민감도 분석 등을 통하여 모의 모델의 신뢰도를 향상 시킬 수 있었다.

이러한 연구결과들을 종합해보면, 갈수록 복잡해져가는 도시 유출현상에 대하여 보다 정확히 대처하기 위해서는 입력정보의 정확성 확보 및 모의과정의 효율적 적용이 매우 중요하며, 이에 대한 해결 방안을 추가로 연구해야가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

강금석(1995), 지리정보 시스템을 결합한 SWMM. 서울대학교 석사학위논문

건설부(1982). 안양천 유역종합 치수대책조사(Ⅱ)보고서.

영등포구청(1991). 안양천 및 도림천 제방보강공사 실시설계 보고서.

이범희(1998). 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형 개발, 서울대학교 박사학위 논문

최윤영,이영화(2000). “도시유역의 내수배제시스템 설계를 위한 유출특성분석 -SWMM의 적용-” ,한국환경과학회지 제9권(제3호), p193~199.

Huber, W.C and Dickinson, R.e.(1998). Storm water mangement models; version4, User's manual, U.S. Environmental Protection Agency.