

도시유역의 홍수유출해석- HEC-HMS와 XP-SWMM모형의 연계

Analysis of flood discharge in urban area

신성철*/ 임태경**/ 문용주***/ 윤여승****

Seong Cheol Shin/ Tae kyung Yim/ Yong Ju Moon/ Yeo Seung Yoon

요 지

최근 급속한 도시화로 인한 유역내 불투수 면적의 증가는 자연유역에 비해 짧은 도달시간과 높은 침투홍수량을 유발하여 도시홍수 피해의 원인이 되고 있다. 이러한 도시지역 하천에서의 홍수량산정은 강우-유출관계를 근간으로 하는 HEC-HMS 모형 등을 주로 활용하고 있으며, 산정된 홍수량을 토대로 각종 치수대책을 수립하여 왔다. 그러나 도시지역내의 배수체계는 하천과 연결된 우수관로를 통해 이루어지도록 구성되어 있음에도 불구하고, 우수관로 시스템의 능력평가를 하천의 홍수량과는 별개로 평가하고 있다. 즉, 하천이 외수위에 대한 영향을 고려하지 않고 배수체계의 통수능력을 평가하여 배수능이 부족한 관거를 찾는 것으로 매우 근사적이고 비합리적인 대안을 제시하고 있는 실정이다.

따라서, 본연구에서는 도시하천의 홍수량 산정에 있어 우수관로를 통한 배수체계를 고려한 도심지의 홍수량을 산정하기 위하여 도시하천의 비시가지지역의 홍수량은 HEC-HMS모형으로 산정하여 XP-SWMM모형의 상류경계조건으로 두고 도심지의 모든 우수관로를 하천에 연결하여 홍수량을 산정하는 방법을 제시하였으며, 대상유역은 대전광역시를 관류하는 갑천에 대하여 적용하였으며, 갑천하구에 위치한 회덕수위표의 실측유량과의 비교를 통해 그 신뢰성을 평가하였다.

본 연구의 결과는 도시홍수예방과 침수범람도 작성 등의 도시침수해석 및 치수대책수립에 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 우수관거, 내수침수, XP-SWMM 모형

1. 서 론

도시화로 인한 불투수면적의 증가는 침투유량 및 유출용적을 증가시키고 도달시간을 단축시킨다. 이러한 도시화는 도시하천의 유출특성에 큰 변화를 초래하게 되어 침수피해를 유발하는 결과로 나타나기도 한다. 따라서, 본 연구에서는 HEC-HMS 모형과 XP-SWMM모형을 연계하여 도심지의 우수관거를 통한 유입수를 고려한 홍수량을 산정하는 방법을 제시하고자 한다.

도시유역에서의 홍수량 산정은 통상적으로 합리식, RRL, ILLUDAS, SWMM 모형 등을 사용되고 있다. 이 중 합리식과 RRL 모형은 적용이 간편하다는 이점으로 널리 사용되어 오고 있으나, 사용자의 주관에 따라 계산결과가 크게 상이한 경우가 발생할 수 있다.

ILLUDAS 모형은 지표면과 배수관망을 고려함으로써 합리식 및 RRL 모형의 결과보다 정도가 높은 결과를 도출해낼 수 있으나 배수관망이 각종 수리구조물을 포함하고 있는 경우에는 강우-유출관계의 정확한 해석을 수행하기에는 무리가 따르며, 관로에서의 흐름을 등류로 해석함으로써 수심의 변화와 배수의 영향을 고려할 수 없는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 상기모형의 결함을 상당부분 해소할 수 있는 XP-SWMM모형을 기본모형으로 하여 자연유역에서는 HEC-HMS 모형의 결과를 이용하게끔 모형을 구축하여 도시유역의 강우-유출관계를 해석하였다.

* 정회원(주) 삼안수자원부과장공학석사fe982@hanmail.net
** 정회원(주) 삼안수자원부사원공학석사kkyung1122@hanmail.net
*** 정회원(주) 삼안수자원부부장수자원개발기술사yjmoon12@chol.com
**** 정회원(주) 삼안수자원부이사수자원개발기술사ysyoon@samaneng.com

2. 모형의 개요

SWMM모형은 1971년 도시구역 하수시스템의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 개발된 이후로 1981년에는 모형의 Transport 블록을 수공구조물의 월류, 배수, 압력류 등의 계산이 가능하도록 Extran 블록을 포함하여 보완되었다. XP-SWMM모형은 이러한 EPA의 SWMM을 기본모듈로 하는 도시유출모형으로서 강우-유출모의와 하도추적 모두 가능한 모형이다.

SWMM모형은 기본적으로 도시구역이나 인위적 배수계통을 갖는 구역에 대해 유출모의가 가능한 모형으로 단일·연속강우에 의한 계산이 가능하고, 강우간격은 임의로 설정할 수 있으며, 연산 시간간격은 강우사상에 대해 임의조정이 가능하다.

SWMM 모형은 4개의 실행블록과 6개의 보조블록으로 구성되어 있으며, 126개의 부프로그램들을 포함하고 있으며, 각 블록의 기능은 아래 <그림 1>과 같이 모식도를 통해 나타내었다.



<그림 1> SWMM 모형의 구성

<그림 1>에서 보는 바와 같이 RUNOFF 블록은 SWMM모형내에서 초기연산이 수행되는 부분으로 강우사상에 대해 배수구역에서 유출현상과 수면변화를 모의하여 SWMM모형내 다른 부 블록들의 기초자료로 사용되는 수문곡선과 오염도곡선을 제공한다. 이 블록의 가장 중요한 기능은 타 블록의 실행에 필요한 유입수문곡선 및 오염도곡선을 제공하는데 있으며, 각 소유역의 유입수문곡선 및 오염도 곡선을 제공하기 위해 필요한 소유역의 특성인자는 유역면적, 유역폭, 불투수면적, 지면경사, 조도계수 등이 있다. 또한, TRANSPORT블록은 RUNOFF블록에서 연산된 결과를 기본자료로 사용하며 우수관거의 추적을 수행하는 것으로 유량, 수질, 침투 등의 추적이 가능하고 Kinematic wave approximation 방법을 이용하여 해석하게 된다. EXTRAN블록은 가지형과 순환형 관망의 개수로나 암거 모두에 대한 수리적 흐름을 모의하는 것으로 조석간만에 의한 역류, 지표수범람, 배수위 영향, 웨어, 오리피스, 펌프 등에 의한 흐름을 모의하며, 모의 가능한 수로의 형태는 원형, 장방형, U자형, 계란형, 사변형, 자연상태의 수로 등이 있다.

이러한 구조를 가진 XP-SWMM 모형은 도시지역에 대한 수량 및 수질 모의와 도시 우수시설 유출과정의 거의 모든 분야에서 이용가능한 장점이 있으나 많은 입력자료가 요구되고 특히, 국내의 경우 장기적인 자료의 구축이 어려우며, 주로 작은 도시 소유역에 적용되었고, 도시지역 이외의 토지이용에 대한 영향을 적절히 고려할수 없어 도시지역이라는 부분적인 토지이용에 제한되어 이용되어 왔다. 그러나 우리나라 대부분의 유역은 도시지역, 농업지역, 산림지역 등 다양한 토지이용이 이루어지고 있어 복잡한 토지이용을 XP-SWMM 모형이 제대로 반영해주지 못함으로 인해 발생하는 문제를 나타내고 있다.

따라서, 본 연구에서는 상류측의 자연유역에 대한 홍수량산정은 HEC-HMS모형의 결과를 XP-SWMM모형의 입력자료화하여 상술한 XP-SWMM모형의 한계를 극복하고, 두 모형의 부분적 연계를 토대로 도심지 관류하천에 대한 강우-유출관계를 정량적인 해석을 해석하고자 한다.

3. 모형의 적용 및 평가

1) 대상유역

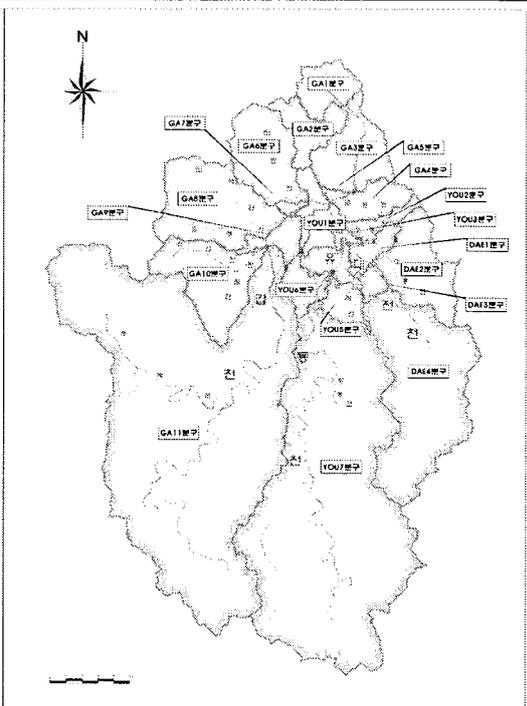
대전광역시를 관류하고 있는 갑천은 상류측은 금산군의 산지유역이며 유등천과 대전천이 합류

하는 중하류에 도심지역이 밀집되어 형성되어 있고 유역면적 648.32km², 유로연장은 73.70km이다. 또한, 갑천수계를 구성하는 갑천 및 주요지류하천의 형상계수가 대부분 0.2이하로 장방형에 가까운 형태를 보이고 있다.

이러한 갑천유역을 하수관망의 분포에 따라 갑천을 11개분구, 유등천을 7개분구, 대전천을 4개분구로 구분하였으며 총 22개의 배수분구로 구분하였다. 갑천유역의 도심지역은 전체 유역면적의 18.2%를 차지하고 있고 각 배수분구 현황은 아래 <표 1>과 같다.

<표 1> 배수분구 현황

하천명	분구	분구면적(km ²)	불투수율(%)	관거연장(km)
갑천	GA 1	9.86	58.85%	0.00
	GA 2	10.42	37.08%	0.00
	GA 3	19.08	52.98%	13.36
	GA 4	9.50	52.76%	12.63
	GA 5	4.61	60.15%	10.57
	GA 6	21.36	42.50%	5.72
	GA 7	1.30	66.18%	0.92
	GA 8	31.91	41.13%	9.12
	GA 9	5.76	68.40%	10.23
	GA 10	25.66	40.11%	2.02
	GA 11	223.02	31.01%	9.91
유등천	YOU 1	4.93	72.68%	11.16
	YOU 2	4.68	64.25%	8.14
	YOU 3	1.19	80.65%	3.57
	YOU 4	6.13	77.43%	17.24
	YOU 5	6.19	64.71%	14.24
	YOU 6	6.94	66.78%	14.50
	YOU 7	157.38	25.52%	4.93
대전천	DAE 1	4.81	79.36%	13.92
	DAE 2	23.65	50.17%	30.37
	DAE 3	2.84	80.19%	5.44
	DAE 4	67.08	26.42%	14.90
합계	22개	648.32	35.60%	212.89



2) 모형 입력자료 구축

XP-SWMM 모형의 입력자료는 크게 Link 및 Node data로 구분할 수 있으며, 대표적인 인자는 아래 <표 2>와 같다.

<표 2> 입력자료 구분

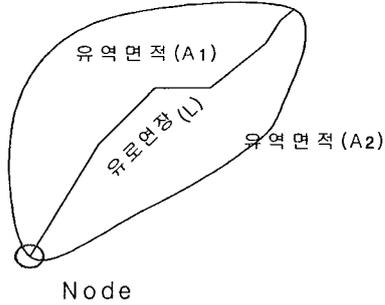
Link data		Node data	
Link 명	개별 관거명으로 중복은 피해야 함.	Node 명	노드명으로 중복은 피해야 함.
상·하류 노드명	관거를 연결하는 상·하류 노드명	노드좌표	노드의 위치값 (X,Y축 TM좌표)
상·하류 관저고	관거의 상·하류 관저고(m)	지반고	노드의 지반고(m)
관구배, 연장	관거의 경사(%) 및 연장(m)	노드바닥고	노드의 관저고(m)
규모	관거의 size	면적, 구배	소유역의 면적(ha), 지표면경사(%)
형상	관거형태(원형, 구형, 제형, 자연형 등)	유역폭	지표면의 물리적인 폭
기타	관거 조도계수 등	불투수율	소유역의 불투수 백분율(%)

<표 2>에 나타난 바와 같이 Link data는 주로 하수관거의 제원에 관련된 인자들이며 Node data는 맨홀과 소유역의 특성인자들로 주로 구성되어 있음을 알 수 있다.

상기의 입력자료들 중 Node data의 유역폭은 주수로의 위치, 유역형상 등이 고려된 것으로 유역의 폭에 따라 유출수문곡선의 형태가 변화되므로 유역폭의 결정은 매우 중요하다. 즉, 도달시간 보다 강우기간이 적을 때, 폭을 늘리면 첨두유량이 증가하고, 첨두까지의 시간은 감소한다. 반대로 도달시간 보다 강우기간이 길면 첨두유량만이 영향을 받게 된다. 이러한 유역폭을 결정함에 있어 본 연구에서는 간편법을 제시하여 적용하였으며 간편법은 아래와 같다.

▶ 간편법

입의의 유역 형상이 아래 <그림 2>와 같다면, 유역의 너비는 다음과 같이 계산된다.



▶왜곡도 계수

$$S_k = \frac{A_2 - A_1}{A}$$

▶너비

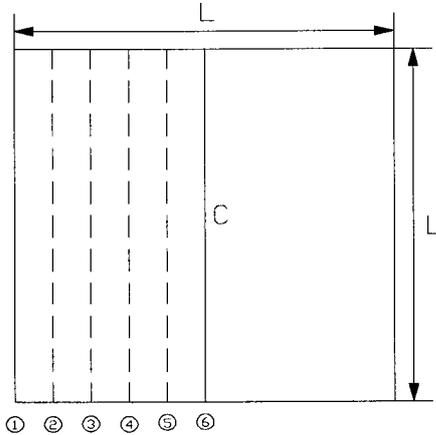
$$W = (2 - S_k) \cdot L$$

만약, 여기서 A_1 , A_2 의 면적이 같다면 왜곡도계수 (S_k)는 0이 될 것이며, 너비는 유로연장의 2배가 된다. 그러나 이러한 이론을 토대로 실제 유역에서 산정하기에는 많은 번거로움이 따른다. 즉, 노드의 면적에 유로연장으로 유역을 분할하여 개별 계산이 필요하게 된다.

<그림 2> 너비의 산정 예

일반적으로 도심지 하수관망의 주간선관거는 도로를 기준으로 소배수분구가 구분되는 특징을 가지고 있고 그 형상은 다양하다. 따라서, 유로의 위치는 중앙을 기준으로 좌·우로 편중될 것이다.

이러한 소배수분구를 정방형 혹은 장방형으로 가정하고 유로연장이 ①~⑥과 같이 0.1L의 차이를 보이며 위치한 각각의 경우에 대해 살펴보면 다음과 같다.



- ▶①에 유로연장이 위치
너비(W) = L
- ▶②에 유로연장이 위치
너비(W) = 1.2 L
- ▶③에 유로연장이 위치
너비(W) = 1.4 L
- ▶④에 유로연장이 위치
너비(W) = 1.6 L
- ▶⑤에 유로연장이 위치
너비(W) = 1.8 L
- ▶⑥에 유로연장이 위치
너비(W) = 2.0 L

<그림 3> 간편법의 너비계산

대부분의 유로의 위치는 중심을 기준으로 ③~⑥사이에 위치할 것으로 가정하였으며, 실제 갑천 유역의 소배수분구의 대부분이 이러한 형태와 유사하여 그 평균값을 기준으로 유역의 형상에 따라 유로연장 혹은 최장관거의 연장(L)에 대한 값으로 추정하여도 무방할 것으로 판단하였고 간편식은 아래 식 (1)과 같다.

$$W = 1.6 \sim 1.8 \cdot L \quad (\text{적용 : } 1.65 L) \quad \text{식(1)}$$

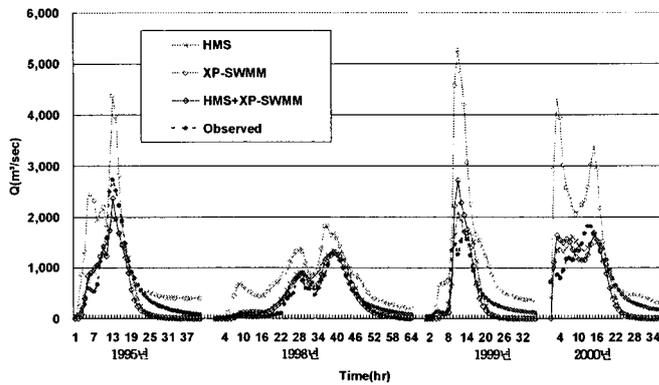
상술한 바와 같이 갑천유역에 대한 XP-SWMM 모형 구동에 필요한 Link 및 Node data를 대전광역시 하수도대장을 이용하여 22개 배수분구를 다시 1,339개의 소배수분구로 나누어 1,346개의 Link와 1,339개의 Node data를 구축하였다. 또한, 갑천 및 갑천의 주요지류하천인 유등천, 대전천, 유성천 등 지방2급 하천은 기왕에 수립된 하천정비기본계획의 횡단면 자료를 이용하였다.

3) 모형의 평가

이상의 입력자료를 이용하여 XP-SWMM 모형과 HEC-HMS를 부분 연계시킨 모형이 앞서 설명한 XP-SWMM모형의 문제점을 해소시키는지의 평가를 위해 갑천의 회덕수위표의 실측값과의 비교를 통해 살펴보았다.

대전광역시에 큰 피해를 유발하였던 1995년 8월 29일, 1998년 9월 28일, 1999년 9월 8일, 2000년 7월 22일 강우인 4개년에 대해 모의하였으며 자연유역에 적용한 HEC-HMS모형의 결과를 유입량으로 하는 위치는 대전천의 지방2급 구간의 중점, 갑천상류의 가수원철교, 관평천, 진잠천, 유등천의 안영교 지점으로 대부분이 도심지역에서 벗어난 자연유역의 시점부에 해당하고 모형 구동 결과는

아래 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 홍수량 비교

<표 3> 모형의 통계적 특성

구 분	1995년	1998년	1999년	2000년	
첨두 유량 (m³/s)	관측치	2,736.2	1,318.4	1,705.6	1,813.0
	HMS	2,025.5	1,359.9	2,088.2	1,600.5
	SWMM	4,380.6	1,819.6	5,266.0	4,329.3
	연 동	2,363.6	1,301.8	2,725.3	1,683.6
RM SE	HMS	284.78	146.76	252.49	316.14
	SWMM	718.63	419.72	1,014.0	1,277.71
	연 동	301.00	101.48	292.06	395.82
효율 계수	HMS	0.86	0.84	0.73	0.72
	SWMM	-0.08	-0.31	-4.71	-3.46
	연 동	0.84	0.92	0.50	0.54
상관 계수	HMS	0.95	0.96	0.94	0.92
	SWMM	0.86	0.89	0.91	0.73
	연 동	0.95	0.97	0.93	0.86
결정 계수	HMS	0.90	0.92	0.89	0.84
	SWMM	0.74	0.80	0.82	0.54
	연 동	0.90	0.94	0.86	0.74

<그림 4>는 갑천의 회덕수위표 지점의 홍수량을 실측치와 서로 비교한 것이며, <표 3>은 각 기간에 대한 모형별 모의결과를 실측치와의 관계를 평균제곱근 오차(RMSE), 모형 효율계수(ME), 상관계수(CORREL), 모형결정계수(R2)를 산정하여 나타낸 것이다.

<그림 4>와 <표 3>에 나타난 바와 같이 XP-SWMM 만으로 홍수량을 산정하는 데는 무리가 따르고 있음을 알 수 있으며, HEC-HMS와 XP-SWMM모형을 부분연동 시킨 모형은 그 결과가 상당부분 개선되는 것으로 나타났다. 이상의 결과는 모형의 매개변수 등에 대한 검토를 거치지 않은 분석 결과로서 매개변수의 물리적 범위 및 영향 등을 고려한다면 좀더 나은 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단되며, 이러한 연구는 현재 수행 중에 있다.

4. 요약 및 결론

HEC-HMS를 이용하여 산지유역의 홍수량을 먼저 산정한 다음 XP-SWMM의 입력자료화 하여 갑천 유역에 대해 홍수유출 해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 갑천, 유등천, 대전천 및 갑천에 유입되는 지방2급하천 등의 수계를 포함하고 대전광역시 전역의 주 간선관거를 각 하천망에 연결하여 갑천유역을 총 22개분구로 구분하고 이를 다시 1,339개의 소매수분구로 나누어 1,346개의 Link와 1,339개의 Node data를 구축하여 홍수유출해석을 수행하였다.

2) 홍수유출해석 결과 XP-SWMM만으로 도시유역에 대해 산정한 홍수량은 실측치와 크게 상이한 결과가 도출되었으나, HEC-HMS 와 XP-SWMM모형을 부분연계시킨 모형은 실측홍수량의 거동특성을 잘 재현시킬 수 있는 것으로 나타났다.

3) 이상의 연구결과는 향후 도시유역 홍수 유출해석에 대한 지침 및 도시홍수에방과 침수범람도 작성 등의 도시침수해석 및 치수대책수립에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 홍준범(2005). XP-SWMM을 이용한 도시하천에서의 홍수소통능력 평가, 석사학위논문, 인하대학교
- 도시홍수재해관리기술연구사업단(2004), 도시하천 유출해석모형의 특성비교