

합류식 배수계통을 갖는 도시하천의 유출분석

권현한* · 김종석** · 오태석** · 문영일***

1. 서론

도시구역에서의 설계홍수량 산정을 위하여 국내에서 사용되고 있는 모형들로는 합류식, RRL, ILLUDAS 모형 등이 있다. 이 중 합류식과 RRL 모형은 적용이 간편하다는 이점으로 널리 사용되어오고 있으나, 설계자의 주관에 따라 유출량 계산에 큰 차이를 나타낼 수 있다. 한편, ILLUDAS 모형은 지표면의 양상과 배수관로의 계통을 고려하므로, 앞의 두 모형보다는 정확한 계산결과를 기대할 수 있다. 그러나 배수관망이 각종 수리구조물을 포함하고 있는 경우에는 정확한 유출량을 산정한다고 보기는 어렵다. 또한, 관로에서의 흐름을 등류로 보고 해석함으로써 관로내 수심의 변화와 배수의 영향을 고려할 수 없는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 SWMM(Stormwater Management Model)에 포함되어 있는 EXTRAN Block이 San Francisco에서 도시구역 유출해석을 위해 Shubinski와 Roesner(1992)에 의해 개발되었다. 이 모형은 합류, 분류 시스템으로 구성되는 도시배수구역에서 유출현상을 모의할 수 있으며, 자연수로와 같은 임의 단면의 수로도 사다리꼴로 근사시켜 계산한다. 대부분의 도시하천은 합류식과 분류식이 혼재해 있는 형태로 홍수시에는 하수관거의 용량을 초과하는 우수는 하천을 통해 배수가 이루어진다. 이러한 특성으로 인하여 대부분의 도시하천의 설계에 있어서 일관된 배수관망의 구성을 통한 유출분석에 어려움이 따르며, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 원석연(1993), 송현섭(2001)은 도시유출모형에 하도추적모형을 결합하여 유출량을 산정하였다. 그러나 하도추적모형을 결합한 유출해석은 도시유출모형을 통한 완전한 해석이라 할 수 없으며 해석시에 매우 번거로운 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 합류, 분류 시스템으로 구성되어 있는 중랑천의 지류인 우이천을 대상으로 서울시 배수계통도를 바탕으로 기본자료를 구축하여 우이천 배수구역에 대해서는 SWMM의 RUNOFF Block을 사용하였으며, 우이천 분류에 대해서는 SWMM의 EXTRAN Block을 통해 우이천 유역의 최종유출량을 산정하여 적용성 및 문제점을 검토해 보았다.

2. 본론

2.1 SWMM의 개요

가. RUNOFF Block

SWMM 모형의 초기연산이 수행되는 부분으로 임의의 강우주상도, 토지이용도, 선행강우 조건, 지형도 등의 자료를 이용하여 지표면의 유출과 지표하 유출을 추적하며 RUNOFF Block의 실행결과는 다른 Block에서 입력자료로 사용할 수 있도록 조합자료로 구성된다.

나. TRANSPORT Block

* 서울시립대학교 토목공학과 박사과정
** 서울시립대학교 토목공학과 석사과정
*** 서울시립대학교 토목공학과 부교수

RUNOFF Block에서 연산된 결과를 기본자료로 사용하며 강우 및 건기시 하수시스템내에서 유량과 오염물질을 추적하고, 하수시스템으로의 침투를 계산한다.

다. EXTRAN Block

EXTRAN Block은 배수관망 시스템에서 유량과 수심을 계산하기 위해 개수로와 관수로 등에서 Dynamic 방정식에 의하여 흐름을 추적한다. 이 Block은 합류, 분류 시스템으로 구성되는 도시배수유역에 적용하기 위하여 개발되었으며 RUNOFF Block에서의 계산 결과치를 입력자료로 이용하여 계산한다.

2.2 대상유역 및 모형 입력자료

본 연구의 대상유역은 중랑천 제 1 지류로서 서쪽으로는 북한산, 북쪽으로는 도봉산, 남쪽으로는 성북구와 경계를 이루는 유역면적 27.67km², 유로연장 11.75km인 우이천 유역이다. 본 연구에서 사용한 수문자료는 1999년~2002년도 강우자료와 수위-유량자료를 이용하였고 서울특별시의 「우이천·도봉천 치수대책수립 및 실시설계보고서(1999)」와 배수계통도 및 서울시 GIS 자료를 이용하여 구간별 평균하폭, 경사, 조도계수 등을 산정하였다.

2.3 우이천 SWMM Modeling

우이천 본류를 주 하도로 하여 유역특성을 고려하여 총 9 개 분구에서 46개소의 유출구와 113개의 소유역으로 구분하였으며 합류식의 배수관망 형태를 나타내고 있는 우이천 본류에 대해서는 Extran Block을 사용하였으며 나머지 분구들에 대해서는 Runoff Block을 사용하여 유출량을 모의하였다. <그림 1>은 우이천의 배수계통현황을 <그림 2>는 RUNOFF+EXTRAN Block 통한 유출량 산정 모식도를 나타낸다.

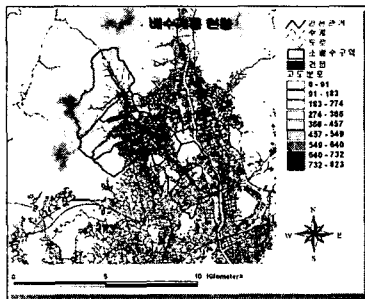


그림 1 우이천의 배수계통도

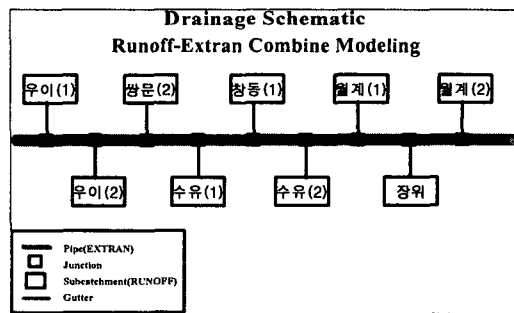


그림 2 RUNOFF+EXTRAN 통한 유출량 산정 모식도

2.3.1 강우 및 유출 자료

우이천 유역의 유출량 검정을 위해 사용된 강우는 2001년 7월 30일 5시 30분에서 6시 50분 까지 10분 강우량을 이용하였으며 시간별 강우량은 <표 1>과 같으며 <표 2>는 우이천 하류에 위치한 장월교 하류 50m 지점에서 측정한 유출량 자료이다. 유출량 산정을 위한 수위-유량 관계곡선(rating curve)은 1999년~2002년도 강우자료와 수위-유량자료를 이용하여 작성하였으며 <그림 3>과 같다.

2.3.2 SWMM의 민감도 분석

우이천 유역의 SWMM 통한 유출 분석시 매개변수의 보정을 통한 우이천 유역의 최적 매개변수 산정을 위해 SWMM 중요 변수의 대해서 민감도 분석을 실시하였다. SWMM 모형

의 매개변수는 관거자료와 유역자료로 크게 나눌 수 있는데 대부분의 자료는 GIS 및 배수 관망자료를 그대로 인용했기 때문에 모든 매개변수에 대해서 수정을 해서는 안된다.

시 간	강북(mm)	도봉(mm)
01' 7:30		
5:30	1	1
5:40	1	1
5:50	8	1
6:00	22	1
6:10	7	14
6:20	2	16
6:30	2	4
6:40	1	2
6:50	1	2

표 1 관측 강우자료

시 간	유량(m³/s)	총유량(m³)
01' 7:30		
6:10	24.63	837.08
6:15	78.54	
6:20	146.42	
6:25	206.77	
6:30	219.29	
6:35	209.41	
6:40	196.52	
6:45	177.26	
6:50	162.14	
6:55	140.24	
7:00	120.03	

표 2 관측 유출량자료

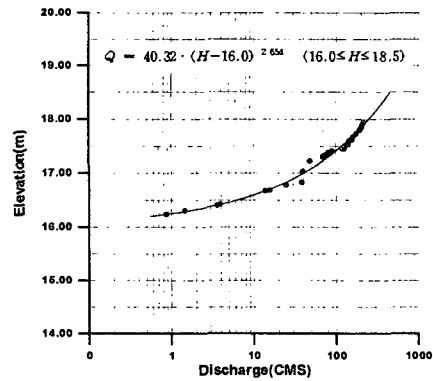


그림 3 우이천 장월교지점 수위유량 곡선

따라서 본 논문에서는 매개변수 중 오차를 많이 내포하는 매개변수에 대해서 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석에 사용된 매개변수는 관거자료의 경우 관 길이와 경사를 유역자료의 경우 유역 평균경사, 유역폭, 불투수면적에 대해서 민감도 분석을 실시하였다. 다른 매개변수들을 고정하고 분석 대상 매개변수를 -50%에서부터 50%까지 첨두유량의 증감비를 조사·분석하였다. 총유출량의 경우 매개변수 변화에 따른 변화폭이 매우 적어 민감도 분석에서 제외하였다. 민감도 분석결과 관거 길이가 가장 큰 민감도를 나타내었으며 유역폭과 불투수율, 관거경사는 대체적으로 비슷한 민감도를 나타내었다. 따라서, SWMM 매개변수 조정시에 유역폭, 불투수율, 관거경사 등을 우이천 유역에 유출 현상을 가장 잘 표현할 수 있도록 매개변수를 조정하였다. <그림 4>은 민감도 분석 결과를 나타낸다.

2.3.3 유출모의 결과

소유역을 113개로 분할하여 RUNOFF Block으로 각 유역별 유출량을 모의한 후 주 하도(우이천 본류)에 대해서는 Dynamic 방정식을 이용한 EXTRAN Block을 이용하여 유출을 추적하였다.

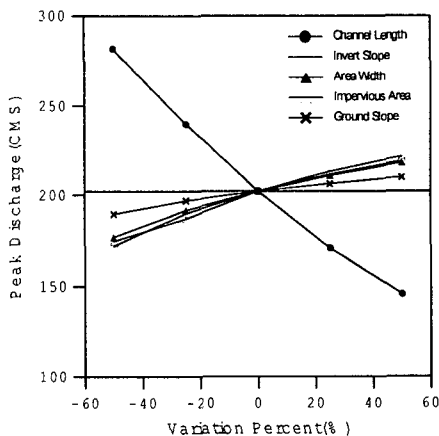


그림 4 민감도 분석결과

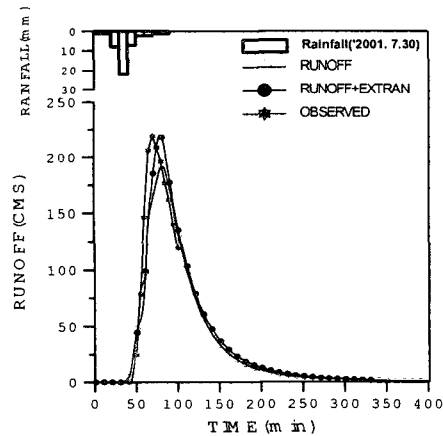


그림 5 실적유량과 SWMM 모의결과 비교

표 3 실측자료와 SWMM 모의결과 비교

관측치와 오차 [(%)]

유출자료	Oserved Discharge (2001. 7.30)	SWMM	
		RUNOFF	RUNOFF+EXTRAN
침투시간 (min)	70분 (06:30)	82분(06:42) 【+17.1】	79분(06:39) 【12.9】
침투유량 (cms)	219.29	192.00 【-12.4】	220.07 【-0.004】
총 유출량 (m³)	837,304	760,000 【-9.2】	816,800 【-2.5】

<표 3>에서 요약했듯이 SWMM을 통한 모의결과 RUNOFF Block의 비해 RUNOFF+EXTRAN Block을 통해 우이천 본류에 대해서 추적(routing)한 결과가 실측치와 침투시간, 침투유량, 총유출량 모두에서 우수한 모의 결과를 나타내었다.

3. 결론

국내 대부분의 도시하천은 합류식의 배수계통을 가지고 있어, 홍수시에 하수관거용량을 초과하는 우수량은 하천을 통해 배수가 이루어지고 있다. 이러한 배수계통을 갖는 하천에 대해서 대상구역의 배수관망 자료 부족과 Modeling의 어려움으로 인해 도시유출모형이 아닌 HEC-1 모형과 같은 유역추적법을 통해 유출분석이 이루어졌다. 또한 기존 논문에서 제시한 도시유출모형에 하도추적을 결합한 강우-유출 모의는 정확성 결여 및 번거로운 작업을 필요로 하는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 대표적인 합류식 배수계통을 갖는 도시하천인 우이천 유역에 대해서 도시유출모형인 SWMM의 RUNOFF Block과 합류, 분류 시스템으로 구성되는 도시배수구역에서 유출현상을 모의할 수 있는 EXTRAN을 통해 유출량을 산정해 보았다. EXTRAN Block은 HEC-2의 하도 단면자료를 사다리꼴로 근사시켜 사용할 수 있는 장점이 있으나 본 논문에서는 단면자료를 바탕으로 대형 관거로 수정하여 모의하였다.

모의 결과 전체 유역을 RUNOFF Block으로 모의한 결과의 비해서 각 배수구역은 RUNOFF Block을 하도는 EXTRAN Block을 조합한 결과가 실측유량과 모든 면에서 우수한 모의결과를 나타내었으며, SWMM을 통해 일관된 Modeling이 가능하였다. 본 논문에서는 EXTRAN Block의 입력자료 작성시에 하도(channel)를 관거로 수정하여 입력하였으나 보다 정확한 해석을 위해서 기존 HEC-2 단면 자료를 토대로 사용한다면 보다 정확한 유출량 산정이 이루어질 것으로 사료되며 또한, 전체 유역을 모두 EXTRAN Block으로 작성한다면 하도(channel)의 수위상승으로 인한 하수관거의 배수영향(backwater)을 검토가 가능하리라 사료된다.

4. 참고문헌

- (1) 송현섭, 우이천 실험유역에 대한 유출 모형 매개변수 추정, 서울시립대학교 석사학위논문, 2001.
- (2) 원석연, 유역 및 하도 홍수추적 방법을 결합시킨 도시유출해석모형, 수자원학회발표회논문집, 1993.
- (3) 우이천·도봉천 치수대책수립 및 실시설계보고서, 서울시, 1999년.
- (4) 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구 보고서, 서울시, 2002.
- (5) Larry A. Roesner, Storm Water Management Model User's Manual Version 4.0 EXTRAN ADDENDUM, Univ. of Florida, 1992.