

# 빗물펌프장과 우수지를 고려한 도시유출모의 Urban Runoff Simulation with Pump Station and Detention Pond

이길성\*, 김학수\*\*

## 1. 서론

도시화현상으로 인해 도시지역은 우수의 유출특성이 변화되고 자연하천유역과는 다른 유출특성을 가지게 되었고, 도시주변의 기후변화, 홍수지체시간의 감소, 침투 및 총 유출량의 증가, 기저 유출의 변화, 침투능 및 증발산량의 감소 등의 변화를 가져왔다. 특히 이런 급속한 도시화 현상에 의해 종전의 도시하천 하수배치망 또는 설계단면이 부족하게 되어 우수소통능력이 감소하고 홍수량의 지체현상이 심화됨으로써 도시하천으로 유입되는 하수관거에서의 월류사고가 빈번하여 가옥과 자산의 침수피해가 증가하고 있다.

일반적으로 홍수피해의 직접적인 원인은 외수로 인한 피해와 내수로 인한 피해로 크게 구분할 수 있으며, 근래에 발생한 도시홍수피해의 대부분은 하천의 범람, 역류 등에 의한 외수 피해보다는 내수배제능력 부족등에 의한 내수 피해발생이 빈번하며, 도시유역의 불투수면적과 배수조직 특성상 상류에서의 신속하고 원활한 유출발생이 하류지역의 지리적으로 낮은 저지대에서 홍수원인으로 작용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 도시유역의 유출특성을 분석하기 위해 최근 하수도 관망 설계, 도시지역 홍수, 그리고 우수 배제를 위한 수공구조물의 설계를 위해 널리 쓰이는 EPA(Environmental Protection Agency)의 SWMM 모형의 EXTRAN 블록을 통해 도립천 배수구역의 유출특성을 모의하고자 한다. 또한 도시 유역의 유출분석을 함에 있어 하도와 하수관거를 결합한 모의를 수행하고 이와 더불어 하류지역의 지리적으로 낮은 저지대에서의 유출특성을 분석하기 위해 하류에 설치된 우수지 및 빗물펌프장을 고려하고자 한다.

## 2. 연구동향

Nix 등(1987)은 런던 서부 도시인 Windsor 배수유역에 대하여 SWMM(Storm Water

\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수

\*\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정

Management Model)을 이용하여 총유출량의 95 %를 만족시키는 50개 월류(Overflow) 위치를 발견하였으며, Nix 등(1991)은 Otter Creek과 그 지천유역의 월류 빈도를 분석하기 위해 SWMM의 RUNOFF 블록과 EXTRAN 블록을 결합하여 유출을 모의하였으며, Hsu 등(2000)은 SWMM 모형과 2차원 Diffusive wave 모형 및 빗물펌프장을 유출모의과정에 결합하여 2차원 도시침수모형을 개발하였다.

강금석(1995)은 PC ARC/INFO를 이용한 지리정보시스템(GIS)과 SWMM을 결합 후 안양천 상류유역에 적용하여 수량과 선행청정기간, 쓸림계수, 축척식의 변화에 따른 비점오염원의 거동특성을 모의하였고, 심호(1996)는 합리식, RRL(British Road Research Laboratory Method) 그리고 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator)모형을 이용하여 반포, 서초, 잠원 빗물펌프장 유역에 대하여 홍수유출량을 산정하였으며, 동적계획법으로 효율적인 펌프장 운영 지침을 제안하였다. 이법희와 이길성(1998)은 위성자료와 지리정보시스템을 이용하여 수문자료의 효율적 생성방안을 제시하였으며, SWMM을 안양천에 적용하여 수량과 수질을 모의하고 전문가시스템을 이용하여 매개변수의 추정 및 검정방법을 제시하였다.

### 3. 이론적 배경

SWMM은 도시유역의 강우에 의한 홍수량을 산정하기 위하여 1971년 미국 EPA의 지원아래 Metcalf & Eddy사가 개발해낸 모형으로서, Florida 대학 및 WRE(Water Resources Engineers)의 공동연구에 의하여 도시유역 하수시스템내의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 구성되었다(Huber and Dickinson, 1988). 도시유역 및 인위적 배수계통을 갖는 유역에 적용가능하고 단일·연속강우에 의한 계산이 가능하며, 강우간격을 임의로 선정할 수 있다. SWMM의 물리적 특성으로 지표면 유출은 비선형 저류방정식을 사용하며 침투량 선정에는 Horton 또는 Green-Ampt 식을 사용한다. 수로/관로에 대해서는 RUNOFF 블록에서 비선형저류방정식을 사용하고, TRANSPORT 블록에서는 Kinematic 방정식을 사용한다. 그리고 EXTRAN 블록에서는 St. Venant 식과 연속방정식을 사용한다.

EXTRAN 블록은 수로/관로와 접합점을 각각 Link와 Node로서 배수시스템을 구성하고, 기존 도시유출모형들이 계산할 수 없었던 LOOP형 관망형태의 흐름, 배수, 역류(Backwater), 압력류(Surcharge)계산과 웨어, 오리피스, 저류지, 펌프장 등의 수리구조물에 대한 흐름추적이 가능한 수리모형이다.

EXTRAN 블록에서 흐름에 대한 기본방정식은 연속방정식과 St. Venant 식을 사용한다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA S_f = 0 \quad (2)$$

여기서,  $H$ 는 물깊이와 수로/관로 표고의 합이며,  $x$ 는 수로/관로 길이,  $t$ 는 시간,  $g$ 는 중력가속

도,  $S_f$ 는 마찰경사,  $Q$ 는 유량,  $A$ 는 흐름 단면적이다.

Manning 식과 식 (3)에 의해 식 (2)의 마찰항(Friction Force Term)과 이송항(Convective Acceleration Term)에 대해서 정리하면 식 (4)와 같은 흐름추적에 사용되어지는 기본 방정식을 유도할 수 있다.

$$\frac{\partial v^2 A}{\partial x} = 2Av \frac{\partial v}{\partial x} + v^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2v \frac{\partial A}{\partial t} - v^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

여기서,  $S_f = Q |v| / [(1/n)^2 AR^{4/3}]$ 이고,  $v$ 는 평균흐름유속,  $n$ 은 Manning의 조도계수,  $R$ 은 동수반경(Hydraulic Radius)이다.

연속방정식과 운동량방정식은 Link내 유량,  $Q$ 와 Node 수심,  $H$ 을 연산하기 위해 사용되며, Link와 Node로 구성된 배수시스템에서 내부접합점을 웨어, 오리피스, 펌프장, 저류지 등의 수공구조물로 취급할 수 있고, 펌프장 및 유수지가 내부접합점으로 처리되어 질 때 유수지면적, 펌프용량, 펌프가동수위가 입력자료로 요구되어 진다.

#### 4. 모형의 적용

본 연구에서는 도시화로 인하여 발행하는 하류지역에서의 유출현상을 모의하기 위하여 안양천의 지류인 도림천을 연구대상으로 선정하였다. 도림천은 관악산의 북사면인 관악구 신림동에서 발원하여 북서쪽으로 유로가 형성되어 봉천천과 합류하여 동작구 경계를 이루며 영등포구 문래동 5가에서 안양천과 합류한다. 도림천 배수구역의 위치는 동경  $126^\circ 35' \sim 126^\circ 58'$ , 북위  $37^\circ 25' \sim 37^\circ 30'$  에 해당하는 지역이며, 서울시 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구의 5개구로 구성되는 49.9 km<sup>2</sup>의 유역면적을 가지는 배수구역이다. 대상유역의 하천의 형상과 하류부에 위치한 펌프장 및 유수지의 위치는 그림 1과 같으며, 하도/관망의 구성도는 그림 2와 같다.

모의를 위한 기본입력자료는 다음과 같이 추출하였다. 하도자료 및 소유역별 면적과 경사자료는 이범희와 이길성(1998)이 지리정보시스템을 이용하여 산출한 자료를 사용하였고, 배수관거자료는 김충수(2002)의 도림천 배수구역에 대해 매개변수 추정시 사용된 자료를 근거로 하였다. 또한, 고려대상인 도림천 하류부에 존재하는 펌프장 및 유수지현황 자료는 서울시에서 총괄보관하는 현황자료를 바탕으로 하였다. 도림천 배수구역에는 소규모 간이 빗물펌프장을 제외한 구로1, 구로2, 구로3, 도림1, 도림3의 총 5개소의 빗물펌프장이 존재한다. 본 모의에서는 유수지를 포함하고 있지 않은 구로3 빗물펌프장을 제외한 4개소의 빗물펌프장과 빗물펌프장 주위의 유수지를 고려대상으로 하였다. 빗물펌프장 및 유수지의 현황자료는 표 1과 같다.

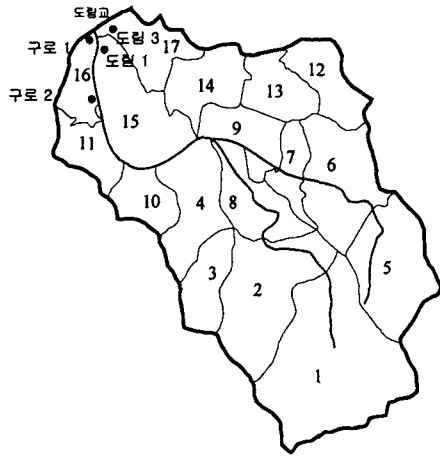


그림 1. 도림천 배수구역도

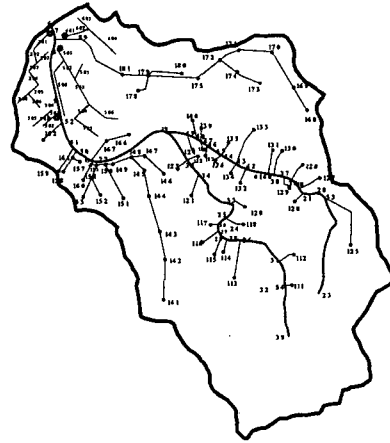


그림 2. 하도/관망 구성도

표 1. 빗물펌프장 및 우수지 현황

펌프장명	펌프용량(hp)	대수(대)	토출유량(m <sup>3</sup> /min)	펌프가동수위(m)	우수지면적(m <sup>2</sup> )
구로1	350	2	140	6.75	13,261
	250	3	112		
구로2	250	3	112	8.5	1,700
	120	3	50		
도림1	500	6	215	6.7	25,200
도림3	500	4	215	8.2	14,000
	250	3	112		

### 5. 모의 결과

1982년 11월 28일 21시부터의 28시간 동안의 강우사상에 대해서 대상유역에 대한 매개변수를 추정하였다. 침투량 산정공식은 국내에서 많은 적용성을 가지고 있는 Horton 식을 사용하여 유출모의를 하였고, 모의시 매개변수 추정은 시행착오법을 사용하였다.

그림 3은 도림천 배수구역의 출구점인 도림교에서의 관측치와 빗물펌프장 및 우수지를 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 모의결과를 비교한 것이다. 빗물펌프장 및 우수지를 고려하지 않았을 경우는 관측치에 비해 침투유량과 총유출량 모두 관측치보다 크게 평가되었으나 도림천 배수구역의 하류부에 위치한 빗물펌프장과 우수지를 고려하였을 경우는 침투유량과 총유출량에서 고려전 보다 적은 오차를 가져 관측치에 더 근접한 값을 가졌다. 수문곡선의 형태는 빗물펌프장과 우수지를 고려하였을 경우가 고려하지 않았을 경우의 모의결과보다 침투유량과 총유출체적면에서 전체적으로 감소하였고, 침투발생시간도 고려전 보다 1시간 가량 지체되어 발생하였다. 모의 결과

비교는 표 2와 같다.

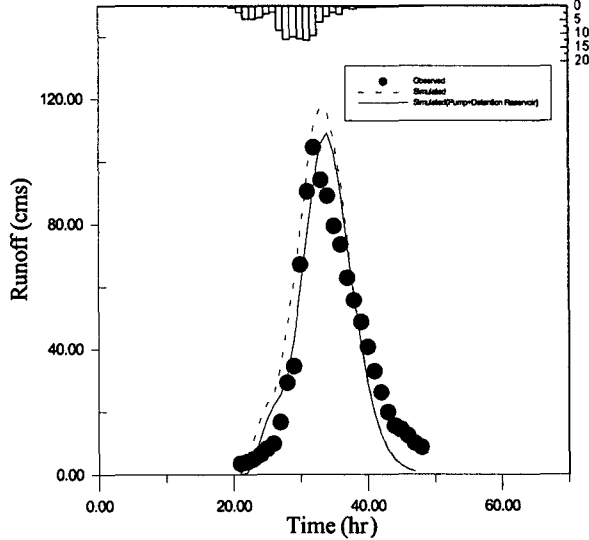


그림 3. 유출수문곡선(도림교, 11/28/1982)

표 2. 모의결과비교(11/28/1982)

		첨두유량(cms)	총유출량(m <sup>3</sup> )
관측값		104.6	3,881,880
모의 값	고려전	117.26	4,328,733
	고려후	109.06	3,757,125
오차 비교	고려전	12 %	11.5 %
	고려후	4.3 %	- 3 %

또한, 모형의 적용성을 검토하기 위해 2000년 9월 15일부터의 33시간 동안의 강우사상에 대해서 모의를 수행하여 모형을 검증하였다. 그림 4는 도림천 배수구역에서의 33시간 동안의 강우사상에 대한 모의결과이다. 빗물펌프장 및 유수지를 고려하였을 때가 고려하지 않았을 때보다 첨두유량과 총유출량에서 적은 오차를 가졌으며, 총유출량에서는 거의 관측값과 흡사한 모의 결과값을 가졌으나 첨두유량면에서는 조금 큰 차이를 보였다. 모의 결과비교는 표 3과 같다.

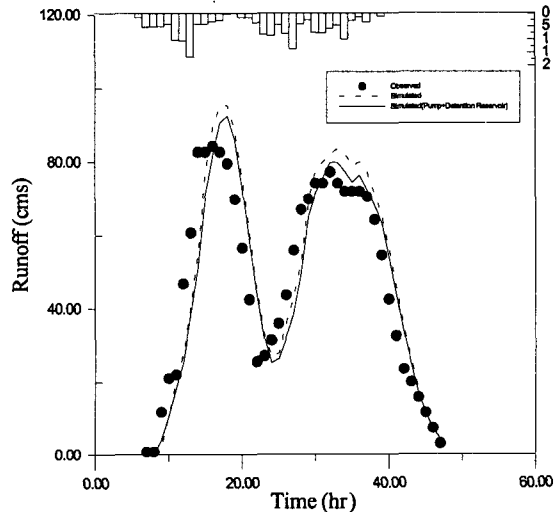


그림 4. 유출수문곡선(도림교, 9/15/2000)

표 3. 모의결과비교(9/15/2000)

		첨두유량(cms)	총유출량(m <sup>3</sup> )
관측값		84.2	7,061,097
모의 값	고려전	95.3	7,408,037
	고려후	92.3	7,015,568
오차 비교	고려전	13 %	4.9 %
	고려후	9.6 %	- 0.8 %

## 6. 결론 및 향후연구

SWMM을 이용하여 도립천 배수구역의 유출모의를 수행하였다. 유출모의과정에 있어 하도와 관거를 결합하고 배수구역의 하류부에 위치한 빗물펌프장과 우수지를 고려하여 유출저감시설이 배수구역의 유출현상에 미치는 영향을 고려전과 비교하였다. 이러한 시설물을 고려하였을 때가 고려하기 전에 비해 첨두유량과 총유출량면에서 실측치에 더 근접한 결과값을 보였다. 도시구역의 불투수면적과 배수조직의 특성상 상류에서의 신속하고 원활한 유출발생이 하류지역의 지리적으로 낮은 저지대에서의 홍수원인이 되고 있는 점을 감안할 때 이러한 하류부에 위치한 수공시설물들이 하류구역에 미치는 영향에 대한 연구가 이루어져야겠다.

## 7. 참고문헌

- 강금석 (1995). **지리정보시스템을 결합한 SWMM**. 석사학위논문, 서울대학교
- 김충수 (2002). **도시유출 모의모형의 매개변수 추정**. 석사학위논문, 서울대학교.
- 심호 (1996). **빗물펌프장 운영합리화 및 도시구역의 유출억제 방안**. 박사학위논문, 서울대학교.
- 이범희, 이길성 (1998). "매개변수 추정방법의 개선을 위한 전문가 시스템의 개발." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제31권, 제6호, pp. 641-655.
- Nix, S.J., Moffa, P.E., DeGuida, R.N., and Walker, K.P. (1987). "Modeling an oft surcharged combined sewer system." *Proceeding of the Stormwater and Water Quality Model Users Group*, Fall 1987 Meeting, Victoria, B.C., USEPA, Athens, GA.
- Nix, S.J., Moffa, P.E., and Davis, D.P. (1991). "The practice of combined sewer system modeling." *Water Resources Bull.*, Vol. 27, No. 2, pp. 1-12.
- Hsu, M.H., Chen, S.H., and Chang, T.J. (2000). "Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system." *Journal of Hydrology*, Vol. 234, pp. 21-37.
- Huber, W. C., and Dickinson, R. E. (1988). *Stormwater management model, Version 4: User's manual Ver. 2.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Computer Program 723-S8-L7520.