

SWMM 모형을 이용한 도시·상업지역의 불투수면적비에 따른 유출모의

Simulation of Discharge according to the Impervious Area Ratio in Commercial District of Urban Area by SWMM

박성천* 김명걸** 김영명*** 장남익****,

Sung Chun Park, Myoyng Geol Kim, Young Myung Kim, Nam Ik Chang,

요 지

경제성장에 따른 도시화 현상으로 경작지나 녹지와 같은 투수 지표면이 대단위 주택단지나 도로, 상업지구 등의 도시시설 및 산업화에 따른 공장시설과 같은 불투수 지표면으로 변화되어 도시의 불투수 지표면의 구성비가 증가되므로 이로 인해 침투량과 증발산량이 감소하며 지하수 유출량을 감소된다. 또한 도시유역의 조도계수의 감소로 도달시간이 단축되어 첨두홍수량이 증가하게 되는 등 도시유출특성이 변화되어 홍수피해가 빈번하게 발생하고 있다. 본 연구에서는 광주광역시 서구 상무지구를 대상으로 불투수면적비의 변화에 따라 유출모의를 실시하였다. 유출모의를 위한 대상지구의 유역 및 관로 시스템의 제원은 수치지도와 관망도를 이용하여 유역을 구분한 후 배수관망, 유입구 제원, 맨홀 등 관로시스템 자료 및 유역의 지표면과 지하 배수시설 및 토지이용상태를 조사하여 유역의 불투수지역(Impervious area) 및 투수지역(pervious area)으로 구분하였다. 불투수면적비에 따른 유출량과 유출률, 첨두유량, 기저시간의 변화를 비교분석 하였다. 모의 값의 정확성을 판단하기 위하여 2008년에 측정한 실측자료를 통해 매개변수를 최적화를 실시하여 SWMM모형으로부터의 모의 값과 실측자료를 비교 분석 하였다.

핵심용어 : SWMM모형, 상업지역, 불투수지역, 첨두홍수량

1. 서론

급격한 개발과 도시화로 인하여 하천을 중심으로 만든 개발지역과 도시들이 생겨나게 되었다. 이러한 도시화와 개발로 인하여 유역내의 불투수면적이 증가하고 침투능이 감소하면서 유효 강우량이 증가하게 된다. 따라서 홍수 유출량의 증가와 첨두유량 발생시간의 감소 등으로 인하여 도시유역의 홍수발생이 빈번하게 일어나고 있다. 도시유역에서의 설계홍수량 산정을 위하여 국내에서 사용되고 있는 모형으로는 합리식, BRRL, ILLUDAS 모형 등이 있다. 그러나 합리식과 BRRL 모형은 설계자의 주관에 따라 유출량 계산에 큰 차이를 나타낼 수 있는 단점이 있다. ILLUDAS 모형은 배수관망이 각종 수리구조물을 포함하고 있는 경우에는 정확한 유출량을 산정하기는 어렵고,

* 정회원 · 동신대학교 토목공학과 교수 · E-mail : psc@dsu.ac.kr
** 정회원 · 동신대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : sisterruning@hanmail.net
*** 정회원 · 동신대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : young@dohwa.co.kr
**** 정회원 · 영산강물환경연구소 소장 · E-mail : ohaugbi@me.go.kr

관로에서의 흐름을 등류로 보고 해석함으로써 관로내 수심의 변화와 배수의 영향을 고려할 수 없는 한계가 있다.

그러나 SWMM모형은 도시구역에서의 강우 사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질의 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다.

따라서 본 연구에서는 SWMM을 이용하여 도시 지역의 불투수면적비에 따른 유출특성을 비교 분석하였다.

2. 모형의 구성 및 이론

SWMM모형은 Metcalf와 Eddy Inc. 그리고 Florida 대학의 수자원공학자들이 공동 연구하여 개발하였으며, 현재 미국환경보전국(EPA)에서 사용하고 있는 모형으로서 기존의 우수관거설계 홍수량을 산정하는 모형들이 계산할 수 없었던 월류, 배수, 압력류(surcharge) 등으로 인한 수리학적 영향을 고려할 수 있으며, 여러 가지 저류시설과 수리 구조물의 영향을 평가할 수 있는 정교한 모형이다.

SWMM모형의 구성은 다음과 같다.

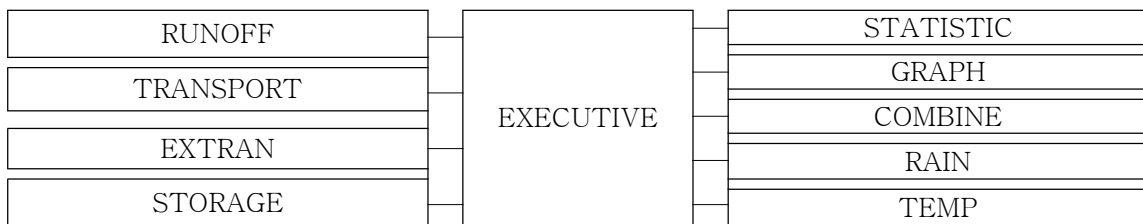


그림 1. 모형의 구성

SWMM모형의 RUNOFF블럭의 기본 방정식은 다음과 같다.

$$\text{침투량산정(Horton방정식)} : f_p = f_c + (f_o - f_c) \cdot e^{-kt}$$

$$\text{적분하면 } F(t_p) = \int f_p dt = f_c t + \frac{1}{k} (f_o - f_c) \cdot (1 - e^{-kt_p})$$

여기서, f_p 는 임의 시간의 침투능(mm/h), f_o 는 종기침투능(mm/h), f_c 는 초기침투능(mm/h), t 는 시간(hr), k 는 토양의 종류와 식생피복에 따라 결정되는 상수이다.

$$\text{도달시간(Kinematic Wave방정식)} : t_c = \left(\frac{L}{a \cdot d^{m-1}} \right)^{1/m}$$

여기서 t_c 는 도달시간(sec), L 는 소유역 유로길이, d 는 수심 a 와 m 은 Kinematic Wave 식의 계수이다.

$$\text{지표면유출(비선형저류방정식)} : \frac{\Delta d}{\Delta t} = i - \frac{W}{A \cdot n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} = i + R \cdot (d - d_p)^{5/3}$$

$$\text{유한 차분법을 사용하여 풀이하면 } \frac{(d_{n+1} - d_n)}{\Delta t} = i + R \cdot \left(d_n + \frac{(d_{n+1} - d_n)}{2} - d_p \right)^{5/3}$$

여기서 W 는 유역폭(m), n 는 Manning의 조도계수, d_p 는 지면저류깊이, S 는 소유역경사(m/m), $R = (W \cdot S^{1/2}) / (A \cdot n)$ 는 유역폭, 경사, 조도계수 등을 하나로 표현한 변수로서 유역의 특성의 특성에 따라 변화하는 유역특성인자이며, d_n 은 t 시간에서의 수심, d_{n+1} 은 $t + \Delta t$ 에서의수심이

다. 초과 강우량 i 는 각 연산 시작구간에서 입력자료로 주어지며 평균유출량은 계산 초기와 종기의 수심을 평균한 값으로 계산된다.

$$\text{관로유출(비선형 저류방정식)} : Q_s = \Delta V = \Delta t \cdot (Q_t + Q_W + Q_{GW} - Q)$$

$$F = \Delta V + \Delta t \cdot (Q - Q_I - Q_W - Q_{GW})$$

여기서 Q_s 는 저류량, Q_W 는 측방유입량, Q_{GW} 는 지하수 유입량, Q 는 유출량, Q_I 는 유입량이며, ΔV 와 Q 는 d_n 과 d_{n+1} 으로 나타낼 수 있다.

3. 연구대상지점

본연구의 대상지점은 광주광역시 서구 치평동에 위치한 지점으로서 총면적은 1.246km² 이다. 전체면적 중 투수층이 차지하고 있는 비율은 10.5%정도이다. 1번부터 5번까지의 분할된 소유역과 8개의 맨홀 중 500번 맨홀을 최종유출 지점으로 구성되어있다.

본 연구에서는 상업지역의 유출특성을 파악하고자 하였다. 상업지역의 특성상 대부분의 지점이 아스팔트와 콘크리트의 포장면으로 이루어져 있으며 소규모의 투수층을 형성하고 있기 때문에 전형적이 도시 유출 특성을 나타내고 있다. 아래의 그림은 대상지점 관망도 및 SWMM모형의 개념도이다.

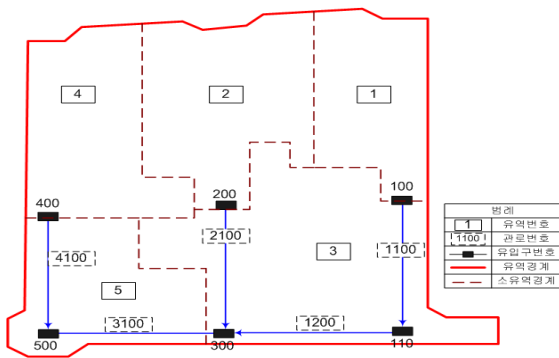


그림 2. 대상지점 관망도

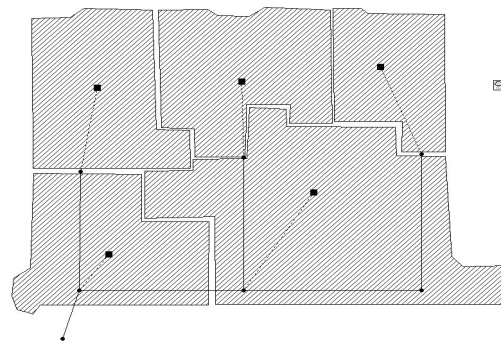


그림 3. SWMM모형의 개념도

4. 자료구축

기상자료는 현장에서 우량계를 이용하여 측정된 강우량자료를 사용하였으며, 비만관 전자식 유량계를 이용하여 현장에서 측정하였다. 배수관망, 유입구 제원, 맨홀 등 관로시스템 자료는 배수관망도 CAD파일을 이용하여 SWMM내의 개념도를 구축하였으며, 측량을 통해 현장의 불투수면적비를 산정하였다. 각각의 분할된 소유역의 매개변수는 시행착오법에 의하여 산정되었으며, 그림 3과 같이 5개의 분할된 소유역으로 구분하였다.

상업지역의 경우 대부분의 지역이 불투수층으로 이루어져 있어 전형적이 도시 유출 특성을 나타내고 있다. 모의에 대한 정확성을 위하여 현장에서 측정된 강우 자료를 사용하였으며, 모형의 최적화를 위하여 현장에서 유량측정을 실시한 자료를 근거로 매개변수를 최적화 하였다. 표 1.은 상업지역을 SWMM모형의 각 분할된 소유역의 제원을 나타낸 것이다.

표 1. 분할된 소유역 제원

소유역 번호	유입구	유역면적 (m ²)	유역폭 (m)	투수 면적율(%)	경사 (%)
1	100	2307.15	5	0.00	0.61
2	200	1601.32	5	11.36	0.77
3	300	4357.83	5	19.35	0.60
4	400	2094.38	5	13.75	0.73
5	500	2103.51	5	0.00	0.63

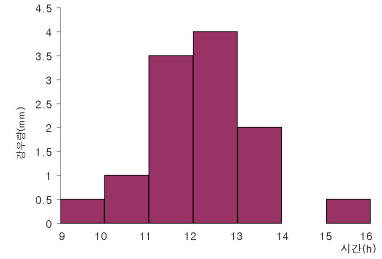


그림 4. 강우주상도

5. 모의적용 및 결과 분석

본 연구에서는 상업지역의 불투수면적비에 따른 유출특성의 모의를 SWMM 모형을 이용하여 시행하였다. 결과분석은 동일한 강우사상에 대한 불투수면적 비율에 따른 유출율 및 침투 유량의 값을 비교 분석하였다. 표 1은 SWMM 모형에 의해 얻어진 유출률과 침투유량을 나타낸 것으로 불투수층 비율을 90%~40%로 변화를 두고 실시한 결과 유출율은 85.1%~58.5%로 불투수면적비가 10% 감소함에 따라 유출률은 약5.3% 감소하는 것으로 나타났고, 침투유량은 0.0140m³/s~0.0101m³/s로 불투수면적비가 10% 감소함에 따라 약0.0008% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 불투수층비율이 감소함에 따라 침투유량은 감소하고 유출률 또한 감소하는 것으로 알 수 있다. 그러나 불투수면적비가 감소함에도 기저시간은 짧아지고 있다. 이는 도시 유역의 특성상 관을 통해 유출이 일어나므로 투수층에서 저류되거나 침투된 강우가 관의 유출에 기여하지 못하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

표 2. 불투수면적비에 따른 유출 특성값

불투수 면적비(%)	강우량 (mm)	총유입량 (m ³)	유출률 (%)	총유출량 (m ³)	침투유량 (m ³ /s)	기저시간 (hours)
90	11.5	143.338	85.1	120.523	0.0140	16.5
80	11.5	143.338	80.4	113.582	0.0138	15.2
70	11.5	143.338	75.3	106.279	0.0130	13.7
60	11.5	143.338	69.9	98.614	0.0123	12.2
50	11.5	143.338	64.3	90.752	0.0112	10.9
40	11.5	143.338	58.5	82.574	0.0101	9.4

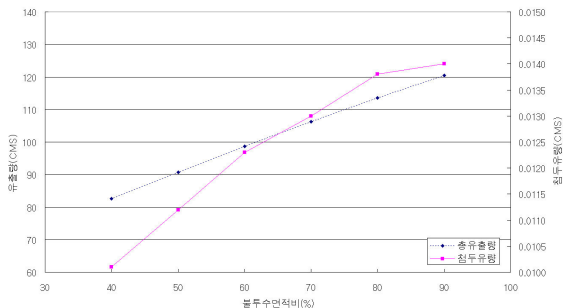


그림 5. 유출량과 침투유량 변화

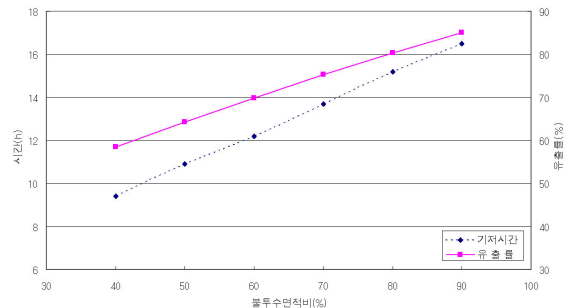


그림 6. 유출률과 기저시간의 변화

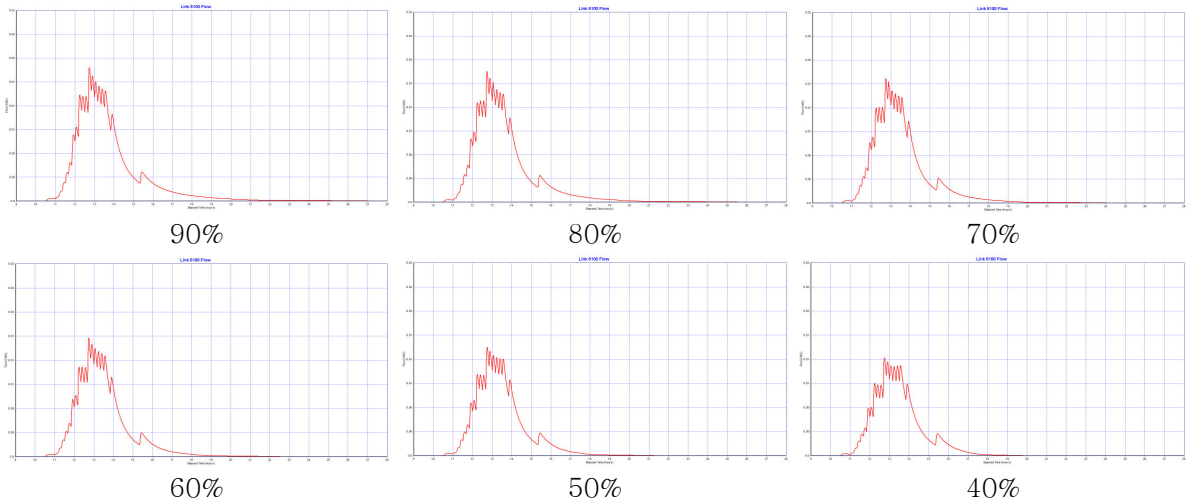


그림 7. 불투수면적비에 따른 유출 형태

6. 결론

본 연구는 광주광역시 서구에 위치한 상업지역을 대상지역으로 하여 불투수층과 투수층의 비율에 따른 유출모의를 실시하였다. 현장에서 측정한 유출자료 및 강우자료를 바탕으로 SWMM모형으로 모의한 값을 비교 분석하여 매개변수를 최적화를 실시한 후 불투수면적비를 변화시켜 모의하였다.

본 연구에서는 배수관망도와 현장에서 측량한 데이터를 바탕으로 SWMM모형을 구축하여 사용하였다. 매개변수 또한 현장에서 측정한 유량측정 데이터를 바탕으로 하여 최적화를 실시하였다. 불투수층비율이 90%~40%로 감소함에 따라 26.6%감소하였고, 침투유량 또한 0.0039m³/s 감소하는 것으로 알 수 있다. 그러나 일반 하천과 달리 불투수면적비가 감소 하였음에도 유출시간은 16.5시간에서 9.4 시간으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 유역면적이 작고 투수층에 침투되고 저류되는 강우가 유출에 기여하지 못하기 때문이라고 판단된다. 유역면적이 작은 지점을 대상으로 모의할 경우 매개변수의 최적화에 보다 신중을 기해야 할 것으로 판단된다. 따라서 추후 더 많은 실측 데이터와 여러 유형의 강우사상을 바탕으로 매개변수를 보다 정밀하게 구축하여 모의를 실행하는 것이 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 동신대학교 공업기술연구소(1996). SWMM에 의한 도시배수구역의 수문학적 연구
2. 이종태, 허성철, 김태화(2004). 도시유출모형(SWMM) 매개변수의 최적화
3. 도시홍수재해관리기술연구사업단(2006). SWMM모형을 이용한 도시화영향평가
4. 도시홍수재해관리기술연구사업단(2006). 도시유출 해석모형의 실무적용 지침(안) 및 적용 예제
5. U.K. Maheepala, A.K. Takyi, B.J.C. Perera(2001). Hydrological data monitoring for urban stormwater drainage systems (Journal of Hydrology)
6. 한국수자원학회(1996). 제4회 수공학 워킹 교재