

# 유역특성에 따른 SWMM 모형의 소배수구역 분할 크기에 관한 연구

## Determining Subcatchment Size Considering Basin Characteristic by SWMM

장민석\*·이동희\*\*·배덕효\*\*\*

Min-Seok Jang, Dong-Hee Lee, Deg-Hyo Bae

### 요 지

도시배수구역에서 SWMM 모형을 적용할 경우 일반적으로 사용자가 모든 관망을 고려하여 대상유역을 소배수구역으로 세분화하기에는 한계가 있다. 따라서 SWMM 적용시 통상적으로 사용자의 주관적인 판단에 의해 소배수구역 분할이 이루어져 왔다. 특히, 소배수구역의 분할 개수가 커질수록 입력자료의 양이 증가하게 되므로 SWMM 모형의 구축시 작업능률에 많은 영향을 미치게 된다. 그러나 반대로 소유역 분할 개수를 작게 할 경우 유역의 실질적인 유출특성을 반영하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 SWMM을 통한 유출분석의 정확성과 모형의 효율성을 동시에 확보하기 위해서는 적절한 소배수구역 분할에 관한 기준이 필요하다. 이에 본 연구에서는 하도길이에 따른 소배수구역 크기에 관한 허용 가능치를 제안하고자 한다.

**핵심용어:** SWMM, 소배수구역, 하도길이

### 1. 서 론

최근 급속한 도시화로 인한 도시홍수 피해가 날로 증가하고 있다. 도시홍수 피해방지를 위해서는 수공구조물의 건설과 같은 구조적 대책 및 홍수에보 시스템 운영을 통한 비구조적 대책 마련이 필요하다. 이러한 대책을 위해 기본적으로 요구되는 것이 도시특성을 고려한 홍수량 산정이다. 일반적으로 도시유역에서의 유출분석은 ILLUDSA, Storm Water Management Model(SWMM) 같은 도시 유출모형을 통해 수행된다. 특히, SWMM은 도시유역에서 강우사상으로 인한 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표화 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 대표적인 도시유출 모형이다. SWMM은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy사가 플로리다 대학 및 WRE(Water Resources Engineer)와의 공동연구로 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 개발하였다. 또한, 1981년에는 SWMM 모형 내에 TRANSPORT 블록의 확장 및 보완을 위해 수공구조물의 월류, 배수, 압력류 등의 계산이 가능하도록 설계된 EXTRAN 블록을 SWMM 모형에 추가·보완하였다(이종태 등, 1996a). SWMM을 도시유역에 적용하기 위해서는 대상유역의 소배수구역 분할이 요구된다. 소배수구역은 하나의 동질한 유역특성을 가진 등가 소유역을 의미하며, 전체 유역을 가정하여 관로 및 지형학적 조건을 고려하여 분할한다. 이때 소배수구역은 관망을 중심으로 하나의 유역으로 구성하게 된다. 따라서 소배수구역 분할을 세밀하게 할수록 관망을 더 많이 고려하게 되어 정확한 유출 모의가 가능하다. 그러나 소배수구역을 세밀하게 분할할수록 소배수구역 개수에 따른 입력자료도 증가하므로 작업의 효율성이 감소된다. 이처럼 소배수구역의 분할이 유출의 정확성 및 작업능률에 많은 영향을 미침에도 불구하고 소배수구역 크기에 대한 적절한 규정이 없어 사용자의 주관적 판단에 의해 소배수구역 분할 크기가 큰 차이를 보인다. 따라서 본 연구에서는 유역폭이론에 근거하여 소배수구역 분할의 객

\* 정회원·세종대학교 토목환경공학과 석사과정·E-mail : jangmss3@hanmail.net - 발표자

\*\* 정회원·한국수자원공사 충주권관리단·E-mail : imdonghee@paran.com

\*\*\* 정회원·세종대학교 물자원연구소·토목환경공학과 교수·E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

관적인 기준을 제시하고자 한다.

## 2. SWMM 이론

### 2.1 Runoff Blok 이론

소배수구역의 분할에 대한 기준을 제시하기 위해서는 소배수구역이 SWMM 모형내 유출 모의에 어떠한 영향을 미치는지 종합적으로 이해할 필요가 있다. 따라서 SWMM 모형내 유출 모의 과정을 살펴보면 다음과 같다.

기본방정식은 식 (1)과 같은 비선형 연속방정식을 사용한다.

$$\frac{dV}{dt} = A_s \frac{dd}{dt} = A_s \cdot i_e - Q \quad (1)$$

여기서, V는 물의 체적(=A×d), d는 수심(m), t는 시간(sec),  $A_s$ 는 수표면적( $m^2$ ),  $i_e$ 는 초과 강우량( $m/sec$ ), Q는 유출량( $m^3/s$ ),  $i_e$ 는  $i-f$ (침투로 인한 손실)을 나타낸다.

SWMM 모형에서 유출방정식은 유역면적을 광폭으로 보아 수리반경이 수심과 같다는 가정하여 운동과 근사식은 식 (2)와 같이 표현되며 이를 정리하면 식(3)과 같다.

$$Q = A \cdot V = \{ W \cdot (d - d_p) \} \cdot \left\{ \frac{1}{n} (d - d_p)^{2/3} S^{1/2} \right\} \quad (2)$$

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (3)$$

여기서, A는 수표면적( $m^2$ ), d는 수심(m),  $d_p$ 는 지표면 저류(m), t는 시간(sec), S는 지표면 경사(m/m), n는 manning 조도계수, Q는 유출량( $m^3/s$ )이다.

식 (3)을 식 (1)에 대입하여 정리하면 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며, 식에서 양변을 만족하는 d를 구하므로써 유량 Q를 계산할 수 있다. 식 (4)를 양변에  $A_s$  나누어 정리하면 식 (5)과 같다. 식 (5)을 단순화시키기 위해 상수에 해당하는 유역특성 인자들을 R이라는 변수로 나타내면 식 (6) 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = i_e \cdot A_s - \frac{W}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = i_e - \frac{W}{A_s \cdot n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = i_e + R \cdot (d - d_p)^{5/3} \quad (6)$$

여기서,  $R := \frac{W \cdot S^{1/2}}{A_s \cdot n}$  이다.

식 (6)를 계산하기 위하여 차분 식으로 표현하면 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d_{n+1} - d_n}{\Delta t} = i_e + R \cdot \left( d_n + \frac{d_{n+1} - d_n}{2} - d_p \right)^{5/3} \quad (7)$$

식 (7)는 수심  $d_{n+1}$ 에 대해 음해적으로 표현된 식이다. 이 경우 일반적으로 Newton-Rapson와 같은 수치해석법을 이용하여  $d_{n+1}$ 을 계산할 수 있다. 또한 식 (7)을 이용하여 최종적으로 유량 Q를 계산하게 된다(이종태 등, 1996b).

## 2.2 유역폭 이론

SWMM에서 소배수구역 크기는 식 (5)와 같이 유역폭 및 강우면적으로 유출 모의 과정에 반영되며 이 중에서 유역폭은 유출량 산정을 위한 중요한 매개변수 중의 하나이다. 따라서 소배수구역의 분할을 위해서는 유역폭 기본 가정사항 및 산정방법에 대한 검토가 요구된다.

SWMM에서 유역폭이란 직사각형의 측방 유입이 가능한 가상의 유역을 대상으로 가정한 값이다. 이때 소배수구역은 하나의 등가 소유역으로 보아 주하도 유입시 바로 유출된다고 가정한다. 이렇게 지표면 유출을 가정하는 것은 결국 유역 형태에 따른 유출 수문곡선 형태를 고려하기 위함이다. 즉 같은 면적의 유역이라도 주하도가 긴 유역은 침투유량이 증가하고 주하도가 짧은 유역은 침투유량이 감소한다. 그러나 실제의 유역은 주관로를 기준으로 대칭이 되는 경우는 거의 없으며, 배수구역이 불규칙하고, 수로가 배수구역 중심부에 위치하지 않는다. SWMM에서는 이 경우 왜곡도 계수를 이용하여 유역폭을 산정할 수 있다. 여기서 왜곡도 계수 산정식과 이를 고려한 유역폭 산정식은 다음의 식 (8)과 식 (9)와 같다.

$$S_k = \frac{|A_1 - A_2|}{A} \quad (8)$$

$$W = (2 - S_k) \cdot L \quad (9)$$

여기서,  $S_k$ 는 왜곡도 계수,  $A_1$ 과  $A_2$ 는 각각 주관로를 기준으로한 양쪽의 소배수구역 면적( $m^2$ ),  $A$ 는 전체유역 면적( $m^2$ ),  $L$ 는 주 하도의 길이(m),  $W$ 는 유역폭(m)이다(Wayn, C.H etc, 1992).

## 3. 소배수구역 크기 제한

본 연구에서 분석한 결과 SWMM은 유출 모의 과정에서 관의 흐름을 유역폭의 가중치로 계산하는데 있어 소배수구역을 하나의 등가 소유역으로 가정함으로써 주관로의 흐름을 반영하지 못하는 문제가 있는 것으로 나타났다. 따라서 주관로의 길이가 길수록 유출량 산정의 부정확성은 커지게 되고, 침투시간도 짧게 산정되는 문제가 발생한다. 이러한 유역폭 산정의 불확실성을 줄이기 위해 유역내 소배수구역을 무한히 나눌 수는 없으므로 유역폭 계산 자체가 수문학적 의미를 가지면서 동시에 효율성을 높여 줄 수 있는 소배수구역 크기를 제한하고자 하였다.

유역폭식은 유역특성에 따른 지표흐름은 고려하지만 소배수구역내 하도흐름은 고려하지 못한다. 따라서 최원점의 하도흐름이 계산시간 안에 들어오면 소배수구역이 하나의 등가 소유역이라는 가정 사항을 만족한다. 그러므로 본 연구에서는 소배수구역내 주하도 길이를 식 (10)과 같이 제안한다.

$$\frac{T_i \times 60}{V_p} \geq L \quad (10)$$

여기서,  $T_i$ 는 계산시간간격(min),  $V_p$ 는 하도내 유량속도(m/s),  $L$ 은 소배수구역내 하도길이이다.

식 (10)에서 하도내 유량의 속도를 알면 계산시간 안에 들어오는 소배수구역내 하도길이를 알 수 있다. 즉, 본 연구에서는 소배수구역 크기를 하도길이로 제한하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 SWMM의 입력자료인 계산시간간격이 소배수구역 크기에 영향을 미침을 확인할 수 있다. 계산시간간격이 큰 경우 본문에서 제시한 식 (10)에 근거하여 소배수구역 크기를 크게 분할하여 작업의 효율성을 높일 수 있으며, 계산시간간격이 짧은 경우 소배수구역 크기를 작게 분할하여 계산시간간격의 정확성을 반영하여 유출 모의를 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같이 계산시간간격에 따른 소배수구역 크기를 소배수구역내 주하도 길이로 제시함으로써 주관적으로 이루어져 왔던 소배수구역 분할 크기를 객관적 기준에 근거하여 분할할 수 있게 되었다.

향후 소배수구역 크기 제한사항을 실제 유역에 적용하여 적용성을 판단하고 소배수구역 제한 사항을 초과하였을 경우 그에 따른 부정확성을 정량적으로 평가하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(지자체별 실시간 내배수재해 예측기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 이종태 (1996a). 한국수자원학회:학술대회지, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 한국수자원학회 1996 제4회 수공학익습 교재, pp. 97-204.
2. 이종태 (1996b). 한국수자원학회:학술대회지, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 한국수자원학회 1996 제4회 수공학익습 교재, pp. 97-204.
3. Wayn C.H, Robert E.D (1992). EPA/600/3-88/001a NTIS PB88-236641/AS, pp. 97.