

# SWMM을 이용한 남천의 연유출량 추정

## The Annual Runoff Estimation of Namchun Using SWMM

김남욱\*, 류시완\*\*  
Nam Uk Kim, Siwan Lyu

### 요 지

창원시는 경제성장에 따른 도시화 현상으로 경작지나 녹지와 같은 투수지표면이 대단위 주택단지나 도로, 상업지구, 공장시설과 같은 불투수지표면으로 변화되어 전형적인 도시 유역특성을 띠고 있어 SWMM 모형의 적용에 적합하다. 적용대상인 남천은 창원시를 관류하는 유로연장 14.7 km의 하천으로 지류인 창원천을 포함하고 있으며, 2007년부터 환경부 지원 시범사업으로 생태하천복원사업이 계획되어 실시설계 완료 후 공사가 진행 중이나, 복원 후 하천관리를 위한 유지유량 산정 등의 타당성과 관련한 문제가 지역사회에서의 화두로 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 남천 유역의 특성을 적절히 고려한 유지유량 산정을 통해 향후 복원된 남천의 하천관리기준을 제시하고자 하였다.

본 연구에서는 2008년 실측된 남천과 창원천의 유량자료와 SWMM 유출량 모의결과를 비교, 분석하였다. 남천의 유량자료는 2008년 5월 6일부터 8월 20일까지 실측하였으며, 남천의 지류인 창원천은 유량자료 취득구간이었던 창원천교 지점에서 생태하천복원사업이 진행됨에 따라 유량자료를 취득할 수 없었으므로 남천의 유량자료를 이용하여 비유량법으로 추정하였다. 유출량 산정을 위한 강우자료는 기상청 자료를 사용하는 것이 일반적이나 마산과 창원의 강우자료를 이용한 분석 결과 강우 패턴에 차이가 있음을 발견하고 마산기상대의 자료 대신, 창원시에서 제공한 5년간 (2005년~2009년)의 자료를 사용하였다.

SWAT을 이용하여 남천 유역을 39개의 소유역으로 분할하고 Arc View를 이용하여 지형인자들을 추출하여 SWMM 입력자료로 사용하였다. 입력자료 중 유출량 추정에 큰 영향을 끼치는 매개변수들은 민감도 분석을 통하여 최적의 매개변수들을 결정하고 연유출량 추정을 위한 모의를 수행하였다. 이상의 과정을 통하여 남천의 연유출량을 추정함으로써 하천관리를 위한 유지유량 산정의 기초로 활용할 수 있었다.

**핵심용어 : 남천, SWMM, 연유출량, 유지유량**

## 1. 서론

최근 급속한 도시화로 인한 홍수피해가 날로 증가하고 있다. 도시의 홍수피해 방지를 위해서는 수공구조물의 건설과 같은 구조적 대책과 홍수예보 시스템 운영을 통한 비구조적 대책 마련이 필요하다. 이러한 대책을 위해 기본적으로 요구되는 것이 도시 특성을 고려한 설계홍수량 산정 및 연유출량 추정이다. 도시 유역에서의 설계홍수량 산정을 위하여 국내에서 사용되고 있는 모형들로는 합리식, BRRL, ILLUDAS, SWMM 등이 있다. 특히 SWMM은 도시 유역에서의 강우사상으로 인한 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표 하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의 할 수 있는 대표적인 도시유출모형이다. SWMM(Storm Water Management

\* 정회원 · 창원대학교 석사과정 · E-mail : [mcnuboy@nate.com](mailto:mcnuboy@nate.com)

\*\* 정회원 · 창원대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : [siwan@changwon.ac.kr](mailto:siwan@changwon.ac.kr)

Model)은 1971년 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy사가 Florida대학 및 WRE(Water Resources Engineer)와의 공동연구로 도시구역 하수시스템 내의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 개발하였다. 또한 1981년에는 SWMM 모형 내의 TRANSPORT블록의 확장 및 보완을 위해 수공구조물의 월류, 배수, 압력류 등의 계산이 가능하도록 설계된 EXTRAN블록을 추가, 보완하였다(이종태 등, 1996a). 따라서 본 연구에서는 SWMM을 이용하여 납천의 연유출량을 추정하고자 한다.

## 2. SWMM 모형의 이론

SWMM 모형의 RUNOFF 기본방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = A_s \frac{\Delta d}{\Delta t} = A_s \times i_e - Q \quad (1)$$

여기서,  $V$ 는 물의 체적( $A_s \times d$ ),  $d$ 는 수심(m),  $t$ 는 시간(sec),  $A_s$ 는 수표면적( $m^2$ ),  $i_e$ 는 초과 강우강도(m/s),  $Q$ 는 유출량( $m^3/s$ ), 초과강우강도  $i_e$ 는 강우강도( $i$ , m/s)와 침투로 인한 손실( $f$ , m/s)의 차를 나타낸다.

RUNOFF 블록에서 지표면유출은 폭이 넓은 개수로 흐름으로 가정하여 운동과 근사식은 식 (2)와 같이 표현되며 이를 정리하면 식 (3)과 같다.

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

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

여기서,  $W$ 는 유역의 폭(m),  $n$ 은 Manning 조도계수,  $d$ 는 수심(m),  $d_p$ 는 지면저류깊이(m),  $S$ 는 지표면경사(m/m)이다. 식 (3)을 식 (1)에 대입하여 정리하면 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며, 식에서 양변을 만족하는  $d$ 를 구함으로써 유량  $Q$ 를 계산할 수 있다. 식 (4)를 양변에  $A_s$ 로 나누어 정리하면 식 (5)와 같다. 식 (5)를 단순화시키기 위해 상수에 해당하는 유역 특성인자들을  $R$ 이라는 변수로 나타내면 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

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

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

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

여기서,  $R$ 은  $-\frac{W \times S^{1/2}}{A_s \times n}$ 이다. 식 (6)을 계산하기 위하여 차분식으로 표현하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

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

식 (7)은 Newton-Raphson 반복법을 이용하여  $d_{n+1}$ 을 계산할 수 있다. 또한 식 (7)을 이용하여 최종적으로 유량  $Q$ 를 계산하게 된다(이종태 등, 1996b).

### 3. 모형 적용

#### 3.1 연구 내용 및 방법

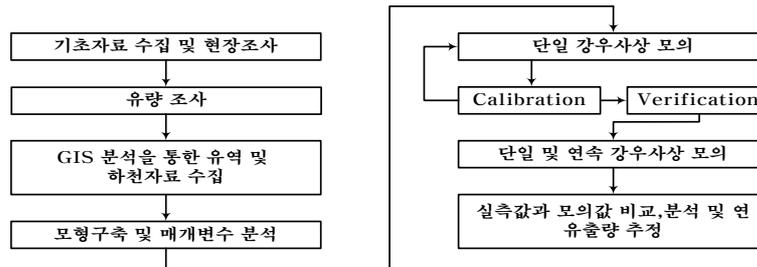


그림 1. 연구 수행 절차

#### 3.2 대상유역 선정

남천은 경상남도 창원시 천선동 웅산(해발 706.0 m)에서 발원하여 서북측으로 유입하다, 남산동에 서 우안으로부터 유입하는 남산천과 합류하여 창원시 중앙대로 좌측의 공업지역 중심부를 동, 서 방향으로 유하하면서 좌, 우안에서 유입하는 지류들과 합류하여 계속 동, 서 방향으로 유하하다, 신촌동에 서 우안으로부터 유입하는 창원천과 합류하여 마산항으로 유입한다. 위도 상으로는 동경  $128^{\circ} 42' 43'' \sim 128^{\circ} 36' 44''$  북위  $35^{\circ} 12' 34'' \sim 35^{\circ} 10' 43''$ 에 위치한다.

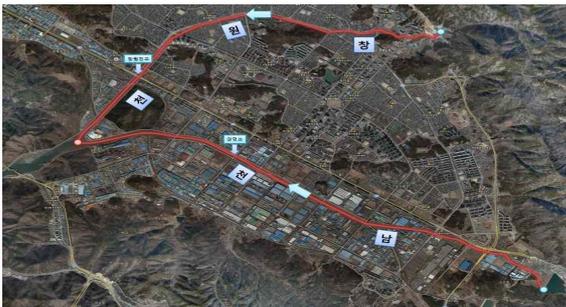


그림 2. 남천 유역

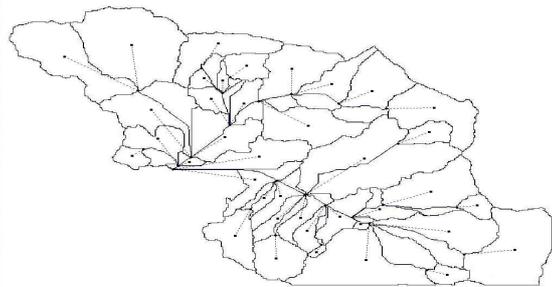


그림 3. Arc View를 이용한 소유역 분할

#### 3.3 민감도 분석

본 연구에서는 Arc View를 이용하여 DEM자료를 GRID로 분석하여 유역의 수문인자를 추출하였다. 대상유역은 SWAT으로 39개의 소유역으로 분할하고 각 소유역에 해당하는 수문인자를 SWMM의 입력 자료로 사용하였다. 수문인자 중 유출량 추정에 큰 영향을 끼치는 매개변수들은  $\pm 20\%$ 씩 변화시키면서 민감도분석을 실시하였다. 민감도분석 결과 투수층의 조도계수, 투수층의 지면저류깊이가 가장 민감했으며, 불투수층의 조도계수와 불투수층의 지면저류깊이는 모의결과에 큰 영향을 끼치지 않았다.

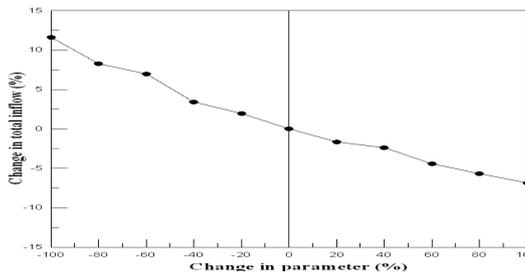


그림 4. 투수층 조도계수의 민감도

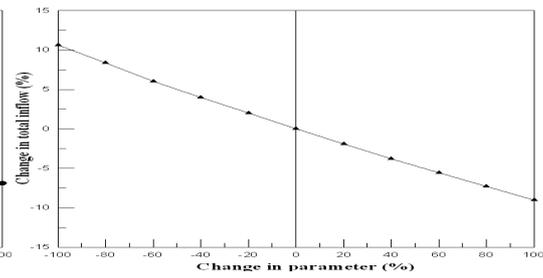


그림 5. 투수층 지면저류깊이의 민감도

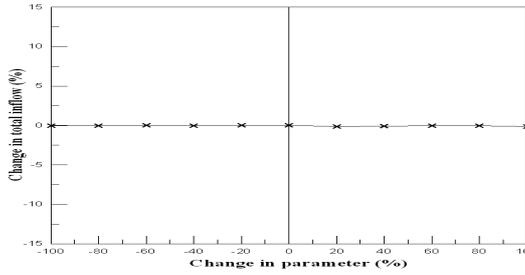


그림 6. 불투수층 조도계수의 민감도

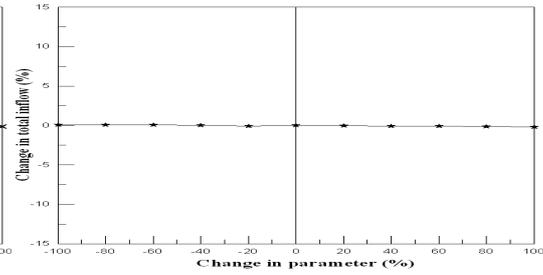


그림 7. 불투수층 지면저류깊이의 민감도

#### 4. 모의 결과 및 분석

유출량 산정을 위한 강우자료는 기상청자료를 사용하는 것이 일반적이거나 모의기간 내, 마산과 창원시의 강우자료를 이용한 분석 결과 강우 패턴에 차이가 있음을 발견하고 마산기상대의 자료 대신, 창원시에서 제공한 자료를 사용하였다. 동일한 티센망에 속해 있는 창원과 마산일지라도 표 1과 2에서 알 수 있듯이, 마산이 창원에 비해 강우량과 유출량이 많다는 것을 알 수 있다. 모의결과 창원시(창원시청, 성주동, 웅남동, 의창동)의 강우자료를 이용한 모의 유출량은 실측 유출량에 비하여 0.53 % 작게 모의되었지만 매우 근사한 양상을 보였으며, 마산기상대의 강우자료를 이용한 모의 유출량은 실측 유출량에 비하여 36 % 높게 모의되었다. 창원과 같이 기상청이 존재하지 않는 지역의 경우, 동일한 티센망에 속해 있는 지역의 기상자료를 쓰는 것이 일반적이지만 모의 결과에서처럼 해당지역의 기상자료를 활용하는 것이 더 타당하다는 것을 알 수 있다.

표 1. 창원시 강우자료와 마산기상청 강우자료를 이용한 모의 유출량 비교

년도	창원시 강우량 (mm)	모의 유출량 (m <sup>3</sup> )	마산 기상청 강우량 (mm)	모의 유출량 (m <sup>3</sup> )	년도	창원시 강우량 (mm)	모의 유출량 (m <sup>3</sup> )	마산 기상청 강우량 (mm)	모의 유출량 (m <sup>3</sup> )
1986			1297.8	29,889,776	1998			1821.3	43,729,676
1987			1559.4	36,039,688	1999			2897.4	80,994,384
1988			823.1	15,349,672	2000			1407.7	33,750,908
1989			1814.1	44,092,424	2001			1071.9	22,211,386
1990			1530.5	33,648,512	2002			1873.3	48,411,096
1991			2022.9	53,829,612	2003			2036.3	48,710,404
1992			1306.6	31,064,842	2004			1827.0	49,903,048
1993			1640.6	36,555,352	2005	1328.0	32,016,372	1490.1	34,631,756
1994			814.2	17,300,382	2006	1606.5	39,750,924	1693.5	40,592,536
1995			956.2	21,056,878	2007	1521.8	33,549,992	1497.2	34,084,580
1996			1113.2	21,517,910	2008	823.1	15,168,137	1020.5	20,821,412
1997			1549.8	39,503,120	2009	1353.4	33,323,676	1863.9	48,646,884

표 2. 강우자료에 따른 모의결과 비교 (2008.5.6~8.20)

강우자료	누적 강우량 (mm)	모의 유출량 (m <sup>3</sup> )	실측 유출량 (m <sup>3</sup> )
창원시 (시청 외 3개소)	570.9	24,387,944	24,518,791.39
마산기상대	691.6	33,348,578	

## 5. 결론

GIS를 이용하여 남천 유역의 매개변수를 추출하여 SWMM 모형의 유출모의를 수행하였다. 모의 후 매개변수들의 민감도 분석을 통하여 유출량 추정에 민감한 매개변수들을 선정하였으며 남천의 실측 유출량과 SWMM을 통한 유출량을 검, 보정 후, 남천의 연유출량을 추정하였다.

(1) ArcView를 통한 수문 인자의 추출에서 사용자의 정의에 따른 소유역의 분할을 통하여 유역의 면적, 하도의 길이, 경사 등의 인자들을 정확히 추출할 수 있었으며 왜곡도 계수를 이용하여 유역의 폭을 산정할 수 있었다.

(2) 수문 인자들 중에서 도시 유역의 유출에 큰 영향을 미치는 주요 매개변수들의 유출 거동양상을 제시하였으며, 주요 매개변수들의 민감도 분석을 통하여 SWMM 모형의 신뢰도를 판단할 수 있었다.

(3) 남천의 모의 유출량은 실측 유출량에 비하여 0.53 % 작게 모의되었지만 매우 근사하게 모의된 것으로 볼 때 SWMM 모형의 높은 신뢰도를 보여주고 있으며, 이 결과를 바탕으로 유역 특성이 비슷한 유량 미측정 지점의 유출량을 추정함에 있어 적합한 모형이라 판단되며 본 연구지역과 같이 기상청이 존재하지 않는 경우, 동일한 티센망의 기상자료를 활용함에 있어 발생하는 오류들에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06건설핵심B01)으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 이종태(1996a). 한국수자원학회: 학술대회지, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 한국수자원학회 1996 제 4회 수공학 workshop 교재, pp. 97-204.
2. 이종태(1996b). 한국수자원학회: 학술대회지, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 한국수자원학회 1996 제 4회 수공학 workshop 교재, pp. 97-204.
3. Wayn C.H, Robert E.D(1992). EPA/600/3-88/001a NTIS PB88-236641/AS, pp. 97.