

관로유출과 지표유출을 고려한 도시유역의 유출량에 관한 연구

A Study on Discharge of Urban Basin Considering Pipe Runoff and Surface Runoff

정재희*, 안정환**, 권준엽***, 조원철****.

Jae Hee Jung, Jeong hwan Ahn, Joon Youp Kwon, Won Cheol Cho

요 지

본 연구는 XP-SWMM 2011 모형의 최적 해석범위설정과 월류에 의한 2차원 지표유출량을 포함한 도시유역의 총 유출량 산정에 대한 방법을 연구한 것이다. 하수 및 우수 관망 해석 모형으로 1차원 관로해석과 2차원 지표면 해석이 가능한 XP-SWMM 2011 모형을 이용하였으며, 연구의 대상지역은 최근 연속적인 침수 피해를 일으켰던 광화문 일대로 선정하였다. 발생가능한 빈도별 지속시간별 확률강우량은 Huff의 4분위법을 이용하여 10분 간격으로 분포시켰으며, 기존의 유역 출구점에 기준한 설계기준의 문제점을 제시하고, 월류에 의한 2차원 지표유출수를 포함한 유역 내에서의 총 유출량 산정에 대한 방법을 제시하였다. 모의 결과분석 시 기존의 제한된 격자확장 경계조건으로 인한 문제점 극복을 위해 해석범위 설정 시 적합한 격자경계의 설정이 필요함을 확인하였다. 도시유역의 관로유출량과 본 연구에 제시된 지표유출량을 함께 고려한다면 치수 계획규모를 설정하는데 주요 판단기준으로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어: 수공구조물 설계, 침투유출량, 지표면 유출량, XP-SWMM 2011

1. 서 론

최근 우리나라의 급격한 산업발달 및 도시화는 식생의 역할 감소와 콘크리트 등의 포장을 통한 침수지역의 감소에 따른 불투수층의 증가로 지체시간의 감소, 홍수유출량의 증대, 도달시간의 감소로 인한 유효유출량의 증가를 발생시켰다. 따라서 도시의 배수체계는 기존의 하수관거 이외에도 자연수로와 도로, 공원녹지, 지하시설 등의 저류공간을 포함하게 되었다. 하지만 기존의 관로침투유출량을 기준으로 한 수공구조물 설계는 실제 호우사상에 대한 유역 내에서 발생하는 총 유출량을 반영할 수 없으므로 침수피해를 최소화하기 위해서는 수공구조물의 설계 시 지표면을 통한 지표유출량도 함께 고려되어야 할 것이다. 이를 위한 연구로 Phillips 등(2005)은 XP-SWMM 모형과 TUFLOW를 이용한 모델링으로 1D, 1D/2D, 2D 결과를 비교하고 도시지역 2차원 침수해석을 하였고, 박경원(2011)은 XP-SWMM 모형을 이용하여 침수심과 침수면적을 기준으로 수위에 따른 내수침수 영향을 분석하였다. 본 연구에서는 도시유역의 하수 및 우수 관망 해석 모형인 XP-SWMM 2011 모형을 이용하여 유역 출구점에 기준한 관로침투유출량과 통수능 부족으로 관로 유입이 되지 못한 유량, 그리고 하수관거의 만관에 의한 월류로 지표면을 따라 유출되는 지표유출량을 고려한 총 유출량 산정을 통해 실제 발생하는 침수 피해를 최소화하는데 그 목적이 있다.

* 연세대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: jaeheejj@yonsei.ac.kr
** 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 · E-mail: ahn.jeonghwan@gmail.com
*** 연세대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: cherish2001@hanmail.net
**** 연세대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail: woncheol@yonsei.ac.kr

2. 해석 모형

본 연구에서는 1967년 설립된 미국 XP Software 사가 개발한 SWMM 엔진 기반의 XP-SWMM으로, 하수 및 우수 관망 해석 전용 프로그램이며 윈도우 상의 다양한 플랫폼에서 작동 가능하다. 또한 도시 유역의 유출량 산정, 우수 관거 추적 등을 통해 우수 관거와 같은 수량 분석 뿐만 아니라 원치 않는 범람과 오염된 수질을 완화하기 위한 분석에 사용된다. XP-SWMM 2011 모형은 도시유역이나 인위적 배수체계를 갖는 유역에 대하여 배수관망을 통한 1차원 해석은 기존의 EPA SWMM 엔진을 사용하고 있으며, 지표면 흐름에 대한 2차원 해석은 TUFLOW 엔진을 도입하여 사용한다. XP-SWMM 2011 모형은 두 엔진을 연계하여 수리·수문학적인 분석을 실시한다.

2.1 연구대상지역현황

본 연구의 대상지역인 효자배수분구는 서울시하수도정비기본계획(2002.2, 서울시)에서 24개 배수분구로 구분된 중랑치리구역에 위치한 유역면적이 528.90ha인 지역으로 유역의 상류부는 매우 급한 경사를 이루고 있는 산지이며 중하류부로 내려오면 경사가 급격히 완만해지며 평지부를 형성하고 있는 완전히 도시화된 전형적인 도시 배수분구이다. 유역의 하류부는 도시화된 전형적인 도시 배수분구로 홍수도달시간이 다소 짧은 특성을 갖고 있다. 유역의 표고차는 278.8m, 평균 지반고는 EL. 68.8m 이며, 최근 발생한 기폭우로 인한 침수 피해를 입은 광화문광장 일대의 지반고는 평균 EL. 30.0m 정도 내외이다. 또한 유역면적이 51km² 정도인 청계천이 배수분구에 포함되어 있다. 2010년 9월 21일과 2011년 7월 27일 폭우로 하류부 침수지역을 연구대상지역으로 선정하였다.

2.2 입력자료 구성 및 적용

유역 내의 관로 내 유출량과 월류에 의한 지표면 유출량을 산정하기 위해 XP-SWMM 2011 모형을 이용해 효자배수분구 일대의 지형 및 관망 자료, 수리·수문학적 자료를 입력하여 모의를 수행하였다. 다음 그림 1(a)는 링크와 노드로 구성된 관망 자료이고, 그림 1(b)는 1:1,000의 축척을 갖는 수치지도를 이용한 X좌표, Y좌표, 지반고가 포함된 DTM(Digital Terrain Model)를 나타낸 것이다.

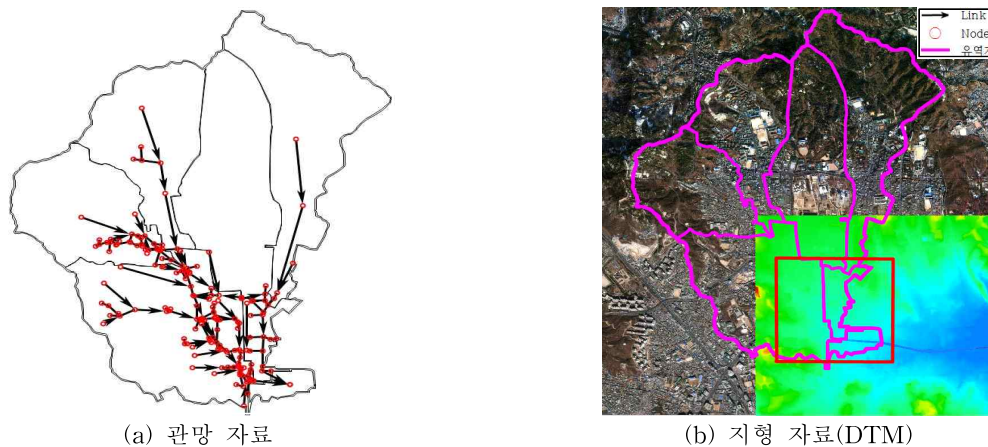


그림 1. 효자배수분구 관망 및 지형도

유역에 적용한 강우량은 「서울지역 호우재해 특성 및 미래 전망」 세종대학교 배덕효 교수 발표자료의 서울지점 확률강우량을 이용, 각 빈도별 강우강도식을 산출하였으며, Huff 4분위법 중 치수안전도를 감안하여 4분위를 채택하여 지속시간을 10분 단위 간격으로 분포시켜 적용하였다. 또한 투수지역의 침투량 산정은 비선형 저수 방법을 통한 Horton 식을 사용했고, 조도계수는 하천설계기준(2005)에 기준한 0.014를 적용했다.

3. 모형의 해석범위설정

3.1 해석범위설정

XP-SWMM 2011 모형에서는 해석을 위해 격자확장의 경계범위를 설정하여야 한다. 격자확장조건은 확장된 격자크기에 따라 셀 크기를 지정할 수 있고, 이에 따라 최대 셀 개수의 범위 내에서 결정하는 것이다. 본 연구의 최대 셀 개수의 범위는 3만 셀까지 이다. 다음 그림 2는 해석범위 내의 격자경계범위를 확대하여 도시한 것이다.

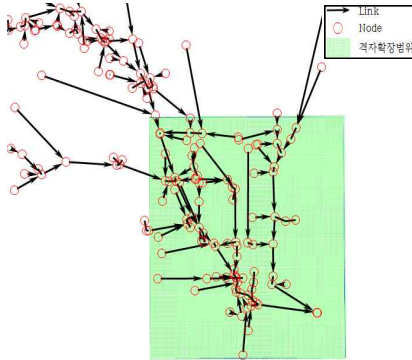


그림 2. 해석범위 격자경계범위

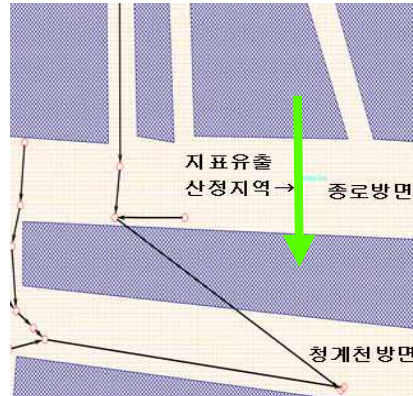


그림 3. 지표유출수 산정지역

3.2 지표유출수를 고려한 최적 해석범위 산정

본 연구에서 설정된 영역은 광화문 일대 중 중로방면이며 위 그림 3은 지표유출수 산정지역을 나타낸 것이다. 지표유출수는 라인출력을 통해 모의에 적용한 시간간격에 따라 수문곡선(m^3/sec)을 산정하였다. 지표유출수의 유동은 격자경계에 영향을 받아 그림 4와 같이 속도벡터로 나타난 화살표가 격자경계에 의해 역류함을 볼 수 있다. 그림 5는 격자경계 방향으로 흐를 시 (+)의 값을 갖는 반면, 격자경계에 부딪쳐 경계에 영향을 받아 격자경계 반대방향으로 흐를 시 (-)의 값을 갖게 됨을 보여주고 있다.

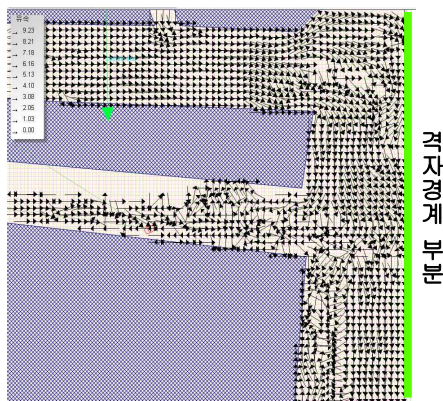


그림 4. 격자경계 영향

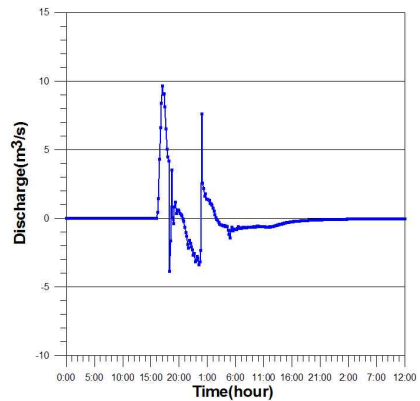
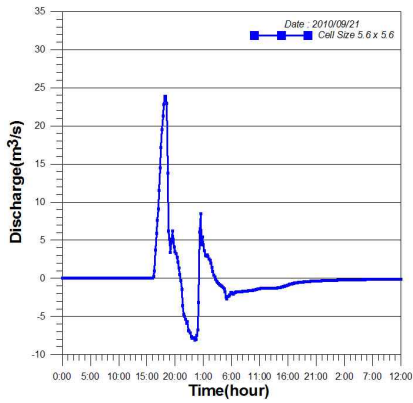


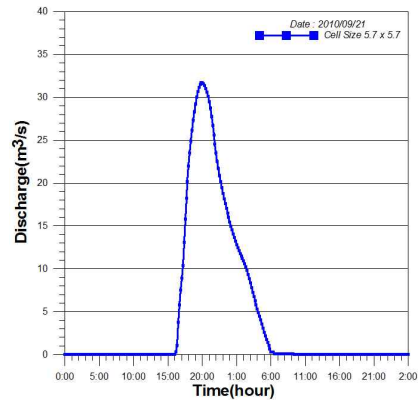
그림 5. 지표유출수 흐름

모의 해석 시 격자경계의 영향을 받지 않는 지표유출수 산정을 위한 최적 해석범위를 선정한다. 이를 위해 본 연구에서는 해석영역 전체범위를 충분히 포함하는 셀 크기 설정을 위해 $5.1m \times 5.1m$ 부터 $0.1m$ 씩 증가하여 $6.0m \times 6.0m$ 까지 모의를 연속적으로 수행하였다. 결과로 지표유출수의 흐름에 대한 수문곡선이 $5.7m$

× 5.7m에서부터 (-)값이 나오지 않는 형태임을 확인하였다. 그림 6(a)는 격자경계의 영향을 받은 5.6m × 5.6m의 수문곡선이며, 그림 6(b)는 격자경계의 영향을 받지 않은 해석의 최적범위인 셀 크기 5.7m × 5.7m의 수문곡선이다.



(a) 5.6m × 5.6m 수문곡선



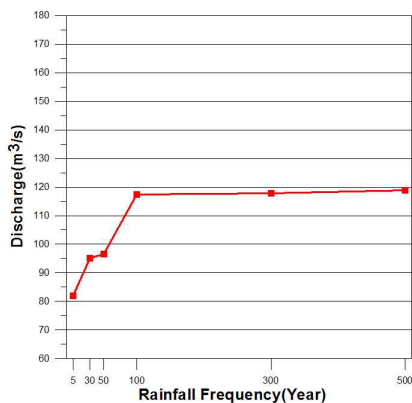
(b) 5.7m × 5.7m 수문곡선

그림 6. 해석범위에 따른 지표유출수 수문곡선

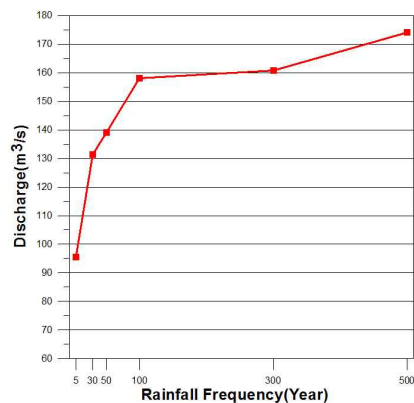
단위 셀 크기 5.1m × 5.1m부터 5.6m × 5.6m까지는 그림 6(a)와 유사한 (-)값을 갖는 지표유출량이 산정되는 반면, 5.7m × 5.7m 이후부터는 그림 6(b)와 같은 (+)값만을 갖는 격자경계에 영향을 받지 않는 합리적인 지표유출량이 산정됨을 확인하였다.

3.3 지표유출수를 포함한 총 유출량 산정

기존의 치수계획규모설계 방법은 유역의 출구점을 기준한 관로침두유출량을 통해 이루어져 왔다. 그러나 실제로는 맨홀의 만관에 의한 월류량과 관로 내로 유입되지 못한 지표유출수가 존재한다. 하지만 이를 포함하지 못하고 있는 실정이다. 그림 8(a)는 세종로 사거리 신설암거 공사 전 유출부에서의 발생빈도별 관로침두유출량이며, 그림 8(b)는 지표유출수를 포함한 유역 내에서의 총 침두유출량을 도시한 것이다.



(a) 발생빈도별 관로침두유출량



(b) 지표유출량을 포함한 총 침두유출량

그림 8. 발생빈도별 관로침두유출량과 총 침두유출량 비교

그림 8(a)를 살펴보면 5~100년 빈도까지는 침두유출량이 증가하다가 100년 이후부터는 침두유출량이 일

정해 짐을 확인할 수 있다. 즉, 관로가 유출시킬 수 있는 양은 한계가 있어 한계점에 도달한 이후에도 강우가 지속된다면 강우는 관로로 유입되지 못하고 지표면을 통해 유출된다. 따라서 지표유출량을 포함한 총 침투유출량을 기준으로 실제 발생하는 침수 피해와 유사한 설계 기준을 제시할 수 있다. 그림 8(b)는 지표유출량을 포함한 총 침투유출량으로 그림 8(a)에 비해 상대적으로 발생빈도에 따른 구별이 가능함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 XP-SWMM 2011 모형의 최적 해석범위설정과 월류에 의한 2차원 지표유출량을 포함한 도시구역의 총 유출량 산정에 대한 방법을 연구한 것이다. 도시지역의 침수모의를 위해 최적 해석범위설정을 위한 격자크기를 변화시켰으며, XP-SWMM 2011 모형을 사용하여 대상 구역 내에서의 발생빈도별 총 유출량을 산정하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

수치모의를 위한 구역 설정 후 XP-SWMM 2011 모형을 통해 격자확장 최적범위를 설정할 수 있었다. 1·2차원 해석을 위해 해석범위의 제한된 셀 개수와 건물 및 지장물의 설정에 의해 영향을 받는 것으로 확인되었으며, 지표유출수의 유동에 의한 유출량 결과분석 시 해석범위의 경계에 부딪쳐 역류하므로 모의 시 영향을 받는 것으로 확인되었다. 즉 해석범위 설정 시 격자확장 경계의 적합한 설정이 필요하다.

기존의 구역 출구점 기준의 관로침투유출량을 통한 설계홍수량 산정의 문제점을 확인할 수 있었으며, 특정 구역 내에서의 관로침투유출량과 지표유출량을 동시에 포함한 총 유출량을 통해 특정 호우사상에 대한 유출량 구별이 가능함을 확인할 수 있었다. 따라서 총 유출량 산정 시 관로침투유출량과 지표유출량 둘 모두를 고려해야 할 것이며 이는 치수계획규모 설정 시 주요 판단기준으로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 김종관 (2011) 직접빈도해석과 확률강우를 통한 설계홍수량의 비교. 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 183-186
2. 박경원, 황의호, 이을래(2011) XP-SWMM 모형을 이용한 굴포천 구역의 내수침수 영향분석. 대한토목학회 2011년도 정기학술대회 논문집, 대한 토목학회, pp. 2085-2088
3. 배덕효 (2011). “서울시 호우재해 특성 및 미래 전망”, 수해대응특별위원회 세미나 자료집
4. 홍준범, 김병식, 서병하, 김형수 (2006). XP-SWMM을 이용한 도시하천에서의 홍수소통능력 평가. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제2호, pp. 139-150.
5. Jorge Leandro, Albert S. Chen, Slobodan Djordjević and Dragan A. Savić (2009). Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation. Journal Of Hydraulic Engineering, June 2009, pp. 495-504
6. Phillips, B.C, Yu, s., Thompson, G.R. and Silva, N.de. (2005). 1D and 2D Modelling of Urban Drainage Systems using XP-SWMM and TUFLOW. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, August 2005, pp. 21-26.