

노드담수조건 설정에 따른 SWMM 적용성 평가

Evaluation of SWMM Flood Model Application by Node Conditions

박종표*, 원창연**, 주성식***, 황수덕****

Jong Pyo Park, Chang Yeon Won, Sung Sik Ju, Soo deok Hwang

요 지

XP-SWMM은 유한차분방법에 의한 천수방정식을 기반으로 하는 TUFLOW 엔진을 탑재하여 1차원 솔루션 엔진과 동적으로 연결하여 범람원에서의 흐름거동을 2차원으로 해석할 수 있다. 유역에서 발생한 모든 유출량은 해당 소유역의 노드(맨홀)로 유입되며 2차원 침수양상은 관로상태에 따라 노드를 통해 역류한 유출수에 의해서 폰딩(Ponding)되는 조건으로 모의한다. XP-SWMM의 침수범람 모의는 침수범람 상황을 가시적으로 보여주는데 상당한 강점을 가지고 있으나 실제 지형여건에 따른 자연현상을 엄밀하게 모델링하는데 일정부분 한계가 있다. 모형의 한계는 담수된 노드의 수위로 인한 에너지 영향(오리피스 흐름)으로 인접관로의 침수가 부가적으로 유발할 수 있다는 점이며 실제 대부분의 경사 지에서의 침수상황은 노드에 유출수가 담수되지 않고 하류로 지면을 따라서 확산(Diffusion)되어 담수영향으로 인한 인접관로 침수가 추가적으로 유발되지 않을 가능성이 매우 높다. 즉, XP-SWMM의 담수허용조건, 지반고 2D연결 옵션은 유역에서의 침수발생량을 과대평가 할수 있으며 특정 유역에서는 실제 침수발생 상황과 차이가 발생 할 수 있는 것이다.

본 연구에서는 서울시 광화문 일대의 효자배수분구 우수관로를 SWMM으로 구성하고 강우조건 95mm/hr에서 노드 조건을 담수허용, 2D연결, 담수없음 조건으로 모형을 수행하여 침수모의 결과를 비교, 검토하였다.

전체관로 노드조건을 담수허용, 2D연결로 설정하게 되면 담수없음 조건과 비교하여 1.2-2.8배의 침수발생량이 추가로 발생하는 것으로 검토되었다. 즉, 담수없음 조건의 경우 침수발생시 노면 수위상승 인한 동수경사 영향이 반영된 압력관로 영향이 반영되지 않아 노드간 침수발생량이 중복되지 않는다. 반면, 담수허용이나 2D연결로 모형을 수행할 경우 지면의 경사가 충분히 있는 지역에 침수가 발생하더라도 일정 수심이상의 수두(동수경사선)가 형성되어 침수를 추가로 유발하는 것으로 보인다.

핵심용어 : 효자배수분구, XP-SWMM, TU-FLOW, 담수허용조건

1. 서론

도시 배수체계에 대한 유출량 계산에 도시 유출모형인 XP-SWMM이 많이 사용되어 왔으며 1차원과 2차원을 연계하여 관거 유출량 및 침수피해 분석이 가능하다. 1차원 해석인 배수관망을 통한 해석은 기존의 EPA SWMM 엔진을 기본으로 하고 있으며, 2차원 분석은 TUFLOW 엔진을 도입하여 2차원 지표면 흐름을 모의한다. TUFLOW는 수위와 유속 벡터, 수심, 단위 유량 벡터, 에너지 경사 및 홍수 위험 순위 등의 다양한 데이터를 SMS와 GIS 포맷의 파일을 출력하며, 배경 이미지로 DTM(Digital Terrain Model)이나 지형 사진 또는 GIS 데이터를 사용한다(권준엽, 2012).

SWMM 모형을 활용한 연구로 Phillips et al. (2005)은 도시지역의 2차원 침수해석을 위해 TUFLOW 엔진과 XP-SWMM 모형을 이용한 1D/2D 모델링을 실시하여 그 적용성을 평가하였으며, Rangarajan et

* 주식회사 핵코리아 이사 · E-mail : jppark@hecorea.co.kr
** 주식회사 핵코리아 과장 · E-mail : woncy@hecorea.co.kr
*** 주식회사 핵코리아 부장 · E-mail : idedj@hecorea.co.kr
**** 주식회사 핵코리아 사원 · E-mail : soodeok@hecorea.co.kr

al. (2008)은 미국 버지니아주 내의 학교 내·외부를 대상지역으로 정하여 XP-SWMM과 2차원 엔진인 TUFLOW 연계를 통해 2차원 홍수 해석이 더 효과적임을 증명하였다. 하지만 안정환 등(2014)은 이상의 연구들에 적용된 모형을 포함한 현재 개발되어 있는 도시침수모형은 2차원 모의분석 시 월류에 의한 침수만을 모의 할 뿐 노면수 배제불량에 의한 침수는 고려하지 못하는 한계가 있어 XP-SWMM 모형의 1, 2차원 연계 모의 방법에 1차원 가상관로 레이어를 추가하는 방법으로 실제 침수현상을 기존의 방법에 비해 유사하게 모의 할 수 있는 모의 방법을 제시하였다.

SWMM은 2차원 홍수 해석시 지면에 담수된 노드의 수위로 인한 에너지 영향으로 하류관로의 침수가 부가적으로 유발될 수 있고 유역에서 발생한 유출이 맨홀로 유입되지 못하는 경우가 있어 한계점이 있다. 이러한 한계를 극복하고 자연현상과 비교적 모델링 결과를 도출하고자 국내에서는 안전행정부 산하 국립재난안전연구원에서는 UFAM(Urban Flood Analysis Model)을 개발하고 있다. UFAM모형은 3가지 모듈(지표흐름평면계산, 지하시설물 계산, 관로동역학과 추적계산)로 구성되며 실제 노면에서 흐르는 물의 확산(Diffusion)양상을 비교적 모델링 할수 있도록 개발하고 있으나 개발모형의 베타테스트 및 정밀도 테스트, 검보정이 필요한 실정이므로 본 과업에서 적용하기는 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 XP-SWMM의 노드 담수조건에 따른 침수발생량 차이를 검토하고 실제 도시 유출에 적합한 조건을 판단하여 적용할 수 있도록 분석하였다.

2. 모형구성

본 연구대상지는 청계천 유역의 효자배수분구로 총 유역면적은 5.298km²이며 유역내 주요 하천으로는 백운동천과 중학천이 있으며 한강의 제 1지류인 청계천으로 합류된다. 백운동천은 유역면적 2.922km², 유로연장 2.59km이며, 중학천은 유역면적 2.376km², 유로연장 2.41km이다.

관로데이터는 서울시 GIS자료 및 현장조사, 측량성과를 종합적으로 반영하여 관망을 구축하였으며, 우수관로 총 273개로 입력하였다. 또한 1:5,000 축척의 토지피복도와 1:25,000 축척의 정밀도양도를 토대로 토지이용상태별 토양형에 따라 AMC Type-II 조건의 CN을 산정하였으며 이를 행자부·국립재난안전연구원(2002)에서 안전차원에서 권장하고 있는 AMC Type-III 조건으로 환산한 CN값을 적용하였다.

강우의 시간분포는 서울관측소의 53개년(1961년~2013년) 강우자료를 이용하여 지속기간에 따른 Huff 4분위 방법에 의한 최빈구간을 분석한 결과 Huff 2분위를 적용하였으며 좀 더 상세한 유역유출모델링을 위하여 강우의 입력시간 간격은 기본계획 10분에서 5분단위로 입력하였다. 강우지속기간은 효자배수분구의 유역특성상 도달시간이 30분 정도임을 감안하여 1시간으로 설정하였다.

표 1. 서울관측소 지속기간별 시간분포

구 분	분위별 사상도수			
	1분위	2분위	3분위	4분위
전지속기간	355(25.63%)	436(31.49%)	397(28.66%)	197(14.22%)
~ 6시간	25	29	36	10
7 ~ 12시간	78	100	84	48
13 ~ 18시간	84	114	117	43
19 ~ 24시간	53	74	67	37
25시간 ~	115	119	93	59
중호우(2.32mm/hr)	112(21.37%)	178(33.97%)	167(31.87%)	67(12.79%)

단위유량도법중 시간-면적법을 이용하여 소유역별 홍수량을 산정하였으며, 시간-면적법으로 소유역 홍수량 산정에는 도달시간이 가장 중요한 매개변수로 작용한다. 도달시간 산정에서는 유하시간을 계산 후 각 소유역별 유입시간을 추가적으로 고려하여 산정하였다. 조도계수는 원형관은 0.013, 박스형관은 0.015를 적용하였다.

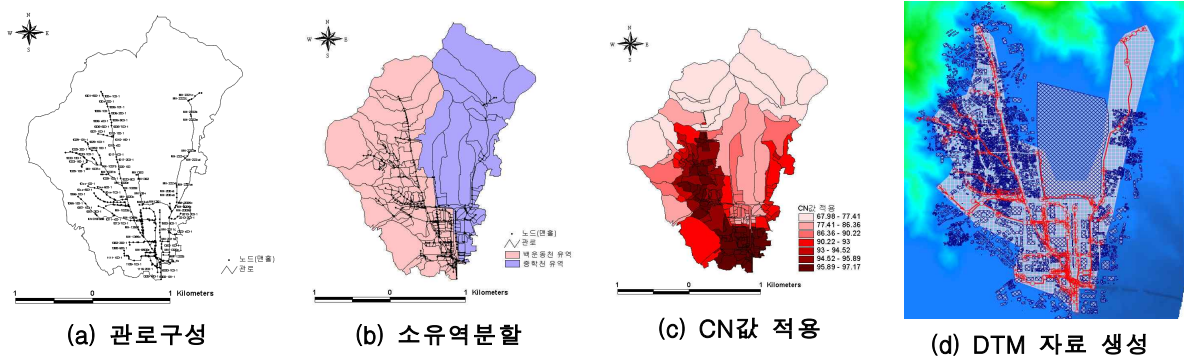


그림 1. 효자배수분구 SWMM 모형 구성

연구대상지의 계획빈도는 본 유역의 침수피해 발생 빈도와 피해규모, 치수안전도 등을 종합적으로 고려하고 우수저류시설, 관거개선 등의 복합적으로 적용된 배수계획이 수립되어야 하는 유역특성을 감안하여 30년 빈도로 결정하였다.

금회 방재성능 목표 기준을 설정하기 위하여 서울시(2013)에서 제시하고 있는 강우분석을 통한 확률강우량과 소방방재청(2010)에서 제시하고 있는 도시방재성능목표 강우량을 비교한 결과 도시방재성능 목표 강우량(지속기간 1시간 95mm)이 확률강우량(지속기간 1시간 92.6mm) 보다 다소 크게 제시되고 있다.

방재성능목표란 홍수, 호우 등으로부터 재해를 예방하기 위한 방재정책 등에 적용하기 위하여 처리 가능한 시간당 강우량 및 연속강우량의 목표이다. 본 연구에서는 사업지구의 도시방재성능 목표를 만족하고 치수 안정성을 확보할 수 있도록 확률강우량보다 크게 제시되고 있는 서울시 도시방재성능 목표강우량(95mm/hr)을 설계강우로 채택하였다.

표 2. 서울시 확률강우량 및 도시방재성능 목표강우량 비교

구분	목표년도	확률강우량			비고
		1시간	2시간	3시간	
도시방재성능목표	30년 빈도	95.0	135.0	165.0	채택
금회 검토 확률강우량	30년 빈도	92.4	136.2	173.7	
	50년 빈도	99.9	147.5	188.8	

3. 모형의 검토

백운동천, 중학천으로 구분하여 강우사상에 대해 수위비교를 실시하였으며, 수위 비교 결과를 바탕으로 각 지점의 모형의 보정을 실시하였다. 자하문로 사거리(경북구역 C형 관로)와 광화문 사거리(광화문사거리 C형 관로)의 경우 만곡관으로 이루어져 있어 우수관로의 굴곡 및 급 확대/축소 등과 같은 기하학적 변수에 따른 손실의 적용이 필요한 것으로 판단되어 손실계수 적용에 따른 민감도를 분석하여 모형 보정을 검토하였다. 적정 손실계수를 적용하여 모형의 수위자료와 수위 관측자료를 비교하여 이에 대한 상관관계를 분석하여 나타내었다.

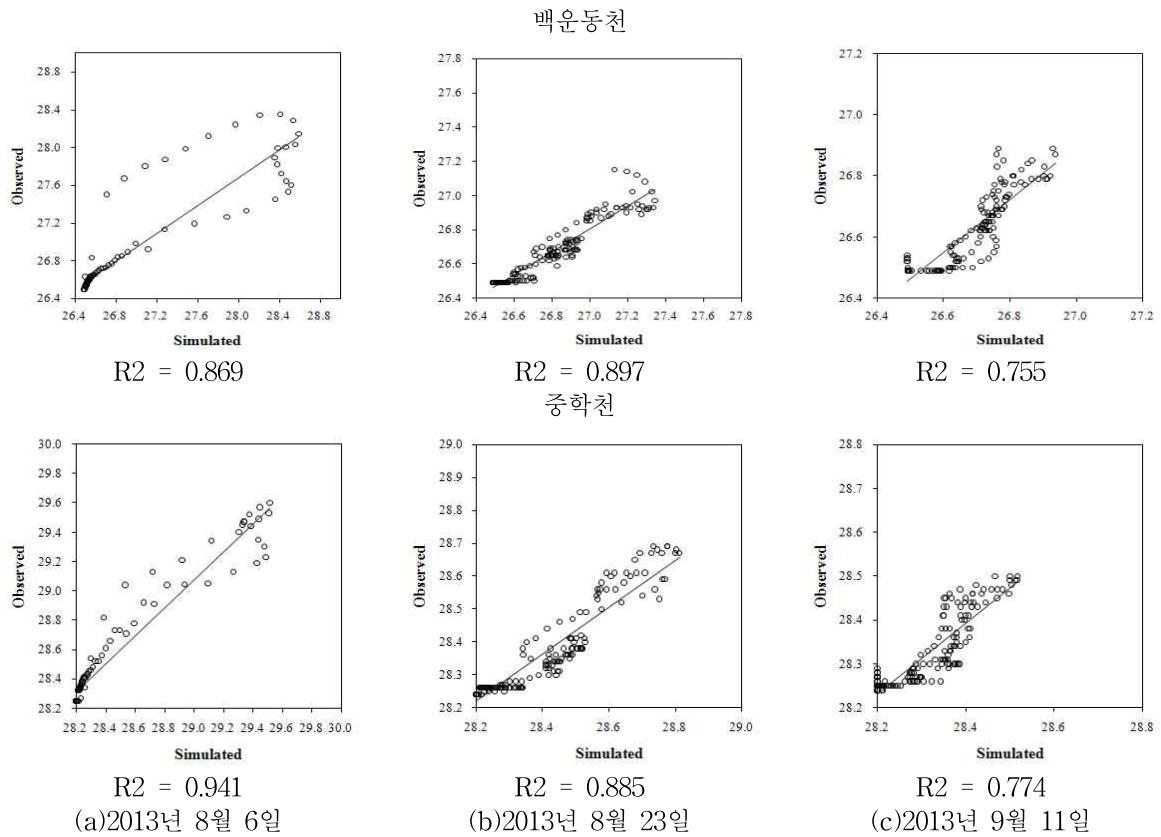


그림 2. 수위관측자료 및 수위모의결과 상관관계

4. 노드 분석 조건에 따른 침수발생량 분석

전체관로에 대하여 노드조건을 담수허용, 2D연결, 담수없음 조건으로 모형을 수행할 경우 과연 어떠한 결과가 도출되는지를 강우조건 95mm/hr에 대하여 분석하였다. 담수없음 조건의 경우 125,720m³의 침수가 발생하고 노면 수위상승 인한 동수경사 영향이 반영된 압력관로가 침수 계산시 고려되지 않는다. 따라서, 노드간 중복으로 계산되는 침수발생량이 나타나지 않는다. 담수허용, 2D연결로 모형을 수행할 경우 침수발생량은 각각 317,558m³, 278,172m³이며 지면의 경사가 충분히 있는 지역에 침수가 발생하더라도 일정 수심 이상의 수두(동수경사선)가 형성되어 침수를 추가로 유발하게 되어 담수없음 조건에서의 침수발생량에 비해 과다하게 나타난다.

2D연결로 모형을 구성하는 것은 상류는 급경사 지대이고 하류부는 구릉지 형태인 효자배수분구의 침수발생량을 모의하는데 다소 불합리한 측면이 있다고 판단된다.

표 3. 노드 조건에 따른 침수발생량 비교

구분	담수허용	2D연결	담수없음
침수발생량(m ³)	317,558	278,172	125,720
총유출량대비 침수량 비율(%)	86.9	76.1	34.4

5. 결 론

효자배수분구에서 강우조건 95mm/hr에 대해 노드조건에 따른 침수발생량을 분석해 보았으며 2D연결, 담수허용 조건에서의 침수발생량이 담수없음 조건과 비교하여 1.2-2.8배의 침수발생량이 추가로 발생하는 것으로 검토되었다.

XP-SWMM의 2차원 모델링의 한계는 크게 2가지로 설명할 수 있다. 첫째, 2차원 해석에서 노드를 역류한 유출수는 지면에 담수되고 노면경사에 따라 지표면을 흘러가게 된다. 여기서, 담수된 노드의 수위로 인한 에너지 영향으로 하류관로의 침수가 부가적으로 유발하게 되는데 문제는 실제 경사가 급한 지역의 경우 노드에 유출수가 담수되지 않고 하류로 지면을 따라서 확산되어 담수영향으로 인한 하류관로 침수가 추가적으로 유발되지 않을 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 둘째, 실제로 유역 내에서 발생하는 침수는 맨홀을 통해 역류한 유출수에 의해서 뿐만 아니라 유역에서 발생한 유출이 맨홀로 유입되지 못해 발생하는 경우도 많으며 이를 고려하지 못하는 것 또한 모형의 한계라 할 수 있다.

신뢰성 있는 모의결과를 위해 지역 특성에 맞는 노드 조건을 고려해 침수발생량을 검토해야 한다고 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C04)에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사합니다.

참 고 문 헌

1. 권준엽(2012). 하수관로의 월류에 의한 지표유출량 계산방법에 대한 연구, 석사학위논문, 연세대학교.
2. 국립재난안전연구원(2002). 재해영향평가 실무지침서.
3. 안정환, 김건우, 조원철(2013). 침수특정치를 이용한 침수위험성 평가, 대한토목학회논문집, 제 33권 제 3호, pp. 957-964.
4. 서울시(2013). 청계천 유역 환경치수 도시관리 방안 수립 보고서.
5. 소방방재청(2010). 기후변화를 고려한 도시방재성능 목표 설정 방안 연구.
6. Phillips, B. C., Yu, S., Thompson, G. R. and de Silva, N. (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.
7. Rangarajan, S., Takamatsu, M. and Grey, G. (2008). "An integrated modeling approach to stormwater management." World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a, pp. 1-7.