

분지형 도시유역에서의 노면류를 고려한 침수모의

안정환* · 조원철** · 정재희***

Ahn, Jeonghwan* · Cho, Woncheol** · Jung, Jaehee***

Flood Simulation for Basin-Shaped Urban Watershed Considering Surface Flow

ABSTRACT

Urban runoff models have been continuously developing with concerns for urban flood. Recently, models that be able to quantitatively analyze surface inundation caused by overflowed water from storm sewer were also developed by coupling 1-dimensional sewer model and 2-dimensional surface flow model. However, only overflowed water from storm sewer can be analyzed by the models have been developed until now. They are limited to be not able to analyze surface inundation caused by surface runoff that could not flow into the storm sewer. In order to overcome the limitation, basin-overlap method was devised adding a dummy 1-dimensional sewer layer to the model, so it can consider the efficiency of inflow to the storm sewer system. XP-SWMM 2011 is applied for urban runoff model and the flood event occurred on July 27, 2011 in basin-shaped Sadangcheon watershed is chosen for study inundation event. According to simulation results basin-overlap method reappear the observed inundation event more precisely than traditional method. This results suggest that drainage system has to be improved for reducing inundation caused by surface runoff and would be used as considerations for planning an urban basin design magnitude.

Key words : XP-SWMM 2011 model, Basin-overlap method, Flood characteristic values, Surface flow, Surface slope, Inflow efficiency

초 록

도시홍수에 대한 관심과 함께 도시유출모형은 지속적으로 발전해왔다. 최근에는 1차원 우수관망 해석 모형과 2차원 지표면 흐름 모형을 연계하는 방법으로 지하 우수관으로부터의 월류량으로 인한 지표면 침수를 정량적으로 해석할 수 있는 모형이 개발되기도 하였다. 그러나 현재까지 개발된 도시유출모형은 지하 우수관으로부터의 월류량으로 인한 침수만 해석할 수 있으며, 지하 우수관로 시스템으로 유입되지 못한 노면류에 의한 침수는 해석할 수 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 도시유출모형 구성 시 지하 우수관로 시스템으로의 유입 효율을 고려할 수 있는 가상의 1차원 우수관망 레이어를 추가하는 유역중첩법을 고안하였다. 도시유출모형으로는 XP-SWMM 2011 모형을 이용하였으며, 2011년 7월 27일에 급경사 분지형인 서울시 사당천 유역에서 발생한 홍수사상을 분석 대상으로 하였다. 모의결과 유역중첩법으로 모의한 경우가 일반적인 방법으로 모의한 경우에 비해 측정된 침수현상을 유사하게 구현하였다. 노면 유출수로 인한 침수를 저감하기 위해 배수시설 개선이 필요함을 밝혔으며, 분지형 도시유역의 치수계획규모 설정 시 고려사항으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

검색어 : XP-SWMM 2011 모형, 유역중첩법, 침수특성치, 노면류, 노면 경사도, 유입효율

* 정희원 · 교신저자 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정 (Corresponding Author · Yousei University · ahn.jeonghwan@gmail.com)

** 정희원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수 (woncheol@yonsei.ac.kr)

*** 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사 (jaeheejj@naver.com)

Received February 5, 2014/ revised February 25, 2014/ accepted March 19, 2014

1. 서론

최근 기후변화로 인해 발생하고 있는 국지성 집중호우는 막대한 피해를 가져왔다. 특히 도시지역에서의 집중호우는 사회기반시설 및 인명에 대한 심각한 피해를 발생시켰다. 2010년 9월 21일과 2011년 7월 27일 수도권 중심에 내린 집중호우로 인해 서울시 광화문 사거리, 강남 사거리, 사당천 일대 등 우수배제 시스템이 잘 갖추어져있는 도심지에 침수 피해가 반복적으로 발생하는 경향을 보이고 있다.

도시구역의 침수는 강우 규모가 배수시스템의 용량을 초과하거나, 하천수위 상승으로 관로 내에 배수가 발생함으로써 우수 배제를 제대로 수행하지 못할 경우에 발생하며, 이러한 도시구역의 침수는 비도시구역에 비해 공공 기반시설 및 개인재산에 막대한 피해를 일으키게 된다(Sim, 2008). 최근 우리나라의 도시지역에서 발생하고 있는 침수피해의 양상을 살펴보면 Sim (2008)의 연구에서 언급한 우수관로를 통한 월류 및 하천 수위 상승에 의한 침수피해와 함께 노면수가 우수배제 시스템으로 제대로 유입되지 못하여 발생하는 침수피해가 빈번히 발생하고 있다.

침수피해규모를 줄이기 위해 과거에는 대표적인 유출모형인 EPA SWMM, ILLUDAS 등과 같은 1차원 모형을 이용한 연구가 진행되었으며 근래에는 2차원 모형개발과 함께 1차원과 2차원 모형을 연계시킨 하나의 패키지로화된 프로그램들이 개발되어 상용화되고 있다. Lee and Yeon (2008)은 XP-SWMM 모형을 이용하여 도시지역의 침수심, 침수면적을 시간대별로 모의하였으며, 침수 해석 시 건물의 영향을 고려하여 침수범위를 분석하였다. Phillips et al. (2005)은 도시지역의 2차원 침수해석을 위해 TUFLOW 엔진과 XP-SWMM 모형을 이용한 1D/2D 모델링을 실시하여 그 적용성을 평가하였으며, Rangarajan et al. (2008)은 미국 버지니아주 내의 학교 내외부를 대상지역으로 정하여 XP-SWMM과 2차원 엔진인 TUFLOW 연계를 통해 2차원 홍수 해석이 더 효과적임을 증명하였다. Seocho-gu (2012)에서는 내수재해 위험요인 분석 모형으로 XP-SWMM 모형을 선정하고, 10년, 30년 빈도 확률강우와 2011년 실 강우에 대한 서초구의 실제 피해정도를 비교·분석하였다. 하지만 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 있다.

본 연구에서는 현재 도시침수모의 분야에서 가장 널리 사용되고 있는 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 제시한다. 수치표고모형(DEM)으로부터 경사도를 추출하여 격자크기가 지형의 경사도

분석에 미치는 영향을 분석한 Yang and Kim (1997)의 연구를 참고하고, 도로의 노면 배수시설 설계에 중요한 요소가 되는 침수정길이 산정과 경사에 따른 유입효율을 분석한 Yi (2002)의 결과를 이용하여 경사에 따른 노면류의 유입효율을 고려할 수 있는 1차원 레이어를 추가하였다. 노면수 배제불량에 의한 침수가 주요침수원인이 될 수 있는 경사가 급한 분지형 지역에 적용함으로써 침수현상을 실제에 가깝게 수치모형으로 구현하고자 하였다.

2. 침수해석 모형

본 연구에서 적용한 모형은 EPA SWMM 엔진 기반의 XP-SWMM 2011 모형으로 도시구역의 하수 및 우수 관망 해석과 침수모의가 가능한 해석 프로그램이다. 또한 유출량 분석뿐만 아니라 범람과 오염된 수질에 관한 분석에 사용된다. 본 연구에서 적용된 XP-SWMM 2011 모형은 2010 버전부터 TUFLOW 엔진의 도입으로 1차원과 2차원 분석을 동시에 수행할 수 있게 되었다. 1차원 해석은 Runge-Kutta의 2차 유한 차분을 사용하며, 2차원 해석은 Stelling의 유한 차분 방법 즉, ADI (Alternating Direction Implicit) 기법에 의한 천수 방정식을 사용하여 2차원 해석을 수행한다. 본 연구에서 사용한 XP-SWMM 2011 모형은 1차원, 2차원 두 엔진을 연계하여 수리·수문학적인 분석을 실시한다. 하지만 지상에 내린 강우는 100% 우수관로로 유입된다는 가정으로써 관로 내에서 지표로 월류한 경우에만 DTM (Digital Terrain Model)을 통해서 강우가 지표로 흐르게 모형이 구성되어있기 때문에 분지형태를 이루고 있는 유역의 경우 강우가 배수시설에 유입되지 못하고 노면으로 흘러가는 현상을 구현하는데 한계가 있다. 이를 보완하고자 경사면에 따른 노면류의 유입효율(Yi, 2002)을 고려하고 이를 모형에 적용하여 보다 정확한 내수 침수현상을 구현할 수 있도록 하였다.

3. 연구대상 지역현황

3.1 사당천 유역의 특성과 일반현황

본 연구의 대상지역인 서울시 사당천 유역은 8개의 배수분구로 구성되어 있으며 서초구와 동작구, 관악구인 3개의 구를 포함하고 있다. 사당천은 하구를 기준으로 유역면적 13.70km², 하천연장 4.84km, 유로연장 7.47km 인 지방2급 하천이다. 사당천은 복개하천으로 하폭은 약 5~26m, 하상경사는 1/566~1/36로 상류 3분의 1지점까지는 경사가 급한 편이나 하류부는 완만하다(Seocho-gu, 2012). 사당천의 상류부인 사당역 사거리의 동·서·남측 방면이 급한 경사를 이루고 있는 분지형 도시구역이며 도시화에 따른 도로포장 등에 의해 불투수층으로 구성되어 있어 빗물받이에 미쳐

유입되지 못한 노면수가 사당천 본류(하류부 저지대)까지 도달하여 침수가 가중되는 특징을 보이고 있다. 중·하류부는 경사가 급격히 완만해지며 저지대를 형성하고 있어 대상지역의 하수관거 설계기준인 30년 빈도를 넘는 국지성 집중강우 시 내수배제 불량 및 지형적 취약성에 의한 침수가 빈번히 발생하고 있다.

3.2 입력자료

3.2.1 관망자료

XP-SWMM 2011 모형의 1차원 관망구성을 위하여 서울특별시로부터 제공받은 사당천 유역의 관망자료와 수치지도를 이용하였다. 본 연구를 위해 총 1,370ha의 면적인 8개의 소배수역을 415개의 소유역으로 나누었다. 경사도에 따른 강우의 유입효율을 고려하지 않은 일반 모의 방법은 486개 노드와 498개 링크로 모형을 구성하였고, 유역중첩방법을 적용한 모형은 972개 노드와 996개 링크로 구성하였다.

3.2.2 지형자료

XP-SWMM 2011 모형에서 2차원 지표면 흐름을 분석하기 위해 사당천을 중심으로 한 1:5,000 축척의 수치지도(도엽번호 37608100~37709011)를 통해 작성한 DTM (Digital Terrain Model)을 이용하여 지표면 자료를 구축하였다. 수치지도의 표고값 속성을 갖고 있는 등고선 레이어 F0027217, F0017111, F0017114을 선택하여 Shape 파일을 생성한 후 TIN (Triangular Irregular Network)을 구축하고 XP-SWMM 상에서 DTM으로 변환하여 지형자료를 구축하였다. 격자는 27m × 27m 크기의 셀, 약 29,000

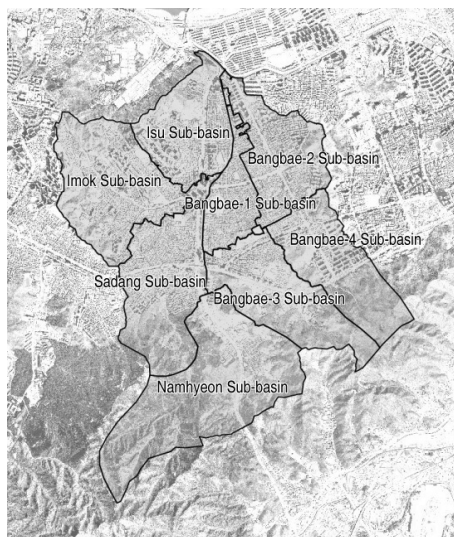
여개로 구성하여 DTM의 범위에 맞게 적용하였으며, 2차원 해석 범위는 북쪽으로는 사당천과 반포천 합류점, 남쪽으로는 배수분구의 끝인 남현배수분구를 포함하였다. Fig. 1(a)는 사당천 유역의 배수분구를 도시한 것이며, Fig. 1(b)는 XP-SWMM 2011 상에서 구축한 DTM이다.

4. 모형의 개선 및 효과 분석

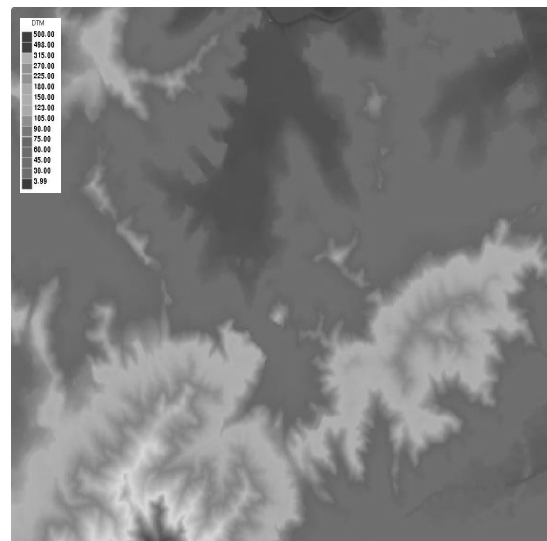
서초구 풍수해저감종합계획 수립 보고서(Seocho-gu, 2012)의 침수현황 조사자료와 2011 수해백서(Seoul Metropolitan, 2012)의 침수현황을 토대로 모형을 구성하였다. 모형을 검증하는 과정에서 급경사 분지형태를 보이는 사당천 유역특성을 고려하여 검증을 하였고 XP-SWMM 2011 모형의 개선방안을 마련하였다. 2011년 7월 27일 기습적인 폭우로 저지대 하수관거의 통수불능과 급경사지의 노면류가 배수시설에 유입되지 못하여 침수가 발생하였다(Seocho-gu, 2012). 분지형태를 이루고 있는 사당천 유역의 경우 현재 상용화되고 있는 XP-SWMM 2011 모형에 적용할 시 급경사 및 불투수층으로 인하여 노면수가 빗물받이 등의 배수시설에 유입되지 못하고 하류부 노면에 흘러 모형의 결과 값인 침수구역도와 Ahn et al. (2013)의 연구에서 제시한 침수특성치(Flood characteristic values)를 정확하게 산출할 수 없는 특이성을 보였다.

4.1 일반모형의 침수모의

실제 침수모의를 위해 XP-SWMM 2011 모형을 이용하여 2011년 7월 27일의 실 강우를 적용하고 모의한 결과 실제 침수를 일으켰



(a) Sadangcheon Watershed and Sub-basins



(b) Sadangcheon Watershed DTM

Fig. 1. Sub-basins and DTM of Sadang Watershed

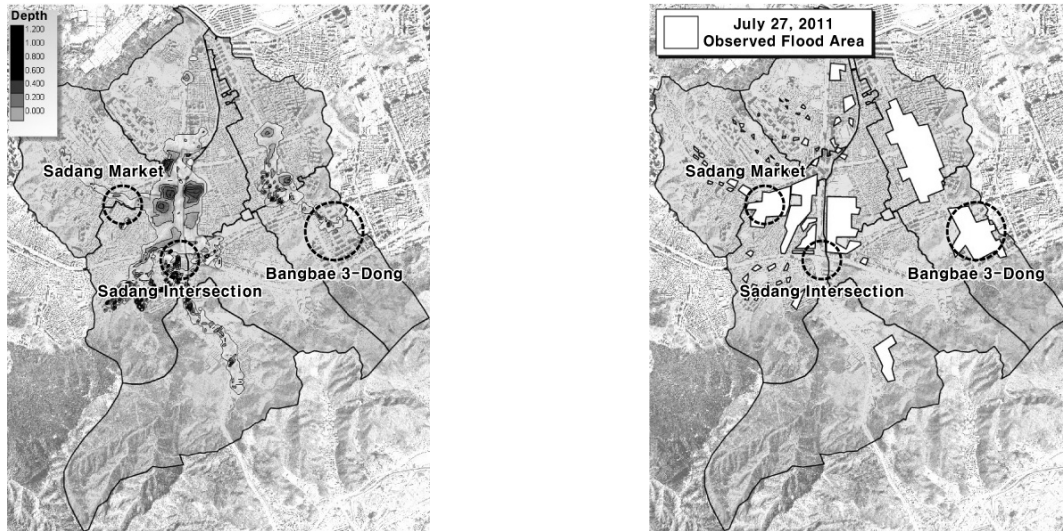
던 사당역과 방배역 사거리 및 급경사 지대에서의 침수양상을 구현하지 못하였다. 급경사로 이루어진 분지형 지역의 경우 모형 상에서 강우가 지하 우수배제 시스템으로 유입되지 못하고 노면으로 바로 흘러내리는 노면류 현상을 표현하지 못하고 맨홀에서 월류가 발생했을 때의 유출만을 표현하는 모형의 특징 때문이다.

Fig. 2(a)는 노면 유출수를 고려하지 않은 침수구역도로 2011년 7월 27일 실 강우를 적용하였으며 경사도에 따른 배수시설로의 강우 유입효율을 고려하지 않은 일반적인 XP-SWMM 모형의 모의 결과를 나타낸 것이다. 모의분석 결과 일반모형 모의 침수구역도(Fig. 2(a))와 실제 침수구역도(Fig. 2(b))의 비교를 통해 수치모의에서는 급경사면에서 강우가 빗물받이에 유입되지 못하고 흘러가는 노면류 현상이 나타나지 않음을 알 수 있었고 단지 하류부 맨홀에서의 월류형 침수만 나타나 실제 경사지에서의 침수양상과는 다르게 나타남을 알 수 있었다.

4.2 유역중첩방법

XP-SWMM 2011모형은 구분된 소유역에서 발생한 강우는 지정된 맨홀로 유입된 후 우수관로를 통해 유출되다 우수관로의 통수능 부족, 하류부 수위 상승 등의 원인에 따라 수두가 지표면 이상으로 상승할 경우 맨홀을 통해 월류가 발생하고 월류된 수량이 2차원 지표면 흐름 모형의 입력자료가 되는 전형적인 1, 2차원 연계모형의 수치모의 흐름을 갖는다. 본 연구에서는 유역에 발생한 강우 중 맨홀을 통해 우수관로로 유입되는 강우와 유입되지 못하고 바로 지표면으로 유출되는 강우를 구분하여 모의하기 위해 유역중첩방법을 제시한다. 유역중첩방법은 Fig. 3과 같이 침수를 모의할 2차원 지표면모형에 두 개의 1차원 우수관로모형을 연계모의 하는 방법으로 수치모형을 구성한다.

두 개의 1차원 우수관로모형 중 하나는 실제 관로자료를 이용하여 구성하고 나머지 하나는 실제 관로 모형과 맨홀의 위치는 같으나



(a) Simulated Flood Inundation Map for Not Considering Surface Flow (b) Observed Flood Inundation Map (July 27, 2011)

Fig. 2. Simulated and Observed Flood Inundation Map

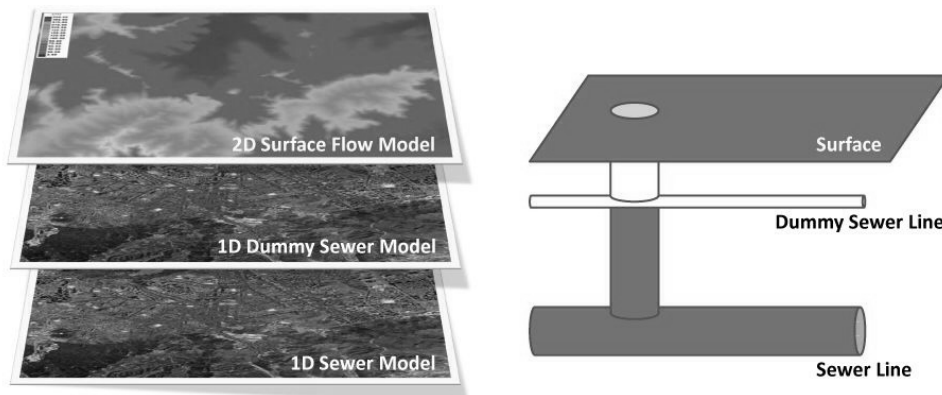


Fig. 3. Illustration of Basin-Overlap Method

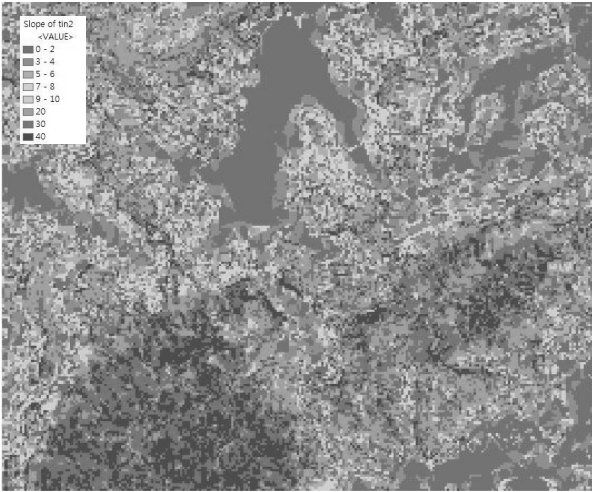


Fig. 4. The Surface Slope

Table 1. A Inflow Efficiency by Surface Slope

Slope (%)	Real model (%)	Dummy model (%)
2	97	3
4	85	15
6	82	18
8	80	20
10	77	23
Over 10	70	30

관로의 통수능을 0에 가깝게 구성하여 강우 발생 후 맨홀로 유입되는 유출량이 유입과 동시에 지표면으로 월류되도록 한다. 2차원 지표 흐름 계산을 위하여 GIS에서 구축한 수치표고모델을 이용하여 XP-SWMM 2011 모형 상에서 DTM을 구성한다. 구성된 DTM은 모형상의 지표로써 관로의 통수능 부족으로 인해 지표로 넘친 월류량과 강우단계에서 분리하여 적용한 가상관로의 유량이 함께 지표를 통해 흐르도록 두 관로모형이 공유한다. 또한 지표면 경사도로 유역을 구분하여 경사에 따른 유입효율(Yi, 2002)에 따라 대상 강우의 실제관로 유입용 강우와 가상관로 유입용 강우자료를 작성하여 모형에 적용시킨다. 유역중첩방법의 지표면 경사도 분석을 위해 수치지도에서 선택한 등고선을 이용하여 GIS 상에서 대상지

역의 TIN을 생성하고 이 자료를 이용하여 2~10% 이상으로 구분하여 노면 경사도 자료를 구축한다. 구축한 자료를 XP-SWMM 모형의 Background image로 적용하여 각 맨홀 지점이 위치한 경사도에 따라 각 %에 맞는 적정 강우를 적용시킨다. Fig. 4는 GIS를 이용한 지표면 경사도이고 Table 1은 노면 경사도에 따라 강우의 유입효율을 구분한 것이다.

Fig. 5는 유역중첩방법의 모형 구축 순서도이다. 유역중첩방법을 이용하여 침수모의를 한 결과 실제 침수구역도와의 비교를 통해 경사면에서의 노면 유출수를 고려한 침수모의가 가능하게 되었음을 확인하였으며 실제 침수구역도와 비교하였을 때에도 유사한 양상을 보였다. 뿐만 아니라 불투수층 및 배수시설에 의해 유입되지 못하고 경사를 따라 흘러 노면수가 저지대에 쌓임을 확인하였다. 특정지점의 침수심을 분석한 결과 노면류를 고려하지 않은 일반모의의 경우 침수심의 평균상대오차는 22.4%를 보인 반면에 유역중첩방법을 적용한 노면류를 고려한 모의의 경우 평균상대오차가 6.83%를 보여 평균오차 15.57%가 감소한 결과를 통해 유역중첩방법을 적용한 모형이 보다 정확한 침수모의인 것으로 판단하였다. Fig. 6은 노면류를 고려한 유역중첩방법으로 모의한 침수구역도이며, Table 2는 노면류 고려에 따른 모의 침수심과 실제 침수심을 나타낸 것이다.

Figs. 2 and 6의 침수구역도에 나타난 침수면적을 비교한 결과 Fig. 2(a) 노면류를 고려하지 않은 일반 모형의 침수면적은 141ha로 Fig. 2(b)의 주요 피해지역으로 나타난 건물 피해면적과 도로면의 침수면적을 합한 194ha와 비교해 침수면적이 작게 나타났다. 이는 XP-SWMM 모형 상에서 모의결과 나타난 2차원 침수가 급경사지에서의 노면류를 고려하지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 이와 달리 유역중첩방법을 적용한 모형의 경우 203ha으로 실제 침수면적과 9ha 차이로 유사하게 나왔으며 Figs. 2(b) and 6을 비교했을 때 침수양상이 유사하게 나타났다. 그러나 경사면에서의 배수시설 개선을 통해 노면류가 빗물받이 등으로 원활히 유입되었을 경우 일반모의와 같이 유역 상류부의 침수피해뿐만 아니라 하류부 저지대 또한 침수피해가 감소할 것으로 판단된다. Table 3은 일반 모의 방법 및 유역중첩방법을 적용한 모형과 실제 침수양상을 침수면적으로 비교하여 나타낸 표이다.

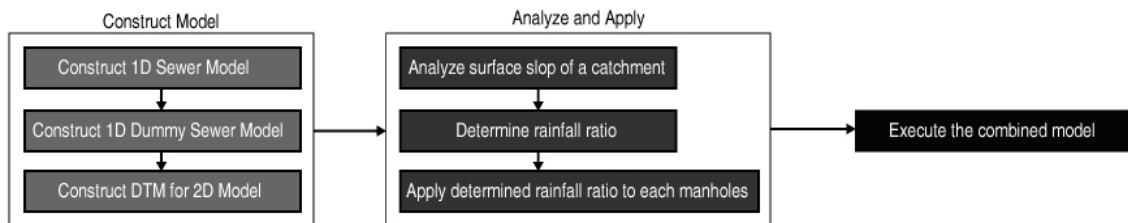


Fig. 5. The Method of Basin Overlap

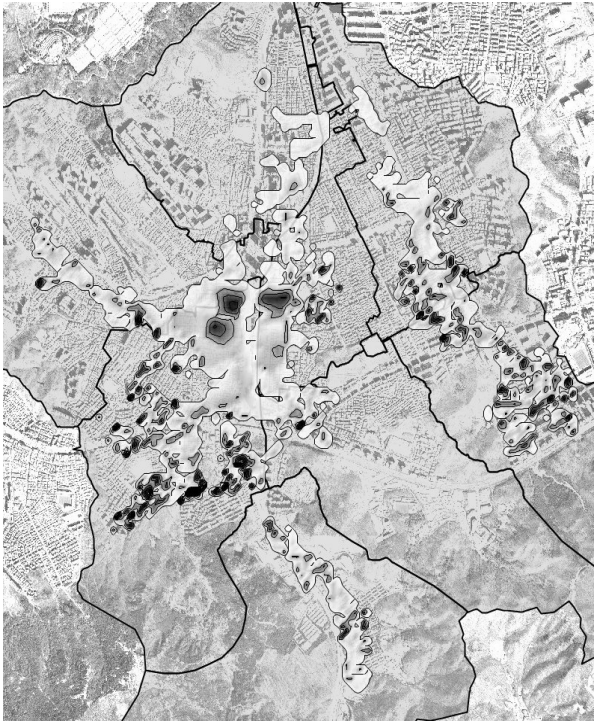


Fig. 6. Flood Inundation Map of Basin-overlap Simulation

Table 2. Comparison of the Flood Depth

Site	Observed depth	Simulated depth			
		Traditional simulation		Basin-overlap method	
		Depth	Relative error	Depth	Relative error
Sadang station Exit 1	0.45m	0.319m	29.1%	0.412m	8.44%
Sadang station Exit 3	0.55m	0.461m	16.2%	0.487m	9.64%
Sadang station Exit 12	0.37m	0.294m	20.5%	0.354m	4.32%
Bangbae station Exit 12	0.29m	0.220m	24.1%	0.305m	4.92%

Table 3. Comparison of the Flood Area

Site	Observed flood area	Simulated flood area			
		Traditional simulation		Basin-overlap method	
		Area	Relative error	Area	Relative error
Sadangcheon watershed	194ha	141ha	27.6%	203ha	4.6%

5. 결론

본 논문은 분지형 도시구역의 노면류를 고려한 침수모의에 관한 연구이다. 2011년 7월 27일 사당천 구역에서 발생한 침수피해를 구현하기 위해 XP-SWMM 2011 모형을 이용하고, 노면류에 의한 침수현상을 실제와 유사하게 모의할 수 있는 유역중첩방법을 모형에 적용하였다. 모형에 적용된 강우자료는 최근 국지성 강우의 특징을 보이며 연구대상지역에 침수피해를 발생시켰던 2011년 7월 27일 실 강우자료를 이용하였다. 모의 결과를 일반모의방법과 유역중첩방법을 적용한 모형을 나누어 침수특성치와 침수구역도로 제시하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

분지형 도시구역에 호우가 발생할 경우 XP-SWMM 2011모형 모의 시 급경사지의 침수현상을 정확하게 나타내기 위해 실제 관로모형과 가상 관로모형이 중첩된 유역중첩방법을 적용하여 모의하였다. 유역중첩방법을 적용한 모의 침수구역도와 실제 침수구역도를 비교한 결과 경사면에서의 침수가 유사한 형태로 발생했음을 확인하였다.

침수특성치 중 침수면적의 경우 실제 침수면적과 유역중첩방법을 적용한 침수면적은 9ha 차이로 상대오차가 4.6%인 반면에 일반 모의 방법은 상대오차가 27.3%로 유역중첩방법의 침수면적이 실제 침수면적과 유사하게 산출되었다. 또한 특정지점의 침수심을 비교한 결과 실제 침수심과 비교했을 때 평균상대오차가 일반 모의 방법 침수심의 경우 22.4%인데 반해 유역중첩모형 침수심의 경우 6.83%로 특정지점의 침수심 또한 유역중첩방법을 적용한 모형이 더 정확하였다.

유역중첩방법을 적용한 XP-SWMM 2011 모형 모의를 통해 경사면에서의 노면유출현상을 보다 정확하게 구현함으로써 분지형 도시구역의 2차원 침수해석을 통한 치수계획규모 설정 시 주요 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 급경사지의 노면 배수시설 개선에 의한 노면 유출수 감소가 필요함을 제시하는 바이다.

References

- Ahn, J., Cho, W. and Kim, H. (2013). "Flooding risk assessment using flooding characteristic values." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 33, No. 3, pp. 957-964 (in Korean).
- Jung, J. (2012). *Flood management plan of basin-shaped urban watershed -Focused on Sadangcheon watershed in Seoul, a Master's Degree*, Yonsei University, Seoul, Korea (in Korean).
- Lee, J. and Yeon, K. (2008). "Flood inundation analysis using XP-SWMM model in urban area." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 8, No. 5, pp. 155-161 (in Korean).

- Korean).
- 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.
- 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.
- Seocho-gu (2012). *A comprehensive program for reduction of storm and flood damage* (in Korean).
- Seoul Metropolitan (2002). *Seoul metropolitan flood disaster whitepaper* (in Korean).
- Sim, O. (2008). "Urban inundation damage and policy tasks in Korea." *KRIHS Brief, KRIHS*, Vol. 189, pp. 1-8 (in Korean).
- Yang, I. and Kim, Y. (1997). "The effect of grid size in a slope analysis of terrain by DEM for hydrological analysis." *Journal of Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography, KSGPC*, Vol. 15, No. 2, pp. 221-230 (in Korean).
- Yi, S. (2002). *Analysis of Inflow efficiency of road drainage inlet*, a Master's Degree, Yonsei University, Seoul, Korea (in Korean).