

Dual-Drainage 도시침수해석

Dual-Drainage Urban Inundation Analysis Model

한건연* / 이창희** / 김지성***

Han, Kun Yeun / Lee, Chang Hee / Kim, Ji Sung

요 지

최근에 들어 도시지역에서는 국지성 집중호우에 의한 홍수피해가 증가하는 경향이 있으며, 우수설비 시스템이 비교적 갖추어진 개발 지역에서도 기존의 우수설비시스템의 용량이 초과되어 큰 침수피해가 발생하고 있다. 홍수규모가 배수시스템의 용량을 초과할 경우 건물, 공공기반시설 등 재산 및 인명 등에 있어 많은 피해를 야기하고 있으며, 도로의 침수는 운송 시스템의 기능에 문제를 일으키게 되어 도시의 산업과 기능을 마비시킨다. 이러한 도시지역 홍수에 대비하여 도시지역의 복잡한 지형 형상과 인위적 배수시스템을 함께 고려하여 해석할 수 있는 침수해석모형의 개발이 필요하다.

MOUSE와 SWMM(Storm Water Management Model) 계열 모형들(EPA SWMM, MIKE SWMM, XP SWMM, PC SWMM)(Huber and Dickinson, 1988)은 도시유출해석에 많이 이용되고 있다. 그러나, 이들 모형들은 과부하된 유입구에서의 범람되는 홍수유량곡선만을 제공하며 지표면 범람 지역, 수심, 및 침수기간에 대한 상세한 정보를 제공하지 못한다. 따라서, 도시배수체계모형과 도시침수모형에 대해 상호연계를 수행할 수 있는 새로운 도시범람 모형이 도시지역에서 홍수로 인한 침수해석을 모의하는데 필요하다.

배수시스템 해석 모형의 계산결과를 이용하여 침수해석을 수행하는 연계모형의 경우 침수초기 월류지점으로 부터의 침수진행과정을 잘 모의할 수 있다. 그러나, 지형의 기복이 있는 유역에서 배수시스템을 통한 지표침수유량의 배수과정을 고려하지 못함으로 인하여, 월류발생이 끝난 후 일부지점이 계속 침수된 채 있게 된다. 이러한 연계모형의 한계로 인하여 두 모형의 통합모형이 필요하다. 즉, 강우 혹은 월류 유량으로 발생한 지표유량 중 일부가 과부하가 발생하지 않는 유입구 지점을 통과할 때 배수시스템으로 유입되는 것을 고려할 수 있고, 유입된 유량은 배수시스템 내의 흐름에 반영되도록 배수시스템과 침수해석모형을 통합한 모형 개발이 필요하다. 그러기 위해서는 지표면과 배수시스템에 대한 수리학적 관계를 정립하여야 한다.

본 연구에서는 배수시스템 해석 모형과 도시침수해석 모형을 통합하고, 두 모형간의 유량의 전송과정을 수리학적 관계를 고려한 dual-drainage 도시침수해석모형을 개발하였다. 이를 위해 도시지역 배수시스템 해석 모형으로 널리 이용되고 있는 SWMM모형을 이용하여 지표면으로의 월류량을 산정하고 유입된 지표유량에 대해서 배수시스템에서의 흐름해석을 수행하였다. 그리고, 침수해석을 위해서는 2차원 침수해석을 위한 DEM기반 침수해석모형을 개발하였고, 건물의 영향을 고려할 수 있도록 구성하였다.

본 연구결과 지표류 유출 해석의 물리적 특성을 잘 반영하며, 도시지역의 복잡한 배수시스템 해석모형과 지표범람 모형을 통합한 모형 개발로 인해 더욱 정교한 도시지역에서의 홍수 범람 해석을 실시할 수 있을 것으로 판단된다. 본 모형의 개발로 침수상황의 시간별 진행과정을 분석함으로써 도시홍수에 대한 침수위험 지점 파악 및 주민대피지도 구축 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도시침수, Dual-Drainage, SWMM, 배수시스템

* 정회원-경북대학교 공과대학 토목공학과 교수E-mail : kshanj@knu.ac.kr)

** 정회원-서울시정개발연구원 디지털도시부 부연구위원E-mail : changehee@sdi.re.kr)

*** 정회원-경북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정E-mail : jisungk@gmail.com)

1. 서론

최근에 들어 도시지역에서는 국지성 집중호우에 의한 홍수피해가 증가하는 경향이 있으며, 우수설비 시스템이 비교적 갖추어진 개발 지역에서도 기존의 우수설비시스템의 용량이 초과되어 큰 침수피해가 발생하고 있다. 홍수규모가 배수시스템의 용량을 초과할 경우 건물, 공공기반시설 등 재산 및 인명 등에 있어 많은 피해를 야기하고 있으며, 도로의 침수는 운송 시스템의 기능에 문제를 일으키게 되어 도시의 산업과 기능을 마비시킨다. 이러한 도시지역 홍수에 대비하여 도시지역의 복잡한 지형 형상과 인위적 배수시스템을 함께 고려하여 해석할 수 있는 침수해석모형의 개발이 필요하다.

배수시스템과 침수해석모형과의 연계해석을 위한 연구동향은 다음과 같다. Hsu 등(2000)은 SWMM과 2차원 확산과 지표류 해석을 연계한 도시 침수모의를 수행하였고, Mark 등(2004)은 배수시스템과 연계하여 침수해석을 1차원적으로 해석한 바 있다. 그러나, 배수시스템 해석 모형인 SWMM모형의 계산결과를 이용하여 침수해석을 수행하는 연계모형의 경우 월류지점으로부터의 침수진행과정을 잘 모의할 수 있으나, 월류발생이 끝난 시간에도 지형상의 영향으로 인하여 일부 침수유량이 일부지점에 계속 침수된 채 있는 등 지표침수유량의 배수과정을 제대로 모의하지 못할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 침수지역에 대한 지표류 홍수 추적시 일부 침수유량이 과부하가 발생하지 않는 유입구 지점을 통과할 때 다시 배수시스템으로 유입되는 것을 고려하여 재유입되는 양을 산정하고 유입된 유량은 배수시스템 내의 흐름에 반영되도록 배수시스템과 침수해석모형을 통합한 새로운 모형을 개발이 요구된다.

본 연구에서는 Dual-Drainage 개념(Djordjevic 등, 1999; Schmitt 등, 2004)에 의한 도시침수해석모형을 개발하였고, 이를 위해 도시지역 배수시스템 해석 모형으로 널리 이용되고 있는 SWMM 모형과 월류유량의 전과과정을 계산하는 DEM기반 침수해석모형을 통합하고, 모형의 적용성을 검토하였다. 본 모형의 적용을 위한 대상 배수구역으로는 과거 침수 기록이 있는 지역으로서 우수지의 수위 상승 및 관거용량 부족에 의한 침수가 빈번히 발생한 도립 배수구역에 대해서 적용하였다. 본 모형의 개발로 침수상황의 시간별 진행과정을 분석함으로써 도시홍수에 대한 침수위험지점 파악 및 주민대피지도 구축 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. Dual-Drainage 도시침수해석모형의 개요

Dual-Drainage 침수해석모형은 1차원 배수시스템 해석모형과 2차원 지표침수해석모형이 통합된 도시침수해석모형이다. Dual-Drainage 도시침수해석모형은 배수시스템에서의 범람유량을 산정하고 이로 인한 지표면 침수 해석을 실시하도록 개발되었다. 지표 침수 유량 중 일부는 월류가 발생하지 않는 유입구 지점을 통과할 때 다시 배수시스템으로 유입되는 것을 고려함으로써 재유입되는 양을 산정하고 유입된 유량은 배수시스템 내의 흐름에 반영된다.

3. 모형의 적용

지표면으로 월류된 유량이 배수시스템으로 다시 유입되지 않고 지표면으로만 전과되는 것으로 가정한 경우와 Dual-Drainage 침수해석모형을 이용한 적용결과와 비교검토를 수행하였다. 본 모형의 적용을 위한 대상 배수구역으로는 과거 침수 기록이 있는 지역으로서 우수지의 수위 상승 및 관거용량 부족에 의한 침수가 빈번히 발생한 도립 배수구역에 대해서 적용하였다. 적용 강우사

상은 서울시에 많은 침수피해를 입힌 2001년 7월 14일~15일 동안의 사상을 이용하였다.

도림 배수구역은 유역면적이 189.5ha이고, 산지가 거의 없는 평탄한 지형이며, 대림1동, 대림3동 및 대림2동 일부의 도림천 우안변을 배수구역으로 하고 있으며, 불투수면적의 비율이 91% 정도로 포장율이 높고 충분히 도시화된 유역이다. 빗물펌프장은 도림천 중·하류부 우안측에 위치하고 우수지를 겸비하고 있다. 2001년 7월 구로관측소 강우기록일지에 의하면 7월 14일 오후부터 강우가 내리기 시작하였으며, 이 기간에 발생한 시간 최대강우량은 03:00~04:00시간의 99mm로서 1998년의 1시간 강우량 67mm를 상회하였다. 또한, 집중호우 및 빗물펌프장 용량 부족으로 인하여 도림 1 우수지의 수위가 상승하여 우수지의 H.W.L(9.5m)을 초과한 10.3m 까지 상승함에 따라 배수영향에 의한 침수가 발생하였다. 그림 1은 도림 배수구역의 주요 침수지역이다.

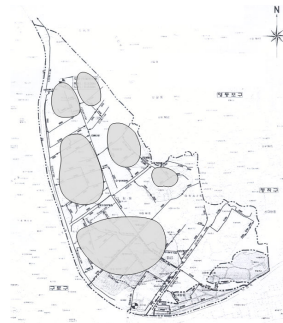


그림 1. 침수흔적도(서울특별시, 2003)

SWMM모형에서 산정되는 지표면으로 월류한 유량은 다시 배수시스템으로 유입되지 않고 지표면으로만 전파되는 것으로 가정한 경우에 대한 적용 결과는 그림 2와 같다. 월류로 인한 침수유량의 배수시스템으로의 배수를 고려하지 않는 경우 모의 초기에는 지표면을 통해 월류된 유량이 전파되어 가는 과정을 잘 모의되나, 시간이 어느 정도 흐른 뒤 배수시스템에서의 월류량 발생이 끝났음에도 불구하고 계속 침수된 채 남아 있으며 월류된 유량이 하류부로 전달되지 않고 저수지와 같이 물이 고여 있는 상태가 되었다. 이러한 이유는 지표면으로만 침수된 유량이 전파되도록 했을 경우 침수된 지역의 수위가 주변 지형보다 낮은 경우가 발생하기 때문이다.

그러나, 실제 이들 침수지점에 배수가 가능한 유입구 지점이 있다고 한다면 과부하 혹은 월류가 끝난 후 이 유입구 지점으로 물이 배수 될 것이다. 그러므로, 과부하가 발생하지 않는 배수시스템 유입구 지점을 통과할 때 일부 유량이 다시 배수시스템으로 유입되도록 고려한 Dual-Drainage 침수해석에 의한 적용이 필요하다.

그림 3은 Dual-Drainage 침수해석 결과이다. 그림 9와 비교했을 때 침수된 유량이 시간이 경과함에 따라 배수되는 과정을 잘 모의함을 볼 수 있다. 또한, 그림 6(a)의 침수흔적도에서 호우시의 도로변의 침수상황이 표시되어 있지 않으므로 이를 감안하면 모의 결과가 잘 일치하는 것으로 볼 수 있다. 일부지점에서 모의결과와 침수흔적도의 침수면적의 오차가 발생하는 것은 인접 배수구역에서 처리되지 못한 홍수량이 모의대상 배수구역으로 유입되는 경우를 반영하지 못했고, 모형의 입력자료를 구축할 때 배수시스템의 주요 간선만을 고려하여 지선에서의 월류현상에 대한 분석이 이루어지지 않았으며, 침수흔적도 역시 홍수가 끝난 후 작성되었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 본 모형은 침수흔적도에서 구현할 수 없는 시간별 침수범위와 침수심의 변동양상과 침수유량의 배수과정에 대한 모의가 가능하다. 또한, 모의 준비 과정에서 인접 배수구역에서 처리되는 못한 홍수량의 유입 영향을 고려하고, 월류 지점 및 배수지점을 잘 반영할 수 있도록 배수시스템 구축할 경우 정확한 침수예측이 가능할 것으로 판단된다.

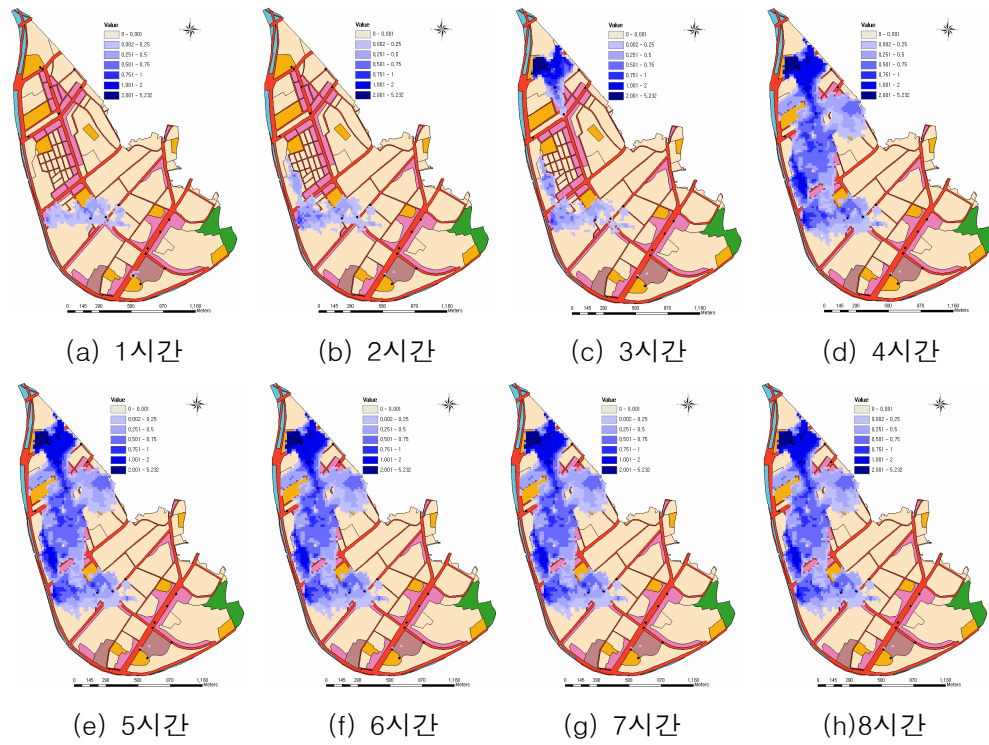


그림 2. 재유입을 고려하지 않은 경우

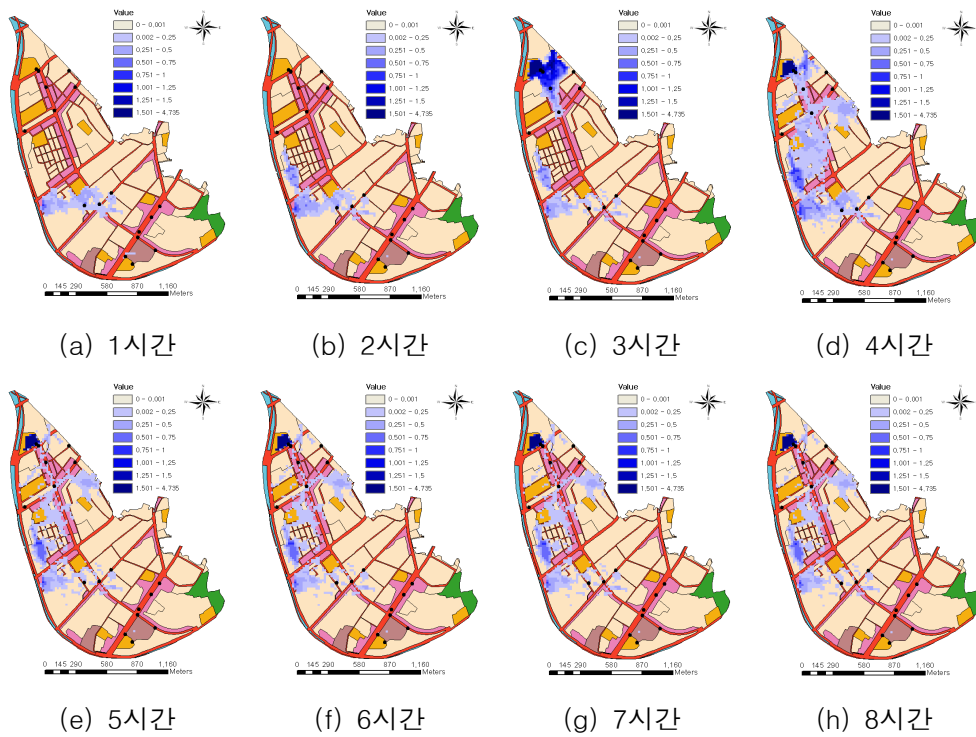


그림 3. Dual-Drainage 침수해석에 의한 적용결과

4. 결 론

본 연구는 Dual-Drainage 개념에 의한 도시침수해석 모형 개발에 관한 연구로써 본 연구의 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 지표면으로 월류된 유량은 지표면을 통해서만 전송되며 다시 배수시스템으로 유입되지 않는 경우 내수침수가 발생하는 초기에는 지표면을 통해 월류된 유량이 전과되어 가는 과정을 잘 모의하였다. 그러나, 시간이 경과한 후 지표면으로만 침수된 유량이 전과되도록 했을 경우 침수된 지역의 수위가 주변 지형보다 낮은 지점에서는 월류된 유량이 하류부로 전달되지 않고 계속 침수된 채 고여 있는 상태가 되었다.
- (2) Dual-Drainage 침수해석모형 중 유입구 지점이 위치하는 격자내의 유량이 배수시스템 내부 상태에 따라 배수시스템으로 유입되는 것으로 가정하여 해석한 경우 유입되고 남는 유량은 지표면으로 전과되고 유입된 유량은 배수시스템에서 내부 유량과 함께 모의되어, 침수된 유량이 시간이 경과함에 따라 배수되는 과정을 잘 모의함을 볼 수 있었다.
- (3) 본 연구결과 지표류 유출 해석의 물리적 특성을 잘 반영하며, 도시지역의 복잡한 배수시스템 해석모형과 지표범람 모형을 통합한 모형 개발로 인해 더욱 정교한 도시지역에서의 홍수 범람 해석을 실시할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 서울특별시 (2003), **강남지역 2001 수해원인분석에 따른 펌프장분야 기본설계**, pp. 181-193.
- Djordjevic, S., Prodanovic, D., and Maksimovic, C. (1999). "An approach to simulation of dual drainage." *Water Science and Technology*, Vol. 39, No. 9, pp. 95-103.
- Hsu, M.H., Chen, S.H. and Chang, T.J. (2000). "Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system." *Journal of Hydrology*, Vol. 234, pp. 21-37.
- Huber, W.C. and Dickinson, R.E. (1988). *Storm Water Management Model. User's Manual Ver. IV*, U.S. EPA.
- Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S.B., and Djordjevic, S. (2004). "Potential and limitations of 1D modeling of urban flooding", *Journal of Hydrology*, Vol. 299. pp. 284-299.
- Schmitt, T. G., Thomas, M., and Etrich, N. (2004). "Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems", *Journal of Hydrology*, Vol. 299. pp. 300-311.