

도시유역의 침수특성치에 관한 연구

A Study on Flooding Characteristic Value of Urban Basin

권용찬*, 안정환**, 김호성***, 조원철****

Yong Chan Kwon, Jeonghwan Ahn, Hos ung Kim, Woncheol Cho

요 지

본 연구는 유역의 침수특성치를 기준으로 하여 치수계획규모를 설정하는 방법을 연구한 것이다. 본 연구에서는 2010년 9월 21일 광화문 일대에 발생한 침수피해를 이용하여 XP-SWMM 2010 모형을 검증한 후 침수예상도를 산정하였다. 확률강우량은 Huff의 4분위법으로 분포시켰으며, 침수특성치(관로침투유출량, 평균침수심, 특정지점의 최대침수심, 최대침수면적, 침수총량, 특정지점의 침수지속시간)를 기준한 유역치수계획규모를 설정하는 새로운 방법을 제시하였다. 모의 결과 출구점에서의 침투유출량은 각 빈도별 최대값/최소값이 1.11~1.22로 거의 동일하게 구해지는 반면, 평균침수심, 특정지점의 최대침수심, 최대침수면적, 침수총량, 특정지점의 침수지속시간 등의 침수특성치는 1.59~7.44로 큰 차이를 보였다. 이와 같은 결과로, 유역 내에 발생하는 침수피해규모를 통한 임계지속시간이 계획규모설정에 더욱 적합하다 판단하였다.

핵심용어 : 치수계획규모, 침수특성치, 임계지속시간, XP-SWMM 2010

1. 서 론

최근 전 세계적으로 기상이변과 지구온난화 등의 극한기후로 인한 홍수, 가뭄 피해가 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 강수량의 지역별 계절별 편차가 심한 우리나라의 경우 이러한 기후변화에 대해 이수와 치수에 취약함이 드러나고 있다. 또한 급속도로 진행된 도시화에 의해 유출량의 증가와 침투도달시간의 급감 또한 최근 발생하는 도시유역 내수침수의 주요 원인으로 지목되고 있다. 2010년 9월 21일 광화문 일대의 대규모 침수현상과, 2011년 7월 27일 우면산 산사태 등을 최근 대표적인 사례로 꼽을 수 있겠다. 이를 위한 최근의 연구로써 장성모 등(2004)은 치수목적의 설계홍수량 산정 시 수문학적 인자에 따른 임계지속시간의 변화를 파악하여 그 적용성을 알아보았고, 박인태(2008)는 지형특성을 고려한 임계지속시간을 추정하는 연구를 진행하여 지형학적 수문요소들에 대하여 상관분석과 다중회귀분석을 실시하여 지형학적 특성이 고려된 임계지속시간을 예측하는 일반식을 제안하였으며, 안경수 등(2002)은 홍수도달시간, 유역면적, 유로연장 순으로 임계지속시간과의 상관성이 있고 유역의 형상계수와 유출곡선지수는 상관이 적다는 연구를 진행하여 소규모 하천에 대한 임계지속시간을 산정하는 회귀식을 제안하였다. 본 연구에서는 도시홍수로 인해 발생하는 홍수피해를 줄이기 위한 방안으로 기존의 유역출구점을 기준으로 한 임계지속시간의 문제점을 제시하였으며, 지역적 특성을 포함한 총 6가지 침수특성치를 기준한 유역치수계획규모를 설정하는 방법을 제시하였다.

2. 침수해석 모형

* 연세대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: kwon32324@naver.com
** 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 · E-mail: ahn.jeonghwan@gmail.com
*** 연세대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: enang18@nate.com
**** 연세대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail: woncheol@yonsei.ac.kr

본 연구에서는 도시지역의 침수모의를 하기 위해 미국 환경보호청(EPA)의 SWMM(Storm Water Management Model)엔진을 기반으로 한 하수 및 우수 관망해석 프로그램인 XP-SWMM 2010을 사용하여 모의를 수행하였다. XP-SWMM 2010은 윈도우상에서 사용자의 편의를 확보하고 다양한 조건과 수리구조물에 대한 모의가 가능하도록 XP-Software사에서 개선한 모형으로, 기본적인 이론 및 해석 방법은 SWMM과 동일하다. XP-SWMM 2010은 1차원 분석 엔진으로 우수관망 해석 모형인 EPA SWMM 엔진을 기본으로 하고, 2차원 분석 엔진은 지표면 2차원 흐름을 모의할 수 있는 TUFLOW 엔진을 사용한다.

3. 모형의 구축 및 검증

3.1 연구대상지역현황

본 연구의 대상지역인 광화문 유역 효자배수분구는 2010년 9월 21일과 2011년 7월 27일 기습적인 폭우로 하류부 유역의 상당히 많은 부분이 침수된 유역으로, 서울시하수도정비기본계획(2002.2. 서울시)에서 24개 배수분구로 구분된 중랑처리구역에 위치한 유역면적이 528.90ha인 지역이다. 유역의 상류부는 매우 급한 경사를 이루고 있는 산지이며 중하류부로 내려오면서 경사가 급격히 완만해지며 평지부를 형성하고 있다. 중류부부터 도시화가 진행되어 평지를 이루고 있는 하류부는 완전히 도시화된 전형적인 도시 배수분구로 다소 짧은 홍수도달시간을 갖고 있는 유역이다. 유역의 표고차는 278.8m, 평균지반고는 EL. 68.8m이며, 최근 침수피해가 발생하고 있는 광화문 광장 일대의 지반고는 약 EL. 30.0m내외이다. 표 1은 효자배수분구의 소유역 현황이며, 그림 1은 유역을 도시한 것이다.

표 1. 효자배수분구의 소유역 현황

배수분구명		유역면적(a)	
배수분구	배수역		
효자배수분구	백운동	내자동	121.84
		신교동	85375
		효자동	81.14
		소계	288.73
	중학천	경복궁	110.96
		삼청동	114.42
		종로	14.79
		소계	240.17
		합계	528.90

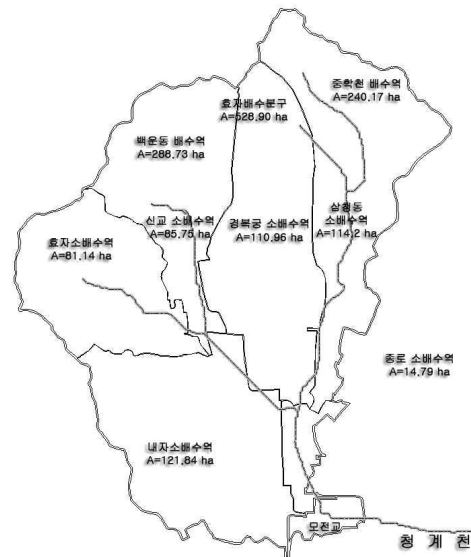


그림 1. 효자배수분구 유역도

3.2 입력자료의 구성

XP-SWMM 2010 모형을 이용하여 침수분석을 실시하기 위해서 대상 유역의 관망자료, 지형자료, 수리/수문학적 자료가 필요하다. 연구대상지역인 효자배수분구를 총 172개의 소유역으로 분할 후 총 172개의 Node, 170개의 Link를 입력하여 관망자료를 구축하였고, 2차원 지표흐름분석을 실시하기 위해 효자배수분구의 수치지도를 이용하여 지형자료를 구축하였다. 이외 수리/수문학적 자료에는 분할된 각 유역의 토지이용에 따른 불투수율 및 조도계수 등을 입력하여 모형을 구축하였다. 다음 그림 2는 Node 및 Link로 이루어진 관망자료와 2차원 해석을 위한 표고점이 기록되어 있는 DTM(Digital Terrain Map)이다.

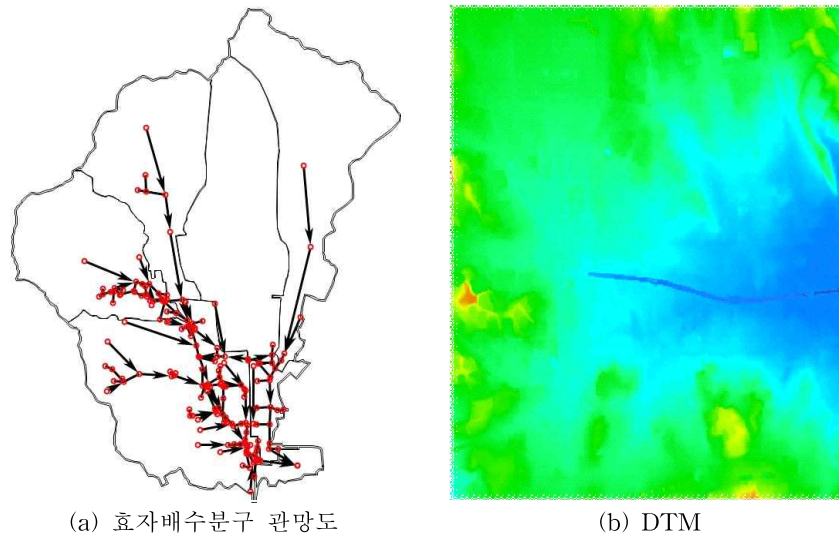


그림 2. 관망자료 및 지형자료(DTM)

3.3 모형의 검증

세종로 사거리에 위치한 백운동천은 광화문 지하로를 만들면서 암거가 굴곡 되어 에너지 손실이 증가하여 유속이 감소함으로 수위가 상승, 침수피해가 증가하는 물리적 현상이 발생했다. 이러한 'C'자형 굴곡관이 침수피해의 주요 원인 중 하나로 주목되고 있어 2010년 7월 27일 실 강우사상을 적용하여 실제 일어난 침수피해(침수심)와 비교한 후, 에너지 손실계수를 결정하여 모의를 검증하였다. 표 2는 모의조건(에너지 손실계수)을 달리한 9가지 Case와 실제피해현황을 비교하여 나타낸 것이다.

표 2. 에너지 손실계수의 결정

Case	에너지 손실계수	광화문역 7번 출구 ()	세종로사거리 횡단보도 (m)	광화문역 6번 출구 (m)
Case 1	1.0	0.36	0.08	0.05
Case 2	1.1	0.38	0.12	0.07
Case 3	1.2	0.40	0.14	0.09
Case 4	1.3	0.42	0.17	0.12
Case 5	1.4	0.44	0.17	0.13
Case 6	1.5	0.45	0.18	0.15
Case 7	1.6	0.46	0.20	0.16
Case 8	1.7	0.47	0.21	0.18
Case 9	1.8	0.48	0.25	0.21
Real flooded depth		0.47	0.24	0.20

표 2에 의하면 에너지 손실계수를 1.8로 적용한 Case 9가 실제 발생한 침수심과 가장 유사한 결과로 산출되어 본 연구에서는 'C'자형 굴곡관의 에너지 손실계수를 1.8로 결정하였다.

4. 모의 및 결과

본 연구에서는 임계지속시간을 결정하기 위해 한국수자원학회 수해대응특별위원회 세미나 자료집(2011)에

수록된 「서울지역 호우재해 특성 및 미래 전망」 세종대학교 배덕효 교수 발표자료의 서울지점 확률강우량을 이용하여 각 빈도별 강우강도식을 산출하였다. 산출된 강우강도식을 통해 세분화된 확률강우량을 Huff의 4분위법 중 치수안전도를 감안하여 4분위로 분포시켜 침수분석을 진행하였다. 다음 표 3은 각 침수특성치의 정의를 나타냈으며, 그림 3은 분석 결과를 모의 목적인 침수특성치를 기준으로 최대가 되는 지속시간을 결정하여, 각 발생빈도별로 도시한 것이다.

표 3. 침수특성치의 정의

침수특성치	정 의
관로침두유출량	지하에 매설된 관로에서의 유출량이 최대가 되는 값
최대침수면적	침수도에서 침수된 셀의 개수가 가장 많은 시점을 선정하여 셀의 개수와 셀 단위면적을 곱한 것
침수총량	1차원(관로)분석에서 월류한 양의 총합
평균침수심	최대침수면적에서 각 셀의 침수심을 산술평균
최대침수심	최대침수면적 발생 시 특정지점에서의 침수심
특정지점의 침수지속시간	특정지점에서의 셀이 침수가 된 시점에서부터 사라지는 시점까지의 지속시간

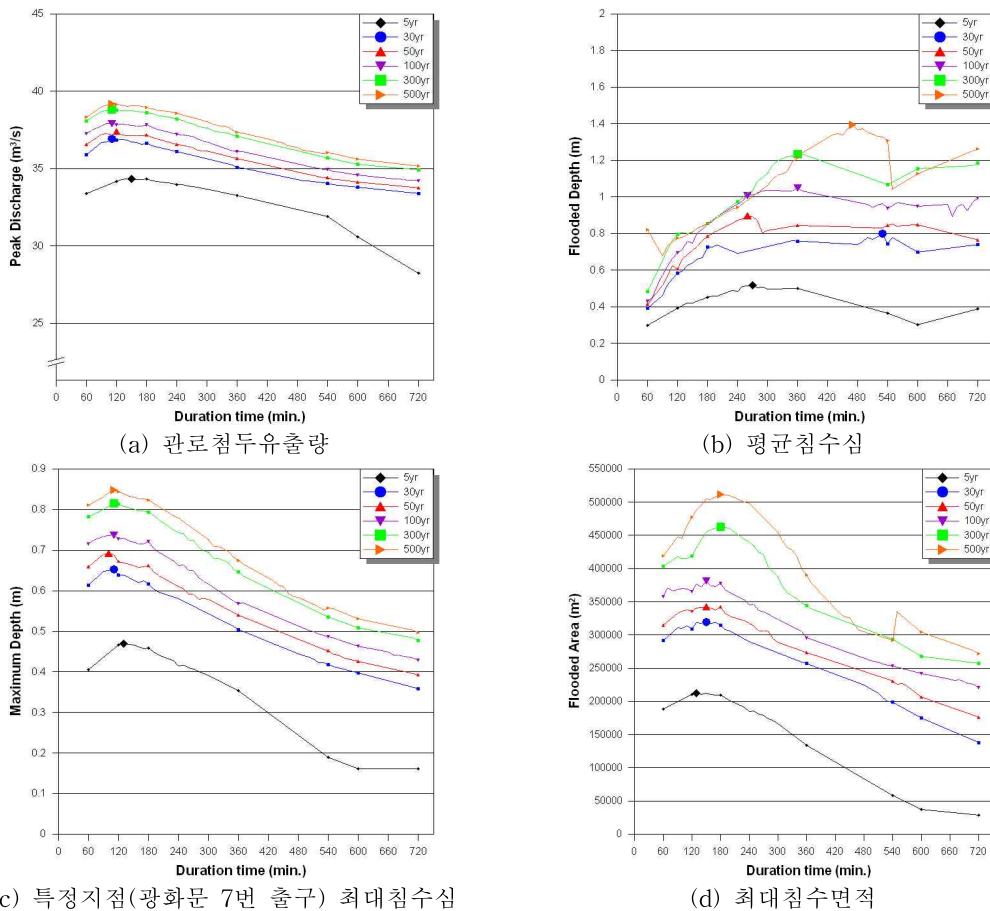
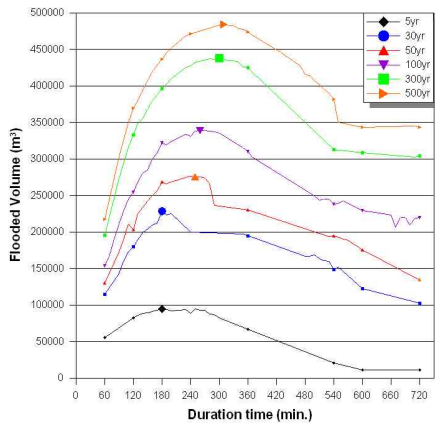
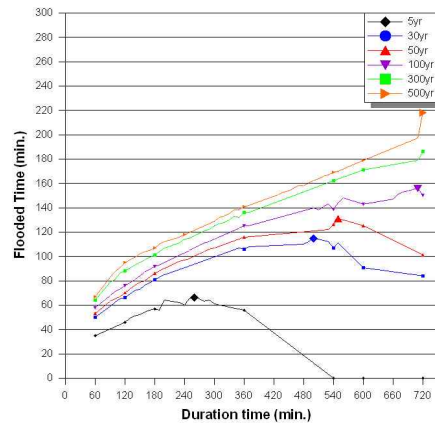


그림 3. 지속시간별 침수특성치



(e) 침수총량



(f) 특정지점(광화문 7번 출구) 침수지속시간

그림 3. 지속시간별 침수특성치(계속)

5. 결 론

본 연구는 유역의 침수특성치를 기준하여 치수계획규모를 설정하는 방안을 연구하였다. XP-SWMM 2010 모형을 이용하여 2010년 9월 21일 광화문 일대(효자배수분구)에 발생한 침수피해를 모의 및 검증한 후 침수 구역도를 도시하였다. Huff의 4분위법으로 분포시킨 확률강우량을 이용하여 기존의 유역출구점 기준의 임계 지속시간 산정 방법의 문제점을 제시하고, 침수특성치 6가지를 이용한 유역치수계획규모 설정 방법을 제시하였다. 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

광화문 일대 침수피해의 주요 원인 중 하나로 주목되고 있는 세종로 사거리에 위치한 'C'자형 굴곡관의 에너지 손실계수는 실측 자료와의 비교를 통해 1.8로 산정되었으며, 이를 통해 굴곡관이 배수불량에 크게 관여하며 관로의 개선이 필요할 것으로 판단했다.

Huff의 4분위법으로 분포시킨 발생빈도별(5, 30, 50, 100, 300, 500년) 확률강우량을 이용하여 모의를 실시한 후, 각 침수특성치를 통해 임계지속시간을 산정하였다. 그 결과 유역 출구점에서 발생하는 침투유출량을 기준으로 한 해당 발생빈도의 지속시간에 따른 최대 침투유출량과 최소 침투유출량의 차이는 1.11~1.22배로 거의 동일하게 구해진 반면, 평균침수심, 특정지점의 최대침수심, 최대침수면적, 침수총량, 특정지점의 침수지속시간 등은 해당 발생빈도의 지속시간에 따른 피해규모에서 1.59~7.44배의 큰 차이를 보였다. 이를 통해 침수피해규모를 기준한 임계지속시간 설정 방법이 효율적임을 검증했다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시 (2009.12). 서울시하수도정비기본계획(변경)보고서.
2. 박인태 (2008). 신안유역의 지형특성을 고려한 임계지속시간 추정, 석사학위논문, 경상대학교
3. 배덕호 (2011). 서울시 호우재해 특성 및 미래 전망, 수해대응특별위원회 세미나 자료집
4. 안경수, 김인식 (2002.9). 최적설계수문량 산정에 대한 임계지속시간의 적용에 관한 연구, 공학기술연구, 인천대학교공학기술연구소, 제17집, 제1호, pp. 75-84.
5. 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.
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.