

건물의 영향을 고려한 제내지에서의 2차원 침수해석 기법 확립

Establishment of 2-Dimensional Flood Inundation Analysis Method Considering Building Effects

조완희*, 한건연**, 하창용***, 김영주****

Wan-Hee Cho, Kun-Yeun Han, Chang-Yong Ha, Young-Joo Kim

요 지

본 연구에서는 확산과 기반의 2차원 침수해석 모형을 이용하여 울산광역시 태화강 유역에 대하여 침수시 건물 안으로의 흐름은 없다는 가정 하에서 건물로 인한 흐름의 양상, 침수심, 침수위 등을 분석하였다. 지형자료는 최근 대도시를 중심으로 구축되고 있는 1m 간격으로 수집된 LiDAR 자료를 바탕으로 10m간격의 정형격자를 통하여 지형자료를 생성하였으며, 수치지도로부터 추출된 건물을 ArcView 등의 GIS Tool을 활용하여 LiDAR 자료와 합성하여 2차원 침수해석에 적용되는 지형자료를 구성하였다. 200년 빈도의 확률강우에 대한 유출해석 결과를 이용하여 FLDWAV 모형을 적용한 태화강에 대한 1차원 하천해석을 실시하였고, 제방과제에 대한 가상의 시나리오를 생성하여 과제에 따른 외수범람에 대한 2차원 침수해석을 실시하였으며, 침수해석 결과를 각 시간별로 가시화함으로써 효율적이며 정확한 침수해석 방법을 제안하고자 하였다. 침수해석 결과에 대한 분석을 통하여 침수면적에 따른 적합도가 건물의 영향을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교한 결과 90%이하로 떨어지는 것을 확인하였고, 침수심과 침수위에 대한 분석을 통하여 침수심은 건물 영향 고려시 낮게 산정되나 침수위로 고려시 높은 수위 값을 나타내는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 건물영향, LiDAR, ArcView, 확산파, 2차원 침수해석

1. 서 론

최근의 기후변화 및 지구온난화에 따라 빈번하게 발생하고 있는 이상호우 및 국지성 호우 등으로 인하여 하천이 월류하거나 제방이 붕괴되고, 배수시스템을 통한 배수가 불량하게 되어 상당한 침수피해가 발생하고 있다. 미국과 중앙아메리카 지역에서는 2005년에 허리케인 리타, 스탠, 윌마 등에 의해 수천명의 인명피해와 상당한 재산피해를 입은바 있었고, 특히 허리케인 카트리나가 강타한 미국 뉴올리언즈는 침수로 인해 인명 1,242명, 재산 200조원의 피해를 당하였다. 일본에서는 2004년 10여개의 태풍에 의해서 290명의 인명피해, 50조원 이상의 재산피해를 입었고, 2005년에는 태풍 나비에 의해서 37조원의 재산피해를 입었다. 2006년 7월 중국남부를 강타한 태풍 빌리스로 후난지역 346명, 관동지역 106명 등 530명이 사망하였다. 특히, 경제발전과 인구집중에 따라

* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 박사수료 · E-mail : jobbaeng@hanmail.net

** 정회원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr

*** 경북대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : hippo0224@hotmail.com

**** 대우엔지니어링 사원 · E-mail : fishone03@naver.com

도시지역의 침수는 심각한 인명 및 재산 피해를 야기하게 된다. 대도시의 침수는 기존 시설물 및 재산 피해 뿐 아니라 장래 생산성에 있어서도 막대한 경제적 손실이 예상된다. 이러한 도시홍수 피해를 줄이기 위해서, 홍수 범람에 대한 예측이 반드시 필요하다. 도시지역의 내수배제 능력의 부족으로 월류가 발생하거나 하천의 제방붕괴, 통수능의 부족 등으로 인하여 범람이 발생하는 경우, 재해 예방차원에서 가장 근본적인 것은 침수의 양상을 파악하는 것이다. 즉, 어느 지역까지 침수지역이 확장될 것인가, 얼마나 빠르게 범람된 흐름이 흘러갈 것인가, 그리고 언제 홍수위가 감소할 것인가를 파악하는 것이 매우 중요하다.

하지만 현재까지 수행된 대부분의 침수해석과 관련한 연구에서는 도시지역의 흐름해석에서 커다란 장애가 될 수 있는 건물의 영향을 고려하지 않고 단지 등고선과 표고점을 이용하여 지형자료를 구축하여 침수해석을 실시하였다. 건물의 영향을 고려하지 않는 경우 건물의 차지하는 면적이 무시되기 때문에 실제보다 침수심과 침수위가 과소 계산될 수 있으며, 시간에 따른 홍수파의 확산양상도 다르게 나타날 수 있고, 건물 영향을 고려하지 않은 침수해석 결과를 활용하여 홍수위험지도 및 EAP 등을 구축하는 경우 최대 침수심 및 최대 유속이 발생하는 지점이 실제와 다르게 계산될 수 있는 위험성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 확산과 기반의 2차원 침수해석 모형을 이용하여 울산광역시 태화강 유역에 대하여 침수시 건물 안으로의 흐름은 없다는 가정 하에서 건물로 인한 흐름의 양상, 침수심, 침수위 등을 분석하는 연구를 수행하였다. 본 연구에서 제시한 건물영향을 고려한 2차원 침수해석 결과를 바탕으로 대상유역의 실제지형을 최대한 반영할 수 있는 지형자료를 구축하고, 침수해석을 위한 자료구축 및 실행, 결과분석을 위한 자동화를 구현하여 침수해석 모형의 적용성 및 안정성을 보다 향상 시킨다면, 침수상황의 시간별 진행과정에 대한 시각적인 분석시스템을 통한 GIS기반에서 운용되는 도시지역 침수해석 시스템의 구축이 가능하게 되어 도시지역의 홍수와 관련된 재난에 대비한 위험지역의 파악 및 홍수피해 경감대책을 수립하기 위한 효율적인 판단자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 홍수파 해석을 위한 2차원 침수해석 모형

확산과 방정식을 적용하여 지표류 흐름을 계산하는 2차원 침수해석에 대한 연구동향을 살펴보면 Tayfur 등(1993)은 동역학과 방정식의 사용은 홍수터와 상반되는 경사와 지형조건이 복잡한 지표면 범람 해석에 대해서 수렴성 보장이 어렵고 그로 인해 큰 오차가 발생될 수 있음을 연구하였다. Fennema등(1994)은 확산과 흐름이 국부적인 흐름 상태를 모의하기에 적합하다는 것을 밝혔으며, Akan과 Yen(1981), Hromadka와 Lai(1985)는 확산과 방정식이 많은 흐름 과정들을 정확하게 나타낼 수 있다는 것을 입증했다.

범람된 유량이 지표면에 전달되는 경우에 지표면의 저류, 홍수의 감쇠, 건물 및 시설물 주위에서의 흐름, 가로에서의 흐름 등에 따라 그 물리적인 양상을 수식으로 표시하기에 큰 어려움이 있다. 그러나, 2차원 확산과 침수해석은 범람예상구역의 물리적인 특성을 반영할 수 있는 수리학적 방정식을 기본식으로 하여 해석될 수 있다. 침수해석 지점의 적정범위를 지형도 등을 이용해서 설정하고, 격자망을 구성하여 연속방정식과 운동량 방정식에 의해 흐름을 해석할 수 있으며, 2차원 천수방정식을 x, y 방향 성분으로 기술하면 연속방정식과 운동방정식을 식 (1)~(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = e \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g(S_{ox} - S_{fx} - \frac{\partial d}{\partial x}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g(S_{oy} - S_{fy} - \frac{\partial d}{\partial y}) \quad (3)$$

여기서, $q_x, q_y = x, y$ 방향에 대한 단위폭당 유량

$S_{ox}, S_{oy} = x, y$ 방향의 하상경사

$S_{fx}, S_{fy} = x, y$ 방향의 마찰경사

$e =$ 단위면적당 생성항 혹은 소멸항

운동량 방정식을 간단히 나타내는데 있어서, 운동과 근사법은 하상경사와 마찰경사를 제외한 모든 항을 무시할 수 있다고 가정한다. 특히 가파른 수로바닥경사에 적합한 이 가정은 많은 강우-유출 모델의 기초가 되어왔다. 그러나 운동과는 홍수를 시뮬레이션 할 때 중요한 하류 교란 때문에 발생하는 배수효과를 예측 할 수 없다. 확산과는 배수효과를 시뮬레이션 할 수 있으며, 거친 표면위의 지표류와 수로흐름에 적용될 수 있다. 확산과 모형의 근사해는 이론 운동과 모형보다도 더욱 넓은 적용범위를 갖게 되며, 동역학적 모형과 비교하면 매우 작은 정도의 손실만이 있게 된다. 또한, 동역학적 모형에 비하여 확산과 모형의 근사해의 경우 계산시간을 크게 개선시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

3. 실제유역에 대한 적용

3.1 건물영향을 고려한 2차원 침수해석

본 연구 대상유역은 울산광역시 남구 부분이며 태화강의 우측 부분에 위치하고, 대상유역 대부분이 제방고보다 낮은 지표고를 가지고 있다. 지형자료의 구축은 1m 간격을 이루고 있는 고해상도 LiDAR 자료를 활용하였으며, 홍수 시나리오는 계획빈도 200년의 강우에 대하여 파제 시나리오를 생성하여 적용하였다. 본 연구에서는 200년 빈도의 확률강우에 대한 유출해석 결과를 이용하여 FLDWAV 모형을 적용한 태화강에 대한 1차원 하천해석을 실시하였고, 제방과제에 대한 가상의 시나리오를 생성하여 파제에 따른 외수범람에 대한 2차원 침수해석을 실시하였다. 1차원 하천해석의 경계조건으로는 태화강 본류 상류단의 유입유량, 지류인 동천의 유입유량과 태화강 하류단의 유출부 수위를 적용하였으며, 태화강의 경우 울산만과 접해있어 홍수위의 산정시 조석에 대한 영향을 고려하였다. 200년 빈도의 확률강우에 대한 유출해석 결과 본류의 최대 유입 유량은 3271.7m³/s이고, 지류인 동천의 최대 유입 유량은 1621.4m³/s였으며, 하류단 최대 수위는 0.87m로 확인되었다. 구성된 상·하류 경계조건에 대한 FLDWAV 모형을 적용한 1차원 하천해석을 통하여 홍수위를 계산하였으며, 제방붕괴 옵션을 적용하여 가상의 시나리오에 대한 외수범람에 따른 제내지에서의 2차원 침수해석을 실시하였다. 예상 파제구간 시나리오는 홍수위험지도 기본계획 보완 보고서(2008)를 이용하였다. 본 연구에서는 홍수위험지도 기본계획 보완 보고서(2008)에 제시된 7개의 예상 파제구간 가운데 3개의 예상 파제구간을 선정하였으며, 예상 파제구간의 외수범람에 대한 2차원 침수해석을 실시하여 도시지역 침수해석에서의 건물영향을 분석하였다. 제내지의 조도계수는 홍수지도 제작지침(2001)의 범람모형 매개변수 산정절차에 의거 토지이용에 따른 점유면적을 조사해 그것을 바탕으로 조도계수를 산출하는 합성등가조도계수를 적용하였고, 지형자료 구축

은 LiDAR 자료를 바탕으로 구축된 지형자료와 수치지도에서 추출된 건물 자료를 바탕으로 그림 1과 같이 두 자료를 합성하게 된다. 두 자료의 합성은 GIS tool인 ESRI사의 ArcView를 활용하여 수행되었다.

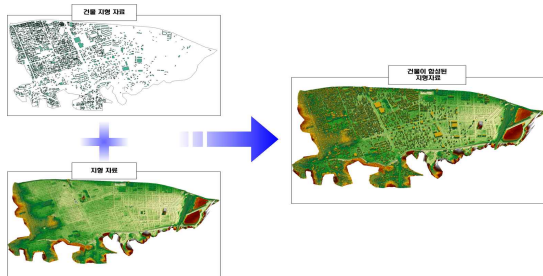


그림 1. 건물과 지형 자료의 합성 과정

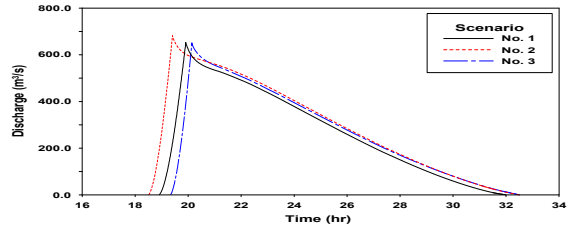


그림 2. 시나리오별 제방 파제로 인해 제내지로 유입되는 유량

그림 2는 1차원 하천해석으로부터 계산된 3개의 예상 파제구간에 대한 제내지로 유입되는 제방붕괴 유량이다. 각 시나리오별 침투 유입량은 $643.27\text{m}^3/\text{s}$, $681.98\text{m}^3/\text{s}$, $629.84\text{m}^3/\text{s}$ 로 시나리오 2에서 가장 큰 침투 유입량이 발생하였으며, 유입 시간 역시 가장 오래 동안 지속되었다. 2차원 침수해석을 위한 모의시간은 시나리오별 약 13시간으로 설정하였다.

3.2 침수해석 결과의 분석 및 검토

3개의 예상 파제구간에 대한 외수범람에 따른 2차원 침수해석 결과를 침수심과 침수위에 대하여 비교하여 표 1에 제시하였다. 건물의 영향을 고려하지 않은 지형에서는 시나리오 2에서 최대 침수심이 10.43m, 최대 침수위(E.L) 5.34m였으며, 건물의 영향을 고려한 지형은 시나리오 2에서 최대 침수심 10.23m, 최대 침수위(E.L) 5.82m로 모의되었다.

표 1. 시나리오에 따른 최대 침수심 및 침수위 비교 (m)

구분	시나리오 1		시나리오 2		시나리오 3	
	침수심	침수위	침수심	침수위	침수심	침수위
건물영향 미고려	10.09	4.92	10.43	5.34	10.12	4.95
건물영향 고려	9.80	5.41	10.23	5.82	9.79	5.38

최대 침수심은 건물의 영향을 고려하지 않은 지형자료를 적용한 침수해석 결과가 건물의 영향을 고려한 침수해석 결과보다 각 시나리오별로 0.2m~0.3m이상 높게 계산되는 것으로 확인되었으며, 침수위의 경우 침수심과는 반대로 건물의 영향을 고려한 지형에서의 침수해석 결과가 0.5m이상 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 2차원 침수해석을 위한 기본 자료인 지형자료에 건물의 영향을 고려함으로써 실제상황에 근접한 지형을 입력 자료로 구축하였다. 건물의 영향 고려하지 않은 경우와 고려한 경

우로 구분하여 침수해석을 실시하여 건물의 영향에 따른 침수 면적, 침수심, 침수위, 전파 속도 등을 분석하였다. 본 연구의 주요 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건물의 영향을 고려하는 경우 계산 시간이 1/3로 단축되는 결과를 도출하였는데 이는 침수가 발생하여 계산에 참여하는 격자가 줄어들었기 때문인 것으로 분석되었으며, 침수 면적에 따른 적합도에 대하여 건물의 영향을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 비교한 결과 90%이하로 떨어지는 것을 확인하였다. 이는 도시지역의 침수해석에서 건물영향 고려에 대한 필요성을 보여준다.
- (2) 최대 침수심은 건물의 영향을 고려한 침수해석에서 작은 값을 나타냈고, 침수위의 경우 침수심과는 건물의 영향을 고려한 지형에서의 침수해석 결과가 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 건물의 영향을 고려하였을 경우 건물이 차지하는 부피만큼 수위도 상승하게 되고 최대 침수면적에도 영향이 나타나기 때문에 건물의 영향을 고려하여 침수해석을 실시함으로써 침수해석의 정확도가 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 본 연구와 같이 대상구역의 실제지형을 최대한 반영할 수 있는 지형자료를 구축하고, 침수해석을 위한 자료구축 및 실행, 결과분석을 위한 자동화를 구현하여 침수해석 모형의 적용성 및 안정성을 보다 향상 시킨다면, 침수상황의 시간별 진행과정에 대한 시각적인 분석시스템을 통한 GIS기반에서 운용되는 도시지역 침수해석 시스템의 구축이 가능하게 되어 도시지역의 홍수와 관련된 재난에 대비한 위험지역의 파악 및 홍수피해 경감대책을 수립하기 위한 효율적인 판단자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행된 연구성과물로서 관계당국에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사(2001). 홍수지도 제작지침.
2. 국토해양부(2008). 홍수위험지도 기본계획보완 보고서.
3. Akan, A.O. and Yen, B.C.(1981). Diffusion-wave flood routing in channel networks, Journal of Hydraulics Division, ASCE. 107(6):719-732.
4. Fennema, R.J., Neidrauer, C.J., Johnson, R.A., MacVictor, T.K. and Perkins, W.A.(1994). A computer model to simulate natural everglades hydrology, The Ecosystem and its Restoration. St. Lucie Press, Florida, USA. pp.249-289.
5. Hromadka II, T.V. and Lai, C.(1985). Solving the two-dimensional diffusion flow model, Proc. Spec. Conf., sponsored by the Hydro. Div. of ASCE, Lake Buena Vista, Fla.
6. Tayfur, G., Kavvas, M.L., Govindaraju, R.S. and Storm, D.E.(1993). Applicability of St. Venant equations for two-dimensional overland flows over rough infiltrating surface, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 119(1):51-63.