

침수취약지역 추정과 주민들의 대피경로 분석

Flooding Area Estimation and Evacuation Path Analysis

박 종 덕* 최 진 무**
Jong Duk Park Jinmu Choi

요약 최근 도시지역은 국지성 호우로 인한 범람의 빈도가 증가하고 있다. 이 연구에서는 HEC-RAS 모형을 이용하여 중랑천 수계에 대한 홍수범람모의를 수행하였다. 분석은 1m 간격의 LiDAR 자료를 기반으로, 하천 정보를 위해 HEC-GeoRAS를 이용하여 Geometry 자료를 구축하여 활용하였다. 홍수에 대한 가상시나리오를 홍수량이 100년 빈도일 경우, 200년 빈도일 경우, PMF일 경우로 작성하여 침수취약지역을 분석하였고, 이를 구역화하고 대피소까지의 대피경로를 분석하였다. 분석 결과 인구가 밀집된 시가지 지역의 면적 비율이 범람지역의 약 70%를 차지하고 있어 홍수 시 상당한 인명 및 재산피해가 예상된다. 범람지역에서 대피소까지의 최단거리 대피경로는 평균거리 1,000m 로 대피 정보에 따라 피해를 최소화 할 수 있음을 알 수 있었다. 이 연구에서 제시한 방법은 향후 도시지역의 홍수대피 계획 수립에 많은 도움이 될 것이다.

키워드 : 홍수, 범람, HEC-RAS 모형, HEC-GeoRAS, Lidar, 최단경로, 홍수대피 계획

Abstract Recently urban area has suffered from frequent flood event by local heavy rain. This study performed flood tests for the Jungnang river using HEC-RAS model. Based on 1m LiDAR data, river geometry data were produced using HEC-GeoRAS. For 100-year frequency flood, 200-year frequency flood, and PMF, flooding areas were estimated. Ten sub-zones of the entire flooding area were identified based on the nearest refugees and used to analyze evacuation paths to the refugees. The results showed that approximately 70% of flooded area were residential, commercial, and transportation areas so that much loss of life and property could be possible. Path analysis showed that the shortest path distances to refugees were about 1000m average. Evacuation warning given at a proper period could minimize loss of life and property. This study provides the guideline for flood evacuation plan in urban area.

Keywords : Flood, HEC-RAS Model, HEC-GeoRAS, Lidar, Shortest Path, Flood Evacuation

1. 서론

도시화의 급속한 진전과 기후 변화 및 지구온난화에 따라 세계의 곳곳에서 집중 호우에 따른 인명 및 재산 피해가 심각하다. 우리나라의 경우 홍수는 주로 여름철에 집중되어 발생하며, 세계적인 기후변화 및 지구온난화에 따라 홍수의 발생빈도가 커지고, 그 피해 규모도 증가하고 있다[10]. 특히 최근의 경향은 국지성 집중 호우가 자주 발생하고, 이로 인한 급격한 홍수위의 증가는 범람위험 뿐만 아니라 하천내의 산책로 및 고수부지를 이용하는 시민 및

차량의 피해위험도 증대시킨다. 또한 인구밀도가 높은 도시지역에서 범람이 발생하는 경우에는 홍수로 인한 재산 및 인명 피해규모가 상당히 심각하다 [11]. 이와 같은 홍수로 인한 피해를 줄이기 위해서는 홍수에 의한 피해지역 정보를 사전에 분석하여 침수취약지역을 예측하고 각종 치수계획 및 주민 대피계획을 효과적으로 수립하여야 한다.

홍수로 인한 피해를 줄이기 위한 방안으로 과거에는 제방, 댐, 저수지 등 구조적 대책을 세워 홍수를 대비하는 방안이 주로 적용되었으나, 대책 이후에도 홍수는 지속적으로 발생하였으며 최근의 국지

* 국토연구원 국토인프라·GIS 연구본부연구원 jdpark89@gmail.com

** 상명대학교 지리학과 교수 jmchoi@smu.ac.kr(교신저자)

성 집중 호우로 인해 구조적인 대책의 한계에 직면하였다. 이에 비구조적 대책의 일환으로 홍수위험지도의 효용성이 인식되었다[17]. 홍수위험지도는 피해가 예상되는 침수지역에 대해 침수시간 및 정도 등을 표현한 지도로 도심 취약지에 대해 주로 제작되며[14], 이 지도는 홍수방재계획과 주민대피계획 수립 및 홍수시 주민대피 안내도로도 활용될 수 있다. 이에 정부는 “홍수위험지도 제작에 관한 지침”을 통해 법으로 홍수위험지도 제작을 규정하고 있다.

또한 재해에 대한 응급대책의 일환으로 홍수예경보시스템을 운영하고 있다. 홍수예경보시스템은 그하부 시스템으로 모니터링시스템, 예측시스템, 의사결정시스템을 포함한다[15]. 모니터링시스템에서 수위 및 우량관측소로부터 관측된 자료 수집 및 분석하고 예측시스템을 통해 강우분석 및 홍수예측을 수행하며, 의사결정시스템을 통해 홍수예경보를 수행하여 침수취약지역의 주민이 사전에 대피할 수 있도록 함으로써 인명 및 재산피해를 줄이는데 기여하고 있다.

이러한 맥락에서 이 연구에서는 하천 범람이 자주 발생하는 지역인 서울특별시의 중랑천 일대의 홍수범람지역을 추출하고 침수취약지역의 주민들이 홍수 발생 시 적절한 경로를 통해 대피할 수 있도록 대피소까지의 대피경로를 제시하고자 하였다.

홍수범람지역을 추출하기 위해 홍수범람모의를 수행하였고 모의 수행을 위해 지표유출모형인 하천 해석시스템(HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)을 적용하였다[13]. 분석은 1m 간격의 LiDAR 자료를 기반으로 이루어졌으며, Geometry 자료는 HEC-GeoRAS를 이용하여 구축하였다. 침수 취약지역 설정을 위해, 집중호우 시 가장 급속한 침수원인인 제방월류를 해석하기 위해 1차 외수침수 해석을 수행하였다. 침수 가능지역을 분석한 후 적절한 대피경로를 파악하기 위해 네트워크상에서 최단거리 시설물 찾기 기능을 이용하여 구역별 최단거리 대피소를 설정하였고, 각 구역에서 대피소까지의 대피경로를 Dijkstra 최단거리알고리즘을 적용하여 분석하였다.

이를 위해 2절에서는 하천해석모형을 이용한 분석절차를 설명하였고 3절에서는 2절에서 설명한 하천해석모형을 서울의 중랑천에 적용하여 분석을 수행하였으며 그 결과로 홍수범람지역을 설정하였다.

4절에서는 분석된 홍수범람지역에 대해 네트워크상에서 구역별 최단거리 대피소를 설정하고 각 주거지역으로부터 대피경로를 분석하였으며 마지막 5절에서는 주요내용을 요약하고 시사점을 논의하였다.

2. 하천해석 모형

이 연구에서는 홍수범람모의를 수행하기 위해 미육군 공병단에서 개발한 HEC-RAS 모형을 적용하였다. HEC-RAS 모형은 정상류뿐만 아니라 부정류, 유사현상 해석 기능까지 포함하는 종합 하천 해석 시스템이다[6]. HEC-RAS 모형은 사용자 중심의 기능과 자료 입·출력도구, 모의결과의 도시 등을 통한 작업시간의 최소화를 목적으로 설계된 GUI(Graphic User Interface)를 제공한다.

HEC-GeoRAS는 ArcGIS의 Extension으로써 HEC-RAS에서 모형을 실행하기 위한 Geometry 자료를 구축하는 도구이다. HEC-GeoRAS에서 하천중심선, 제방(Banks), 흐름 방향(Flowpaths), 횡단면 등의 자료를 구축하고, HEC-RAS에서 분석하기 위한 자료 변환 과정을 수행한다. 또한 HEC-RAS의 분석이 완료된 후 결과를 ArcGIS 환경으로 불러오는 변환과정을 수행한다. 그림 1)은 HEC-RAS와 HEC-geoRAS를 이용하여 자료구축과 분석, 분석결과의 매핑과정을 보여준다 [6].

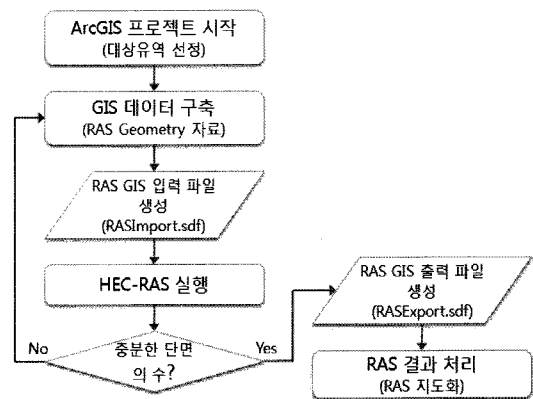


그림 1. HEC-GeoRAS를 이용한 분석흐름도

1) 출처 : [6], p.3-2의 그림 제작성

3. 대상유역에 대한 모형의 적용

3.1 대상유역

이 연구의 대상유역은 중랑천 주변지역이다. 중랑천은 경기도 양주시 불곡산에서 발원하여 남류하다가 서울을 가로질러 한강으로 유입하는 하천으로 유역면적은 296.0km², 유로연장 34.80km이다. 고밀도의 도심지 및 인구밀집지역을 통과하기 때문에 여름철 국지성 호우 및 강한 강우강도 시 상습적으로 침수피해를 입는 지역이 중랑천 일대이며, 특히 이 연구의 대상유역인 성북구, 중랑구, 동대문구 일대는 주거지역이 밀집하여 있어 그 피해가 심각하다. 행정안전부의 「재해연보」에 의하면 1971년부터 2001년까지 홍수로 인한 피해액이 성북구 100억원, 중랑구 98억원, 동대문구 37억원에 이르며 특히 1995년부터 2001년까지 7년 동안의 피해액이 성북구 86억원, 중랑구 77억원, 동대문구 20억원으로 최근의 피해 정도가 매우 심각하다²⁾. 그림 2는 대상유역의 위치를 보여준다.

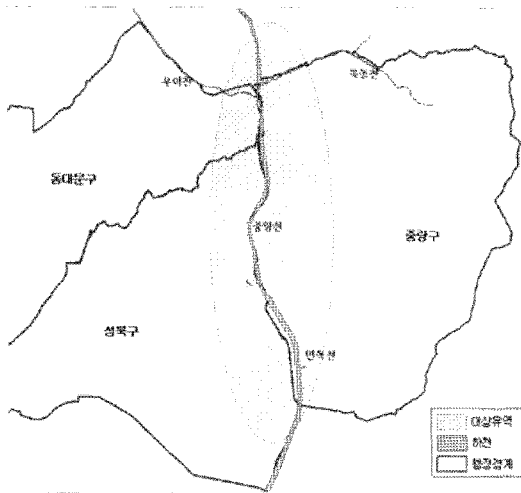


그림 2. 대상유역의 위치도

3.2 Geometry 자료 구축

대상유역에 대한 정확한 분석을 위해서는 고정밀·고밀도 지형공간정보가 필요하므로 LiDAR 자료의

적용이 필요하다[18]. 고해상도의 정확한 LiDAR 자료는 좀 더 신뢰성 있는 기본 지형조건을 제공함으로써 홍수 범람 모의 수행의 결과를 향상시키는데 필요하다[2][3][5][12][16]. 따라서 홍수범람모의를 수행하기 위한 경계 및 고도 자료로써 1m 간격의 LiDAR 자료를 사용한 DSM(Digital Surface Model)을 활용하였다.

하천에 대한 구체적인 정보를 입력하기 위해 Geometry 자료에는 하천중심선, 제방, 흐름 방향, 횡단면에 대한 정보가 포함되어야 한다. 하도를 따라 하천중심선을 구축하고, 높이 값에 따라 제방을 구축하여야 한다. 그리고 상류로부터의 흐름을 고려하여 흐름 방향을 구축하고³⁾, 하천이 범람했을 경우를 고려한 횡단면을 구축하여야 한다. 따라서 이 연구에서는 다음과 같은 과정을 통해 Geometry 자료를 구축하였다.

첫째, 그림 3-a와 같이 DSM의 Value가 0값을 가진 Pixel을 따라 하천의 중심선을 벡터라이징 하였다. 하천중심선은 연속적으로 상류에서 하류의 방향으로 구축해야 한다. 하천중심선을 추출할 때 주의해야 할 것은 하천의 분류를 하나의 공간객체(feature)⁴⁾로 구축하는 것이 아니라 지류에 의해 분리된 객체로 구축하여야 한다는 것이다. 다시 말해, 중랑천 분류는 각 지류가 유입하여 교차하는 지점에서 새로운 객체를 생성해야하고, 각각의 지류는 하나의 객체로 구축되어야 한다.

둘째, 하천을 일정한 유로내로 흐르도록 제한하는 제방의 좌우지점은 하천이 범람원 위로 넘치는 최초 지점을 나타내므로 이를 벡터라이징 하였다. 제방은 연속적이지 않아도 되지만, 상류에서 하류의 방향으로 구축해야 한다(그림 3-b).

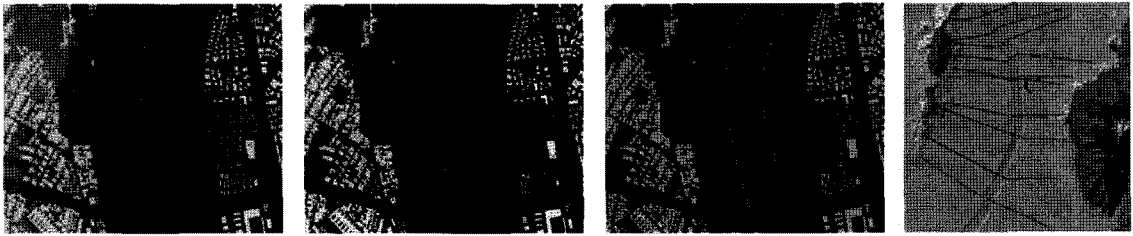
셋째, 흐름 방향 선을 벡터라이징 하였다. 흐름 방향 선은 하천과 범람원에서 하천이 흐르는 방향을 결정한다. 이때, 등고선(고도)은 흐름 방향을 결정하는 중요한 요인이 되므로, 흐름 방향 선은 고도를 고려하여 연속적으로 상류에서 하류의 방향으로 구축해야 하며, 서로 교차하지 않도록 하였다(그림 3-c).

넷째, 횡단면은 하천의 수로뿐만 아니라 범람원의 높이까지 파악하여야 한다. 따라서 횡단면은 하천,

2) 수자원관리종합정보시스템(WAMIS, <http://www.wamis.go.kr>) 및 하천관리지리정보시스템(RIMGIS, <http://www.river.go.kr/>) 참조

3) 여기에서의 흐름 방향은 구간 내에서 다른 흐름 값이 나오기 전까지 그 흐름 값은 남는다고 가정한다.

4) 하천중심선을 나타내는 사상의 경우 Reach라고도 함.



(a) 하천중심선

(b) 제방

(c) 흐름방향

(d) 횡단면

그림 3. Geometry 자료 구축과정

제방, 흐름방향을 지나가는 충분한 길이로 벡터라이징 하였다. 하천 흐름의 방향과는 수직을 이루어야 하며, 양쪽 끝은 하천이 범람해도 침수되지 않을 정도의 높이에서 시작과 끝맺음을 하였다. HEC-RAS에서 분석하기에 충분한 수의 횡단면을 벡터라이징 할 때까지 반복적으로 수행하였다(그림 3-d).

위와 같은 단계를 통해 구축한 결과는 그림 4와 같다. 그림 4에서 검은색 실선은 하천 중심선을 나타내고 중심선 주변의 점들은 제방의 위치, 화살표는 흐름방향, 그리고 하천 중심선을 횡으로 가로지르는 다수의 회색 선들은 횡단면을 나타낸다.

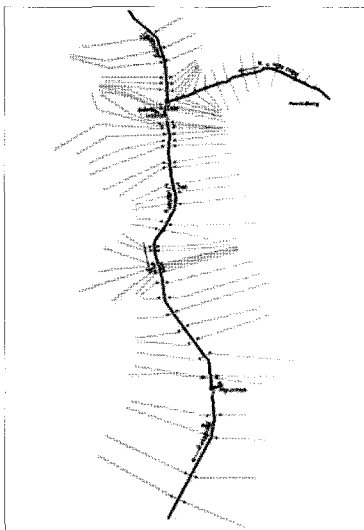


그림 4. Geometry 자료

또한 지표면 유출의 정도는 표면 거칠기 정도를

나타내는 Manning 계수(N values)⁵⁾를 사용하였다 [1]. Manning 계수는 토지피복의 형태에 따라 결정된다[4]. 따라서 환경부에서 제작한 토지피복분류도에서 중량천 일대를 추출하여 분류체계에 따른 N values를 정의하고, 이를 분석에 적용하였다(그림 5, 표 1⁶⁾ 참조).

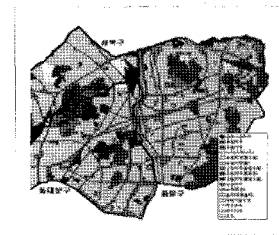


그림 5. 연구지역 토지피복분류도

3.3 시나리오의 설정

HEC-RAS의 홍수범람모의를 위해 하천의 경계조건을 달리하여 시나리오를 구분하였다. 하천의 경계조건은 기점홍수위에 따라 조정되므로 100년 빈도, 200년 빈도, 가능최대홍수량(PMF, Probable Maximum Flood)으로 구분하였다. 김정희[9]는 이 연구의 대상지역인 중량천 일대의 빈도별 홍수량을 각 지점별로 100년 빈도, 200년 빈도, PMF를 산출하였으며, 지점별 홍수량(Cubic Meter Per Second: CMS)의 값은 표 2와 같다.

또한 방재연구소[7]는 중량천과 합류하는 지류들의 홍수량을 산정한 바 있으며 해당 값은 표 3과

5) Manning의 표면 거칠기 정도(Manning's Roughness Coefficient, N Values)는 1889년 아일랜드의 Robert Manning에 의해 도입. 지표유출분석 시 수로의 단면적, 속도, 경사에 대한 경험적인 수치로서 Manning's 방정식의 계수로 활용함(http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/FX3_Help.html)

6) http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm 참조

표 1. 토지피복분류체계에 따른 Manning 계수

분 류	N values
공공시설지역	0.050
공업지역	0.100
교통지역	0.050
나지(기타나지)	0.025
농업지역(과수원)	0.055
농업지역(밭)	0.060
산림지역(침엽수림)	0.070
산림지역(혼효림)	0.070
산림지역(활엽수림)	0.100
상업지역	0.120
수역(하천)	0.035
습지(내륙습지)	0.035
위락시설지역	0.045
자연초지	0.010
주거지역	0.080
초지	0.050

같다.

이 연구에서 범람모의를 하기 위하여 각 하천의 시작점에 홍수량을 산정해야 하지만 기존 데이터의 제한으로 인해 김정희와 방재연구소의 연구결과를 바탕으로 다음과 같은 방법으로 빈도별 홍수량을

산정하였다. 방재연구소의 주요 지류의 빈도별 홍수량 산정에서 PMF는 산정하지 않았지만, 김정희 연구의 100년, 200년, PMF 간 평균비율(4.9)을 계산하여 적용하였다. 하천 중심선 Geometry 구축 과정에서 각 지류와의 합류점에서 사상을 새로 생성해야 함으로 총 네 개의 본류가 생성되었고, 2Str은 목동천 합류점, 3Str은 우이천 합류점, 4Str은 면목천 합류점을 의미한다(표 4). 이때 1Str은 상류로부터의 유입을 나타내며, 목동천과 이보다 상류인 당현천 합류점간 단순거리비율을 계산하여 빈도별 홍수량을 추정하여 적용하였다. 당현천과 1str 시작점과의 거리는 약1.7km이고, 목동천과 1str 시작점과의 거리는 약1km이다. 빈도별 추정된 홍수량을 사용하여 100년 빈도, 200년 빈도, PMF에 따른 시나리오를 표 4와 같이 설정하였다.

3.4 시나리오별 홍수범람 해석

정확한 침수지역 예측을 위해서는 외수침수와 내수침수에 대한 2차침수 및 지하공간 침수 해석 등이 수행되어야 한다. 이러한 2차 침수 해석을 위해서는 고도뿐만 아니라 제방형태, 지질구조, 우수관거, 폐수관거, 배수 능력 등 다양한 공간 및 속성정보가 필요하다[8][17]. 이 연구에서는 이러한 데이터의 전체적인 확보가 용이하지 않았으며 대피경로

표 2. 각 지점별 빈도별 홍수량 산정

(단위 : CMS)

산정지점	100년	200년	PMF
...
면목천 합류점	1,845	2,006	2,688
우이천 합류점	1,797	1,951	2,661
목동천 합류점	1,604	1,744	2,514
당현천 합류점	1,530	1,668	2,415
...

표 3. 주요지류의 빈도별 홍수량 산정

(단위 : CMS)

산정지점	100년	200년
...
면목천 하구	167	186
우이천 하구	358	403
목동천 하구	97	109
...

표 4. 빈도별 홍수량 시나리오

(단위 : CMS)

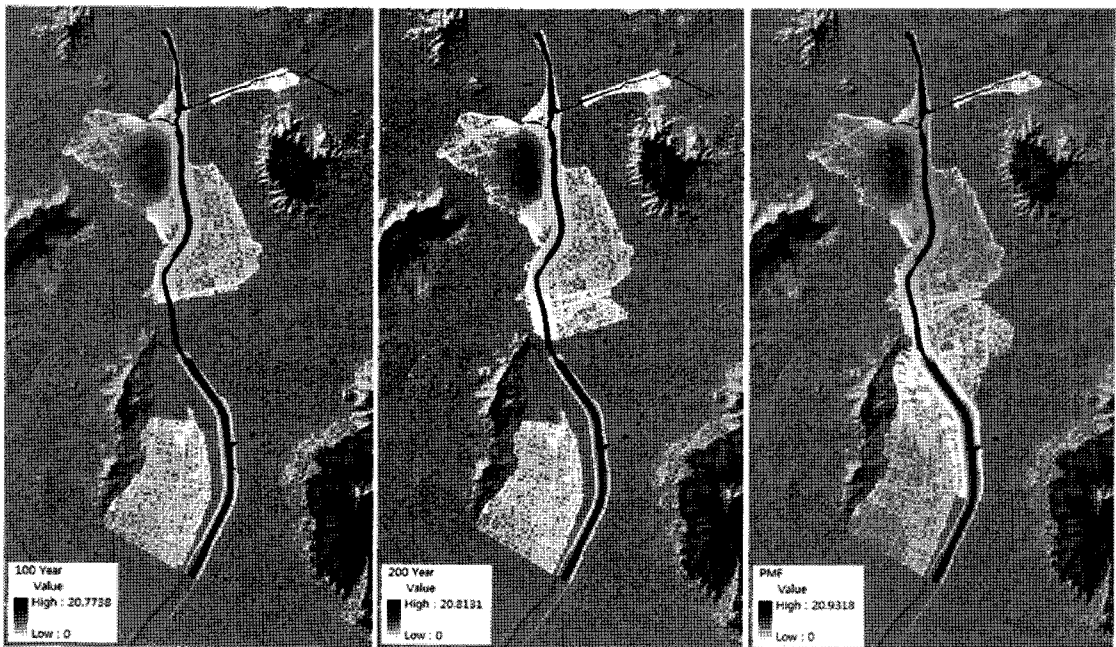
시나리오	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
산정지점 / 빈도	100년	200년	PMF
중랑천 1Str	1,577	1,716	2,477
중랑천 2Str	1,604	1,744	2,514
중랑천 3Str	1,797	1,951	2,661
중랑천 4Str	1,845	2,006	2,688
북동천 하구	97	109	168
우이천 하구	358	403	353
면목천 하구	167	186	624

분석에 더 많은 비중을 두었고, 침수 취약지역 설정을 위해서는 가장 급속한 침수원인이 집중호우에 의한 제방월류라 판단하였으므로 침수에 대한 1차 외수침수 해석만을 수행하였다. 따라서 대상구역의 홍수량 시나리오를 바탕으로 HEC-RAS 모형을 이용하여 홍수범람모의를 실시하였다. 시나리오별 모의 결과는 다음과 같다.

그림 6은 시나리오별 범람한 지역을 나타낸다. 홍수량이 100년 빈도일 경우(그림 6-a) 홍수위(침두수위)는 20.77m이고, 연구지역에서 총 5,220,040.7m²의 침수구역이 발생하였다. 홍수량이 200년 빈도일

경우(그림 6-b) 홍수위는 20.81m이고, 연구지역에서 총 5,669,006.8m²의 침수구역이 발생하였다. 홍수량이 PMF일 경우(그림 6-c) 홍수 위는 20.93m이고, 연구지역에서 총 704,515.9.1m²의 침수구역이 발생하였다. 주기가 늘어남에 따라 총 침수면적 및 홍수위는 증가하였다.

표 5는 침수구역 내의 토지피복분류별 면적 및 비율을 시나리오별로 구분하였다. 100년 빈도의 경우 침수된 지역 중 주거지역이 차지하는 면적은 2,618,298.1m²로써 전체 침수면적의 50.2%에 이르며 상업지역 및 교통지역까지 포함한 시가화 지역의



(a) 100년 빈도

(b) 200년 빈도

(c) PMF

그림 6. 시나리오별 범람도

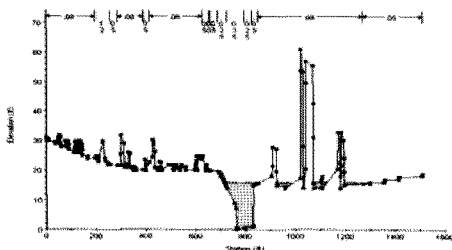
표 5. 시나리오별 토지피복분류별 면적·비율

분 류	100년 빈도		200년 빈도		PMF	
	면적(m ²)	비율(%)	면적(m ²)	비율(%)	면적(m ²)	비율(%)
주거지역	2,618,298.1	50.16	2,797,632.9	49.34	3,689,554.7	52.37
상업지역	365,577.5	7.00	500,330.7	8.82	555,344.8	7.88
교통지역	711,727.1	13.64	802,204.4	14.15	972,911.7	13.80
공공시설지역	467,452.2	8.95	468,762.0	8.27	655,111.3	9.30
산림(활엽수림)	0.04	1.0E-7	0.04	1.0E-7	2,174.3	0.03
습지(내륙습지)	66,163.7	1.27	66,163.7	1.16	90,690.3	1.29
나지(기타나지)	665,354.9	12.75	698,534.6	12.32	743,993.6	10.56
수역(하천)	325,467.1	6.23	335,378.4	5.92	335,378.4	4.76
총 계	5,220,040.7	100.00	5,669,006.8	100.00	704,515,9.1	100.00

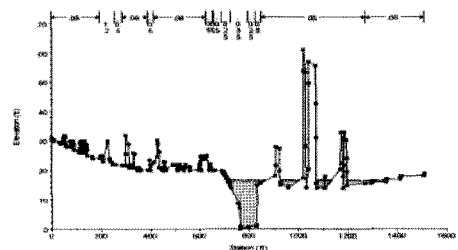
면적 비율이 70.8%로써 인명 및 재산피해가 많을 것으로 판단되었다. 200년 빈도 홍수 시 침수구역 내의 주거지역이 차지하는 면적은 2,797,632.9m²로써 전체 면적의 49.3%에 이르며 전체 시가화 지역의 면적 비율이 72.2%로써 100년 빈도 홍수시보다 비율이 증가하였다. PMF시 침수구역 내의 주거지역이 차지하는 면적은 3,689,554.7m²로써 전체 면적의 52.37%에 이르며, 전체 시가화 지역의 면적 비율이 74.0%로써 침수구역이 넓어질수록 비율이 증가함을 알 수 있었다.

그림 7과 그림 8은 분석 결과를 HEC-RAS에서 도식화 한 모습이다. 그림 7은 북동천 합류지점 근

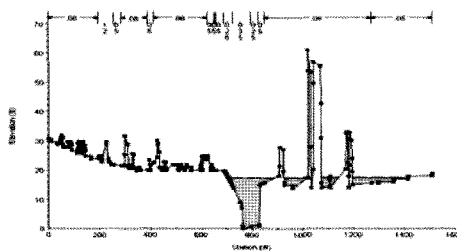
처 본류의 시나리오별 횡단면을 보여준다. 링크와 노드로 표현된 높고 낮은 실선들은 LiDAR 영상에 표현된 높이를 나타내고, 채워진 부분이 하천과 주변 범람 지역이다. 시나리오(100년 빈도, 200년 빈도, PMF)에 따라 범람의 넓이와 높이가 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 8은 시나리오별로 범람이 이루어지는 모습을 입체적으로 보여준다. 횡으로 고여진 높고 낮은 얇은 실선들은 횡단면과 LiDAR 영상이 교차하는 지역의 높이를 나타내고, 채워진 부분은 범람한 지역을 나타낸다. 시나리오에 따라 연구 지역의 범람 지역이 확장되는 모습을 볼 수 있다.



(a) 100년 빈도



(b) 200년 빈도



(c) PMF

그림 7. 시나리오별 횡 단면도

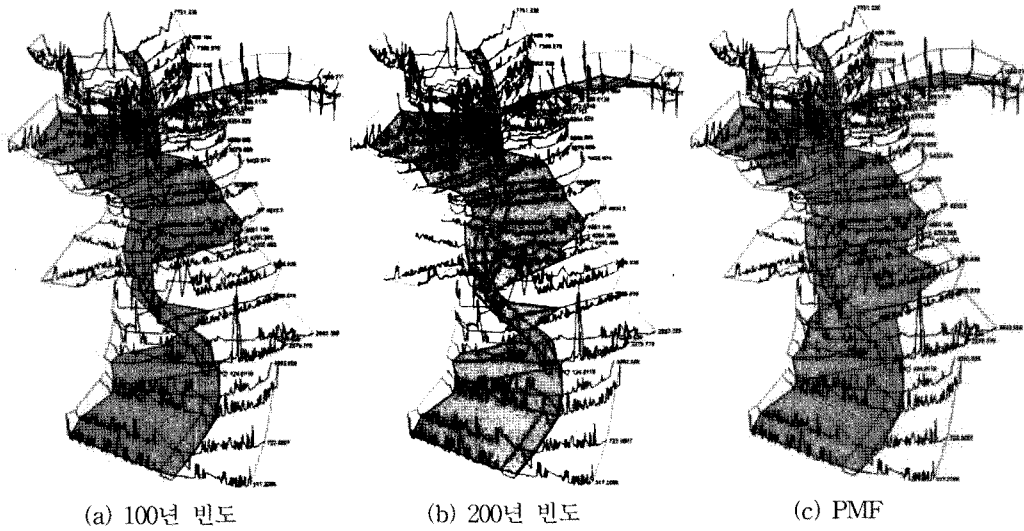


그림 8. 시나리오별 3차원 단면 및 침수 유역도

4. 침수취약지역에서의 대피경로 분석

각 시나리오별 침수취약지역 분석 결과 최대 침수피해 지역을 보여준 홍수량이 PMF일 경우이므로, 이를 바탕으로 범람 예상 지역에 대해 대피구역을 설정하고 대피경로를 분석하였다. 이를 위해 우선 침수취약지역 내 주거지역에서 최근린 대피소를 설정하였다. 각 대피소별 대상 구역을 지정한 후 각 구역별 대피소로의 평균거리를 산출하여 홍수 시 대피에 소요되는 시간을 분석하였다.

중랑구의 경우 북에서 남으로 흐르는 중랑천의 동편에 위치한다. 따라서 홍수가 발생했을 시에 주민들은 동 혹은 남동이나 북동 방향으로 대피해야 한다. 이와 같은 지형을 고려하여 먼저 침수취약지역의 동편에 있으면서, 거리가 가까운 대피소 대상 건물(학교, 교회 등)을 1/5,000 수치지형도를 이용해 추출하였다. 그리고 침수취약지역 내 주민들이 거주하고 있는 주거지역을 토지피복분류도에서 추출하였다. 주거지역의 대푯값⁷⁾을 추출하고, 이를 출발점으로 설정하였다. 추출한 주거지역들에 대해 대피소를 지정하기 위하여 도로 네트워크상에서 시설물들을 할당하는 모델(allocation model)인 최근린 시설물 찾기(finding nearest facility) 분석을 수행하였다. 그림 9는 중랑구의 일부 침수취약지역에 대해 최근린 대피소를 설정한 결과를 보여주고 있다.

반면 동대문구와 성북구는 중랑천의 서편에 위치하고 있고, 홍수 발생 시 주민들은 서 혹은 남서나 북서 방향으로 대피해야 한다. 따라서 중랑구와 같은 방법으로 주거지역 데이터와 토지피복 데이터를 이용하여 각 주거지역에 대해 최근린 대피소를 설정하였다.

홍수 발생 시 신속한 대피는 무엇보다 중요하지만, 이들의 적절한 분산도 중요하다. 어느 특정 대피소에 수많은 인파가 몰려든다면, 이는 상당한 혼란을 초래할 수가 있다. 따라서 홍수 발생 시 적절한 인구 배분을 위해 대피소에 따라 침수취약구역



그림 9. 최근린 시설물 찾기를 이용한 대피소 설정

7) 이 연구에서는 폴리곤의 중심점을 추출하였다.

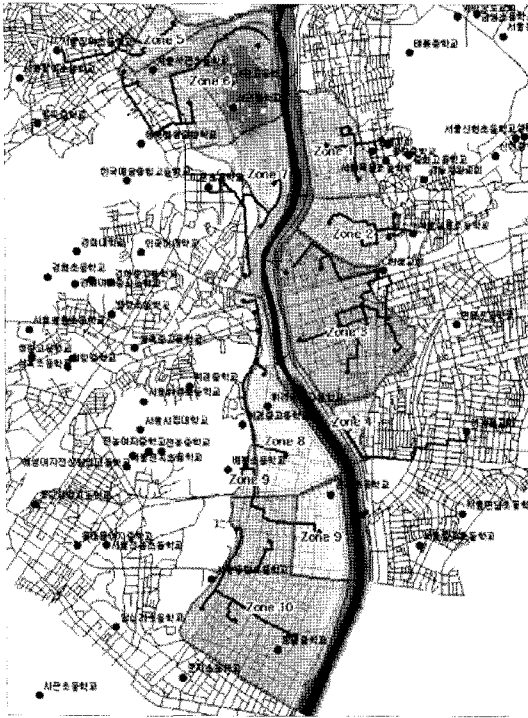


그림 10. 침수취약지역의 구역화

을 구역화 하였고, 이 결과 그림 10과 같이 총 열 개의 구역을 설정하였다.

침수취약지역을 구역화한 결과 총 10개 구역에 대해 각 주거지역에서 대피소까지의 평균거리는 표 6과 같다. 계산 결과 대부분 1,000m 안팎으로 도보로 10분~15분 이내에 대피가 가능할 것으로 판단된다. 제방붕괴 등 긴급 상황 발생 시 침수예상지역 내의 높은 건물로 우선 대피하여야 한다. 연구지역에서 PMF의 경우 최대 홍수위는 약 21m(그림 6-c 참조)이므로 한 층의 높이를 3m로 가정하면 8층 이상의 건물을 임시대피 장소로 활용할 수 있다. Lidar 데이터에서 그림 10의 침수예상지역에 대해 확인한 결과 8층 이상 건물이 구역별로 다수 존재함을 확인하였다. 다만, 침수구역내의 건물들은 식수, 식량, 전기 등의 공급이 매우 불리하므로 침수 지역 외부의 대피소로 이동하여야 할 것이다.

홍수량이 PMF일 경우를 기준으로 대피하여야 할 방향과 지점을 분석하고, 그 결과를 바탕으로 작성한 그림 11은 가상의 홍수위험 대피지도를 보여준다. 이 대피지도를 활용하면 중랑천 지역에 범람 발생 시 주민들을 대피 경로 및 교통통제 위치와 대피소에 대한 자원 배분 계획을 수립할 수 있을 것이다.

5. 결론

우리나라의 홍수는 주로 여름철에 집중되어 발생하며, 최근의 경향은 국지성 호우가 자주 발생하고, 강우강도 역시 매우 커진 양상을 보인다. 이로 인한 도심 하천에서 급격한 수위의 증가는 범람으로 하천 주변의 산책로, 고수부지, 및 지역 주민의 피해 위험도를 증대시킨다. 따라서 이 연구에서는 서울에서 잦은 침수가 발생하는 중랑천 일대의 범람에 따른 피해지역의 공간적 범위를 선설정하고 대피경로를 분석하고자 하였다.

중랑천 지역의 침수 취약 범위를 설정하기 위해 HEC-RAS 모형을 이용하여 1차 외수침수 해석을 수행하였다. 범람 유역 분석을 통해, 100년 빈도 홍수, 200년 빈도 홍수, 가능한 최대 홍수(PMF)에 의한 침수취약지역의 면적은 각각 5,220,040.7m², 5,669,006.8m², 704,515.9.1m² 였다. 이중 인구가 밀집된 시가화 지역의 면적 비율이 각각 70.8%, 72.2%, 74.0%로 홍수가 발생하면 상당한 인명 및 재산피해가 예상되었다. 특히 홍수가 야간에도 발생할 수 있으므로 시가화 지역(주거지역, 상업지역, 교통지역)만 볼 때 이중 주거지역의 비율이 평균 약 70%에 해당되므로 인명피해의 가능성이 매우 큼을 알 수 있었다.

또한 대피경로 분석을 위해 네트워크상에서 할당 모델(allocation model)을 이용하여 침수취약지역 내 주거지역을 가장 가까운 대피소들에 할당하였고 이를 바탕으로 대피소별 대상구역을 설정하였다. 각 구역별 대피소로의 평균거리는 약 1km 정도 또는

표 6. 가까운 대피소까지의 평균거리

주거지역(Zone)	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
평균거리(m)	558.8	581.8	905.1	1532.8	1078.9
주거지역(Zone)	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10
평균거리(m)	902.9	1138.2	839.9	599.5	616.3

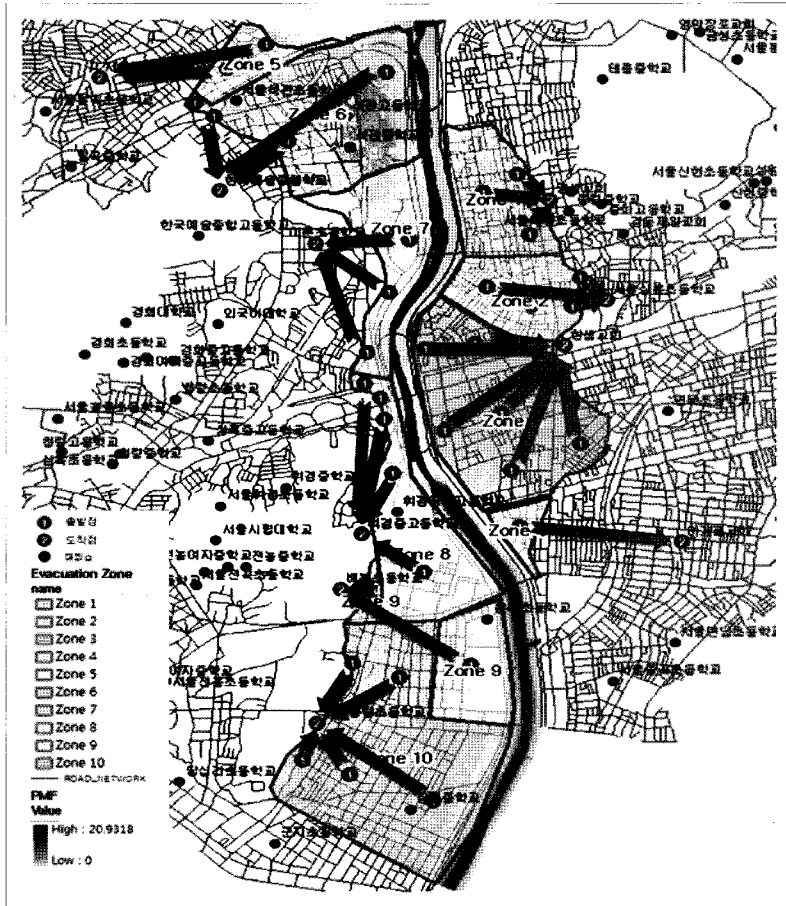


그림 11. 중량천 유역 홍수위험 대피지도

그 이내로 비교적 가까운 거리로 나타났으며, 비상시 도보시간 10분~15분 이내로 대피가 가능할 것으로 판단되었다. 따라서 대피 경로만 적정한 시간 내에 이루어진다면 인명 및 재산 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

이 연구에서는 홍수범람 모의실험 결과를 통해 중량천 일대의 침수취약지역을 확인할 수 있었고, 구역별 최적의 대피소도 설정하였다. 이 연구에서 제시한 모의실험 방법과 대피경로 분석 방법은 향후 다양한 도시지역의 홍수범람에 대한 위험지도 및 대피지도 작성에 방향을 제시하는 것으로 이를 통해 홍수대피 계획 수립에 많은 도움이 될 것이다. 다만, 이 연구에서의 홍수범람 모의실험은 고도 자료로 1m 해상도의 Lidar를 이용하여 공간적인 해상도 및 고도에 대해서는 매우 높은 정확도를 확보하였으나 기타 자료의 한계로 인해 제방유희에 대한 1차 침수 해석만 수행하였고 2차 외수침수, 내수침

수, 지하공간 침수 등을 배제하였다. 따라서 연구지역에 범람이 발생할 경우에는 더욱 넓은 지역이 영향을 받을 것으로 판단된다. 향후 홍수범람 실험에 있어서 내수침수 및 외수침수에 대한 1, 2차 침수 해석 및 지하공간 침수 해석까지 수행한다면 고행상도의 Lidar고도 자료와 함께 매우 높은 정확도의 침수 취약지역을 예측할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Arcement, G.J., Schneider, V.R., 1984, "Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains," US Geological Survey Water-supply Paper 2339, Internet Access, <http://www.fhwa.dot.gov/BRIDGE/wsp2339.pdf>.

[2] Bates, P.D., Horrit, M., Hervouet, J.M., 1999,

- “Investigating Two Dimensional Finite Element Predictions of Floodplain Inundation using Fractal generated Topography,” High Resolution Flow Modelling in Hydrology and Geomorphology, John Wiley & Sons, pp. 181-201.
- [3] Hill, J.H., Graham, L.A., Henry, R.J., Cotter, D.M., Ding, A., Young, D., 2000, “Wide Area Topographic Mapping and Applications using Airborne Lidar Detection and Ranging Technology,” Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 66 No. 8, pp. 908-914.
- [4] Hossain, A.K.M.A., Jia, Y, Chao, X., 2009, “Estimation of Manning’s roughness coefficient distribution for hydrodynamic model using remotely sensed land cover feature,” Geoinformatics, 2009 17th International Conference, pp. 1-4.
- [5] Kenward, T., Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., Fielding, E., 2000, “Effects of Digital Elevation Model Accuracy on Hydrologic Predictions,” Remote Sensing of Environment, Vol. 74, pp. 432-444.
- [6] USACEI, 2009, HEC-RAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS User’s Manual, US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers Institute.
- [7] 방재연구소, 2000, 상류유역 개발사업에 따른 하류부 수해저감 대책 : 상류유역 하도개수에 의한 영향을 중심으로.
- [8] 김계현, 김준철, 2001, “GIS 기반의 하수도 관망해석을 통한 침수피해지역 예측에 관한 연구”, 한국GIS학회지, 제9권 3호, pp. 129-143.
- [9] 김정희, 2005, 제방붕괴 규모에 따른 홍수범람 특성 연구, 석사학위 논문, 경기대학교 대학원, p. 65.
- [10] 김철, 김석규, 2003a, “GIS를 이용한 홍수취약지역 예측,” 대한토목학회논문집, 제23권 3B호, pp. 175-181.
- [11] 김철, 김석규, 2003b, “GIS를 이용한 침수지역 예측 응급복구비 산정,” 대한토목학회논문집, 제23권 4B호, pp. 233-239.
- [12] 송철철, 이우균, 정희성, 이관규, 2008, “토지피복 및 지형특성을 고려한 항공라이다자료의 3차원 표면모형 복원,” 한국GIS학회지, 제16권 제1호, pp. 19-32.
- [13] 심순보, 김주훈, 임광섭, 오덕근, 2003, “GIS를 이용한 홍수범람 분석,” 한국지리정보학회지, 제6권 1호, pp. 132-142.
- [14] 이근상, 유병혁, 박진혁, 이을래, 2009, “하천만곡부를 고려한 GIS 기반 침수지역 레이어 구축,” 한국지리정보학회지, 제12권 1호, pp. 1-11.
- [15] 이범희, 2006, “도시 홍수 예경보 시스템의 특징과 구성방향에 관하여,” 물과 미래, 제39권 1호, pp. 50-54.
- [16] 정성은, 이우균, 곽두안, 최현아, 2008, “LiDAR의 높이 및 밀도 정보를 이용한 도시지역의 3D 기반 분류,” 한국GIS학회지, 제16권 제3호, pp. 373-383.
- [17] 하창용, 한건연, 조완희, 2010, “GIS를 이용한 LiDAR 자료의 밀도에 따른 2차원 침수해석,” 한국지리정보학회지, 제13권 1호, pp. 74-88.
- [18] 한종규, 김성필, 장동호, 장태수, 2009, “항공 LiDAR 자료를 이용한 슈퍼태풍 내습시 해운대 해수욕장 인근 도심지역 침수 피해 규모 추정,” 한국공간정보시스템학회지, 제17권 3호, pp. 341-350.

논문접수 : 2010.10.20
 수정일 : 1차 2010.12.10 2차 2010.12.20
 심사완료 : 2010.12.27



박종덕

2009년~현재 상명대학교 지리학과 대학원 석사과정
 2009년~현재 국토연구원 국토인프라·GIS 연구본부 연구원
 관심분야는 GIS, 재해관리, 공간계획,

공간정보정책



최진무

2004년 조지아 대학교 철학박사
 2005년~2010년 미시시피주립대 지구과학과 조교수
 20010년~현재 상명대학교 지리학과 조교수

관심분야는 GIS, 공간DB, 환경 및 재난관리