

# GIS와 침수경제성 분석을 이용한 도시홍수방어수위 설정

## Definition of Urban Flood Protection Elevation Using GIS and Benefit-Cost Analysis

신상영, 이창희\*, 이양재, 여창건

Sang Young Shin, Chang Hee Lee\*, Yang Jae Lee, Chang Geon Yeo

서울시정개발연구원 디지털도시부

{syshin, changhee\*, cgyeo, yj\_lee}@sdi.re.kr

### 요약

침수 피해를 방지하고 경감하기 위해서는 침수범위와 침수심을 예측하여 예상침수심에 대응하기 위한 홍수방어대책 수립이 필요하다. 본 연구는 방어침수심보다 아래에 위치한 건축물에 대해서 거실용도로 사용을 제한하는 수방기준을 마련했을 경우에 대하여 비용편익 분석을 통한 경제성 분석을 수행하고자 한다. 한편, 침수지역 및 침수심 산정을 위하여서는 GIS를 이용한 분석이 필요하며, GIS 분석을 통하여 산정된 결과를 바탕으로 건물피해액과 건물내용물에 대한 피해액을 산정할 수 있다. 적용과정에서 현재 서울시에서 구축되어진 데이터 구축 자료의 특성에 맞게 다차원법에서 제시한 일부 방법들을 수정하였다. 본 연구 결과 방어침수심의 설정을 통해 건축물에 대한 홍수피해를 방지하고, 주민의 보호 등을 포함한 침수피해방지대책 계획 수립에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 1. 서론

침수 피해를 방지하고 경감하기 위해서는 침수범위와 침수심을 예측하여 예상침수심에 대응하기 위한 홍수방어대책 수립이 필요하다. 본 연구에서는 방어침수심의 지정에 관하여 연구하고자 한다. 방어침수심은 특정 침수심까지 각 개별주택에 큰 재산피해와 인명피해가 발생되지 않도록 각 개별 건축물에 대하여 수해방지를 위해 설정하는 높이를 말한다. 방어침수심을 지정하기 위해서는 피해규모와 방어를 위한 투자규모의 적정선을 찾는 것이 중요하다. 또한, 해당 지역이 홍수방어 투자금액으로 얼마나 투자할 수 있는 여력이 있고, 잠재적 피해정도를 어느 정도 받아들일 수 있는지를 고려해야 된다. 그러므

로, 방어침수심 지정의 문제는 침수경제성 평가와 같이 고려되어야 한다.

국내 침수경제성 분석 방법으로는 간편법(건설부, 1993), 개선법(건설교통부, 2001), 다차원 홍수피해산정방법(건설교통부, 2004)이 있다. 이 중 가장 최근에 개발된 다차원 홍수피해산정방법(이하 다차원법)은 침수심을 고려하여 행정구역내 자산가치를 산정하고 자산의 공간적 분포를 고려한 침수편입율을 결정하여 침수심에 맞는 피해율을 곱해서 직접피해를 산정하는 방법이다.

본 연구는 방어침수심보다 아래에 위치한 건축물에 대해서 거실용도로 사용을 제한하는 수방기준을 마련했을 경우에 대하여 비용편익 분석을 통한 경제성 분석

을 수행하고자 한다. 한편, 침수지역 및 침수심 산정을 위하여서는 GIS를 이용한 분석이 필요하며, GIS 분석을 통하여 산정된 결과를 바탕으로 건물피해액과 건물내용물에 대한 피해액을 산정할 수 있다. 적용과정에서 현재 서울시에서 구축되어진 데이터 구축 자료의 특성에 맞게 다차원법에서 제시한 일부 방법들을 수정하였다. 본 연구 결과 방어침수심의 설정을 통해 건축물에 대한 홍수피해를 방지하고, 주민의 보호 등을 포함한 침수피해방지대책 계획 수립에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 강우빈도별 침수예상도의 작성

서울시를 비롯하여 도시지역의 침수피해는 하천범람에 의한 외수침수보다는 내수배제가 제대로 이루어지지 못해 발생하는 내수침수가 주된 원인이다. 이에, 설계강우를 초과하는 국지성 돌발강우에 대하여 수리·수문학적 분석을 통해 내수침수지역을 예측하여 이를 기초로 하여 건축물에 대한 홍수방어계획을 수립할 필요가 있다. 이를 위해 도시지역의 내수침수를 중심으로 국지성 돌발홍수에 따른 하수관거 통수능력을 분석하고, 배수시설을 월류한 경우의 침수예상지역을 분석은 다음과 같이 수행하였다.

### 2.1 과부하 유량의 산정

도시지역 강우-유출 해석을 위한 대표적인 모형으로 ILLUDAS, STORM 및 SWMM을 들 수 있다. 본 과제에서는 하수관거의 통수능력을 평가하고 침수예상지역을 분석하기 위한 수문모형으로써 배수관로의 흐름추적시 관로내 저류 및 초과용량(surge) 예측, 평가가 가능한 SWMM(XP-SWMM) 모형을 선정하였다.

### 2.2 지표 침수해석

지표면 침수지역 침수지역과 침수심은

대표적인 GIS툴인 ESRI사의 ArcView를 사용하였으며 그림 1과 같이 배수시스템에서의 월류유량을 지반고에 따라 저지대부터 채우는 방법을 이용하였다. 배수관거의 한 지점에서 월류가 발생할 경우 발생한 월류는 주변의 저지대로 흐르게 된다. 월류지점 주변의 저지대는 지반고가 낮은 지역부터 침수가 발생한다. 아울러 침수심이 증가할수록 침수면적은 증가하게 된다.

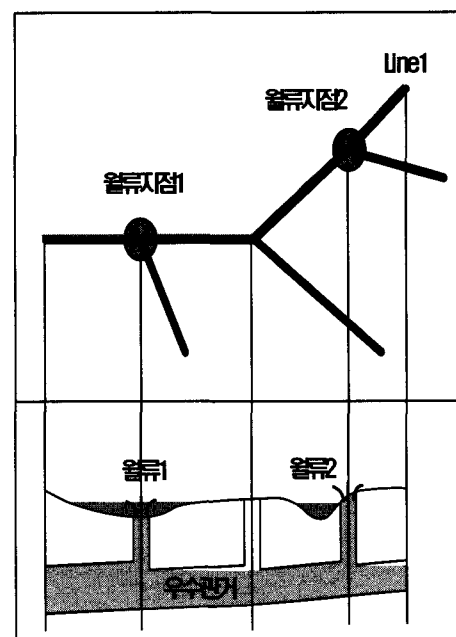


그림 1. GIS를 이용한 월류지점과 침수지역의 산정과정

### 2.3 강우빈도별 침수예상도

#### 2.3.1 대상지역 현황

대상지역인 사당동의 경우 '98, '01, '03의 3년간 침수피해가 크게 발생하였고, 이 중 2001년에 가장 피해가 심하게 발생하였다.

#### 2.3.2 침수예상도의 작성

그림 2와 같은 순서도에 따라 주변의 지반고와 침수위를 바탕으로 침수심과 침수지역을 산정하였다. 침수위는 0.01m씩 증가시켰으며, 침수량이 월류량보다 크게

되는 시점을 침수완료시점으로 하였다.

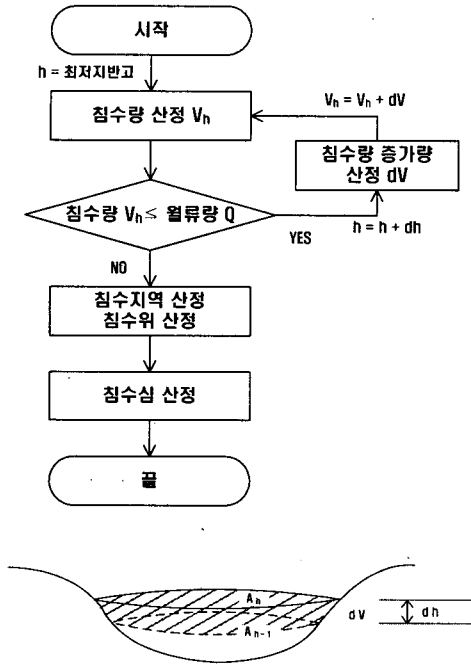


그림 2. 침수지역 및 침수심 산정 흐름도

강우강도별 침수지역을 모의하기 이전에 모형에 대한 검증이 필요하다. 모형의 검증을 위해서는 강우시의 상당천 수위와 관련된 실측치의 이용이 가능하다면 가장 합리적인 분석이 가능하나, 현재 수위관측 지점이 존재하지 않고 특히, 하천이 복개가 되어 있으므로 강우시 상당천의 수위를 측정하는 것이 불가능 하였다. 그 대신 2001년의 위 강우를 적용한 하수관거에 대한 통수능력 평가하고, 침수피해지역과 비교를 하였고, 그 결과 그림 3과 같이 모의를 통한 통수능력 부족관거 및 범람 발생지점과 침수흔적도에서의 실제 침수피해지역이 일부지역을 제외한 대부분의 지역에서 일치하였다.

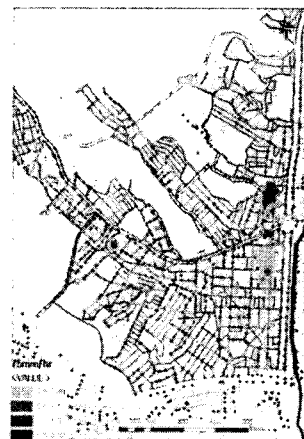
모형 검증에 이용된 유역 및 관거자료를 바탕으로 강우빈도별 침수예상도 및 침수심을 산정하였다. 하천 경계조건으로 상당천의 수위를 지정홍수위, 주의보수위, 경보수위 및 만수위로 구분하여 설정하였

고, 강우조건은 40 mm/hr 부터 점차 강우강도를 증가시켜 적용하였다. 강우분포는 2000-2004년 동작구 관측소의 Huff의 4분위법을 통한 홍수기 강우분포 및 특성을 분석한 결과 4구간이 최대강우강도가 발생할 확률이 큰 것으로 나타났다. 강우 지속기간은 2시간으로 설정하였고, 강우별 하천수위조건을 설정하기 위해서 강우별로 유출량을 산정한 후 이를 기준으로 각 배수지점에서의 홍수위를 산정하였다.

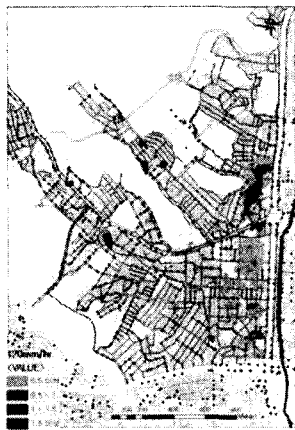


그림 3. 모형의 검증

배수시스템에서 월류한 유량의 체적을 산정하여 예상침수범위와 침수심을 산정하였고, 그 산정 결과 중 강우강도가 75m m/hr인 경우와 120mm/hr인 경우에 대한 침수예상도는 그림 4와 같다.



(a) 75mm/hr



(b) 120mm/hr

그림 4. 강우강도별 침수예상도

### 3. 건축물에 대한 홍수방어침수심 설정에 따른 치수경제성 분석

강우강도가 우수관거 설계용량을 넘어 서거나 하천수의 상승으로 역류가 발생하는 경우 내수침수가 발생하여 건축물에 피해를 입힌다. 이에 건축물에 대해서 별도의 수방대책을 수립하는 방안에 대해서 모색할 필요가 있다. 본 연구에서는 건축물에 방어침수심을 설정한 경우 이에 대한 피해액의 저감효과를 분석하고, 비용편의 분석을 통해 적정 방어침수심을 제시하고자 한다.

#### 3.1 피해액 산정

본 연구에서는 건축물별 방어침수심을 설정했을 경우에 대한 피해저감효과를 분석하기 위해 피해액산정 항목으로 건물피해액과 건물내용물피해액으로 설정하였다. 적용과정에서 현재 서울시에서 구축되어진 데이터 구축 자료의 특성에 맞게 다차원법에서 제시한 일부 방법들을 수정하였다.

본 연구에서는 일정비율로 침수심편입율과 침수피해율을 곱하는 다차원법을 이용하는 대신 계산된 강우강도별 침수예상

지역과 침수심자료를 활용하여 침수심에 해당하는 침수층별 침수피해면적을 도출하였다. 이를 위해 건물피해액은 다음과 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{건물피해액} &= \text{건물자산가치}(\text{원}/m^2) \\ &\times \text{침수심별 침수피해건물면적}(m^2) \end{aligned} \quad (1)$$

한편, 건물자산가치는 단위면적당 건물 자산가치를 적용하였고, 2000년 기준의 건축물 단가를 참조로 하여 침수시 피해 복구비에 해당하는 사항들에 대한 단가를 적용하였다. 또한, 건물내용물피해액은 건물피해액에서 50%(Medina at al, 2006)로 적용하였다.

#### 3.2 피해-빈도 관계곡선과 연평균피해액

연평균피해액은 해당년도에 홍수로 인해서 손실이 예상되는 피해액이다. 연평균 피해액은 어느 특정년도에 발생할 총 피해액을 의미하기 보다는 오랜 기간 동안 각 년도별 평균 피해액이 결국 근접하는 년 피해액이다. 연평균 피해액은 기존의 홍수로 인한 문제의 심각성에 대해서 가장 유형적으로 보여줄 수 있는 자료라고 볼 수 있다.

한편, 피해-빈도 관계는 연평균피해액을 계산하기 위해서 필요한 자료이다. 그림 5와 같이 피해-빈도 곡선은 홍수피해액과 관련된 발생확률로 구성된다.

피해-빈도 관계를 통해 산정되지 않은 특정빈도에 대한 홍수피해액은 피해-빈도 곡선의 함수관계식에 의해 보간될 수 있다. 연평균피해액은 피해-빈도 곡선의 아래의 면적을 계산함으로써 계산되며, 비선형식인 빈도-피해 곡선아래 면적을 계산하기 위해서는 비선형곡선에 대한 적분을 취해야 한다. 즉, 피해-빈도 곡선식이  $Y=F(X)$ 라고 한다면, 연평균피해액은 다음 식(2)와 같다.

$$\text{연평균피해액} = \int F(X)dX \quad (2)$$

여기서,  $X$ 는 발생확률이며,  $F(X)$ 는  $X$ 에 대한 피해액이다.

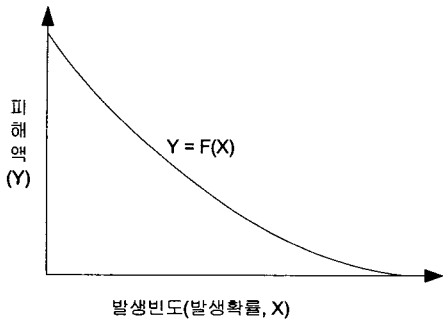


그림 5. 피해-빈도 곡선의 개념도

### 3.3 비용-편익 분석결과

#### 3.3.1 연평균피해액 분석

본 연구에서는 방어침수심보다 아래에 위치한 건축물에 대해서 거실용도로 사용을 제한하는 수방기준을 마련했을 경우에 대한 경제성 분석을 수행하였다.

건물피해액을 산정을 위해 발생빈도에 따른 건축용도별 건축구조별 피해액을 산정하였고, 건물내용물피해액은 건물피해액의 50%를 적용하였다. 건축구조별 피해액은 용도별 구조별로 구분하여 산정하였다. 발생빈도별 피해액 자료를 이용하여 그림 6과 식 (3)과 같은 빈도에 따른 피해액을 나타내는 회귀방정식을 도출하였고, 식 (5)를 적분하여 연평균피해액을 산정하였다. 여기서, 빈도별 피해액에 대한 회귀방정식은 다음과 같다.

$$F(X) = -6464722902 * \ln(X) + 2013864072 \quad (3)$$

#### 3.3.2 비용 분석

발생비용에 해당하는 자료는 침수심보다 아래에 위치한 건축물 중 주택 및 상가용으로 임대를 제한함으로써 발생하는 임대 손실비를 이용하였다. 편익 분석에서

2000년 건축단가가 이용되었으므로 임대비 손실분 계산을 위해 2007년의 연간 임대액을 2000년도 물가(통계청 소비자물가지수 참조)를 곱해줌(2007년물가×0.84)으로써 2000년 임대비용을 추정하였다.

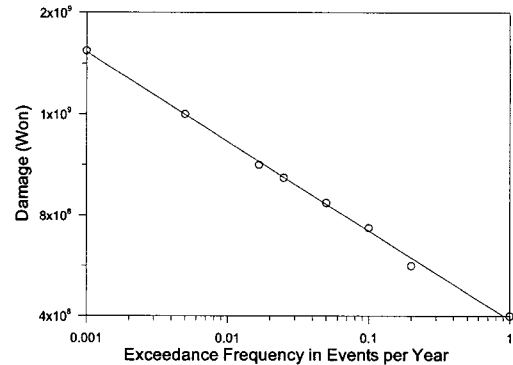


그림 6. 피해-빈도 곡선의 산정결과

#### 3.3.3 편익-비용분석

그림 7은 강우 빈도별로 기준 설정에 따른 피해액저감영향과 그에 따른 임대손실의 관계를 보여준다.

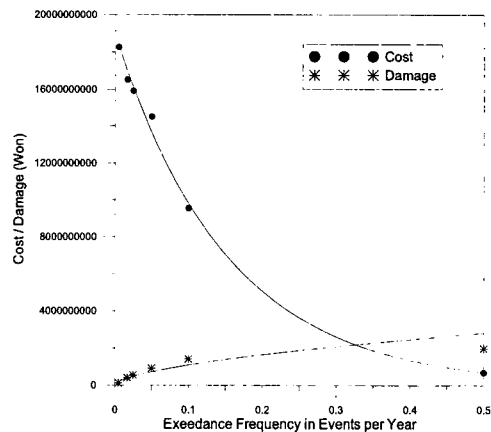


그림 7. 강우 빈도별 기준 설정에 따른 피해액감소와 임대손실의 증가분

편익-비용비는 현 시점으로 할인된 총편익과 총비용의 비를 나타낸다. 같은 분석기간내의 할인된 총비용과 총편익을 구하여 이들 값을 이용하며, 이러한 편익-비용비를 식으로 나타내면 식(4)와 같다.

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\text{피해저감액}}{\text{임대손실분}} \quad (4)$$

이에 따른 편익-비용 계산 결과는 그림 8과 같다.

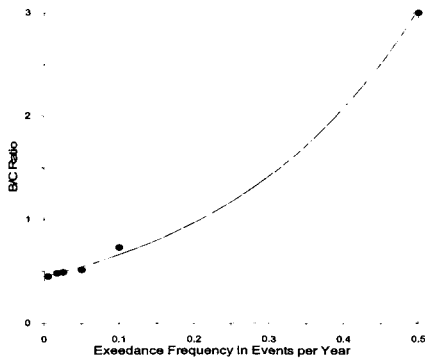


그림 8. 편익-비용분석 결과

편익-비용 분석결과 건축물별 5년빈도 홍수에 대한 기준을 마련할 경우 편익-비용 비율이 1을 넘어서나, 10년 빈도에 대해서는 1을 넘어서지 못하는 것으로 분석되었다.

편익-비용분석이 낮게 나타난 이유는 건축물에 대한 피해액만을 고려하여 건축물 침수로 인한 설비시설 등의 피해, 업무지장으로 인한 피해, 사회적 혼란 등 간접피해액을 고려하지 않은 결과인 것으로 판단된다. 또한, 비용산정에 있어서 임대비 손실이외의 비용요소에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구에서 제시한 연평균피해액 산정을 통한 편익-비용 분석과정은 보다 합리적인 치수경제성 분석을 위한 터전을 마련했다고 볼 수 있다.

#### 4. 결론

방어침수심보다 아래에 위치한 건축물에 대해서 거실용도로 사용을 제한하는 수방기준수립에 관한 사항을 치수경제성 분석과 함께 검토하였다. 물론 홍수에 대

비하기 위해서는 건축물별 침수방어대책 외에도 배수체계의 개선, 저류지 설치 등과 같은 수방시설을 설치하는 직접적인 대책과 병행하여야 할 것이다. 하지만, 기존의 하천·하수도 등을 중심으로 한 전통적인 수방체계에 비해 수방기준이 취약한 건축물에 대한 수방체계 구축에 관한 연구는 향후 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이에, 본 연구에서 제시한 치수경제성 분석을 통한 방어침수심의 설정에 관한 연구는 도시지역 종합 수방체계 구축을 위한 토대를 마련할 수 있었고, 홍수피해를 방지하고, 주민의 보호 등을 포함한 침수피해방지대책 계획 수립에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 5. 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명:내배수 침수재해 저감 기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 6. 참고문헌

- 건교부(1993). 하천시설기준.
- 건설교통부(2001a). 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구.
- 건설교통부(2004). 치수사업 경제성분석 방법 연구:다차원 홍수피해산정방법.
- Mediana, D. (2006) "Benefit-Cost Analysis of Flood Protection Measures", Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago.