

건축물 침수방지대책의 효과 및 비용 비교분석*

Analyzing the Effects and Costs of Flood Protection Measures for Buildings

신상영** · 박창열*** · 손은정****

Shin, Sang Young · Park, Changyeol · Son, Eun Jung

Abstract

Using the case of urban flood prone areas in Seoul, this study sets building flood protection measures, develops cost estimation methodologies, and compares cost-effectiveness each other. Two building measures based on the flood risk by runoff simulation are considered in the case study: living space regulation to building basement floors and piloti construction for ground floors. Additional costs or losses by each measure are estimated in terms of annual rental losses and construction costs. The result shows that living space regulation measures to building basements are relatively cost-effective compared to piloti construction measures. The additional unit costs are lowest at 70-year return period. The study result may be helpful to set appropriate building flood protection levels and compensatory incentive levels for building regulations in urban flood prone areas.

키 워 드 · 침수, 건축물 침수방지, 지하층 규제, 필로티, 비용-효과성

Keywords · Flood, Building Flood Protection, Basement Regulation, Piloti, Cost-Effectiveness

I. 서 론

최근 기상이변에 의한 집중호우의 발생이 잦아지고 있다. 이로 인해 방재시설 설계빈도 이상의 호우가 빈번히 발생하여 침수위험이 가중되고 있고, 특히 급속한 도시화에 의해 고밀화된 대도시지역의 재해 취약성이 높아지고 피해가 크게 나타나고 있다. 더욱 문제는 경제규모가 확대되고 소득수준이 높아짐에 따라 피해액의 원단위 자체가 크게 증가하였다는 점이다. 이에 따라 종래의 하천, 하수도, 펌프장 등 방재시설 중심의 구조적(structural) 대

책뿐만 아니라 시가지 유역에서의 도시계획 및 건축규제와 같은 비구조적(non-structural) 대책을 병행하는 보다 종합적인 방재대책의 필요성이 높아지고 있다.

도시유역의 침수방지를 위한 대책의 기본은 방재시설을 중심으로 한 구조적 대책이라 할 수 있다. 그런데 방재시설은 대상지역과 시설의 중요도, 안전도 등을 고려하여 정해진 설계기준과 시설용량의 한계 때문에 설계기준을 초과하는 집중호우에 대한 방어능력이 제한적일 수밖에 없다. 특히, 기후변화와 도시화에 따라 집중호우의 발생빈도가 증가하는 오늘날의 상황에서는 더욱 그러하다(IPCC, 2007).

* 이 논문은 국토교통부 첨단도시개발사업(11첨단도시G09)의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

** The Seoul Institute (first author: syshin@si.re.kr)

*** The Seoul Institute (corresponding author: changyeol@si.re.kr)

**** The Seoul Institute

이렇다 보니 최근 해외 도시들은 방재시설 중심의 구조적 대책에 각종 비구조적 대책을 보완하는 통합적 접근으로 전환하고 있다(안태진, 2010; 신상영 외 2011). 구조적 대안을 보완하기 위한 비구조적인 방재대책의 역할이 중요시되고 있는 것이다. 비구조적 방재대책은 주로 시가지 유역 차원의 대책으로서, 침수피해를 최소화하는 도시계획 및 건축 규제, 유출저감을 위한 토지이용관리 등과 같은 적극적인 대책과 풍수해보험, 홍수에·경보시스템, 재해지도 활용 등과 같은 소극적인 대책을 들 수 있다. 최근 들어 우리나라에서도 재해저감을 위한 도시계획의 역할 강화의 필요성이 점차 강조되고 있는 추세이다(대한국토·도시계획학회, 2014).

한편, 국토교통부는 그동안 사문화되어 있던 용도지구인 방재지구를 재해저감을 위해 적극 활용하기 위한 제도개선을 추진하고 있다. 방재지구 안에서는 원칙적으로 풍수해, 산사태, 지반붕괴, 지진 등 재해예방에 장애가 되는 건축물을 건축할 수 없으며, 일정 위험요건 이상의 지역에 대해서는 지정을 의무화하도록 법령을 개정하였다.

그런데 시가지 유역에서 침수방지를 위한 도시계획 및 건축규제는 재산권에 대한 제약과 침수방지를 위한 추가적인 비용을 수반하기 때문에 실제 적용하기가 쉽지 않으며 기성시가지에서는 더욱 그러하다. 따라서 사전에 이러한 대책을 적용할 경우 침수피해 저감효과, 소요비용 등에 대한 충분한 검증이 필요한데, 이러한 연구는 크게 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 서울시 서초구에 소재한 대표적인 침수위험지역 한 곳을 사례분석 대상지역으로 하여, 건축 차원의 침수방지대책을 적용할 경우 예상되는 침수피해 저감효과와 소요비용을 분석하고 그 정책적 시사점을 도출하고자 한다. 첫째, 건축물 침수방지와 관련한 국내·외 법제도 및 기존 연구들을 검토하여 한계와 연구과제를 도출한다. 둘

째, 침수피해가 예상되는 지역에 대한 직접적인 침수방지대책으로서 건축물 침수방지대책을 침수심에 따른 침수위험도를 고려하여 3등급으로 구분하고, 각 위험등급에 적합한 침수방지대책 유형을 설정한다. 셋째, 사례분석 대상지역에 대해 다양한 강우조건에 따른 유출-침수모형을 통해 침수의 공간적 범위와 침수심을 식별한 후, 그에 상응한 건축물 침수방지대책의 적용유형과 범위, 물량을 설정한다. 넷째, 건축물 침수방지대책 적용에 따른 건물소유자 입장의 추가비용(또는 추가손실)에 대한 추정방법을 검토하여 산정한 후, 침수피해 저감효과 대비 비용을 서로 비교함으로써 비용효과성을 검토하고 정책적 시사점을 도출한다.

II. 관련제도 및 연구 검토

1. 시가지 침수방지를 위한 대책의 유형

서울을 비롯한 우리나라의 많은 도시들은 급격한 산업화와 도시화를 거치면서 재해에 취약한 저지대, 비탈면, 지하공간 등이 개발되었으며, 이들 지역에서 여름철 집중호우 시 내수배제가 제대로 이루어지지 못해 반복적으로 침수피해가 발생하고 있다. 기성시가지의 내수침수를 예방하기 위한 가장 기본적인 전통적인 대책은 하수관거, 빗물펌프장 등 내수배제를 위한 방재시설대책을 들 수 있다. 최근에는 친환경 물순환 회복과 맞물려 시가지 유역의 우수유출 저감을 위한 저류시설 및 침투시설 대책도 점차 늘어나고 있다. 일반적으로 우수유출저감대책은 침수위험지역 내에서 이루어지는 직접적인 침수방지대책이라기 보다는 침수위험지역에 영향을 미치는 유역에 대하여 저류·침투능력을 높임으로써 침수위험지역에 대한 유출부담을 줄이는 대책이라고 할 수 있다. 최근 많은 정책적 관심을 받고 있

는 저영향개발(Low Impact Development)도 넓은 의미에서 이에 해당된다.

한편, 방제시설 설계용량을 초과하는 호우의 발생빈도가 증가함에 따라 침수위험지역 내에서 방제 시설용량을 넘어서는 잔존위험(residual risk)에 대처하기 위한 직접적인 대책으로 토지이용 및 건축 차원의 대책이 있다. 지반고 승고, 필로티(고상식 건축, piloti), 건물 지하층 규제, 전기설비를 비롯한 건축설비 침수방지대책, 차수관 또는 침수방지턱 설치, 토지이용 재배치, 철거·이전 등을 들 수 있다.

본 연구는 침수위험지역에 대한 직접적인 침수방지대책으로서 토지이용 및 건축적 대책을 주된 연구대상으로 한다.

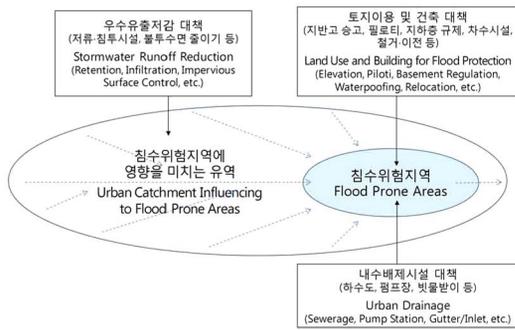


그림 1 기성시가지 내수침수 방지를 위한 물리적 대책의 유형

Fig 1. Types of Physical Measures for Urban Flood Mitigation in Urbanized Areas

2. 건축물 침수방지를 위한 국내·외 제도

세계의 많은 도시들에서 침수위험지역에 대하여 토지이용 및 건축을 제한하거나 부가적인 방제요건을 부과하는 제도를 운영하고 있다. 미국의 대부분 지방정부들은 국가홍수보험제도(National Flood Insurance Program)의 일환으로 100년 빈도 홍수 위험지역에 대하여 통상적인 도시계획조례(zoning and subdivision regulation ordinance)에 더하여

「범람원 관리조례(Floodplain Management Ordinance)」를 마련하여 개발을 규제하거나 방어 침수위(flood protection elevation)를 설정하여 건축물 거실바닥높이를 그 이상이 되도록 하고 있다(American Planning Association, 2006; U.S. Maryland Department of the Environment, 2006). 영국의 국토·도시계획제도에서는 하천 또는 해안의 강우빈도별 침수위험을 고려하여 홍수구역(Flood Zone)을 구분하고, 순차검증제도(Sequential Test)를 통해 개발사업·행위를 제어하고 있다(U.K. Department for Communities and Local Government, 2012). 일본에서도 「건축기준법」에 의한 재해위험구역으로 지정된 지역 내에서는 홍수위나 해수면을 고려하여 건축가능용도, 거실바닥높이, 지하층 설치, 건축구조 등을 규제하고 있다.

우리나라의 경우에는 2005년까지 「건축법」에 의한 재해관리구역을 통해 침수위험지역 내 건축물에 대한 거실바닥높이, 건축구조 등에 대한 규제 및 지구단위 차원의 정비사업제도를 운영한 바 있고, 최근에는 그동안 사문화되어 있던 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 방제지구의 운영 활성화를 위해 제도를 대폭 보완하였다. 즉, 방제지구 안에서는 원칙적으로 재해예방에 장애가 되는 건축물을 건축할 수 없고, 반복적으로 재해가 발생하여 상당한 피해가 우려되는 지역에 대해서는 의무적으로 방제지구를 지정해야 한다. 한편, 방제지구 활성화를 위하여 방제지구에 대한 우선적인 공공지원의 근거를 마련하고, 필로티(piloti) 건축을 하는 경우에 1층 부분을 층수에서 제외하거나 재해 예방시설을 설치한 경우 용적률을 120% 범위에서 완화하는 등의 보상적 인센티브를 마련하였다.

이러한 국내·외 제도적 상황에 비추어 볼 때, 침수위험지역에 대한 건축적 대책의 적용관계에 대한 연구의 필요성이 높은 실정이라고 할 수 있다.

3. 건축물 침수방지관련 선행연구

지금까지 국내에서 침수위험지역 내 건축물 침수방지와 관련한 연구는 대단히 빈약한 한편, 그에 대한 연구는 크게 지하공간 침수방지와 관련된 연구와 건축물 침수방지를 위한 건축규제 시 적정 방어침수위 설정에 관련된 연구로 구분할 수 있다. 지하공간 침수방지와 관련하여서는 지하공간의 침수피해 예방을 위한 출입구 턱 높이 및 차수판 높이에 결정에 관한 연구(유철상 외, 2005), 지하철 역사를 대상으로 한 지하공간 침수위험도 평가와 대책에 관한 연구(안재현·박무종, 2006), 지하공간 침수해석모형과 연계한 도시침수해석 통합모형 모의 연구(이창희·한건연, 2007), 지하철 역사 침수방지 대책과 대피체계에 관한 연구(김윤종 외, 2008), 복합건축물의 지하공간 침수방지대책에 관한 연구(강병화, 2011; 신동수 외, 2012) 등을 들 수 있다.

건축물 방어침수위 설정과 관련된 연구는 건축물의 예상 침수위 이하에 대한 거실용도(거주, 집무, 작업, 집회, 오락 등에 사용되는 방) 규제 시 소유자 입장에서의 비용과 편익을 고려한 적정 방어침수위 설정문제를 분석한 연구인데, 신상영 외(2007) 및 이양재 외(2008)가 있다.

침수피해 방지를 위한 건축물 규제와 관련된 기존연구는 전반적으로 빈약함을 알 수 있다. 이는 도시지역 침수문제는 하수관거, 빗물펌프장, 저류시설 등 방재시설의 뒤편으로 간주했기 때문이며, 사유재산권 제약이 불가피하게 수반될 수밖에 없는 건축물 차원의 침수방지대책은 관심이 적었고 현실적으로 적용하기도 어렵다고 보았기 때문이다. 그러나 기후변화의 영향으로 방재시설용량을 초과하는 집중호우의 빈도가 증가하는 상황에서 방재시설만으로는 한계가 있음이 반복적인 침수피해지역에서 증명되고 있으며, 시설용량을 확대하는 것은 막대한 비용과 시간, 공간적 제약으로 인해 한계가 있음이

드러나고 있다. 따라서 보다 근원적이고 장기적인 관점에서는 방재시설뿐만 아니라 토지이용 및 건축적 차원에서도 재해를 고려함으로써 보다 다각적이고 종합적인 접근이 필요한 상황이다.

또한 건축물 침수방지 관련 기존연구는 지하철 역사, 복합지하공간과 같은 특정 지하공간의 침수방지 대책에 관한 연구이거나, 지하층을 비롯한 침수위 이하 거실용도 규제, 침수방지턱 및 차수판 설치와 같은 특정한 건축물 침수방지대책에 관한 연구가 대부분으로서 침수위험도에 상응한 다양한 침수방지대책의 적용관계를 고려한 보다 종합적인 연구는 크게 부족하다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 서울시 서초구에 소재한 한 상습침수지역을 사례로 다양한 강우량에 따른 침수위험지역들을 식별하고, 침수심에 따른 다양한 건축물 침수방지대책의 적용관계를 비용과 침수방지효과 측면에서 분석함으로써 이 분야에 대한 연구를 심화하고 정책적 관심을 유도하고자 한다.

III. 건축물 침수방지대책 사례분석방법

1. 사례분석 프로세스

기성시가지는 이미 하수도를 비롯한 배수시설체계가 갖추어진 지역이기 때문에 지형적인 여건에 의해 반복적으로 침수피해가 발생하는 침수위험지역에 대한 해소대책으로서 일차적으로 기존 배수시설 정비·개선을 통한 침수문제 해소 가능성을 검토할 필요가 있고, 그 후의 초과우수 또는 잔존위험에 대하여 본 연구의 주된 관심사인 건축물 방지대책을 고려할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 사례분석 대상유역에 대한 도시유출해석을 위한 시물레이션모형을 구축한 후, 먼저 하수관거 개선 시 강우조건별 초과우수에 의한 침수범위 및 침수심을

산정하였다. 하수관거 정비·개선은 서울특별시 (2009) 「서울특별시 하수도정비기본계획(변경) 보고서」에 따라 하수관거 설계기준을 지선 10년, 간선 30년으로 상향하는 것으로 하였다. 침수범위 및 침수심 산정을 위한 강우조건은 30년, 50년, 70년, 100년 빈도로 하였다.

하수관거 정비·개선 이후의 초과우수에 의한 침수지역에 대해서는 침수심에 따른 사람 및 건축물에 대한 피해영향을 고려하여 적절한 건축물 침수방지대책을 설정하여 적용하였다. 또한 건축물 침수방지대책별로 소요비용 또는 손실을 추정하여 강우조건별로 상대 비교하였다. 사례분석을 위한 프로세스는 그림 2와 같다.

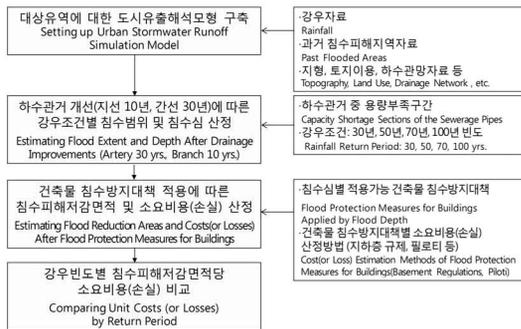


그림 2. 기성시가지 건축물 침수방지대책 사례분석 프로세스

Fig 2. Case Study Process of Flood Protection Measures for Buildings in Urbanized Areas

2. 침수위험도에 따른 건축물 침수방지대책 설정

기성시가지 침수위험지역에서 적용 가능한 건축물 침수방지대책은 지하층 거실용도 규제, 필로티, 건축물 철거·이전, 차수시설 설치 등 매우 다양하며, 이들 대책은 소요비용, 적용의 난이도, 유지관리 용이성, 침수방지효과, 기타 환경개선효과 등에 차이가 있기 때문에 침수위험도를 고려하여 적절한

대책을 적용함으로써 과다·과소적용의 문제를 피할 필요가 있다. 본 연구에서는 집중호우에 의한 침수 위험도를 나타내는 대표적인 지표로서 침수심에 따른 인간 및 건축물에 대한 영향을 고려하여 가능한 침수방지대책을 표 1과 같이 설정하였다.

표 1. 침수심에 따른 건축물 침수방지대책
Table 1. Flood Protection Measures for Buildings by Flood Depth

침수심 Flood Depth	침수위험도 Flood Risk	침수방지대책 Flood Protection Measures
Under 0.1m	·침수영향과 피해 경미 Minor Flood Influence and Damage	·차수시설(차수판, 침수 방지턱) Floodproofing ·임시적 응급대책(모래 주머니, 물길돌리기 등) Temporary Emergency Measures
0.1m~ 0.5m	·건축물 지하층 부분 침수 위험 있음 Flood of Building Basement and Underground	·차수시설(차수판, 침수 방지턱) Floodproofing ·지하층 거실 [*] 용도 규제 Living Space Regulation to Basement
0.5m~ 1.0m	·유아, 어린이에게 위험 하며, 차량이동에 제약 Danger to Children, Difficulty in Vehicle Movement ·건축물 1층 바닥 침수 위험 있음 Partial Flood of Ground Floor	·필로티(지하층 거실 [*] 용 도 규제 포함) Piloti(Including Living Space Regulation to Basement) ·지반고 승고 Ground Elevation
1.0 m a n d o v e r	·정상적인 보행이동이 어 렵고, 성인에게도 위험 Difficulty in Walking, Risk to Adults ·건축물 1층 전부 침수 위험 있음 Entire Flood of Ground Floor	·거실용도 포함하는 일 반건축물 입지제한 Prohibition to Buildings Including Living Spaces ·기존 건축물 철거·이전 Removal and Relocation

* 거실: 거주, 집무, 작업, 집회, 오락 등에 사용되는 방(건축법 제2조)
Living Space: Spaces Used for Residence, Work, Meeting, Amusement, and so on (Building Act, Article 2)

예컨대, 침수심 0.1m 미만은 인간이나 건축물에 대한 영향이 미미하기 때문에 간단한 차수시설(침수방지턱, 차수판)이나 임시적인 응급대책(모래주머니, 물길돌리기 등)으로 예방이 가능할 것이다. 침수심 0.1m 이상이 되면 건축물에 따라서는 지하층 침수위험이 있기 때문에 차수시설이나 지하층 거실

용도 규제를 할 수 있을 것이다. 침수심 0.5m 이상이 되면 유아, 어린이에게 위험할 수 있고 차량이 동에도 제약이 있으며, 건축물에 따라서는 1층 바닥의 침수위험이 있기 때문에 지하층 규제에 더하여 필로티나 지반고 승고의 필요성이 있을 것이다. 침수심 1m 이상이 되면 정상적인 보행이동이 어렵고 성인에게도 위험할 수 있으며 1층부에 심각한 영향을 미칠 것이기 때문에 정상적인 주거지역으로 적절하지 않은 취약지역으로서 일반건축물의 입지를 제한하거나 기존 건축물의 철거·이전과 같은 강력한 대책이 필요할 것이다.

본 사례분석에서는 대표적인 건축물 침수방지대책으로 지하층 규제와 1층부 필로티 건축을 적용하는 경우 침수피해 저감효과와 추가소요비용을 분석하였다. 다시 말하면, 침수심 0.1m 이상 0.5m 미만 지역 내의 건축물에 대해서는 지하층 거실용도를 규제하고, 침수심 0.5m 이상 1m 미만 지역 내의 건축물에 대해서는 지하층 거실용도 규제에 더하여 1층부를 필로티 구조로 하는 경우를 분석하였다.

가능한 대책으로 제외된 지반고 승고는 기성시가지에서 적용이 쉽지 않고, 지반고 승고에 따른 인접지역으로의 침수위험 전이문제가 있다. 차수판은 사례분석 대상지역에서 이미 보급되어 있는 것으로 조사되었다. 건축물 철거·이전은 실제 적용이 매우 어려울 뿐만 아니라, 사례분석 대상지역에 대한 침수분석 결과 침수심이 1m 넘는 지역이 없는 것으로 나타났다.

3. 건축물 침수방지대책 비용분석의 조건과 가정

본 연구에서는 건축물 침수방지대책의 비용분석을 위해 다음과 같은 조건 및 가정을 고려하였다. 첫째, 비용 또는 손실은 침수방지대책이 적용되는 건축물 소유자 관점에서의 추가적인 소요비용 또는

손실로서, 거주자 또는 임차인의 관점이나 사회 전체적인 관점과는 차이가 있다. 예컨대, 침수위험지역 내 지하층 거실용도 규제는 규제받는 소유자 관점에서는 임대할 건축공간의 감소로 인한 임대소득 감소를 의미할 것이나, 도시 전체적인 관점에서는 공급되는 건축공간의 감소와 임대료 상승의 상쇄관계(trade-off)에 따라 임대소득 감소여부가 결정될 것이다. 본 연구에서 비용은 전자의 관점에 따른 비용을 말한다. 또한 거주자 또는 임차인의 관점에서 지하층 거실용도 규제는 거주 또는 사용가능한 공간의 감소·상실로 인한 이주비용, 임대료 상승에 따른 가처분소득 감소 등을 의미할 것인데, 본 연구에서는 이러한 비용을 고려하지는 않는다.

둘째, 비용분석을 위한 대상기간은 건축물의 내용연수를 고려하고 관련지침 또는 가이드라인을 참조하여 30년으로 설정하였다(한국개발연구원, 2008; 서울연구원, 2012).

셋째, 가격기준은 2013년 불변가격으로 하였다.

넷째, 비용분석을 위한 할인율은 관련지침 또는 가이드라인을 참조하여 5.5%로 하였다(한국개발연구원, 2008; 서울연구원, 2012).

다섯째, 건축물 침수방지대책 적용 전후의 건축물 전체 재고량, 유형별 구성, 건축규모 등은 분석대상기간에 걸쳐 동일한 것으로 가정하였으며, 임대료 및 건물신축단가도 동일한 것으로 가정하였다.

여섯째, 필로티 대책의 경우, 분석대상기간의 1차년도에 일회 설치되는 것으로 가정하였으며, 15년 차에 대수선비로 설치비의 20% 소요되는 것으로 가정하였다. 또한 방재지구에 대한 규정(「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제83조 제6항)을 참조하여 1층을 필로티 구조로 하는 경우 필로티 부분을 층수에서 제외함으로써 전체적인 층수 변화는 없는 것으로 가정하였다. 또한 필로티 설치로 인한 1층 부분 승고에 따른 임대료 손실이 일부 있을 수 있겠는데, 임대료 및 건물가액의 변화는

상대적으로 미미한 것으로 간주하여 비용(손실)에 고려하지 않았다.

일곱째, 지하층 거실용도 규제로 인한 임대료 손실은 분석대상기간에 걸쳐 가격변화 없이 일정하게 이루어지는 것으로 가정하였다. 한편, 소유자 입장에서 지하층 거실용도 규제로 인해 임대료 수익의 손실은 있겠지만 지하층을 건축하지 않음으로 인해 건축비가 절감되는 상황을 예상할 수 있다. 본 연구에서는 지하층 부분은 거실용도뿐만 아니라 주차장, 창고, 각종 설비 등을 위한 용도로 필요한 공간이기 때문에 지하층 규제 전후에 걸쳐 동일하다고 가정하였다.

IV. 사례분석 대상구역 및 침수모의

1. 대상구역 및 도시유출모형 구축

분석을 위한 사례지역 선정은 서울시 239개 배수분구에 대하여 과거 침수피해이력과 시가화율 및 지형특성의 전형성을 검토하여 서초구에 소재한 2개 배수분구를 대상으로 하였다. 해당 구역은 과거 반복적으로 침수가 발생하였던 상습침수지역에 해당하며, 최근 2010년, 2011년 집중호우에도 침수피해가 발생한 바 있다. 대상구역의 위치는 그림 3과 같다.

도시유출 시뮬레이션모형은 대상구역의 배수시설을 반영하고, 침수취약지역과 통수능 부족구간이 적절히 나타날 수 있도록 구성되어야 한다. 이는 실제 침수피해지역과 달리 모의모형 결과에 의한 침수는 노드(node) 중심으로 발생되기 때문이다. 이에 본 연구에서는 시가지 구역의 하수관망도와 수치지형도(1:1,000)를 수집하여 도시유출해석을 위한 XP-SWMM 모형을 구축하였으며, 대상구역의 침수흔적도를 조사하여 피해지역이 적절히 반영될 수

있도록 하였다. 대상구역에 대해 구축한 DEM(5m×5m)과 도시유출모형 구축 현황은 그림 3과 같다.

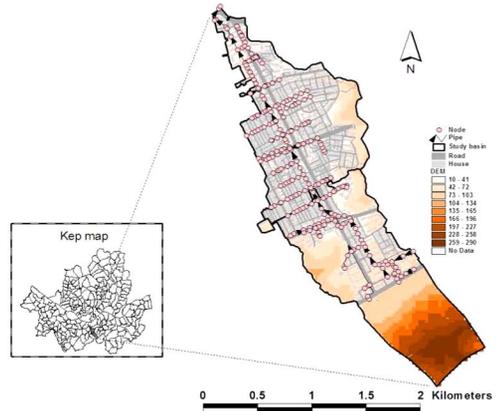


그림 3. 사례분석 대상지역
Fig 3. Case Study Area

본 연구에서 고려한 사례분석 대상구역의 면적은 294ha, 관망의 최소 관경은 600mm이며, 총 268개의 관망을 이용하였다. 하류부의 방류조건은 유출구가 소하천으로 유입되는 지역의 직상류에 위치하고 배수가 원활히 이루어지는 지역으로 판단하여 자유단 경계조건을 이용하였다. 아울러 본 연구의 목적은 건축물 침수방지대책의 효과 대비 소요비용을 분석하는데 있으므로 하수관망도를 제외한 다른 제약사항들은 고려하지 않았다.

2. 유출모의를 위한 강우조건

지속기간과 재현기간별 확률강우량은 국토해양부(2011) 「확률강우량도 개선 및 보완 연구」의 빈도 해석 결과를 이용하였다. 서울지점에 대한 최적 확률분포형은 Gumbel 분포형이며, 다음과 같은 6차 다항식 형태의 확률강우강도식을 이용하였다.

$$\ln(I) = a + b \ln(t) + c(\ln(t))^2 + d(\ln(t))^3 + e(\ln(t))^4 + f(\ln(t))^5 + g(\ln(t))^6$$

표 2. 서울지점 확률강우강도식의 계수

Table 2. Parameters of Probable Rainfall Intensity Formula in Seoul

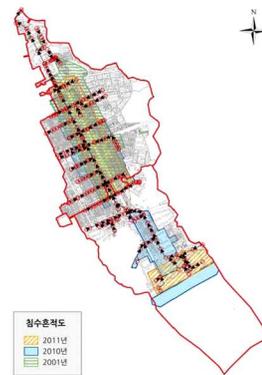
Return Period (yrs.)	Parameters						
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
10	4.299	-0.403	-0.05984	-0.01566	0.00377	0.00053	-0.00012
30	4.513	-0.387	-0.06768	-0.01673	0.00458	0.00058	-0.00014
50	4.598	-0.382	-0.07027	-0.01721	0.00485	0.00061	-0.00015
70	4.649	-0.378	-0.07189	-0.01751	0.00506	0.00060	-0.00016
100	4.701	-0.375	-0.07365	-0.01748	0.00519	0.00060	-0.00016

여기서 I 는 강우강도(mm/hr), \ln 은 자연대수, a, b, c, d, e, f, g 은 6차 다항식의 계수, t 는 지속 시간(hr)이다. 서울지점에 대해 위 6차 다항식에 적합한 결과는 표 2에 정리하였다. 본 연구에서는 유역규모를 고려하여 강우 지속시간 1시간, 강우의 시간분포는 Huff 3분위를 이용하였다.

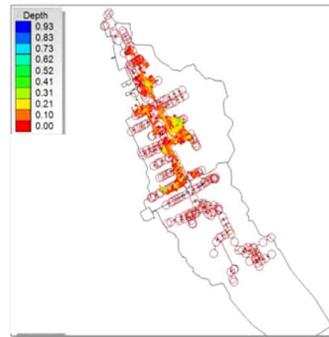
3. 유출모형의 검증

건축물 침수방지대책의 침수피해 저감효과를 파악하기에 앞서, 본 연구에서 구축한 유출모형에 대한 검증이 필요하다. 유출모형의 검증을 위해서는 강우와 수위자료의 관측치를 이용하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구의 대상지역과 같은 도시유역에서는 관망 내 수위자료의 수집이 용이하지 못하다. 본 연구의 궁극적인 목적은 건축물 침수방지대책에 의한 유출 및 침수피해 저감효과를 살펴보는 것이므로, 대상유역의 과거 침수흔적도를 조사하여 본 연구에서 구축한 모형의 침수도의 결과와 비교·검토하였다. 대상유역의 침수흔적도와 XP-SWMM 10.0 모형을 이용한 2차원 침수도의 결과는 그림 4와 같다.

서울시 하수관거의 설계빈도는 대부분 5~30년 빈도이다(서울특별시, 2009). 그림 4a의 과거 침수흔적도를 살펴보면, 시간당 90mm 이상(대략 50년 빈도)의 호우가 발생했던 2011년의 경우에도 침수



a. Flood Damage Areas



b. Flood Simulation Results

그림 4. 사례분석 대상지역의 2011년 침수피해지역과 동일 호우사상을 적용한 침수도의결과 비교

Fig 4. Comparison of Flood Damage Areas with Flood Simulation Results

피해는 대상유역의 상류지역에 비해 하류지역에 집중되어 있음을 알 수 있다. 특히, 유역경사로 인해

유수의 집중도가 높은 간선구간에서 침수지역이 분포되어 있음을 알 수 있다. 시가지 상류부에 일부 침수피해 흔적을 확인할 수 있는데, 이는 대상구역 상류부에서 발생한 토사유입의 영향으로 확인되었다. 이러한 특수한 상황을 제외하면, 유출모의를 통한 침수발생지역과 실제 침수피해지역이 전체적으로 유사함을 알 수 있다.

4. 하수관거 개선에 따른 침수모의 결과

앞서 언급한 바와 같이, 건축물 침수방지대책은 방재시설대책의 보완적인 역할을 한다. 따라서 대표적인 시설물 방재대책의 하나인 하수관거 개선을 시행한 이후의 초과우수에 대하여 분석하였다. 하수관거의 설계기준 상향(지선: 5→10년, 간선: 10→30년)에 따른 부족관거 구간은 서울특별시(2009) 「서울특별시 하수도정비기본계획(변경) 보고서」의 결과를 이용하였다.

앞서 구축한 도시유출모형에서 하수관거의 설계기준을 상향 조정된 후에 재현기간별 확률강우량을 적용한 경우의 침수모의 결과는 표 3과 그림 5와 같다. 침수모의 결과에서 나타나는 침수취약지역은 그림 4a의 과거 침수흔적과 전체적으로 유사함을 알 수 있다. 다만 상류부에서 침수피해가 일부 발생하지 않고 있는데, 이는 상대적으로 급경사지인 상류에서 관거개선의 효과가 작용한 것으로 이해할 수 있다. 침수모의 결과를 전체적으로 보면, 재현기

간 10년에서는 침수지역이 발생하지 않으며, 재현기간 30년 이후부터 일정 강우규모까지 침수범위가 유사하게 나타나고, 재현기간 100년과 같은 큰 강우규모에는 침수범위가 크게 증가함을 알 수 있다.

대상구역에 건축물 침수방지대책의 적용가능성을 염두에 두고 그림 5와 표 3을 보면, 재현기간 30, 50, 70, 100년의 강우규모에 대해서는 지하층 거실용도 규제대책이 필요하며, 재현기간 100년의 강우규모에서는 침수심이 0.5m 이상인 지역이 나타나기 때문에 이들 지역에 대해서는 필로티가 추가로 고려되어야 함을 알 수 있다. 또한 대상지역에서 100년 강우규모까지는 침수심 1m 이상이 되는 심각한 지역은 없는 것으로 나타나 기존 건축물 철거·이전과 같은 극단적인 대책이 필요하지는 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 건축물 침수방지대책으로 지하층 거실용도 규제와 1층부 필로티 건축을 적용하는 경우를 중심으로 침수피해 저감효과와 추가소요비용을 분석하였다.

V. 건축물 침수방지대책의 비용 비교분석

1 지하층 거실용도 규제비용 추정방법

침수심 0.1m 이상 침수위험지역에서 침수위 이

표 3. 하수관거 개선에 따른 재현기간별 침수모의 결과

Table 3. Flood Simulation Results After Drainage Improvements

재현기간(년) Return Period(yrs.)	침수심(m) Flood Depth(m)		침수면적(m ²) Flood Area(m ²)	1층부 건축면적(m ²) Area of Ground Floors of Building(m ²)	지하부 거실용도 면적(m ²) Area of Living Spaces of Basement(m ²)
	최대(Max.)	평균(Avg.)			
30	0.307	0.058	24,782	10,412	3,969
50	0.356	0.063	40,881	17,318	8,128
70	0.384	0.064	58,910	24,530	10,704
100	0.903	0.091	134,178	52,742	28,024

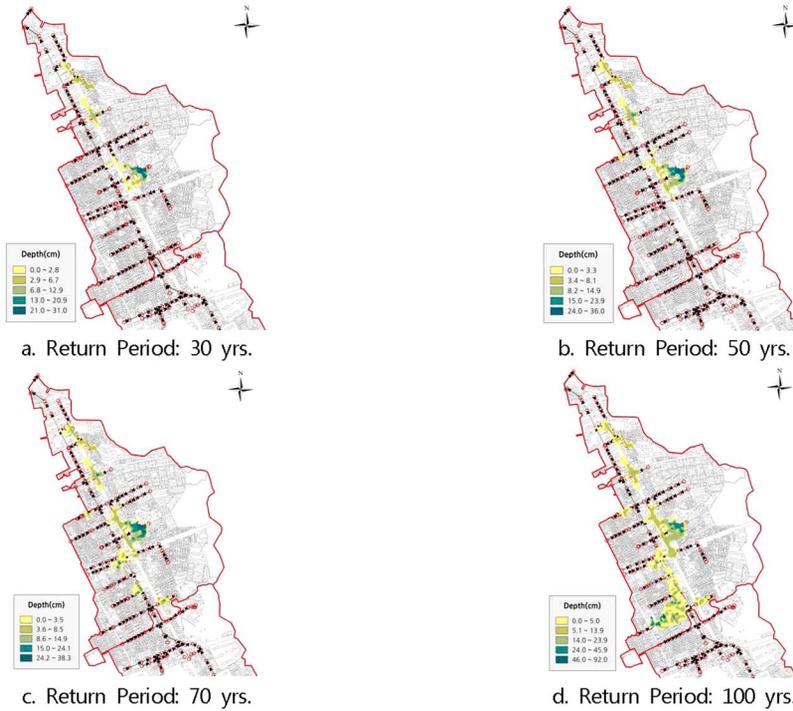


그림 5. 하수관거 개선에 따른 재현기간별 침수범위 및 침수심
 Fig 5. Comparison of Flood Areas and Depths by Return Period After Drainage Improvements

하 건축물 부분의 거실용도 사용을 제한하면 침수 피해는 막을 수 있는 반면, 소유자의 입장에서는 임대료 손실 등의 비용이 발생한다. 이에 본 연구에서는 임대료 손실비용 추정을 위해 건축물 지하층의 거실용도(주거, 상업, 업무, 제조 등)로 사용되는 면적과 건축물 용도별 지하층 연간임대료를 고려하였으며, 기타 추가비용은 없는 것으로 가정하였다.

$$\text{지하층 거실용도임대료총액} = \text{건축물 용도별 지하층 거실용도 면적} \times \text{건축물 용도별 지하층 연간임대료}$$

여기서 건축물 용도는 아파트, 다세대주택, 연립주택, 단독주택, 다가구주택, 오피스텔, 상가, 사무실 등 8개 용도로 구분하고, 건축물의 지하층 거실용도 면적은 해당지역의 건축물대장자료를 이용하여 산정하였다.

먼저 침수심 0.1m 이상인 지역을 식별하고, 건축물의 지하층에 거실용도로 사용되는 부분의 용도별 면적을 산정하였다.

건축물 용도별 지하층 연간임대료 산정을 위하여 지상층 임대료를 조사하여 건축물 단위면적당 연간 임대료를 산정하였다. 임대료 정보는 서울부동산정보광장(<http://land.seoul.go.kr>)과 부동산 114(<http://www.r114.com>) 자료를 이용하였다. 전세와 보증부월세의 경우는 보증금이 없는 완전월세로 환산하였는데, 이를 위해 매분기마다 서울부동산정보광장과 KB국민은행 등에서 발표하는 권역별·주택유형별 전월세전환율을 참고하여 아래 변환식을 통해 완전월세액으로 전환하였다.

$$\text{연간 완전월세액} = (\text{보증금} \times (\text{전월세전환율} / 12 / 100) + \text{월세}) \times 12 \text{개월}$$

지하층 연간임대료는 국토해양부(2010) 조사자료

표 4. 건축물 용도별 연간 완전월세액 (서울시 서초구 방배지역 사례)
Table 4. Yearly Unit Rent by Building Use (Case of Bangbae-dong, Seocho-gu, Seoul)

건축물 용도 Building Use	지상층 연간 완전월세액(원/3.3㎡) Monthly Rent of Ground Floor(won/3.3m ²)	지하층 연간 완전월세액(원/3.3㎡) Monthly Rent of Basement Floor(won/3.3m ²)
단독·다가구주택 Detached (Single or Multiple Household)	760,920	380,460
다세대·연립주택 Multiplex or Row House	789,516	394,758
아파트 Apartment	1,141,620	-
오피스텔 Studio Apartment(Officetel)	1,189,068	-
상가 Commercial	1,051,956	315,587
사무실 Office	674,472	202,342

를 참조하여 지상층 연간임대료의 30~50%(상가 및 사무실 30%, 주택 50%)로 가정하였는데, 이는 지하층 매물자료의 구득이 용이하지 않고, 주택 실거래가 자료가 갖는 매수자와 매도자간 정보의 비대칭성이라는 한계가 있기 때문이다.

지하층 거실용도 규제비용, 즉 지하층 임대료 손실 추정절차는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ① 건축물 용도별 지하층 거실용도 면적 산정
 - 해당지역의 건축물대장자료 이용
- ② 지상층 연간임대료 산정
 - 해당지역의 지상층 임대료 정보 수집(서울부동산정보광장, 부동산114 등)
 - 완전월세로 정리(전월세전환율 이용)
- ③ 지하층 연간임대료 산정
 - 지상층 연간임대료 대비 주택은 50%, 상가 및 사무실은 30%로 가정

2. 필로티 설치비용 추정방법

필로티는 건축물이 침수위보다 낮은 곳에 위치할 경우 1층 바닥높이를 침수위 이상으로 하는 건축구조로서, 침수피해는 막을 수 있지만 소유자 입장에

서는 필로티 설치비용이 추가로 발생하게 된다. 필로티 대책은 침수심 0.5m 이상 지역의 건축물에 적용되며, 필로티 설치로 인해 1층 부분이 높아짐으로 인한 임대료 손실은 미미하다고 보고 고려하지 않았다. 필로티 설치비용은 다음과 같이 산정하였다.

$$\text{필로티 설치비용} = \text{건축물 용도별 1층 건축면적} \times \text{필로티 설치비용}$$

여기서 건축물의 1층부 건축면적 산정은 건축물대장자료를 이용하였고, 건축물 용도별 단위면적당 필로티 설치비용은 한국감정원(2013) 「2013년도 건물신축단가표」를 참고하여 산정하였다. 건물신축단가의 건축구조형식은 필로티가 아닌 일반구조를 기준으로 하고 있기 때문에 필로티 설치비를 산정함에 있어 부대설비 비용은 제외하였다.

앞서와 같이 침수심 0.5m 이상인 지역 내 1층부 건축면적을 산정하였다. 건축물을 8개 용도로 구분하고, 건축구조는 필로티 구조가 가능한 철골철근콘크리트조 및 철근콘크리트조로 분류하였다. 건물신축단가(부대설비 비용 제외)를 건축물 용도별로 정

표 5. 건축물 용도별 필로티 설치비용 원단위 추정치 (2013년 기준)
Table 5. Unit Costs of Piloti Construction by Building Use (2013)

건축물 용도 Building Use	단위면적당 비용(원/m ²) Basic Cost Unit(won/m ²)	건축물 용도 Building Use	단위면적당 비용(원/m ²) Basic Cost Unit(won/m ²)
단독주택 Detached (Single Household)	732,500	아파트 Apartment	507,813
다구주택 Detached (Multiple Household)	450,750	오피스텔 Studio Apartment	598,300
연립주택 Row House	876,500	상가 Commercial	497,500
다세대주택 Multiplex House	543,500	사무실 Office	583,067

리한 후, 건축물의 1층부 면적을 고려하여 건축물 용도별 단위면적당 표준단가를 산정하였다. 최종적으로 필로티 건물신축단가는 건물신축단가의 50%를 가정하여 결정하였다. 이상의 필로티 설치비용 추정을 위한 절차는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ① 건축물 용도별 1층부 건축면적 산정
 - 해당지역의 건축물대장자료 이용
 - ② 건축물 용도별 단위면적당 표준단가 산정
 - 2013년도 건물신축단가표(한국감정원)
 - 가용한 건축구조 선정(철골철근콘크리트조, 철근콘크리트조)
 - 부대설비 비용을 제외한 건축물 단위면적당 표준단가 산정
 - ③ 필로티 건물신축단가 산정
 - 건축물 단위면적당 표준단가의 50% 가정
- 이상과 같은 과정을 통해 추정한 건축물 용도별 필로티 건설비용의 원단위는 표 5와 같다.

3. 건축물 침수방지대책의 비용 추정

대상구역 내 건축물 침수방지대책의 비용을 추정하기 위해서는 먼저 유출-범람모의 결과를 근거로 건축물 침수방지대책의 적용범위를 설정해야 한다. 이는 도시유출모형에 의한 침수모의 결과가 우수관망의 노드(node)를 중심으로 발생하기 때문이다. 이

에 본 연구에서는 침수모의 결과를 소로를 기준으로 블록단위로 구획하여 적용대상을 그림 6과 같이 설정하였다.

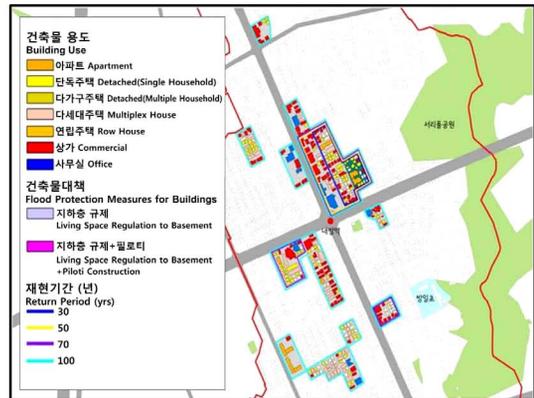


그림 6 건축물 침수방지대책 적용대상
Fig 6. Target Area of Flood Protection Measures for Buildings

그림 6에서 볼 수 있듯이, 대상구역에서 적용 가능한 침수방지대책은 지하층 거실용도 규제와 필로티 설치가 있다. 이에 각 대책의 비용은 지하층 거실용도 규제에 따른 연간임대료 손실비용과 필로티 설치비용으로 구분하여 산정하였으며, 그 결과는 표 6과 같다. 지하층 거실용도 규제에 따른 연간임대료 손실비용은 30년빈도 호우의 경우 423백만 원, 50년빈도 호우의 경우 793백만 원, 70년빈도 호우

표 6. 건축물 침수방지대책의 효과 대비 소요비용 (분석대상기간: 30년)

Table 6. Costs and Effects of Flood Protection Measures for Buildings (Period: 30 yrs.)

재현기간(년) Return Period (yrs.)	건축물 침수방지대책 Measures	소요비용(원) Total Costs(won)	침수피해 해소면적당 소요비용(원/m ²) Unit Costs per Flood Reduction Area(won/m ²)	침수피해 해소 건축면적당 비용(원/m ²) Unit Costs per Flood Reduction Building Area(won/m ²)
30	지하층 규제 Living Space Regulation to Basement	6,151,659,034	1,156,327	590,824
50	지하층 규제 Living Space Regulation to Basement	11,522,868,625	1,062,603	665,369
70	지하층 규제 Living Space Regulation to Basement	15,564,095,676	876,949	634,492
100	지하층 규제+ 필로티 설치 Living Space Regulation to Basement + Piloti Construction	41,194,514,096	1,076,587	781,057

의 경우 1,071백만 원, 100년빈도 호우의 경우 2,703백만 원으로 나타났다. 더불어 100년빈도 호우에 대해서는 1,594백만 원이 소요되는 필로티 대책이 추가로 소요되어야 하며, 이때 건축물 침수를 방지하기 위한 총 소요비용은 4,297백만 원으로 나타났다.

4. 건축물 침수방지대책의 효과 대비 소요 비용 비교

침수방지대책에 대한 경제성분석은 사회 전체의 경제적 관점에서 사업의 타당성 및 효율성을 평가하고, 이를 근거로 사업의 투자우선순위 선정을 위한 기준을 마련하기 위한 것이다(한국개발연구원, 2008). 일반적인 치수경제성 분석에서 비용 산정은 각 대안의 초기 사업비(설계비, 공사비)와 유지관리 비용을 고려하고, 편익의 경우는 홍수피해액, 복구 비용 등을 이용하는 경우가 많다. 특히, 치수사업의 경우는 이러한 직접적 편익뿐만 아니라 물순환체계

회복, 삶의 질 개선, 도시환경 개선 등과 같은 매우 다양하고 복잡한 효과가 있는 것으로 알려져 있다(전지홍 등, 2009; 주진결 등, 2012). 이러한 긍정적인 효과를 모두 편익에 고려하는 것은 쉽지 않을 뿐더러, 주관적인 견해에 따라 편익 산정결과가 왜곡될 여지가 높다. 이에 본 연구에서는 침수범위에 상응하는 건축물 침수방지대책의 비용과 효과를 상대 비교하는 일종의 비용효과분석(cost-effectiveness analysis)을 실시하였다.

건축물 침수방지대책의 효과 대비 소요비용을 비교하기 위해서는 분석기간, 할인율 등을 설정해야 한다. 본 연구에서는 필로티 건축을 고려하여 분석기간을 30년으로 설정하고, 할인율은 5.5%, 필로티에 대한 대수선비는 설치 15년 후 설치비의 20%로 가정하였으며, 시설물의 감가상각률(depreciation rate)을 고려한 잔존가치는 고려하지 않았다.

건축물 침수방지대책의 소요비용을 분석기간에 대해 재현기간별로 산정하면 표 7과 같다. 대책들의 특성을 자세히 살펴보기 위해 대책의 총 소요비

표 7. 재현기간별 건축물 침수방지대책의 비용 추정결과 (2013년 기준)
Table 7. Total Costs of Flood Protection Measures by Return Period (2013)

재현기간(년) Return Period (yrs.)	건축물 용도 Building Use	지하층 거실용도 규제 Living Space Regulation to Basement		필로티 설치 Piloti Construction		비용 합계(원) Total Costs(won)
		지하층 거실용도면적(m ²) Area of Living Space of Basement(m ²)	연간임대료 손실액(원) Yearly Rent Losses(won)	1층 건축면적(m ²) Area of Ground Floor(m ²)	설치비용 (원) Construction Costs(won)	
30	단독주택 Detached(Single Household)	1,215	140,078,455			423,267,297
	다가구주택 Detached(Multiple Household)	836	96,383,200			
	다세대주택 Multiplex House	141	16,866,933	-	-	
	상가 Commercial	1,777	169,938,710			
	계 Sum	3,969	423,267,297			
50	단독주택 Detached(Single Household)	1,233	142,153,691			792,835,466
	다가구주택 Detached(Multiple Household)	965	111,255,727			
	다세대주택 Multiplex House	141	16,866,933	-	-	
	상가 Commercial	4,884	467,068,464			
	사무실 Office	905	55,490,651			
	계 Sum	8,128	792,835,466			
70	단독주택 Detached(Single Household)	1,663	191,728,782			1,070,893,668
	다가구주택 Detached(Multiple Household)	2,148	247,644,873			
	다세대주택 Multiplex House	141	16,866,933	-	-	
	상가 Commercial	5,847	559,162,430			
	사무실 Office	905	55,490,651			
	계 Sum	10,704	1,070,893,668			
100	단독주택 Detached(Single Household)	2,691	310,247,836	769	563,292,500	4,296,485,099
	다가구주택 Detached(Multiple Household)	4,387	505,781,218	519	233,939,250	
	다세대주택 Multiplex House	761	91,033,587	273	148,375,500	
	연립주택 Row House	19	2,272,849	-	-	
	아파트 Apartment	-	-	995	505,273,935	
	상가 Commercial	16,231	1,552,208,894	287	142,782,500	
	사무실 Office	3,935	241,277,029	-	-	
	계 Sum	28,024	2,702,821,414	2,843	1,593,663,685	

용과 더불어 침수피해 해소면적을 고려한 '침수피해 해소면적당 소요비용'과 적용대상지역 내의 건축면적만을 대상으로 한 '침수피해 해소 건축면적당 소요비용'을 산정하였다.

표 7에서 볼 수 있듯이, 강우규모 확대에 따라 건축물 침수방지대책의 추가 소요비용이 크게 증가함을 알 수 있다. 총 소요비용은 30년 빈도 약 6,152백만 원, 50년 빈도 약 11,523백만 원, 70년 빈도 약 15,564백만 원, 100년 빈도 약 41,195백만 원인 것으로 나타났다. 특히 100년 빈도에서 필로티 설치가 추가됨에 따라 비용이 크게 증가하였다.

침수피해 해소면적당 추가 소요비용을 살펴보면, 단위면적(m^2)당 877~1,156천원 수준을 보이는 가운데, 지하층 규제만 적용하는 경우에 강우규모가 확대됨에 따라 단위비용은 감소하여 70년 빈도에서 최저수준을 나타내다가 100년 빈도에서 필로티 설치가 추가됨에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 침수피해가 비교적 빈번히 발생하고 침수심이 0.5m 이하인 침수위험지역에서는 지하층 거실용도 규제대책이 상대적으로 효과적이며, 70년 빈도 수준에서 가장 비용효과적임을 알 수 있다. 필로티 대책은 적용하는데 신중을 기할 필요가 있음을 시사 하는 한편, 주차 및 녹지공간 확보, 비탈길 통로 확보, 1층 주거공간의 프라이버시 확보 등 침수방지효과 이외의 긍정적인 효과도 있으므로 다양한 직·간접적인 편익을 고려한 보다 종합적이고 정밀한 분석이 필요하다고 할 수 있다.

침수피해 해소 건축면적당 소요비용은 단위면적(m^2)당 60만원 내외 수준을 보이는 가운데, 단위비용의 감소와 증가를 보이지만 큰 차이를 보이지는 않았다. 건축물 침수방지대책의 재현기간별 비용변화를 요약하면 그림 7과 같다.

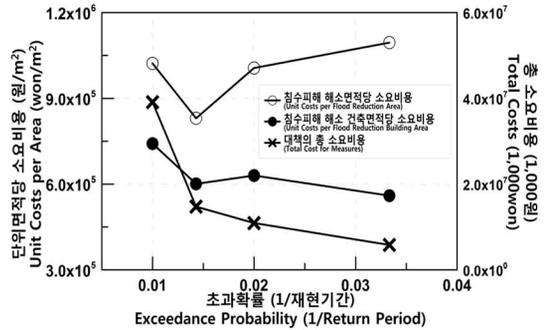


그림 7 건축물 침수방지대책의 재현기간별 소요비용

Fig 7. Costs of Flood Protection Measures by Return Period

VI 결론

본 연구에서는 서울시 서초구의 기성시까지 침수 위험지역을 사례로 하여 침수위험도에 따른 건축물의 침수방지대책을 마련하고, 소유자의 관점에서 각 대책의 소요비용을 추정하기 위한 방법과 그 결과를 제시하였다. 이를 위하여 강우빈도별 유출-범람 해석을 통해 대책의 적용대상범위를 설정하고, 각 대책을 적용할 경우의 소요비용을 비교 분석하였다. 분석내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

고밀화된 기성시까지 유역에서 방제시설 설계용량을 초과하는 집중호우의 빈번한 발생, 방제시설 확대의 공간적 제약 등으로 인해 침수피해가 지속적으로 나타나고 있으며, 이러한 초과우수 및 잔존 위험에 대처하기 위해서는 방제시설 개선뿐만 아니라 시가지 토지이용, 건축물 등의 침수방지대책을 보완함으로써 보다 종합적인 대책이 필요하다. 이에 본 연구에서는 침수심별 사람 및 건축물에 대한 침수위험도를 가정하여 각 침수심에 상응하는 건축물 침수방지대책을 제시하였고, 지하층 거실용도 규제와 필로티 건설비용을 중심으로 각 대책의 추가적인 소요비용을 추정하였다.

적용 결과, 건축물 침수방지대책은 30년 분석대 상기간에 대하여 침수피해 단위면적 1m²당 비용으로 약 876~1,156천원이 추가 소요됨을 알 수 있었다. 또한 재현기간별로는 70년 빈도 강우에 대해서 상대적으로 최소 비용이 소요됨을 알 수 있었다. 이러한 건축물 침수방지대책을 위한 추가 소요비용은 방재지구 운영 시 건축규제를 상쇄·보상할 목적의 용적률 인센티브 또는 공공지원의 규모를 설정하거나 건축물 침수방지대책의 목표수준을 설정하는데 중요한 근거가 될 수 있을 것이다.

한편, 침수피해가 비교적 빈번히 발생하고 침수심이 0.5m 이하인 침수위험지역에서는 지하층 거실 용도 규제대책이 필로티 설치대책에 비해 상대적으로 효과적임을 알 수 있었으며, 필로티 대책은 단위면적당 소요비용이 높기 때문에 적용하는데 신중해야 함을 알 수 있었다. 그렇지만 필로티 구조는 주차 및 녹지공간 확보, 바람길 통로 확보, 1층 주거공간의 프라이버시 확보 등 방재적 측면 이외의 편익도 있으므로, 보다 종합적인 관점에서 심도있는 비용편익분석이 이루어질 필요가 있고, 이는 본 연구의 한계이자 향후 추가 연구가 필요한 부분이다.

본 연구의 한계로는 건축물 침수방지대책이 적용되는 지역 내 소유자 관점에서 비용을 고려하였기 때문에 사회 전체적인 관점을 고려하지 못했고, 건축물 침수방지대책으로 인한 다양한 직·간접적인 편익과 비용의 항목들을 종합적으로 살펴볼 수 없었다는 것이다. 향후 보다 정교한 경제성분석이 필요한 부분이다. 또한 본 연구는 서울시 내의 기성 시가지 유역 한 곳에 대해서만 적용하였는데, 다양한 유역에의 적용을 통해 각 대책의 적용가능성을 평가하고 보다 일반화된 특성을 도출할 필요가 있다. 끝으로, 다양한 침수방지대책들 중에서 침수위험지역 내에서 적용 가능한 건축대책만을 고려했는데, 보다 종합적인 침수방지를 위해서는 침수위험지역을 포함하는 유역 전체 차원에서의 저류·침투시

설, 토지이용관리 등의 대책이 가능하고 또한 병행될 수 있다. 향후 이러한 대책들의 통합적인 경제성분석과 효과에 대한 연구들이 지속적으로 이뤄져야 할 것으로 사료된다.

인용문헌

References

1. 강병화, 2011. 「초고층 및 지하연계 복합건축물의 지하공간 침수대책 평가기준 연구」, 고려대학교 박사학위논문.
Kang, B. H., 2011. *Inundation Assessment and Preventive Measures for the Underground Space connected to Super High-rise and Multipurpose Buildings*, Ph.D. dissertation, Korea University.
2. 국토해양부, 2010. 「2010년 4/4분기 및 연간 오피스·매장용빌딩 임대료조사 및 투자수익률 추계 결과 보고서」, 경기.
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2010. "Report on Yearly Rent and Investment Returns in the 4th Quarter of 2010", Gyeonggi.
3. 국토해양부, 2011. 「확률강우량도 개선 및 보완 연구」, 경기.
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2011. *Study on the Improvement and Supplement of Probability Rainfall*, Gyeonggi.
4. 김윤종·이창희·여창건, 2008. "도시지역 지하공간의 침수위험도 평가와 대책: 지하철역사를 대상으로", 「한국수자원학회지」, 41(3): 49-53.
Kim, Y. J., Lee, C. H., and Yeo, C. G., 2008. "Assessment and Measures of Flood Risks of Underground Spaces: Centering on Subway Stations", *Magazine of Korea Water Resources Association*, 41(3): 49-53.
5. 대한국토·도시계획학회, 2014. 「우리 국토와 도시, 안전한가?」, 제3차 정책토론회 자료.

- Korea Planners Association, 2014. *Our Territories and Cities, Are They Safe?*, Report of the 3rd Policy Forum.
6. 박창열·신상영·손은정, 2013. “다변량 분석을 이용한 서울의 상습침수지역 유형화”, 「한국방재학회논문집」, 13(2): 245-255.
Park, C., Shin, S. Y., and Son, E. J., 2013. “Classifying Flood Prone Areas in Seoul using Multivariate Analysis”, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(2): 245-255.
 7. 서울시정개발연구원, 2005. 「서울시 지하공간 침수 방지 대책 및 대피체계수립 방안: 지하철 침수방지 대책을 중심으로」, 서울.
The Seoul Institute, 2005. *A Study on Inundation Prevention and Evacuation Systems of Underground Spaces in Seoul*, Seoul.
 8. 서울시정개발연구원, 2011. 「토지이용특성과 침수 피해지역 간의 관계 연구」, 서울.
The Seoul Development Institute. 2011. *Analyzing the Relationships between Land Use Characteristics and Flood Damage Areas*, Seoul.
 9. 서울연구원, 2012. 「서울시 투·융자심사의 경제성 분석을 위한 가이드라인 연구 I(일반지침, 문화체육, 일반행정 및 산업)」, 서울.
The Seoul Institute, 2012. *A Guideline for Economic Feasibility Analysis in Seoul Investment Appraisal System (I) - General Guide, Culture & Sports, General Administration and Industry -*, Seoul.
 10. 서울특별시, 2009. 「서울특별시 하수도정비 기본 계획(변경)」 보고서, 서울.
Seoul Metropolitan Government (SMG) 2009. *Master Plan of Drainage Improvements for Seoul Metropolitan City* Seoul.
 11. 신동수·박재범·손태석·조덕준, 2012. “수리모형실험을 통한 복합지하공간 침수방지대책 영향 평가”, 「한국방재학회논문집」, 12(4): 59-65.
Shin, D. S., Park, J. B., Shon, T. S., and Jo, D. J., 2012. “Preventive Measures Assessment to Prevent Flooding Complex Underground Space through Hydraulic Model Experiment”, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(4): 59-65.
 12. 신상영·박민규·이석민, 2011. “기상이변에 대응한 서울의 수해방지전략”, 「SDI 정책리포트」, 96: 1-22.
Shin, S. Y., Park, M., and Lee, S. M., 2011. “Flood Protection Strategies to Cope with Extreme Weather in Seoul City”, *SDI Policy*, 96: 1-22.
 13. 신상영·이창희·이양재·여창건, 2007. “비용편익분석을 이용한 도시건축물의 방어침수위 설정”, 「대한토목학회논문집」, 27(6B): 651-659.
Shin, S. Y., Lee, C. H., Lee, Y. J., and Yeo, C. G., 2007. “Determining Flood Protection Elevation of Urban Structure Using Cost-Benefit Analysis”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 27(6B): 651-659.
 14. 안재현·박무종, 2006. “지하공간 침수피해 상황 및 방지대책”, 「한국수자원학회지」, 39(8): 69-74.
Ahn, J. H., and Park, M. J., 2006. “Flood Damage and Prevention Measures of Underground Spaces”, *Magazine of Korea Water Resources Association*, 39(8): 69-74.
 15. 안태진, 2010. 재난환경 변화에 따른 도시방재 패러다임 변화. 「방재연구」, 12(4): 5-14.
Ahn, T. J., 2010. “Paradigm Shift of Urban Disaster Prevention by Change of Disaster Circumstances”, *Disaster Prevention Research*, 12(4): 5-14.
 16. 유철상·김경준·박용희·박현근·김대하, 2005. “도시 지하공간 침수 위험 방지를 위한 턱 높이 결정”, 2005 대한토목학회 정기학술대회, 제주: 제주국제 컨벤션센터.
Yoo, C, Kim, K, Park, Y, Park, H, and Kim, D, 2005. “Determination of Sill Height to Prevent Inundation at Urban Underground Space”, Paper Presented at the *Annual Conference of the Korean Society of Civil Engineers*, Jeju: International Convention Center Jeju.
 17. 이양재·신상영·이창희, 2008. “도시지역 방어침수위

- 설정방법 비교분석”, 「대한토목학회논문집」, 28(3B): 271-281.
- Lee, Y. J., Shin, S. Y., and Lee, C. H., 2008. "Comparing Methods for Determining Flood Protection Elevation in Urban Built-up Areas", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 28(3B): 271-281.
18. 이창희·한건연, 2007. "지하공간 침수해석 모형과 연계한 도시침수해석 통합모형", 「한국수자원학회 논문집」, 40(4): 313-324.
- Lee, C. H., and Han, G. Y., 2007. "Integration Model for Urban Flood Inundation Linked with Underground Space Flood Analysis Model", *Journal of Korea Water Resources Association*, 40(4): 313-324.
19. 전지홍·김정진·최동혁·한재웅·김태등, 2009. "LID-IMPs 선정 가이드라인 제시와 아파트단지에서의 LID 설계", 「한국물환경학회지」, 25(6): 886-895.
- Jeon, J. H., Kim, J. J., Choi, D. H., Han, J. W., and Kim, T. D., 2009. "Guideline of LID-IMPs Selection and the Strategy of LID Design in Apartment Complex", *Journal of Korean Society on Water Quality*, 25(6): 886-895.
20. 주진걸·이유화·조혜진·김중훈, 2012. "가로수목공간 조성기술의 적용을 통한 장기 우수유출 저감효과 분석", 「한국방재학회논문집」, 12(2): 193-197.
- Joo, J. G., Lee, Y. H., Cho, H. J., and Kim, J. H., 2012. "Analysis of Long-term Runoff Reduction Effects by Installation of Street Tree Box", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(2): 193-197.
21. 한국감정원, 2013. 「2013년도 건물신축단가표」, 서울.
- Korea Appraisal Board, 2013. *Unit Costs of Building Construction, 2013, Seoul.*
22. 한국개발연구원, 2008. 「수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)」, 서울.
- Korea Development Institute, 2008. *A Study on the Amendment and Improvement of Standard Guidelines for Preliminary Feasibility Analysis of Water Resources Projects(4th ed.)*, Seoul.
23. American Planning Association, 2006. *Planning and Urban Design Standards*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp.148~150.
24. IPCC, 2007. *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
25. U.K. Department for Communities and Local Government, 2012, *National Planning Policy Framework*, U.K.
26. U.S. Maryland Department of the Environment, 2006. *Maryland Floodplain Manager's Handbook*, U.S.

Date Received 2014-09-30
 Reviewed(1st) 2014-12-03
 Date Revised 2014-12-21
 Reviewed(2nd) 2014-12-27
 Date Accepted 2014-12-27
 Final Received 2015-01-05