



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

도시차원 수문학 분석을 통한
지자체 홍수 재해 대응 방안 설계
강동구지역에 대한 저류조 설계를 중심으로
Preventive Design for Flooding on Local
Government based on Urban Scale Hydraulic
Analysis
Focus on designing storage tank at
Gangdong-gu

2019년 8월

서울대학교 대학원
협동과정 도시설계학
최영훈

도시차원 수문학 분석을 통한
지자체 홍수 재해 대응 방안 설계
강동구지역에 대한 저류조 설계를 중심으로
Preventive Design for Flooding on Local
Government based on Urban Scale Hydraulic
Analysis

Focus on designing storage tank at
Gangdong-gu

지도교수 강 준 석

2019년 8월

서울대학교 대학원

협동과정 도시설계학

최 영 훈

최영훈의 석사학위논문을 인준함

2019년 8월

위 원 장 _____ (인)

부 위 원 장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

본 연구에서는 기후변화에 따른 강수량 증가로 인해 홍수의 규모가 커질 것에 대비해 지자체에서 자체적으로 재난에 대비할 수 있는 대응 방안을 설계하였다. 전 세계적으로 도시화가 급증하면서 각종 재난에 대비한 시설이 많이 늘어나고 있지만 피해는 줄고 있지 않다. 그 중 물 재해로 인한 피해가 가장 피해가 큰데 2018년 일본의 경우 그 피해액이 10조원에 다다랐다. 주로 이런 재난에 대한 대응책으로 국가차원에서 대규모 저류조 등을 설치하고 있지만 지자체 입장에서의 대응책은 현실적으로 어렵기에 부실한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 적지분석과 수문학 분석을 통해 최소한의 재화로 최대한의 효과를 내는 설계를 진행하였다.

우선 홍수의 유형을 정리하면 불투수면적의 증가로 인해 발생하는 도시홍수, 강이나 하천의 범람으로 발생하는 하천홍수, 해안가에서 발생하는 해안홍수 그리고 급경사지에서 갑작스러운 강우로 인해 발생하는 돌발홍수가 있다. 이 중 본 연구에서는 도시홍수에 집중하였고 대상지로는 강동구를 선정하였다. 홍수에 대한 재난 대응 기술은 주로 저류조, 관거 확장, 투수포장이 있지만 투수포장과 관거 확장은 비싼 공사비 그리고 다량의 민원으로 인해 실질적으로 적용이 어려워 저류조 설치를 주된 적용 기술로 선정하였다. 강동구의 적지분석은 ArcGIS로 하였으며 국토지리정보 플랫폼의 공공데이터를 기반으로 용도를 분류하였다. 이에 해당되는 용도는 학교, 주차장, 공공시설, 지하창고 등이 해당된다. 수문학 분석은 DEM자료를 활용하여 ArcGIS의 플러그인인 ArcHydro를 통해 진행하였다.

본 연구를 통해 서울시 전체를 분석한 결과 3가지의 결과를 얻을 수

있었다. 첫 째, 침수지역과 영향지역(Watershed)는 몇 가지 유형으로 나뉘었는데 침수지역은 물의 흐름 중간에 있으며 주택과 상가건물이 피해를 입은 유형이 가장 많았고, 영향지역은 주택과 상가 건물이 대부분인 유형이 가장 많았다. 강동구는 이 두가지 유형에 모두 적합하여 대표성을 띄는 구이다. 둘째, 강동구를 대상으로 빗물 저류시설, 침수지, 저류시설, 생태수로 그리고 분산형 빗물 저류조를 배치 설계 하였고 그 효과를 보았다. 기존 집중 강우 중 가장 컸던 시간당 100mm의 강우 시 기술 도입 전 대비 기술 도입 후 총 97%의 면적이 줄어 설계안의 효과가 적절했다는 결론이 나왔다. 셋 째, 이 설계안을 기후변화 시나리오와 확률강우강도 빈도와 연계하여 비교했을 때는 조금 다른 결과가 나왔다. RCP 8.5의 40년 빈도 강우(84mm/h)의 경우는 침수가 발생하지 않았지만, RCP 8.5의 70년 빈도 강우(126mm/h)의 경우에는 기존 침수지역의 절반이 침수되었다. 시나리오와의 비교를 통해 어느 시점에 새로운 기술이 도입되어야 하는지에 대한 기준을 제시하였다. 마지막으로는 재난 성능 지수 설계(Hazard Capacity Factor Design) 모델을 개발하여 일반화 하였다. 이 모델로 도시홍수 대응의 방법론을 일반화하여 해안홍수, 하천홍수에 도입할 수 있도록 하였다.

본 연구는 분석 프로그램의 정확성, 정보의 제약 등의 한계를 가지고 있지만 지자체에서 구하기 쉬운 자료를 바탕으로 기후변화에 따른 재해 대비 방법론을 정립하고 사업 시행의 의사결정에 도움을 줄 수 있다는데 의의가 있다. 추후에 분석 방법이 더 정확해 지고 다양한 재난에 대한 방법론이 정립되어 간다면 더 나은 모델이 구축되어 갈 것이다.

핵심용어: 도시홍수, 기후변화, ArcGIS, ArcHydro, 저류조, 적지분석

목 차

제 1장 서론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 현황 조사	3
1.2.1 국토 차원에서의 대응	3
1.2.2 시·구 차원에서의 대응	5
1.3 연구의 목적	7
1.4 연구의 구성 및 개요	7
제 2장 문헌조사	8
2.1 홍수와 관련된 연구	8
2.2 홍수의 유형과 원인	11
2.3 기술의 유형	13
2.4 저류조의 분류	16
2.4.1 물의 유입에 따른 분류	16
2.4.2 설치 위치에 따른 분류	17
2.4.3 대표적인 기술	19
제 3장 방법론	23
3.1 연구 흐름도	23
3.2 분석 프로그램의 선정	24

3.3. 기본 DEM(Digital Elevation Model)	27
3.4 수문학 분석 방법	29
3.5 기후변화 시나리오	31
제 4장 분석 결과	35
4.1 분석 대상지	35
4.2 침수 지역	36
4.3 영향 지역	42
제 5장 대상지 설계	47
5.1 설계 대상지 선정 및 상세 분석	47
5.1.1 건물 형태와 녹지	48
5.1.2 상습 침수 지역	49
5.1.3 침수지역의 건물 용도	50
5.1.4 침수지역 건물 유형	51
5.1.5 영향지역 분포.....	52
5.1.6 영향지역 건물 용도	53
5.1.7 영향지역 건물 유형	54
5.1.8 Drainage Line	55
5.1.9 강동구의 미래 계획	56
5.2 설계 논리	58
5.2.1 강우 시나리오에 따른 피해 면적과 변동	58

5.2.2 기술 적용 논리	60
5.2.3 기술 효과 산정	62
5.2.4 가용지 선정	63
5.3 마스터 플랜	68
5.4 연도별 RCP 시나리오에 따른 기술효과	70
5.5 Hazard Capacity Factor Design(HCFD) Model	73
제 6장 결론	75
참고 문헌	77
Abstract	80
부록	83

표 목 차

<표 1> 홍수조절지 및 저류지 관련 용어 정의	4
<표 2> 시공 가격과 침수 저감 효과율	10
<표 3> 설치 위치에 따른 분류	18
<표 4> 저류조의 종류	20
<표 5> RCP값에 따른 시나리오와 CO2 농도	31
<표 6> Select by Attribute의 Code	65
<표 7> 현장 답사 시 저류조 배치에 문제가 되는 항목들	67
<표 8> 기후변화 시나리오에 따른 확률강우강도	70

그림 목 차

<그림 1> 국내·외 홍수 피해 사례	2
<그림 2> 서울시 수해대책의 목표	6
<그림 3> 홍수 위험도 평가의 결과와 분류	9
<그림 4> 홍수의 유형	12
<그림 5> 서울시 홍수 피해 통계	13
<그림 6> 기술의 유형	15
<그림 7> 물의 유입에 따른 저류조 분류	16
<그림 8> 연구 흐름도	23
<그림 9> 분석 프로그램	25
<그림 10> ArcHydro의 결과 예시	26
<그림 11> DEM 제작방법	28
<그림 12> DEM을 위해 사용된 File	28
<그림 13> 수문학 분석 방법	30
<그림 14> 온도와 강수량 변화 추이	32
<그림 15> 강우 극한지수 변화(1912~2017년)	33
<그림 16> 서울시 DEM과 침수 내역	35
<그림 17> 침수지역 유형	39
<그림 18> 침수지역 건물 용도	41
<그림 19> 침수지역 대비 영향지역 면적 비율	42

<그림 21> 영향지역 건물 유형	44
<그림 21> 영향지역 건물 용도	46
<그림 22> 강동구 위성사진	47
<그림 23> 강동구의 건물 형태와 녹지 분포	48
<그림 24> 강동구의 상습 침수 지역 건물	49
<그림 25> 강동구의 침수 지역 건물 용도	50
<그림 26> 강동구의 침수지역 건물 유형	51
<그림 27> 강동구의 영향지역 분포	52
<그림 28> 강동구의 영향지역 건물 용도	53
<그림 29> 강동구의 영향지역 건물 형태	54
<그림 30> 강동구의 Drainage Line 형태	55
<그림 31> 기후변화 시나리오에 따른 강우량 변화	57
<그림 32> Select by Location 예시	63
<그림 33> Select by Attribute 예시	64
<그림 34> 마스터플랜	68
<그림 35> 시나리오별 침수면적과 효과	72

제 1장 서론

1.1 연구의 배경

홍수는 인류가 생활하기 시작하면서부터 꾸준히 문제가 되어왔던 재난이다. 근대, 현대에 발생한 국내 대홍수의 경우는 1925년 을축년에 발생한 홍수, 1984년에 발생한 한강 대홍수, 2002년과 2003년에 발생한 루사와 매미가 있다. 각각의 홍수들은 도심지와 지방에 엄청난 피해를 일으켰고 피해액은 점차 커졌다. 가장 최근에 발생한 대규모 홍수피해로는 2010년 5명의 사망자와 221억원의 피해액 그리고 2011년에 사망자 22명과 313억의 피해액이 발생하였다. 근래에는 국내에 큰 규모의 홍수가 일어나지는 않았지만 주변 나라를 살펴보면 아직도 홍수는 큰 문제가 되고 있다. 2018년 서일본에서는 큰 대규모 홍수가 발생하여 총 225명의 사망자가 발생하고, 한화 19조원의 피해가 발생했고, 대만에서는 집중 강우로 인해 7명의 사망자와 6000여명의 이재민이 발생했다.

본 연구는 이러한 상황들을 살펴보면서 '도시는 기술의 발전으로 인해 인간에게 편리하고 안전한 방향으로 발전하고 있다고 하지만 왜 물로 인한 자연재해 피해는 줄어 들지 않는가?' 라는 질문으로부터 시작하였다. 관련된 연구결과와 기사내용들을 찾아 본 결과 큰 이유로는 재해는 예측하기가 어렵기 때문에 정확하게 대비하는 것이 어렵고, 기후변화로 인해 재해의 강도가 점차 강해지는 것이 가장 중요한 요인이다. 좀 더 세부적인 요인으로 분석해보면 크게 3가지로 나뉘볼 수 있다. 첫 째, 홍수의 대비한 시설의 경우 국토 전체 차원에서 설치하는 것이 일반적이기 때문에 실제 피해가 일어나는 지자체에서는 적극적으로 대응하기 어렵다. 두 번째로는 재난에 대비한 대규모 시공의 경우 집행률이 낮다는

문제점이 있다. 세계일보에서 2018년에 보도한 자료에 따르면 2018년에 지정된 공사 지구 22개 중 10곳이 사업 지연이 되거나 실행되지 못해 4년새 절반수준으로 떨어졌다. 마지막으로 기후변화로 인해 더 큰 피해가 오고 있지만 변화를 예측하기가 어렵고 자칫하다간 과다 설계로 인한 부작용 때문에 현재로서는 피해가 닥쳐왔을 때 대비하거나 복구에 힘을 쓰는 것이 일반적인 방법이기 때문이다.



a. 2018 서일본 대홍수 피해



b. 2018 대만 홍수 피해



c. 2010 서울의 홍수 피해



d. 2011 서울의 홍수 피해

<그림 1> 국내·외 홍수 피해 사례

1.2 현황조사

현황 조사는 국토, 시·구 단위로 어떤 풍수해 저감 조치 계획과 시행이 있는지를 파악하였다. 국토 차원에서는 하천 범람을 대비한 계획과 시설이 주를 이루고 있지만, 시·구 단위에서는 조금 다른 성격의 계획을 가지고 있다. 예를 들어 서울시 같은 경우는 하천홍수의 피해는 거의 일어나지 않고 있기에 내수침수로 발생한 피해에 대해 계획과 시행이 이루어지고 있다. 구 단위의 경우에는 한강 이남의 지역이 침수피해가 주로 발생하기에 적극적으로 계획을 수립하고 사업을 시행하고 있다.

1.2.1 국토 차원에서의 대응

국토부에서는 홍수 대비를 위해 '홍수조절지 및 저류지 관리규정(2017)'을 가지고 있다. 주된 내용은 홍수 조절지에 대한 정의와 저류지 운영 방법 그리고 홍수경계체제에 대해 담고 있다. 국토 차원에서의 계획과 관리이기 때문에 <표 1>과 같이 도심지내 홍수피해 보다는 하천홍수에 대한 관리 지침의 성격을 띄고 있다. 그 중 지침에서는 저류지 운영을 집중적으로 언급하고 있는데, 이는 저류지의 홍수 대비 효과가 크기 때문이다. 저류지 운영의 가장 핵심은 홍수 조절 용량을 최대한 확보하여 홍수의 방어 또는 경감에 기여할 수 있도록 적정하게 운영해야 한다는 점이다. 또한 수질 및 수생태계의 보전을 목적으로 관계행정기관의 저수 또는 방류 요청이 있는 경우 저류지에 일시 저수 하였다가 방류할 수 있다. 저류지의 운영 이외에도 유지 보수 그리고 경보체계에 대해서도 비중을 두고 있다.

<표 1> 홍수조절지 및 저류지 관련 용어 정의

용어	설명
홍수조절지	조절지 하류 하도에 제수문을 설치하여 하천의 홍수를 저류 또는 지체시켜 하류 홍수량을 경감시키는 조절지
조절지	홍수조절지 내에 하도의 홍수를 빈도 별로 유입시켜 저류하는 공간
제수문	홍수조절지의 시설물 중 본류를 횡단하여 설치된 구조물로 수문 조작을 통해 홍수량 조절이 가능한 시설
최초 조절 수위	제수문이 개방된 상태에서 제수문 방류량이 계획 방류량을 초과하는 시점의 하도 수위
유출수문	홍수조절지의 시설물 중 수문조작을 통해 홍수조절지 내 조절지의 수위 조절을 하는 시설
계획홍수위	하천시설물 계획의 기준이 되는 홍수량이 유입할 때의 최고 수위
저류지	하천의 홍수량을 일시 저류할 수 있는 기능을 가진 시설중 하천 변에 설치한 시설
유입부	일정규모 이상의 홍수 발생시 홍수 재현 빈도에 따라 하도의 홍수를 저류지로 유입시키기 위해 설계된 수위에 해당하는 재방
홍수경계체제	홍수주의보 또는 홍수경보가 발령되어 홍수피해가 우려되는 상황에서 댐의 수문 조작 등의 대비태세를 갖춘 상태

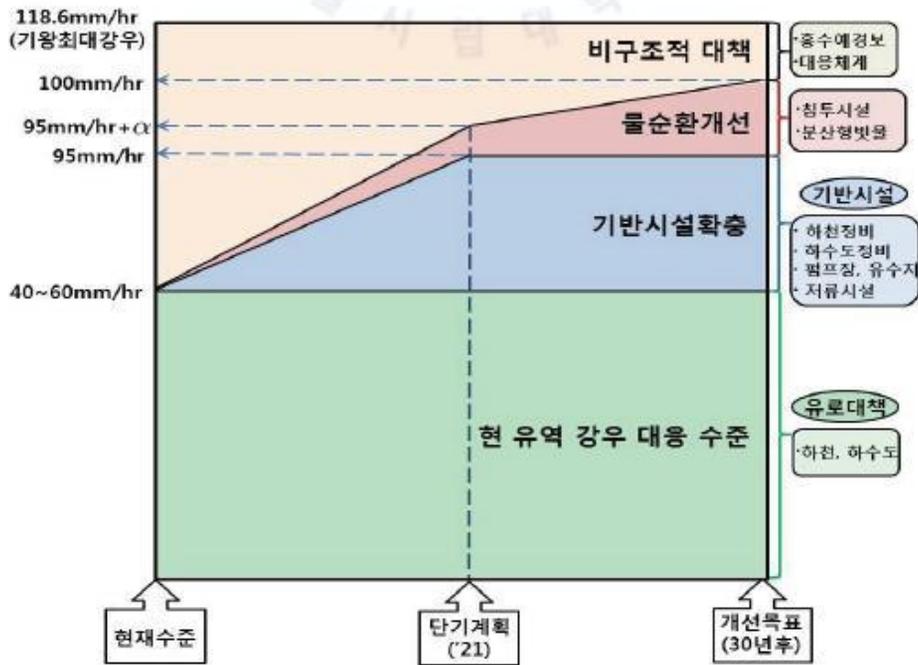
1.2.2 시·구 차원에서의 대응

서울시(2013)는 최근의 호우 재해의 발생 상황과 실현성의 균형이나 지금까지의 계획과의 일관성 등을 바탕으로 하여 수해 대책 목표를 <그림 2>와 같이 설정하였다. 단기계획(2021 년)으로 서울시 침수취약지역에서 기반시설의 확충 및 물순환 개선시스템을 동시에 고려하여 95 mm/hr+ 수준의 강우가 발생할 때 지상, 지하의 침수를 방지하고, 과거 최대수준의 강우가 발생할 때 비구조적 대책과 연계하여 생명의 안전 확보를 목표로 하고 있으며, 장기계획(30 년 후)으로 서울시 전역에서 기반시설의 확충과 물순환 개선 시스템을 고려하여 95 mm/hr+5 mm/hr 총 100 mm/hr 수준의 강우 발생시에 지상, 지하 침수를 방지하고 과거 최대 수준의 강우 발생시에 비구조적 대책과 연계하여 생명의 안전 확보로 목표하고 있다.

서울시는 하도 시설 정비로 지방 하천시설 전체에서 환경을 고려하면서 계획빈도 50 년 이상 강우에 대응을 목표로 정비할 계획이며, 하도 폭 확대가 어려운 장소에서는 하도 정비에 앞서서 조절지를 정비하고, 홍수량 분류시설(배수로, 우회홍수로, 천변저류지 등)을 설치하여 계획빈도 50 년 이상 강우로 인한 하천 범람을 방지하도록 계획 하고 있다. 그리고 서울시 34 개 침수 취약지구를 우선으로 하수관거 용량을 지선 (5 년→10 년빈도), 간선(10 년→30 년 빈도)로 확충 및 증설 할 계획에 있으며, 서울시 저지대 취약지구를 중심으로 우기 전 하수관거를 집중 준설할 계획이다(여국현, 2016).

서울시를 통해 알 수 있는 점은 시·구 단위에서도 단기와 장기 계획을 세워 홍수 피해 저감을 목표로 하고 있지만 실질적인 대책은

비구조적인 대응 방안 위주로 시행이 되고 있다는 점이고, 결국 구조적인 대책에 대한 방안이 필요한 상황이다.



<그림 2> 서울시 수해대책의 목표(여국현, 2016)

1.3 연구의 목적

배경에서 언급했듯이 기후변화로 인한 홍수피해는 점점 더 위험이 커져가는 상황이지만, 여러가지 현실적인 문제들로 인해 그 대비가 적극적으로 이루어 지진 않고 있는 상황이다. 이를 해결하기 위해서는 한 가지 분야의 정보만을 가지고는 해결하기 어렵고 토목, 도시, 경제, 환경 등과 같은 여러 분야의 협업이 중요하다. 본 연구에서는 그 중 토목과 도시 분야에 큰 연관이 있는 도시 홍수의 재난에 관한 연구를 진행하고자 한다. 궁극적으로는 지자체규모의 수문학 분석을 바탕으로 설계안을 제시하고, 기후변화에 따라 어떻게 변화하는지를 살펴보고자 한다.

1.4 연구의 구성 및 개요

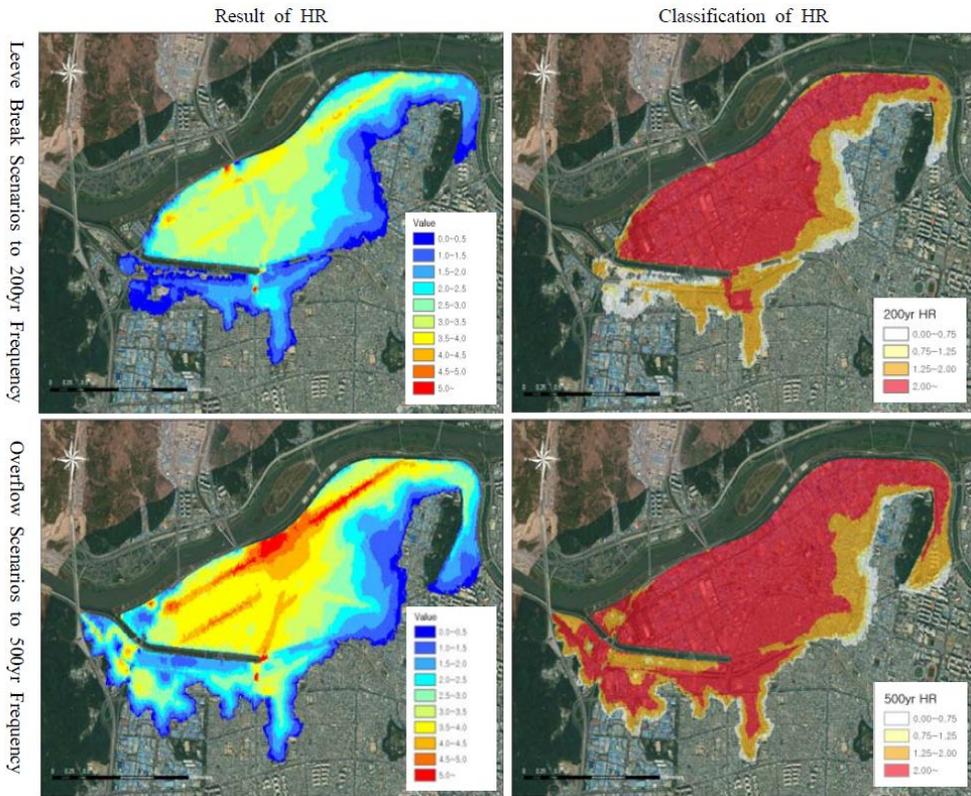
2장은 문헌조사를 통해 현재 홍수와 관련해서 어떤 연구들이 진행되었으며, 특히 재난과 기술에 대한 분류와 어떤 유형에 대해 집중적으로 연구할 것인지에 대한 내용이다. 3장에서는 본 연구를 통해 새롭게 만들어낸 방법론을 소개하고 어떤 프로그램을 써서 분석할 것인지 또한 각각의 자료에 대한 제작 방법을 소개한다. 마지막으로는 기후변화에 대해 설명하며 추후 설계안이 미래에 영향을 끼칠지에 대해 기준을 말한다. 4장에서는 실제 분석이 이루어진 이후 그 결과에 대한 설명과 각 지자체 별 유형을 설명한다. 유형은 침수지역과 영향지역에 대해 토지 용도와 건물 유형 그리고 Drainage Line을 기준으로 분류하였다. 마지막으로 5장에서는 분석을 바탕으로 가장 대표적인 구를 선정하여 상세 설계를 한 후 기후변화에 따라 어떻게 상황이 변화하는지 살펴 보았다.

제 2장 선행 연구

2.1 홍수와 관련된 연구

홍수와 관련된 연구는 크게 위험도 평가와 홍수 대응 기술에 대한 연구 두 가지로 나누어진다. 우선 위험도 평가에 대해 유환희(2006)은 매미 태풍 시 침수피해가 크게 발생하였던 마산시 월영동지역에 대해 도시홍수량을 추정할 수 있는 SWMM모형을 이용하여 빈도강우와 해수위 별 침수예상지를 추정하고 이것을 GIS데이터 베이스와 연결하여 침수예상피해를 분석하였다. 그 결과, GIS자료를 이용하여 대상지역을 소유역으로 구분하고 홍수추정보델인 SWMM을 이용하여 침수위치와 침수심을 예측함으로써 빈도강우와 해수위 상승에 따른 침수 예상지역을 선정하였다. 이 연구에서는 SWMM을 바탕으로 실제 침수지역을 대상으로 시뮬레이션을 돌려본 결과 정확도가 상당히 높게 나왔으며, 침수심의 높이까지 나와있어 데이터의 결과값이 의미가 크다. 더욱이 연도별 강우 빈도를 다르게 하여 미래의 침수지역을 3D 모델링에 적용하였다.

심규성(2015)은 2차원 범람 해석을 통해 도출된 침수해석정보에 현실적인 위험도를 고려한 산정식을 적용하여 홍수 위험도를 평가하였고, 이를 표준화된 정보체계로 제공하는 방안을 제시하였다. 기본이론으로는 Flumen(FLUvial Modeling Engine)을 사용하였는데 이 모델은 수심적분한 천수방적식을 불규칙한 격자 구조에서 해석하여 하천의 합류지점이나 만곡부분과 같이 수리학적으로 복잡한 해석에 적합하다. 그 결과는 <그림 3>과 같이 기존의 침수 정보를 가지고 해석을 하여 유형화 된 것으로 나타난다. 특히 그리드 번호 체계를 바탕으로 분석을 한 것은 GIS를 통한 홍수 위험도 평가의 의의와 추후 발전 가능성을 제시하고 있다.



<그림 3> 홍수 위험도 평가의 결과와 분류(심규성, 2015)

홍수 관련 기술에 관한 연구로는 송창근(2013)이 지하저류조 신설에 따른 우수 유출량 저감 산정이 있다. 서울대라는 특정 지역을 대상으로 연구가 진행되었는데 그 중 서울대학교 댐 하류 노천강당 유역과 공대폭포 유역에 지속시간 1시간 50년 빈도 강우에 관한 저수지 홍수 추적을 실시하고 지하 저류조가 설치되는 경우를 대상으로 분석하였다. 이 연구는 4 가지 초점을 가지고 분석하였는데, (1) 저류조의 저류량, (2) 우수유출량 및 침투수위의 저감정도, (3) 지체시간 변화, (4) 신설 지하저류조의 유출 입부 암거 이다. 송창근은 가용한 자료가 부족하고 모형

을 적용하기 힘든 경우에 기존의 저수지 추적 이론에 바탕을 둔 해석을 통해 저류조 건설 효과를 분석할 수 있는 비교적 간편하면서 단기간에 결과를 도출할 수 있는 방법을 제시하였다. 분석 결과로 저류조가 설치되는 경우 총 유입량 대비 50%가량이 감소한 것으로 보아 적절한 저류조의 위치 만으로도 큰 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

조덕준(2016)은 도시 침수저감을 위한 최적 소규모저류지의 분산 설치 효과를 보았다. SWMM모형을 바탕으로 확률 강우량 값을 대입하였다. 시나리오 별로 저감 효과는 달랐지만 가장 높은 효과를 보이는 경우는 침수 저감을 99%까지 줄일 수 있었다(표 2). 이 연구의 결론은 침수가 다발적으로 발생하는 집적화된 도시 구역에서는 분산 배치형 소규모 저류조 계획이 큰 효과를 보며 실무 적용성이 크다는 것이다. 이를 통해 본 연구의 대상지 설계 단계에서는 분산 배치를 기준으로 진행 한다는 타당성을 얻을 수 있다.

<표 2> 시공 가격과 침수 저감 효과율(조덕준, 2016)

No	Cost(won)	Reduction Ratio	Unit Cost(won)
1	13,941 × 10 ⁶	95.76%	145 × 10 ⁶
2	13,941 × 10 ⁶	98.77%	141 × 10 ⁶
3	13,941 × 10 ⁶	97.96%	129 × 10 ⁶

2.2 홍수의 유형과 원인

홍수는 크게 4가지 유형으로 나눌 수 있다. 강을 따라 발생하는 하천홍수<그림4 a>, 도시화에 따른 불투수 지역의 증가로 인해 발생하는 도시홍수<그림4 b>, 지역적으로 경사가 급한 지역에서 불어난 물로 인해 발생하는 돌발홍수<그림4 c> 그리고 바닷가 지역에서 해일이나 해수면 상승으로 인해 발생하는 해안홍수<그림4 d>가 이에 해당된다. 이 네 가지 홍수는 모두 집중호우로 인해 발생하는 경우가 많다. 집중호우에 대한 명확한 정의는 없으나, 일반적으로 1시간에 30mm 이상이나 하루에 80mm 이상의 비가 내릴 때, 연 강수량의 10% 정도의 비가 하루 동안에 내릴 때를 말한다. 2010년 한국 중부 집중호우의 경우 9월 21일 서울, 인천 등 지역을 중심으로 경기 지방에 내린 폭우로써, 시간당 100mm가 넘는 비를 기록하여 많은 홍수 피해가 있었고 2011년 7월 25일 강우의 경우 시간당 110.5mm의 강우가 내려 홍수피해와 더불어 우면산 산사태가 발생하여 많은 인명피해가 있었다. <그림 5>의 서울시 홍수 피해 통계를 보아도 2010년과 2011년의 피해가 큰 것으로 확인이 되며 과거 2001년 2002년 또한 그 당시 강우량은 100mm가 넘었다. 추후 연구에서도 홍수의 재난 규모와 기후변화 시나리오의 기준으로 집중 강우량을 사용하였다.

이 중 본 연구에서는 도시홍수에 집중하고자 한다. 도시홍수는 도시지역에 배수가 잘 일어나지 않기 때문에 발생하는 것으로 표출수나 우수관으로 흘러 들어야 할 강우가 투수 면적의 감소가 직접적인 원인이다. 집중강우의 양이 도시의 배수와 관거 시스템의 용량을 넘어섰을 때 초과분이 유출수로 빠져나가 도심지의 건물이나 거리에 침수 피해를 입힌다. 도시홍수는 가장 직접적으로 일상생활에 지장을 주는 홍수이다.

길이 막히고 시민들은 일터나 학교에 가지 못한다. 경제적인 피해는 가장 크지만 인명피해는 굉장히 제한적으로 발생한다. 하지만 도시 홍수로 인한 인명 피해가 발생할 때는 주로 차안에서의 인명피해가 많았는데 이는 홍수 예보에도 불구하고 그 심각성을 인지하지 못한 채 차 안에 남아 있다 갑작스럽게 불어난 물로 인해 피하지 못한 경우가 많았다. 서울시의 상습 침수지역을 확인해본 결과 도시홍수의 경우가 대부분이었으며 이로 인한 상가, 주거, 공장지대의 피해가 막심했다.



a. 하천홍수



b. 도시홍수

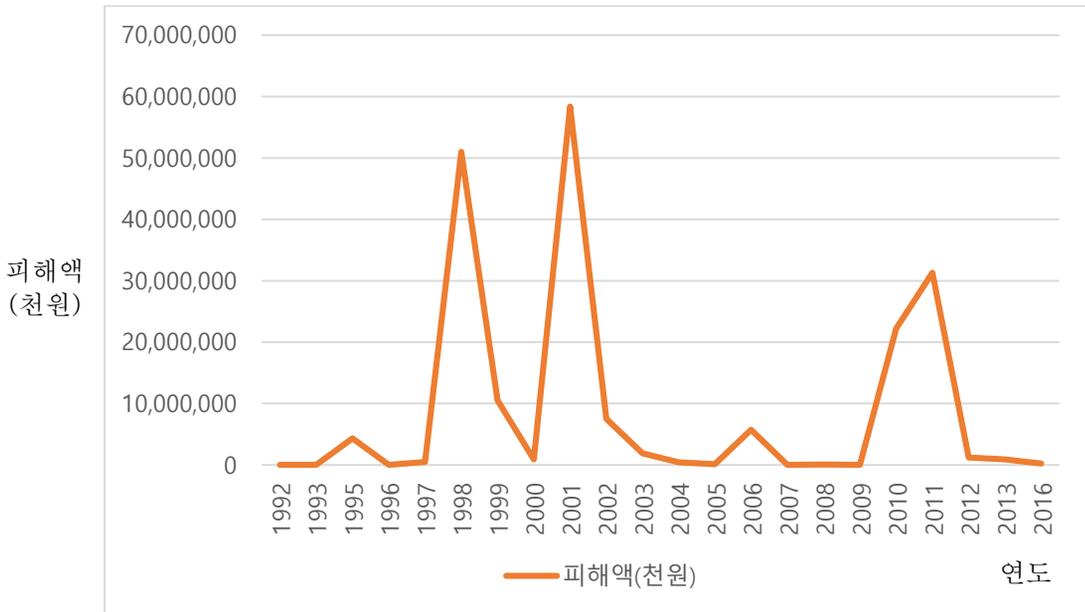


c. 돌발홍수



d. 해안홍수

<그림 4> 홍수의 유형



<그림 5> 서울시 홍수 피해 통계

2.3 기술의 유형

홍수 대응 기술로는 투수포장<그림 6 a,b>, 저류조<그림 6 c,d> 그리고 관거 확장이 주로 쓰이고 있다. 투수포장은 차도나 인도에 빗물이 스며들 수 있도록 하는 기술이다. 기본적인 설계 원칙은 차량이나 보행자와 맞닿는 표면에 설치하는 것으로, 투수 포장의 기저부에 사용되는 물질은 다공성이거나 유체가 틈새 사이로 흐를 수 있는 비 다공성일 수 있다. 투수성 포장은 지표면 유출수를 줄이는 것 이외에도 부유 고형물을 잡아서 빗물에서 유출되는 오염물질을 걸러낼 수 있다. 사용되는 기술의 예시로는 투수 콘크리트, 다공성 아스팔트, 잔디 블록과 같은 것들이 있다. 이 기술의 단점으로는 우선 다른 지역에 내린 물에 대한 강우를 관리 하지 못한다는 것이다. 기술이 설치 된 지역의 유출량을 막아주

기는 하지만 다른 지역의 내리는 물의 흐름을 바꾸거나 저장하는 역할은 하지 못한다. 두번째 단점은 장점에서 언급되는 오염물질이 축적되어 그 농도가 심해질 수 있다는 것이다. 특히 이런 피해는 산업지역 근방에 설치된 투수포장에서 많이 일어난다. 또 다른 문제는 기술을 설치할 수 있는 구조가 제한적이라는 것이다. 도로가 20%이상의 경사면을 넘을 때는 기술 설치가 어려운데 산지가 많고 언덕이 많은 우리나라 도심지에서는 적용이 어렵다. 마지막으로 투수포장의 가장 큰 문제점은 비용과 유지보수가 어렵다는 점이다. 평균적인 투수포장의 비용은 일반 도로포장에 비해 2~3배의 비용이 들어가며, 시공시에 발생하는 교통량의 문제, 다량의 민원과 같은 부수적인 비용이 많이 발생한다. 또한 투수 포장은 포장에 많은 공극을 제공하는 특징이기 때문에 이 공간에 다른 물질들이 들어가면 효과를 기대하기 어려워 꾸준한 유지보수가 필요하며 이 비용 또한 크다.

저류조는 강우 빗물을 일시적으로 저장할 수 있는 기술로 집중호우 시 침투 강우량을 줄이는 역할을 한다. 우선 공원과 같은 공공 오픈스페이스에 많이 쓰이는 저류지(Stormwater Pond)가 있는데 이는 강우유출수를 저류시킨 후 침전 및 생물학적 과정을 통해 비점오염물질을 저감하는 시설을 말한다. 저류지는 저비용으로 고효율의 강우 유출수 관리를 할 수 있는 자연친화적 시설로 시민들을 위한 시설로도 이용이 가능하다. 또 다른 저류조는 빗물 탱크이다. 빗물 탱크는 건물이나 주차장 지하에 설치되어 강우시 빗물을 저장하는데, 이 저장수는 추후에 중수로 쓰일 수 있는 장점이 있다. 홍수 저감 기술을 적용할 때 가장 많이 쓰이는 것이 이 저류조 기술이며, 주로 공공시설에 많이 설치된다.

관거 확장은 가장 직접적으로 홍수 대비에 영향을 줄 수 있는 기

술로 우수관의 단면적의 크기를 넓히거나 배수구의 용량을 개선하는 것을 말한다. 이 기술은 지자체분석을 할 경우 관거에 대한 자료를 바탕으로 해야한다. 하지만 현재 상황에서 정확한 관거의 자료는 보안상의 이유로 구하기가 힘들어 기술 적용에 있어서 배제하였다.

위의 기술 중 현실적인 요건을 고려하였을 때 분석이 가능하고 지자체에서 주로 활용할 수 있는 기술은 저류조이다. 효과가 높으면서도 도시개발 차원에서 점진적으로 실행할 수 있다. 또한 공원, 주차장, 빗물 관리 시설 등 평상시에는 다른 기능으로 활용될 수 있다는 장점이 있다. 저류조 용량의 경우 그 용도에 따라 가이드라인이 정해져 있는데 빗물 저류통의 경우 건물의 면적에 0.05를 곱하거나 대지면적에 0.02를 곱하는 식으로 제안되었다(서울시정개발연구원, 2009).



a. 투수포장



b. 잔디 블록



c. 분산형 저류 시설

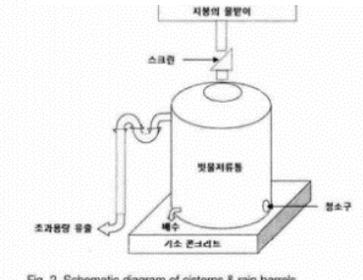


Fig. 2. Schematic diagram of cisterns & rain barrels

d. 빗물 저류조

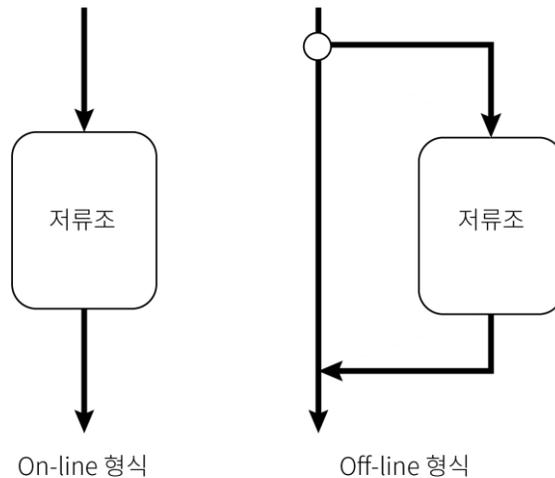
<그림 6> 기술의 유형

2.4 저류조의 분류

저류조는 설치 될 수 있는 공간이 많기 때문에 그에 따른 다양한 형태의 저류 기술이 도입될 수 있다(김정연, 2014). 이에 따라 저류조는 시설의 구조, 위치, 특성 등으로 구분될 수 있는데 추후 설계 단계에서는 각 지역의 성질에 따라 저류조를 설치할 것이다. 그래서 본 연구에서는 저류조에 물이 들어가는 방식에 따른 분류, 설치 위치에 따른 분류 그리고 대표적인 사용 기술에 따른 분류로 구분하였다.

2.4.1 물의 유입에 따른 분류

Diskin & Kessler(1992)는 저류조의 형태를 물에 유입에 따라 두가지로 구분하였다. <그림 7>에 나타나 있듯이 On-line 형식의 경우 우수관의 모든 유량이 저류조로 들어와 저류하는 방식이고, Off-line 형식의 경우 유량을 분산시켜 일부만을 저류조에 저장하는 방식이다. 최은혁(2006)은 두가지의 방식 중 하도 외 방식(Off-line)이 효과가 더 뛰어난 것을 밝혔다.



<그림 7> 물의 유입에 따른 저류조 분류

On-line 형식은 저류조의 용량이 전체를 지체할 수 있을 만큼 충분하지 않으면, Off-line형식에 비해 기술의 효과가 크지 않기에 상당히 큰 규모로 설치 되는 것이 적절하다. 반면 Off-line기술은 설치되는 규모에 비해 홍수 피해 저감 효과가 크다. 하지만 저류조의 성능은 일정한 강우량이 넘었을 때에만 발휘된다는 점을 고려하면 전반적으로 설치되는 것은 어렵다고 볼 수 있다. 추후 설계 단계에서는 이 두가지의 형식 중 우선 On-line 형식을 사용하여 효과를 산정하였다. 그 이유는 Off-line형식을 채택할 경우 우수관을 가지고 분석을 해야하는데 현재 상태에서 지자체 규모를 우수관의 파악이 어렵다. 따라서 저류조는 On-line으로 설치된다고 가정 한 후 각 기술에 맞는 가이드라인에 따라 용량과 효과를 결정하였다.

2.4.2 설치 위치에 따른 분류

설치 위치에 따라서는 유역 내 저류(On-Site)와 유역 외 저류(Off-Site)로 분류 될 수 있다(김정연, 2014). 유역 내 저류는 비가 내린 지역에 빗물을 저류하는 방식이고 유역 외 저류는 빗물이 흘러나가는 출구 지역에 설치하여 하류 지역에 홍수를 예방하는 방식이다. 본 연구에서는 비가 내리는 지역에 발생하는 도시홍수에 대해서 분석과 설계가 이루어지기에 유역 내 저류 방식이 적합하다고 판단하였다.

유역 내 저류는 <표 3>과 같이 건물에 설치하는 경우, 공원에 설치하는 경우, 주차장이나 오픈스페이스에 설치하는 경우 그리고 학교에 설치하는 것으로 분류하였다. 건물에 설치하는 경우에는 옥상, 지하공간 그리고 건물과 건물 사이에 기술이 도입되는 것인데 건물은 사람들이 주

로 활동하고 생활하는 곳이기에 안전과 보호와 같은 종합적인 고려가 필요하다. 공원에 설치하는 경우는 가장 많이 사용되는 것이다. 공공의 땅이기에 사업을 시행하기에도 좋고 저류조가 연못, 호수와 같은 시민을 위한 공간으로도 사용 될 수 있기 때문이다. 그렇기에 경관이나 심미성을 따져가며 설치를 해야하고 주변 도시 맥락을 고려해야한다. 주차장과 오픈스페이스에 설치하는 경우는 큰 가용 면적이 존재하기 때문에 대규모 저류 기술의 도입이 가능하다. 하지만 사용 빈도가 높은 곳에 설치하게 될 경우 원래의 기능을 방해 할 수 있기 때문에 비교적 사용 빈도가 낮은 곳에 설치되어야 한다. 마지막으로 학교 저류의 경우 건물에 저류조를 설치하는 것과 운동장에 설치하는 것이 있다. 운동장에 설치하는 경우에는 지속적인 강우의 경우 토양의 침전이 일어날 수 있기에 이를 대비하여야 하고 학생들이 사용 하는 곳이기에 안전성에 더 큰 중점을 두어야 한다.

<표 3> 설치 위치에 따른 분류

구분	설명
건물 설치	- 옥상, 지하 공간, 건물 사이에 설치됨시민들이 생활하는 곳이기에 안전성에 대한 고려가 필요함
공원 설치	- 가장 많이 설치되는 지역 - 호수, 연못과 같은 시민을 위한 공간으로 활용 될 수 있음
주차장 오픈스페이스 설치	- 큰 규모의 저류조 설치가 가능 - 원래 기능을 방해하지 않기 위해 사용 빈도가 적은 곳이 적합함
학교 설치	- 건물에 설치와 운동장 설치 두가지로 나뉨 - 안전성에 대한 고려가 중요함

2.4.3 대표적인 기술

대표적인 저류조의 종류는 크게 8가지로 구분하였다(표 4). 이는 기존의 연구자료와 실제 시공된 사례를 바탕으로 조사하였으며 추후에 적용할 기술들이다. 분산형 빗물 저류조의 경우 근래에 들어 넓은 지역에 대한 홍수를 예방하기 위해 많이 사용되고 있는 기술이다. 침투 유출 저감효과를 10%까지 줄일 수 있으며 50년, 100년 빈도의 홍수를 예방하기에도 적절하다. 하지만 도달시간 지연에는 크게 영향을 미치지 못하며 기술을 적용하기에는 큰 넓이의 부지가 필요하다. 빗물 저류통은 각각의 건물의 지하나 옥상에 설치 할 수 있다는 장점이 있어 작은 부지에 설치가 가능하여 실질적으로 지자체에서 사업을 시행하기에 적절하다. 침사지는 토사 및 오염물질의 침전 및 제거를 촉진시키기 위한 시설로 물과 토사의 유출을 동시에 막아줄 수 있다는 장점이 있다. 건·습식 저류조는 강우유출수의 전부 또는 일부를 일시적으로 저류하였다가 후속 강우에 대비하여 저류되어 있던 모든 강우를 방류하는 시설로 건식은 평상시에 물이 차 있지 않는 기술이고 습식은 연못과 호수와 같이 물이 차 있는 기술이다.

<표 4> 저류조의 종류

시스템 명	시스템 내용	출처
분산형 빗물 저류조 (CDS:Cluster Decentralized system)	<ul style="list-style-type: none"> - 침투유출저감효과의 경우 약 10% 이상의 효과 - 50년 빈도의 강우까지 침수피해가 발생하지 않음 - 100년 빈도의 강우에 대해서도 그 피해정도가 크지 않음 - 도달시간지연에는 크게 영향을 미치지 못함 <p>→ 기존의 시스템보다 방재기능이 높음</p>	한무영, 분산형 빗물저류조 도입 시 치수안전도 증가효과 분석, 2011
빗물 저류통 (cisterns & rain barrels)	<ul style="list-style-type: none"> - 건물 옥상이나 지붕면 등에 설치되어 비교적 오염이 적은 강우 유출수 집수 - 스크린시설을 통해 큰 물질(나뭇가지 등) 제거 - 입자가 작은 오염물질은 저류시설 내 저류하는 동안 침전을 통해 제거됨 <p>→ 빗물을 재이용하는 목적으로 주로 설치, 관개용 비음용수로 주 사용, 물질약 시스템</p>	오재일, 도시지역 저류시설 분류체계 연구, 2012
침사지 (forebays)	<ul style="list-style-type: none"> - 토사 및 오염물질의 침전 및 제거를 촉진시키기 위한 시설 - 유역 내 강우유출수를 천천히 유입시켜 부유고형물을 안착시킴으로서 토사나 입자가 굵은 침전물 제거 <p>→ 후단의 저류시설의 내구성 및 유지관리에도 효과적인 장점</p> <p>→ 약간의 침투유출량 감소효과도 있으며, 침투성 재질 사용 시 유출량 감소 효과</p>	오재일, 도시지역 저류시설 분류체계 연구, 2012

<p>건식 저류시설 (dry basins)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 강우유출수의 전부 또는 일부를 일시적으로 저류하였다가 후속강우에 대비하여 저류되어 있던 모든 강우를 방류시키는 시설 - 침투유출량 감소하는 효과, 침수예방을 목적으로 설치되며 상대적으로 불투수성인 지역에서 극한 강우빈도로 설계 → 사람들에 대해 보다 안정성을 가지고 있음 	<p>오재일, 도시지역 저류 시설 분류체계 연구, 2012</p>
<p>습식 저류시설 (wet basins)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 강우유출수 내 미립 용존 오염물질들의 침강을 촉진시키기 위해 인위적으로 만들어진 시설 - 호수나 연못처럼 항상 물이 차 있으며 침투나 증발로 배제를 시킴 - 주 처리방법은 침강이며, 용존 오염물질들은 수리학적 체류시간을 증가시킴 - 또는 주위 습지 식물들과 같은 다양한 수생태계와 결합시키거나 화학물질 첨가 등 오염물질제거 → 설치 될 큰 부지가 필요하고, 배수구역 또한 기저유량을 제공할 만큼 커야 하며, 시공어려움 	<p>오재일, 도시지역 저류 시설 분류체계 연구, 2012</p>
<p>합류식 하수도에서 월류수 저류조</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 합류식 하수도에서 하수처리장 처리용량 이상으로 차집된 하수의 저류 - 합류식 하수도에서 월류수(CSOs)의 저류 / 분류식 우수관거에서 초기우수의 저류 - 수질과 유량을 동시에 고려하여 제어 / 하수처리장과의 연계처리 또는 자체처리 후 방류 	<p>오재일, 도시지역 저류 시설 분류체계 연구, 2012</p>

<p>버킷이 부착된 저류조 모형안 (Basin with bucket)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 토사가 많이 발생하는 지역은 인력에 의한 청소, 고압의 살수 시스템 등을 적용하기 어려움 - 유지관리 면에서 효율적이고, 버킷을 이용한 퇴사물 제거 방안 제고 → 주로 농업이나 토사가 많은 지역에서 이용되므로, 도시홍수에 적용시키기에 는 한계점 有 	<p>박성직, 3D프린터를 이용한 버킷이 부착된 저류조 모형 실험, 2017</p>
<p>플라스틱 우수 저류/ 침투조 (Plastic rain water station)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 콘크리트 우수저류/침투조는 낮은 70~80%의 용적률과 시공성의 어려움, 토사처리, 유지관리 등의 문제점을 가지고 있음 - 플라스틱 우수저류조는 용적률이 90% 이상으로 공간 절약형 시설임 	<p>김택수, 플라스틱 우수저류/침투조의 국내 적용성 검토, 2006</p>

제 3장 방법론

3.1 연구 흐름도



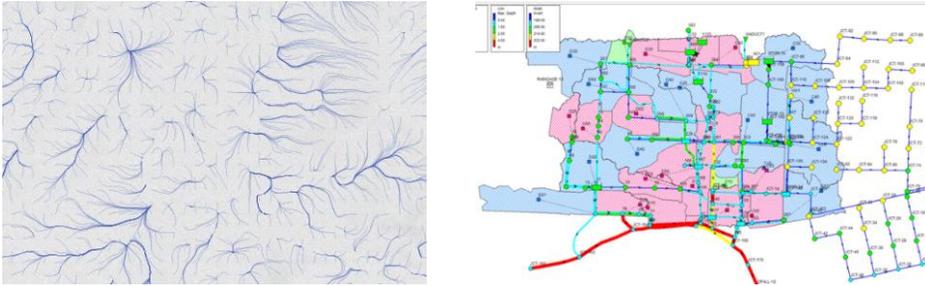
<그림 8> 연구 흐름도

연구는 <그림 8>과 같이 진행된다. 연구의 방향과 단계는 크게 3가지 진행이 되었다. 방향성의 세가지는 대상지, 분석 그리고 재난과 기술에 대한 것이다. 대상지에 대해서는 대상지 선정, 기초 자료수집 그리고 상세 분석에 관한 것들이 진행되었으며, 분석은 프로그램 선정, 선행 시뮬레이션, 수문학 분석 등이 진행되었다. 마지막으로 재난과 기술에 관한 내용에서는 재난 중 어떤 것을 기준으로 진행 할 것인지 그리고 어떤 기술을 도입할 것인지에 대한 선정 등이 이루어 졌다. 연구 단계 중 첫 번째에서는 기본 데이터 구축과 앞으로 진행될 연구의 방법론을 정하는 단계이다. 첫 단계에 프로그램 선정이 들어가 있는 이유는 만약 프로그램을 선정한 후에 분석에 적합하지 않다고 판단이 드는 경우에는

다시 선정 단계로 돌아가 반복하여야 하기 때문이다. 두번째 단계의 경우 실제 분석과 데이터 가공을 주로 하였다. 지자체의 수문학 분석과 GIS를 통한 건물 용도 및 유형에 대한 분석이 이루어졌다. 마지막 단계에서는 대상지에 대한 상세 분석과 세부 설계 그리고 강우 시나리오 별 변화를 살펴보았다. 설계 대상지는 수문학 분석을 통한 유형 중 가장 대표성을 띄는 구로 선정을 하였다.

3.2 분석 프로그램의 선정

분석 프로그램을 선정하는데 있어서 가장 중요하게 생각한 것은 지자체 규모의 크기에서 무리없이 분석이 가능한지 였다. 처음으로 선택한 프로그램은 Rhino의 플러그인인 Eve-rain이었다. 이 프로그램의 경우 3d 모델링 프로그램인 Rhino와 연계가 되어 설계를 하였을 때 바로 바로 분석을 돌려 볼 수 있는 장점이 있다. 하지만 상당히 소규모 지역에 대한 분석이 가능할 뿐 반경 100m가 넘어가는 경우 분석이 불가능하였다. 다음으로 선택한 프로그램은 SWMM(Storm Water Management Model)이다. SWMM은 non-linear reservoir routing 알고리즘을 사용하고 있어 투수율, 관거 네트워크와 같은 아주 정확한 분석까지 가능하다. 하지만 현재 서울시의 우수관과 투수포장 현황 파악이 어려운 관계로 이를 활용하기 어렵고, Eve-rain과 마찬가지로 지자체 규모에서의 분석이 어렵다.

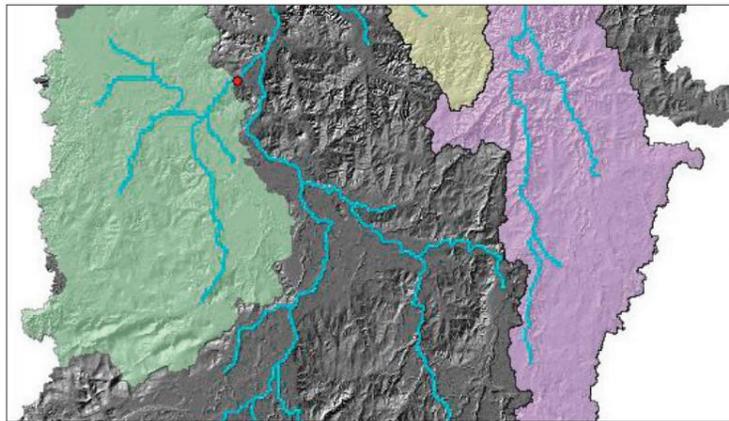


<그림 9> 분석 프로그램, Eve-rain과 SWMM

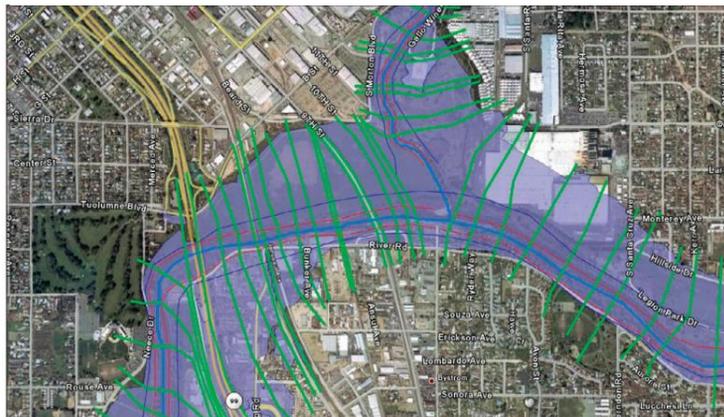
최종적으로 선택한 프로그램은 ArcHydro이다. ArcHydro는 물 관리 프로그램으로 지리 정보 체계(GIS)를 사용하여 물에 대한 성질, 가용 수 예측, 홍수 예방 계획, 자연 환경에 대한 이해 그리고 수자원 관리를 도와주고 시각화를 해준다. 이 프로그램은 기업, 정부 그리고 교육 기관의 협업으로 만들어 졌다. ArcHydro는 GIS 데이터 구조를 가지고 있어서 수 문학 데이터를 수자원 모델과 의사결정 모델에 연결할 수 있고 다른 GIS 데이터와의 연계가 가능하다. 또한 데이터 모델은 수 자원 데이터 구조를 일반화 할 수 있어 수 자원 문제를 어떤 규모의 공간이라도 적용하여 해결 할 수 있다. 특히 기반 데이터 형식이 Raster 형식이라 분석의 속도가 빠르며 기존의 ArcGIS 건물정보나 지형도 정보에서의 시작이 가능하여 지자체에서 만들어 놓은 데이터의 활용이 가능하다. ArcHydro에서 제공하는 분석은 크게 6가지이다.

- 1) 시뮬레이션의 기본 지도와 GIS 데이터를 만들어 줄 수 있고 수 문학(토양의 성질, 토지 이용, 식재), 지형도(면적, 경사), 네트워크 정보 분석이 가능하다(그림 10 a).
- 2) 인간이 만든 구조물을 흐름 네트워크와 연계하여 통합된 데이터를 만들어 준다.

- 3) 흐름 분석이 간과 할 수 있는 것들(경사, 토양)등을 검사해준다.
- 4) 공간 정보와 기온 정보를 합쳐준다.
- 5) 다른 수문학 데이터와 모델의 개선이 가능하다.
- 6) 시뮬레이션 결과를 시각화 해주고 교통이나 임팩트 분석과 같은 GIS 데이터와 합쳐진 결과를 보여준다(그림 10.b).



a. 수문학 분석을 통한 Drainage Line 도출 예시



b. 다른 GIS 데이터와의 연계 예시

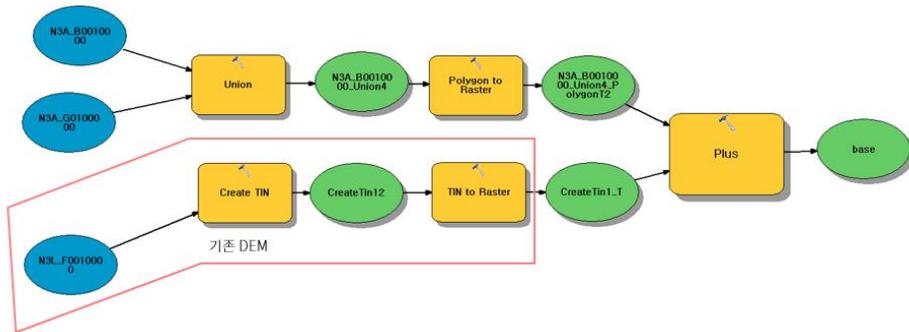
<그림 10> ArcHydro의 결과 예시

3.3 기본 DEM(Digital Elevation Model)

DEM은 수치 표고 모형으로 실세계 지형 정보 중 건물, 수목, 인공 구조물들을 제외한 지형 부분을 제외한 지형 부분을 표현하는 수치모형이다. 이는 실세계의 모든 정보, 즉 지형, 수목, 건물, 인공 구조물 등을 표현한 DSM(Digital Surface Model)과 다른 모형이다. 넓은 대상지를 목표로한 수문학 분석의 경우 DEM을 많이 쓰는데 본 연구에서는 지자체 규모를 하기 때문에 DEM과 DSM중간 단계의 모델을 사용하고자 한다.

DEM을 만드는 작업은 기본적으로 다음과 같이 진행된다. 3D 지형(Tin file)을 등고 Shp파일을 이용하여 만들고, 이 Tin file을 raster file로 바꾸면 기본 DEM이 완성된다. 그렇기에 주로 큰 계곡이 있는 지형에서 이러한 분석이 이루어졌다. 하지만 이번 연구에서는 건물이 있는 도심지에서 분석이 이루어지기 때문에 기존 방법에 건물 요소를 추가하였다. 등고선으로 Raster file을 만듦과 동시에 건물을 가지고 새로운 Raster file을 만들어 합치었다. 이 경우 건물의 모양이 DEM에 영향을 줌으로 물 흐름 분석을 할 경우 건물로 인해 돌아가는 것까지 반영이 가능하다. <그림 11>을 보면 빨간 색 부분이 기존의 DEM 제작 방법이다. 등고 polyline을 create tin 명령어를 사용하여 3D파일로 변환한 후 그것을 Tin to Raster 명령어를 사용하여 DEM을 만들지만 본 연구에서는 <그림 12>에 나와 있는 건물, 경계 polygon 파일을 merge 하여 새로운 SHP 파일을 만들고 그것을 Raster file로 변환하였다. 이 단계가 완료 되면 지형의 raster와 plus 명령어를 사용하여 새로운 DEM을 만든다. Raster File의 Cell size는 건물의 형태를 고려하여 적용하였다. 주거 건물의 경우 건물의 폭이 주로 10m 내외이기 때문에 Cell size가 10m

를 넘어가면 정확한 반영이 어렵다. 따라서 Cell size는 2.5m를 기준으로 하였고 서울시와 같은 큰 지역의 경우 건물을 반영하지 않았기에 Cell size를 10m로 하였다.



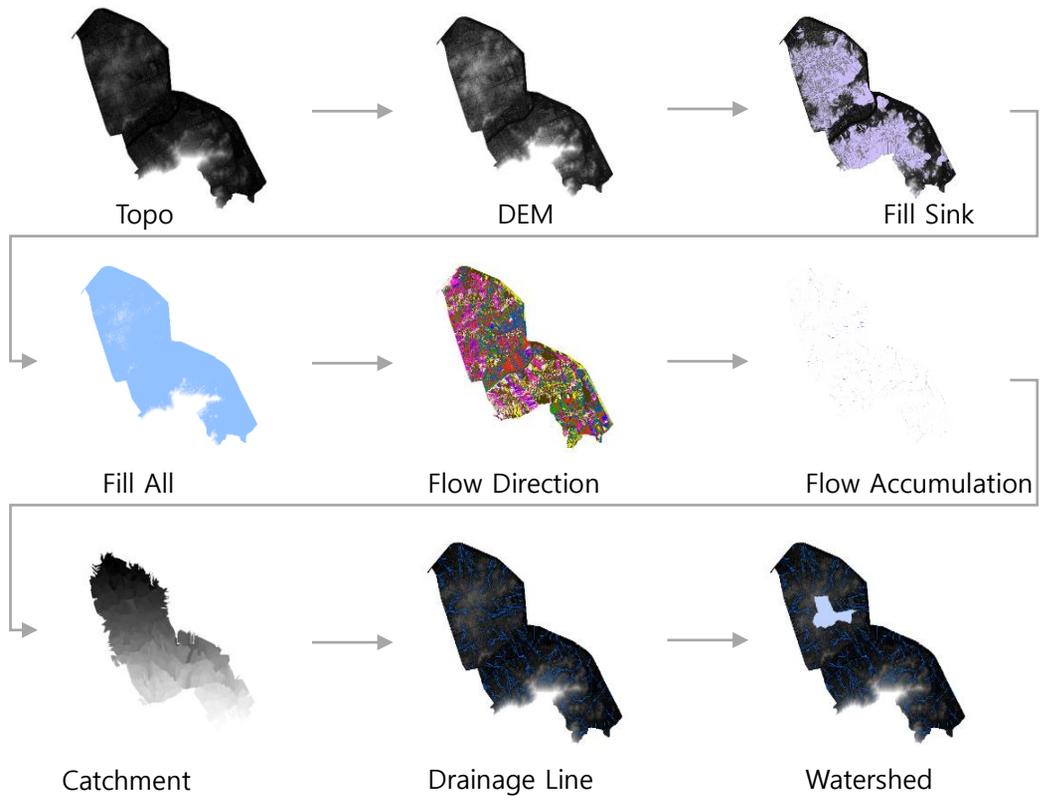
<그림 11> DEM 제작 방법



<그림 12> DEM을 위해 사용된 File, 좌측부터 건물, 등고, 경계, Topo Raster

3.4 수문학 분석 방법

수문학 분석은 앞서 언급한 ArcHydro를 사용하여 진행하였다. ArcHydro의 분석 방법은 DEM → PrefillDEM → Fill Sink → FillAll → Flow Direction → Flow Accumulation → Catchment → Drainage Line → Watershed 순이다. PrefillDEM은 미리 만들어 놓은 DEM의 손실된 부분을 채우기 위해 진행한다. 손실된 부분은 주로 DEM을 만드는 과정에서 cell 값이 비어 있는 것이다. PrefillDEM으로도 손실된 부분이 채워지지 않는 경우가 있는데 이 때는 Fill Sink와 FillAll 명령어를 사용한다. DEM에 대한 수정이 끝난 후 수문학 분석이 진행된다. 그 시작은 Flow Direction인데 이 과정에서는 Raster의 높이 값들을 분석하여 물이 다음 Raster로 갈 때 어디로 흘러가는지에 대해 판단해 준다. Flow Accumulation에서는 Flow Direction에서 만들어진 데이터를 바탕으로 물의 흐름을 만드는 것인데, 이 과정에서 연구자가 물 흐름의 정확도에 대해서 판단할 수 있다. 본 연구에서는 흐름의 최소 크기(Stream Line)의 값을 3000으로 설정하였다. 이후에는 Stream Line을 직접 구하고 이를 Polygon으로 만드는 작업이 들어간다. Catchment는 유역을 구하는 단계인데 유역이라 함은 지형도를 바탕으로 비슷한 성질을 띄는 지역을 묶은 것이다. 본 연구에서는 강우 시 물이 모이는 지역을 Catchment라고 정의한다. Drainage Line은 앞선 분석을 바탕으로 정해진 지역에 물이 어떻게 흘러가는지를 보여준다. 이 분석은 추후에 적지 분석과 침수지역, 그리고 영향지역을 유형화 하는데 쓰인다. 마지막 단계는 Watershed이다. Watershed는 한 지점(Watershed Point)으로 물이 흘러 들어 갈 때 어느 지역에 내린 강우가 영향을 미치는지를 말한다. 본 연구에서는 이를 영향지역이라고 정의한다.



<그림 13> 수문학 분석 방법

3.5 기후변화 시나리오

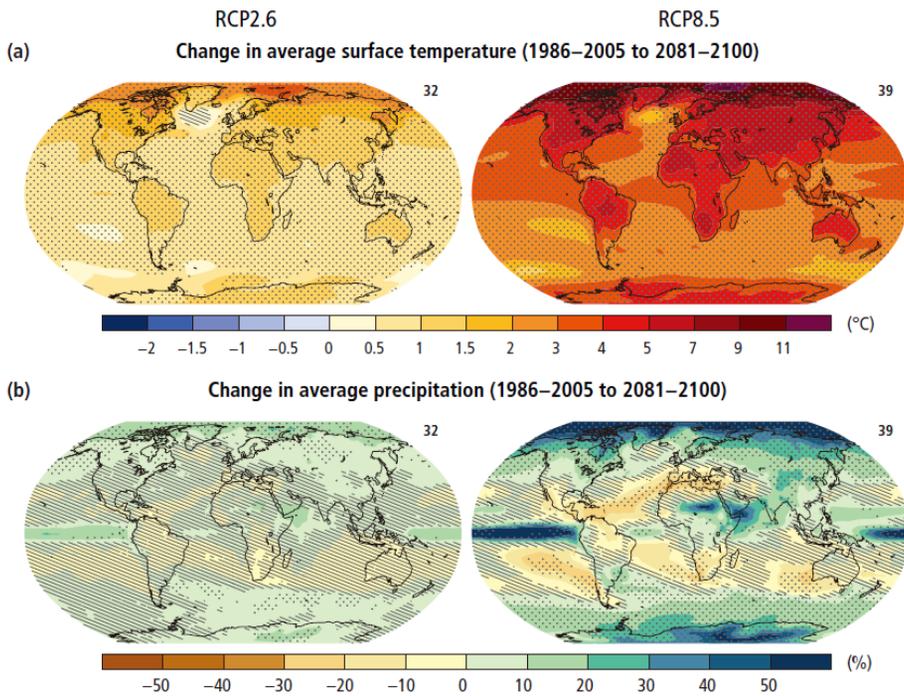
본 연구에서는 기후변화에 따른 기술의 효과 또한 보고자 한다. 이는 설계안이 가지는 효과가 미래에 어느 정도까지 감당 할 수 있으며, 새로운 기술의 투입 시기를 결정하는 것이 중요하기 때문이다.

IPCC 5차 평가 보고서에서는 인간활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였고 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회·경제 시나리오는 여러가지가 될 수 있다는 의미에서 '대표(Representative)'라는 표현을 사용했다(기상청 기후변화 포털). 1990년대에는 SRE라는 대표 값을 사용하다가 2010년 이후에는 RCP라는 대표 값을 사용하며 CO2의 농도 변화를 의미한다. RCP 시나리오는 2.6, 4.5, 6.0, 8.5로 구분되는데 각각의 시나리오 별로 긍정적인 예상과 부정적인 예상으로 나누어진다. RCP 2.6은 인간활동에 의한 영향을 지구 스스로 회복 가능한 경우, RCP 4.5는 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우, RCP 6.0은 온실 가스 저감정책이 어느정도 실현되는 경우 그리고 RCP8.5는 현재 추세로 저감 없이 온실가스가 배출되는 경우이다.

<표 5> RCP값에 따른 시나리오와 CO2 농도

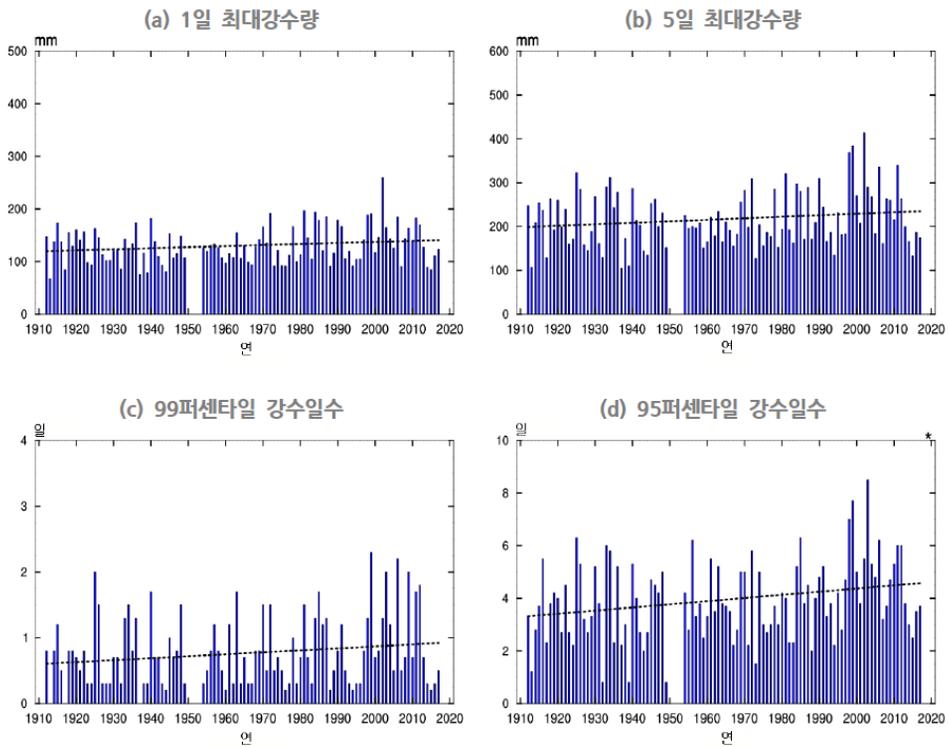
시나리오	RCP			
	2.5	4.5	6.0	8.5
대표 값	2.5	4.5	6.0	8.5
CO2(ppm)	420	540	670	940

IPCC 보고서에서 강우량에 관한 것은 지난 세계적인 강우의 변화로부터 설명한다. <그림 14>에서 볼 수 있듯이 1986년부터 2005년까지의 세계 강우량 변화는 -10%~10% 사이에 분포한다. 하지만 2081~2100 사이의 변화량은 극지방과 적도 지방을 중심으로 50%까지의 변화가 예상되고 한국을 포함한 아시아의 경우 10~20%의 변화가 예상된다. 기온의 변화를 보았을 때에 한국은 상당히 큰 집중호우량의 증가를 예상할 수 있다. 집중호우는 태평양에서 생성된 기단이 가장 큰 영향을 끼치는데 <그림 14 a>에서 2081~2100년의 기온 변화를 볼 때 태평양 부근과 한국 인근은 5% 이상의 변화를 보일 것으로 나타난다.



<그림 14> 온도와 강우량 변화 추이(IPCC, 2014)

국립기상과학원(2018)은 '한반도 100년의 기후변화' 보고서에서 한국의 강수량 변화를 보여주었다. 한국의 1일 최대강수량은 평균 130.3 mm, 5일 최대 강수량은 평균 216.9 mm였다. 10년간 각각의 변화 경향은 +1.97mm와 +3.46mm였는데 이를 통해 50년이 지난다면 평균적으로 약 10mm의 일 강수량이 증가할 것으로 보인다.



<그림 15> 강우 극한지수 변화(1912~2017년) (국립기상과학원, 2018)

기후변화 예측에 관해서는 각 나라별로 다른 모델을 사용하고 있다. 한반도 지역 기후변화 시나리오 산출의 경우 CORDEX 국제 사업과 연계하여 아시아 지역 기후변화 시나리오 개발까지 진행 중이다. 국내 지역 기후변화 시나리오 산출에는 영국 기상청 해들리센터 기후모델인 HadGEM3-Ra가 사용되며, 아시아 영역에 대해서는 50km 해상도, 한반도 영역에 대해서는 12.5km 해상도를 가지고 있다. 실험 종류는 과거기후모의(1950~2005년)와 RCP에 기반한 미래 2100년 까지 기후변화 전망 실험이며, 입력 자료로 135km 격자 규모의 전 지구 기후변화 시나리오가 사용되었다. 추후 연구에서는 이러한 기후변화 시나리오와 더불어 지자체의 자체 시나리오를 바탕으로 침수면적과 기술 효과 산정이 진행되었다.

제 4장 분석 결과

4.1 분석 대상지

처음 수문학 분석의 대상지는 서울의 자치구로 정하였다. 그 이유는 구할 수 있는 자료의 양이 풍부하고 정확하며, 도시홍수의 피해를 가장 많이 받는 지역이기 때문이다. 이번 연구를 시작으로 다른 지역으로 파생되어 나갈 수 있는 가능성 또한 크다.



<그림 16> 서울시 DEM과 침수 내역

<그림 16>의 DEM자료를 보면 서울은 산이 도시에 많이 분포하고 있다. 지형은 가운데 흐르는 한강과 하천들을 향해 기울어져 있다. 이로 인해 강우 시 유출수는 협곡을 따라 흘러 강으로 모이게 되어 하천 홍수가 주로 발생할 것 같다. 하지만 <그림 16>의 서울시 침수 내역을 보면 지난 상습 침수지역은 하천 근처가 아닌 도심지 내에 있는 것으로 확인이 된다. 이 이유를 유추해 보자면 우선 서울시는 한강정비사업과 하천 정비사업을 진행하여 강의 범람을 막는데 많은 노력을 하였고 그에 따른 결과로 하천홍수의 빈도는 낮아진 것으로 보인다. 하지만 홍수 발생 이유는 갑작스러운 집중 홍수에 의해 발생하는 것이 대부분이기에 불

투수 면이 많은 도심지에 홍수가 많이 발생한 것이다. 이는 ArcHydro 분석이 가지는 한계점을 보완해 줄 수 있다. ArcHydro의 한계는 강우시 하천이 어떻게 범람하는지 알기 어렵다는 것에 있고, 서울시는 하천홍수 보다는 도시홍수가 많이 발생함으로 지형을 가지고 물 흐름 분석을 하는 ArcHydro가 적합하다. 침수 내역 지도에서 침수심 알 수 없기에 침수 심은 기존 강우량을 바탕으로 구해야 할 필요가 있다.

4.2 침수지역

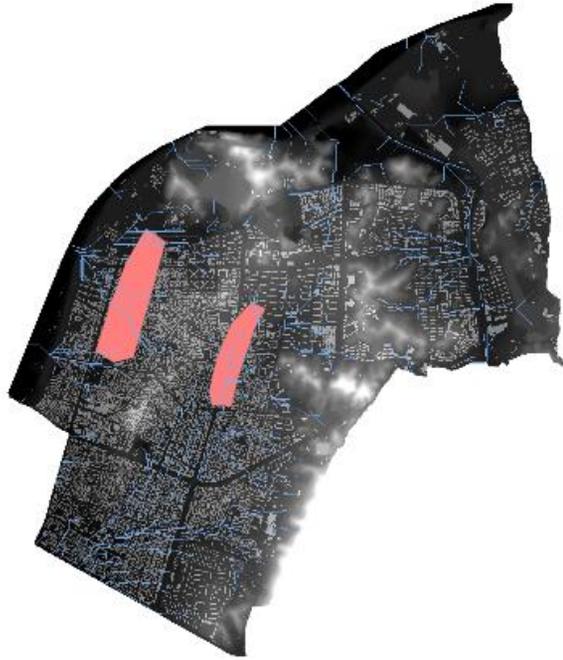
침수 지역은 Esri에서 제공하는 서울시 상습 침수 지역을 바탕으로 분석을 진행하였다. 침수 지역의 자료에는 침수 년도, 침수심과 같은 자료는 나와있지 않기에 수문학 분석을 통해 Drainage Line을 구하여 특징을 보았다. 먼저 한강 이남과 이북의 침수 지역(그림 16)을 보면 한강 이남 지역이 한강 이북 지역 보다 훨씬 더 많은 침수 피해를 입었다. 이는 지형의 모습을 보면 알 수 있는데 한강 이북의 경우 북한산, 도봉산, 불광산과 같은 큰 산들이 존재하지만 기존의 도시 맥락이 침수의 영향을 받는 지역에서 벗어나 존재해 왔다. 하지만 한강 이남의 경우 서울의 확장이 이루어 지면서 기존의 지형을 바꾸고 도심지가 들어섰기 때문에 많은 피해를 입는 것으로 유추된다. 이러한 특징은 피해가 강남구, 송파구, 서초구에 집중되어 있는 것을 보면 알 수 있다.

Drainage Line과 침수 지역을 같이 보면 구 별로 좀 더 세분화 되어 특징을 확인할 수 있다. 우선 10개(중랑구, 동대문구, 강북구, 강남구, 광진구, 서초구, 송파구, 금천구, 강동구, 동작구)의 구가 물의 흐름 중간 지역에 침수가 일어났다. 중간 지역에 침수가 일어 났다는 것은 자

연적으로는 물이 흘러 내려가 유역 하부에 물이 고여야 하는데 그전에 물이 유출되어 침수가 되었다는 뜻이고 이런 특징은 도시 개발로 인한 피해가 발생 하였다고 볼 수 있다. 강동구(그림 17 a)를 보면 강동구는 구 시가지인 암사동과 신시가지인 길동에 침수피해가 주로 발생했다. 길동은 물의 흐름상 물이 모이는 곳이 아니라 물이 지나가는 곳이다. 하지만 지형도를 세밀한 등고 높이로 나누어 보았을 때는 경사가 많이 심하지 않은 것을 볼 수 있다. 길동은 강동구의 개발과 함께 중심 상업 지구들이 많이 들어 섰고 이에 따라 지형을 평탄하게 변화시킨 것이다. 또한 길동은 그 지역은 평탄하지만 동·서로 산맥이 존재하여 강우 시 물이 갑작스럽게 모이는 것으로 분석된다.

두 번째 유형으로는 물의 흐름 마지막에 침수 지역이 형성된 구이다. 도봉구, 노원구 서대문구, 중구, 종로구, 은평구, 관악구, 영등포구 총 8개 구가 이에 해당된다. <그림 17 b>의 도봉구의 물 흐름 분석과 침수지역을 보면 서쪽에 있는 산으로부터 물이 흘러가 한 지점으로 모이는 곳에 침수가 일어 났다. 이러한 특징은 한강 이남의 대부분의 구에서 발견된다. 물이 모이는 곳에 침수가 발생하다 보니 이러한 침수 지역은 구 경계 부분에서 많이 나타나는데 서울시에서 상습 침수가 일어나는 상당역 사거리의 경우 동작구, 관악구, 서초구의 경계부이다.

나머지 구들은 물 흐름과 무관하게 침수가 발생했는데 용산구와 같은 경우 <그림 17 c>에서 한강대교로 복단에 있는 한강대로를 따라 침수가 발생했다. 원인은 우수관의 배치나 용량에 의해 침수가 발생하였거나 마찬가지로 도시 개발로 인해 지형이 바뀐 것으로 유추할 수 있다.



a. 물의 흐름 중간 강동구



b. 물의 흐름 마지막 도봉구



c. 물의 흐름과 관계 없이 도로를 따라 침수가 발생한 용산구

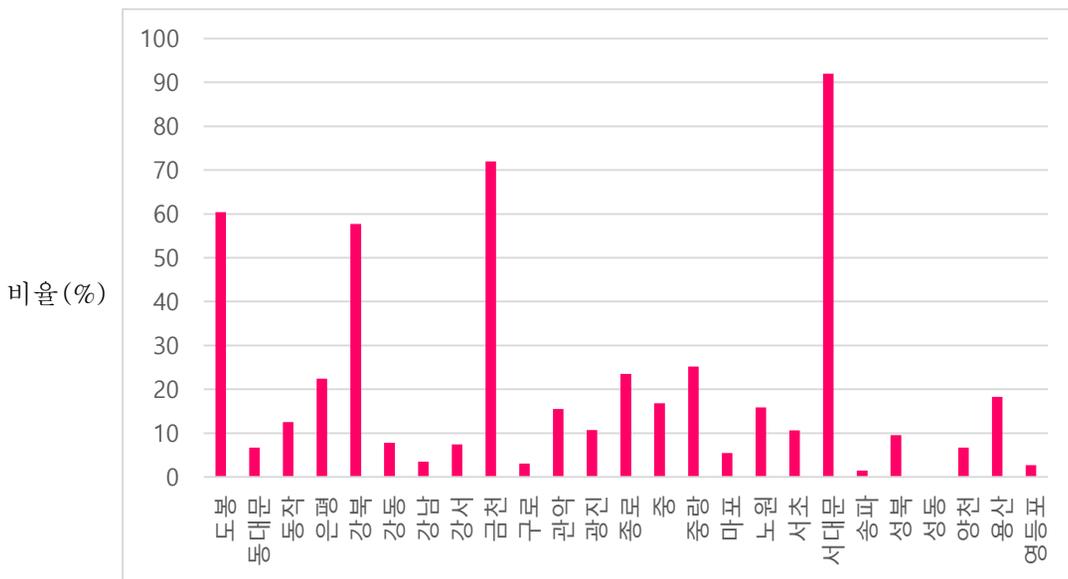
<그림 17> 침수지역 유형

침수지역에 해당되는 건물의 용도와 유형을 Attribute Table로 확인할 수 있었는데 여기서도 몇 가지 분류가 가능했다. 첫 번째로 나타난 유형은 주택이 주로 침수된 지역이다. 도봉구, 동대문구, 동작구, 강동구, 중랑구, 노원구, 성북구, 양천구, 영등포구가 여기에 해당된다. 도봉구(그림 18 a)를 살펴보면 주택과 근린 생활 지역 빼고는 피해가 거의 일어나지 않았다.

상업 지역에 침수피해가 주로 발생한 구는 강북구, 강남구, 강서구, 금천구, 중구, 서대문구, 용산구 총 7개 구이다. 이러한 유형의 경우 침수 피해 발생시 주차장과 상가 1층 건물들이 침수가 발생하여 많은 재산피해가 예상된다. 강북구의 건물 용도(그림 18 b)에서 나타나 듯이

4.3 영향지역

영향지역에 대한 분석을 진행해 본 결과 침수지역과 마찬가지로 몇 가지 특징으로 각각의 구가 묶일 수 있었다. 우선 침수 면적 대비 영향 면적의 비율이 8배에서 20배 사이에 있는 것이 8개 구로 가장 많았다. 이 비율이 중요한 이유는 영향지역의 정의에 있다. 영향지역은 침수 지역으로 물이 흘러가는 면적을 이야기 하기 때문에 비율이 높다는 것은 기술을 설치하거나 대응 방안을 마련할 공간이 상대적으로 많다는 것을 의미한다. 예를 들어 <그림 19>의 그래프에서 송파구의 경우는 영향지역이 침수 지역과 거의 일치하는 것을 보인다. 이 경우 침수 지역에 대응 방안을 설치해야 한다는 의미이고 실현 가능한 사업을 진행하기에 어려움이 많다.



<그림 19> 침수지역 대비 영향지역 면적 비율

영향 지역은 면적 비율 이외에도 건물의 유형으로 특징을 묶을 수 있다. 영향지역에 저류조 기술이 들어가야 하는데 건물의 유형이 가장 큰 기준이 되기 때문이다. 예를 들어 단독 주택 같은 경우에는 빗물 저류 시설의 설치가 어려운 반면 빌딩 건물은 높이가 충분하다면 설치가 가능하다.

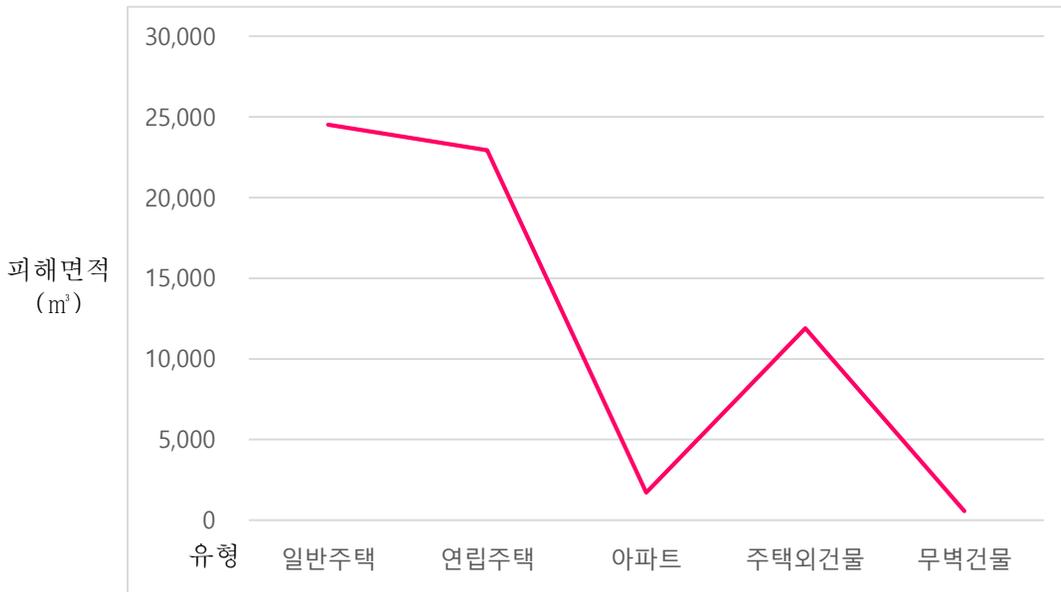
첫 번째 유형은 주택 외 건물, 즉 빌딩 형 건물이 많은 구이다. 도봉구, 종로구, 마포구, 동대문구, 강동구, 금천구, 용산구 등이 이에 해당된다. 이런 유형은 건물의 높이가 5층 이상인 건물이 많아 지하 공간과 옥상 공간이 넓다. 이런 경우에는 빗물저류통의 설치나 분산형 저류 시설의 배치가 용이하다. <그림 20 a>의 종로구의 경우를 보면 주택 외 건물의 비율이 높지만 일반 주택의 면적도 작지 않다. 하지만 <그림 20 b>와 비교 하면 그 차이가 확연하다.

두 번째 유형은 일반 주택과 연립주택 형 건물이 많은 구이다. 상당수 많은 지자체가 이에 해당되는데 동작구, 구로구, 중랑구, 영등포구, 은평구, 강북구, 관악구 등이 있다. 이러한 특징은 저류조 배치에 건물을 사용하는데 어려움이 있다. 일반 주택과 연립 주택은 지하공간이 충분치 않고 옥상에 다른 시설들이 이미 올라가 있는 경우가 많기 때문이다. 또한 기술 배치로 인한 인센티브를 주기도 어려워 실현성이 많이 떨어진다.

다른 지자체들의 경우 일반주택, 연립주택, 아파트, 주택 외 건물의 비율이 대부분 비슷했으며, 전체적으 특징으로는 아파트의 비율은 모든 구에서 낮게 나타났다.



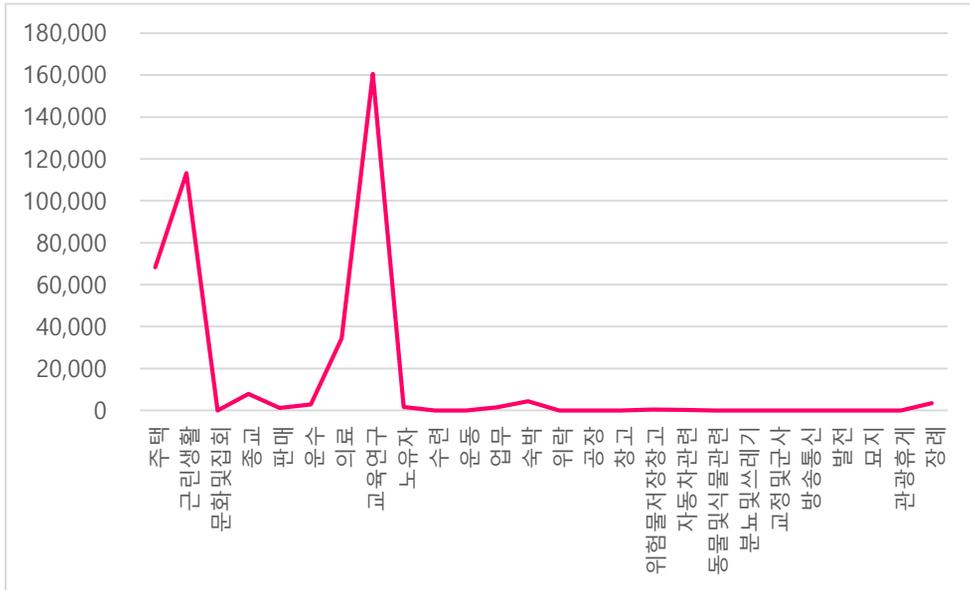
a. 영향지역에 빌딩 건물이 다수 분포한 종로구



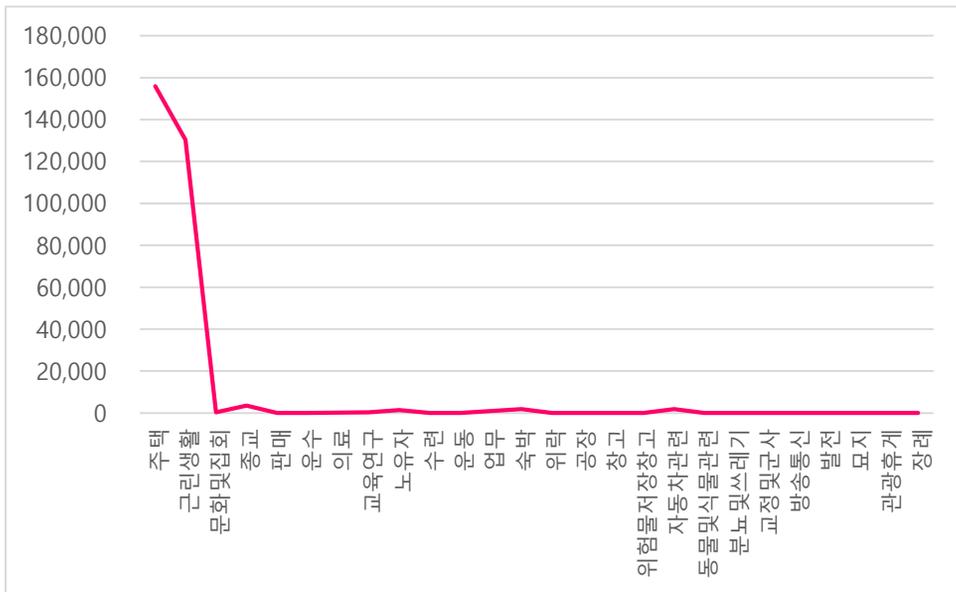
b. 영향지역에 일반 주택과 연립 주택이 많은 구로구

<그림 20> 영향지역 건물 유형

영향지역의 특징은 침수지역과 마찬가지로 건물의 용도에 따라서 구분할 수도 있다. 크게 공공 용도가 많은 지역과 개인 용도가 많은 지역 두 가지로 구분하였는데 이는 기술 배치의 가능성과 연결된다. 저류조의 설치는 공원, 학교, 청사와 같은 공공시설에 설치되는데, 사유지가 많은 경우는 저류조 도입이 어렵다. <그림 21 a>의 서대문구를 보면 영향지역에 주택과 근린생활 시설 보다도 교육 연구 시설이 많은 것을 볼 수 있다. 연세대학교, 서울 외국인 학교, 이화여대 부속 초중고등학교가 해당되는 지역이다. 학교에는 건물 지하나 옥상에 빗물 저류통을 설치하는 것과 운동장 지하에 저류조를 설치하는 등 다양한 방법이 가능하다. 반면 <그림 21 b>의 마포구를 보면 다른 건물 용도는 거의 존재하지 않고 주택과 근린생활 시설 용도만 있는 것을 알 수 있다. 이런 경우에는 서대문구와 저류조 도입이 쉽지않다. 이런 경우에는 건물의 유형을 따져본 후 인센티브를 부가하는 형식으로 빌딩형 건물에 저류조 설치가 가능하다.



a. 영향지역에 공유의 비율이 높은 세대분구



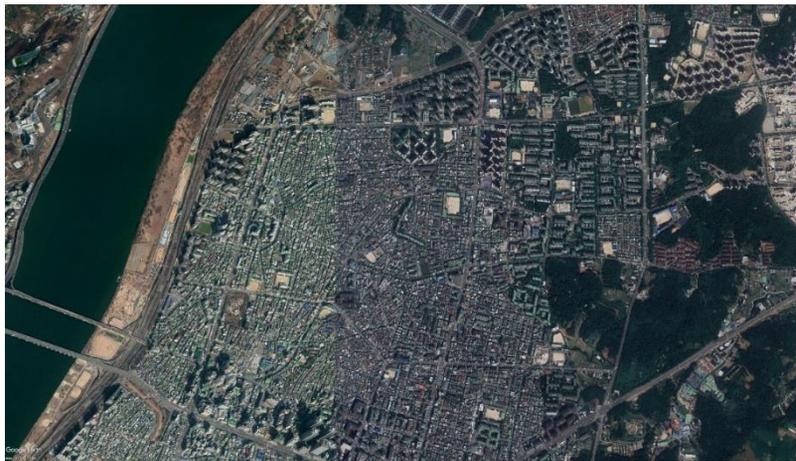
b. 영향지역에 사유지의 비율이 높은 마포구

<그림 21> 영향지역 건물 용도

제 5장 대상지 설계

5.1 설계 대상지 선정 및 상세 분석

대상지는 침수지역과 영향지역을 특징을 가장 잘 대표할 수 있는 강동구로 선정을 하였다. 강동구는 주택가와 상가에 주로 침수가 일어나며 영향지역에는 다수의 주택과 상가가 존재한다. 또한 침수지역 대비 영향지역 면적의 비율은 7배로 나타난다. 개발 당시에 서울에 필요한 주택을 보충하기 위해 만들어진 지역이라 주로 주거지역이 대부분의 면적을 차지하고 있으며, 강남과 더불어 배재고등학교와 같은 학군들이 강동으로 많이 옮겨 왔다. 특히 최근 들어 새로운 업무지구가 들어오고 지하철 5호선, 9호선 연장이 확정되고 사업이 진행됨에 따라 앞으로도 꾸준한 개발이 예상되는 지역이다. 따라서 물 흐름 분석을 통해 가장 대표성을 띄는 구이기도 하면서 앞으로의 개발 단계에서 방재 기술을 점진적으로 적용시켜 볼 수 있는 지역이기도 하다. 강동구는 천호동, 암사동, 길동 등 총 24개의 동으로 이루어져 있으며 총 인구는 42만 4,727명이며, 면적은 24.59km²이다.



<그림 22> 강동구 위성사진

5.1.1 건물 형태와 녹지

<그림 23>을 보면 강동구는 크게 3가지 지역으로 나눌 수 있다. 첫 째는 예전 도시 맥락을 가지고 있는 구시가지(암사동), 둘 째는 길동과 같이 새롭게 개발되어 큰 건물 형태를 가지고 있는 신시가지, 마지막으로 대규모 재건축을 통해 아파트 단지가 들어선 상일동, 고덕동 명일동 일대가 있다. 강동구는 녹지가 다른 구에 비해 많은 편이다. 특히 중·소 규모 공원들이 다수 존재하는데 천호 사거리의 천호 공원과 고덕역 인근의 윈터 근린공원, 저수지가 존재하는 길동 공원이 영향지역에 해당된다.



<그림 23> 강동구의 건물 형태와 녹지 분포

5.1.2 상습 침수 지역

강동구의 상습 침수 지역(그림 24)은 두 지역으로 나뉜다. 서쪽에 암사동과 천호동 일대에 침수 지역이 존재하고, 동쪽에 길동과 둔촌동 일대에 침수 지역이 존재한다. 두 지역은 건물 형태에서 다른 특징을 보이는데, 서쪽 지역은 구시가지이기 때문에 건물이 작고 층수가 낮다. 반면 동쪽은 개발이 된지 얼마 안된 신시가지이고 상업과 업무시설들이 들어가 있어 건물 면적이 크고 층수가 높다.



<그림 24> 강동구의 상습 침수 지역 건물

5.1.3 침수지역의 건물 용도

<그림 25>의 침수지역 건물 용도를 보면 서쪽과 동쪽의 차이가 더 드러난다. 서쪽 암사동 일대는 주로 주거 건물이 피해를 입었고 작은 상가들이나 중학교 또한 침수 피해를 받았다. 반면 동쪽 길동 일대는 업무시설이나 대규모 상가 시설이 피해를 받았다. 건물 용도의 차이로 인해 두 지역은 침수가 발생했을 때, 다른 피해규모를 겪을 것으로 예상되고 같은 침수심의 유출수가 발생하면 상가 건물이 많은 길동의 피해가 더 클 것이다.



<그림 25> 강동구의 침수 지역 건물 용도

5.1.4 침수지역 건물 유형

침수 지역 건물 유형 또한 서쪽과 동쪽 지역의 차이를 보인다. 건물 용도의 차이로 인해 건물의 유형 또한 달라진 것으로 판단한다. 서쪽의 경우 일반주택과 연립주택 형태의 건물이 많았고 빌딩 형 건물은 15% 정도 였다. 동쪽은 반대로 일반주택과 연립주택은 30%정도만을 차지 하였고 대다수가 빌딩 형 건물이었다. 건물의 용도와 유형 그리고 형태를 종합해 보았을 때 서쪽 구시가지 침수 지역은 기술을 배치하기에는 어려움이 예상되지만 동쪽 지역은 침수지역 자체에 기술을 배치하는 방법도 가능하더라는 결론이 도출된다.



<그림 26> 강동구의 침수지역 건물 유형

5.1.5 영향지역 분포

강동구의 영향지역은 침수지역의 7.8배이다. 다른 구의 영향지역 비율을 보았을 때도 8~15배 정도를 가지고 있는 구가 대다수 였다. 영향 지역은 천호동, 암사동, 명일동, 길동, 고덕동에 걸쳐 분포하고 있으며 많은 공원들이 포함된다. 서울은 주로 강우 시 물이 흘러나와 한강으로 흘러가는 형태인 반면 강동구는 한강과 맞닿은 지역이 침수에 영향을 주고 있다. 이는 한계 강우를 넘어섰을 때 빗물이 한강에 있는 제방을 넘지 못하고 침수지역으로 흘러가기 때문이라고 판단된다.



<그림 27> 강동구의 영향지역 분포

5.1.6 영향지역 건물 용도

강동구는 서울의 부족한 주거지역을 보충하기 위해 개발된 지역이기 때문에 영향지역에도 많은 주거 용도가 존재한다. 하지만 대로변을 따라서 상업시설들이 많이 분포하여 상업 용도의 면적 또한 적지않다. 다른 구와의 다른 특징으로는 다수의 학교가 영향지역에 있다는 것이다. 강동구를 개발하면서 배재고를 비롯하여 많은 학군이 옮겨왔기 때문이다. 학교라는 용도는 저류조 설치에 적합하기 때문에 추후 설계 단계에서도 이 특징을 활용할 것이다.



<그림 28> 강동구의 영향지역 건물 용도

5.1.7 영향지역 건물 유형

영향지역 건물 유형의 특징은 건물 용도와 연관 있게 나타난다. 주거 용도가 많기 때문에 일반주택과 연립주택 형태의 건물이 많이 있고, 빌딩형 건물은 대로변을 따라 분포한다(그림 29). 건물 형태를 통해 알 수 있는 점은 다른 구에 비해 아파트 건물이 많다는 것이다. 아파트 단지는 자체적으로 저류조를 가지고 있는 경우가 많고, 현재 가지고 있지 않더라도 미래에 저류조 설치가 가능하다. 이 점은 기후변화에 맞추어 대응할 수 있는 공간이 많다는 의미이기도 하다.



<그림 29> 강동구의 영향지역 건물 형태

5.1.8 Drainage Line

Drainage Line 형태는 서쪽과 동쪽의 침수지역이 다르게 나타난다. 먼저 서쪽의 경우 강우 시 물이 구 가운데 있는 산맥으로부터 한강 방향으로 흘러간다. 이를 통해 알 수 있는 것은 서쪽 침수지역은 기술 배치를 할 때 침수지역 안과 그 근방에 기술을 설치해야 한다는 의미가 있다. 반면 동쪽 침수 지역의 경우 강우 시 물이 북쪽으로부터 흘러 나와 침수지역을 지나 송파구로 빠져나간다. 결국 동쪽 지역은 기술 배치의 가용 범위가 서쪽에 비해 넓으며, 이 지역에 설치된 저류조는 송파구에도 영향을 미친다.



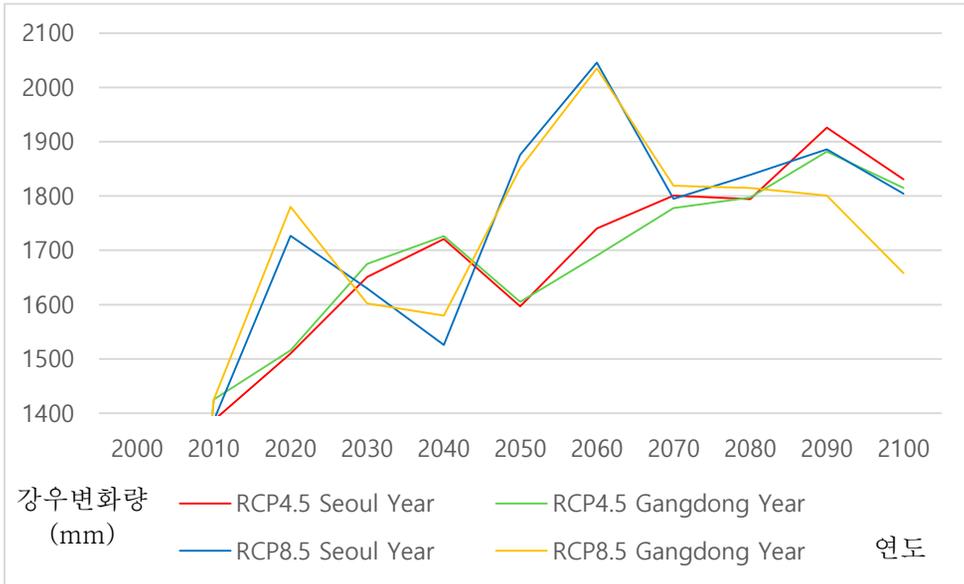
<그림 30> 강동구의 Drainage Line 형태

5.1.9 강동구의 미래 계획

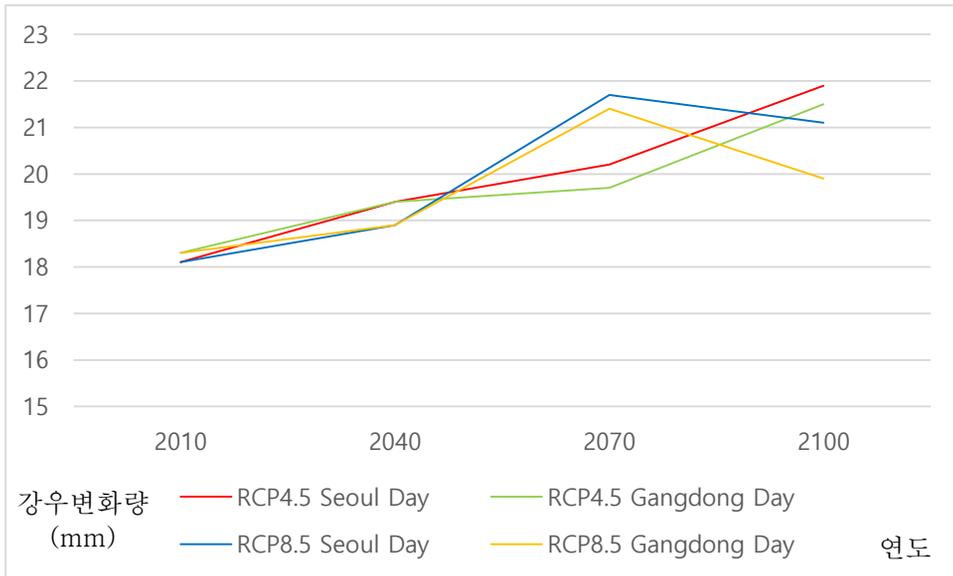
강동구의 도시계획 모토는 Eco City이다. Eco city는 지속가능하고 환경친화적인 발전을 도모하는 것인데 그 결과 중의 하나가 '서울특별시 강동구 기후변화 상세 분석보고서(2016)'이다. 이 보고서는 강동구와 기상청이 협업하여 만든 것으로 향후 100년에 걸쳐 강동구와 서울시의 기후가 어떻게 변할 것인지 예측한 것이다. 안의 내용은 평균기온, 강수량, 극한기후지수 등의 변화를 전망하고 이것을 농업, 보건, 에너지 등의 요인에 어떻게 응용할 수 있는지 정리해 놓았다. 하지만 이 보고서의 한계점은 응용 방안이 정책적인 것으로 실질적으로 어떤 기술이 들어가야하고 얼마나 효과가 나올지에 대한 부분이 빠져있는 것이다. 본 연구에서는 하지만 본 연구를 통해 이를 보완하여, 분석 자료를 토대로 설계 시 피해 범위 변동, 용량 산정, 기술 효과 등을 산출해 내었다.

제공된 자료 중 강수량 변화 데이터를 보면 서울시와 강동구는 비슷한 변화 양상을 보이고 있다. 연 단위 총 강수량 증가량은 2040년에는 현재보다 약 6000L, 2100년에는 18000L의 물이 1년에 더 올 것으로 예상되며, 일 강수량을 보면 2040년에는 40ml, 2100년에는 80ml 비가 더 올 것으로 보인다. 이를 통해 정확한 강우 확률과 그 양을 측정할 수는 없지만 강우의 강도가 몇 배로 커질지 예상하는 척도로 활용될 수 있다.

설계는 크게 강우 시나리오에 따른 피해 면적 변동과 기술 도입 방법, 마지막으로 효과 산정 세 가지 방향으로 논리가 구축되었다.



a. 연 강우 증가량



b. 일 강우 증가량

<그림 31> 기후변화 시나리오에 따른 강우량 변화

5.2 설계 논리

5.2.1 강우 시나리오에 따른 피해 면적과 변동

기술 적용의 효과를 보기 위해서는 우선 지금 지역의 강우 시 수용 용량을 알아야 한다. 하지만 홍수의 경우 분석을 위해 정적 모델과 동적 모델 두 가지가 모두 필요하며 우수관, 맨홀, 하수구, 상세 모델링과 같은 자료가 요구된다. 지자체를 분석하기 위해서는 이러한 요소들을 활용하기가 어렵기에 대체 변수를 통한 분석이 가능하다.

현재의 지자체 강우 용량은 다음과 같이 결정되었다.

$$\text{Max(non Flooding)} < \text{Capacity} < \text{Min(Flooding)}$$

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Min(Flooding)} + \text{Max(non Flooding)}}{2}$$

Max(non Flooding) = 침수 피해가 없을 때 최대 시간당 강우량

Min(Flooding) = 침수 피해 발생시 최소 시간당 강우량

Capacity = 시간당 수용 강우량(C)

우선 강동구의 시간당 최대 강우량 데이터와 홍수 피해 통계를 조사한 후 침수피해가 왔던 연도와 오지 않았던 연도를 구분하였다. 피해가 잃어 나지 않았던 연도 중 가장 큰 시간당 최대 강우량이 지자체가 수용할 수 있는 최대 강우이고, 침수 피해가 일어난 연도 중 가장 작은 시간당 최대 강우량이 지자체의 한계 용량의 바로 위라고 판단 하였다. 결국 지자체의 용량은 그 사이 지점이고 평균을 대표값으로 선정하였다.

강동구의 경우 max(non flooding)은 43.5ml(2004), min(flooding)은 44.4ml로 용량은 44ml로 결정되었다.

다음으로 피해 면적 변동을 산정하기 위해 용량 초과 강우 시 피해가 어떻게 발생하는지를 알아야한다. 이는 최대 시간당 강우가 왔을 때 가장 넓은 침수가 일어났다고 가정한 후 결정하였고, 강동구는 시간당 100mm 가 가장 많이 비가 온 경우이며 앞서 분석한 침수 면적과 대입하였다.

최종적으로 앞서 구한 값을 바탕으로 비가 왔을 때 얼마의 부피가 유출(run-off) 되는지 계산하였다.

$$Volume = (R - C) \times A_W \times t$$

R = Maximum Rain per Hour (ml), A_W = Area of Watershed)

5.2.2 기술 적용 논리

각각 기술의 설계는 현재 국가, 지자체에서 기술 도입에 대한 가이드라인과 법령 등을 조사하여 논리를 만들었다.

1) 빗물 저류통(Rain Water Storage)

빗물 저류통의 경우 지하공간이 충분하고 구조가 저류통에 적합한 건물을 선정하였다. 또한 중수도 활용 가능성이 뛰어나 공공시설이나 물의 순환이 가능한 작지 않은 규모의 빌딩이 적합하다. 학교나 8층 이상의 건물이 이에 해당된다고 판단하여 적지분석을 진행하였으며 이 기술에 용량 산정은 서울시정연구원에서 제시한 가이드 라인을 따랐다.

$$\text{빗물 저류통의 용량}(m^3) = \text{Area of Building}(m^2) \times 0.05(m)$$

2) 침수지(Forebays)

침수지는 물이 도심지로 흘러가기 전에 일부분을 저장해 놓는 기술이면서 산사태와 같은 토사 유출 방지에도 효과가 있다. 이러한 장점들을 활용하기 위해서 침수지의 배치는 경사가 진 언덕 혹은 산에 설치하는 것은 원칙으로 하였다. 침수지의 용량은 그 상세 지역에 대한 토질과 경사 분석이 이루어진 다음 결정이 되는 것이 일반적이지만 이 설계에서는 우선 침수지 부지의 5%를 침수지로 활용한다.

$$\text{침수지의 용량}(m^3) = \text{Area}(m^2) \times 0.05(m)$$

3) 저류지(Basins)

저류지는 시민들을 위한 공공시설로의 활용성이 높고 공공시설 위주로 적용이 적합하기에 공원에 설치하였다. 하지만 모든 공원이 저류지 설치를 할 수 없기에 Drainage Line을 보고 많은 물들이 모이는 지점 근방의 공원을 선정하여 배치하였다. 용량은 환경부에서 발표한 '도로 비점오염저감시설 설치 및 관리 지침'을 참고하였다.

$$\text{저류지 용량}(m^3) = \text{Area}(m^2) \times 0.1 \times 3(m)$$

4) 생태수로(Eco Waterway)

생태수로는 산책로를 따라 설치하여 비가 왔을 때는 저류의 기능을 하지만 비가 오지 않을 때는 환경적으로 활용될 수 있게 하는 것이 일반적이다. 강동구는 산책로처럼 길게 뻗은 공원들이 많이 존재하기에 이런 지역에는 저류지나 침사지보다는 생태수로를 적용하였다. 용량은 저류지와 마찬가지로 환경부 발표자료를 참고하였다.

$$\text{생태수로 용량}(m^3) = \text{Area}(m^2) \times 0.5 \times 0.5(m)$$

5) 분산형 저류시설(CDS)

분산형 저류시설은 효과가 크지만 어느정도 규모의 면적이 필요하다. 그래서 대규모 노면 주차시설이나 광장과 같은 시설이 적합하고 한 곳에 저류시설을 몰아서 짓는 것 보다 여러 군데 나누는 것이 바람

직하다. 분산형 저류 시설의 용량은 상세 설계가 필요하지만 본 연구에서는 우선 일괄적으로 부지의 30%를 활용하여 높이 3m의 저류 시설을 활용한다고 가정하였다.

$$\text{분산형 저류 시설의 용량}(m^3) = \text{Area}(m^2) \times 0.3 \times 3(m)$$

5.2.3. 기술 효과 산정

기술의 효과를 산정은 전체 유출량에서 기술 전체의 부피를 뺀 후 침수심(h)으로 나누어 구하였다.

$$A_r = \frac{V - \sum_{i=1}^n V_i}{h}$$

(V_i = Volume of each Technology, A_r = Reduced Area)

$$h = \frac{\text{Volume}}{\text{Area}} = \frac{(R - C) \times A_w \times t}{A_f}$$

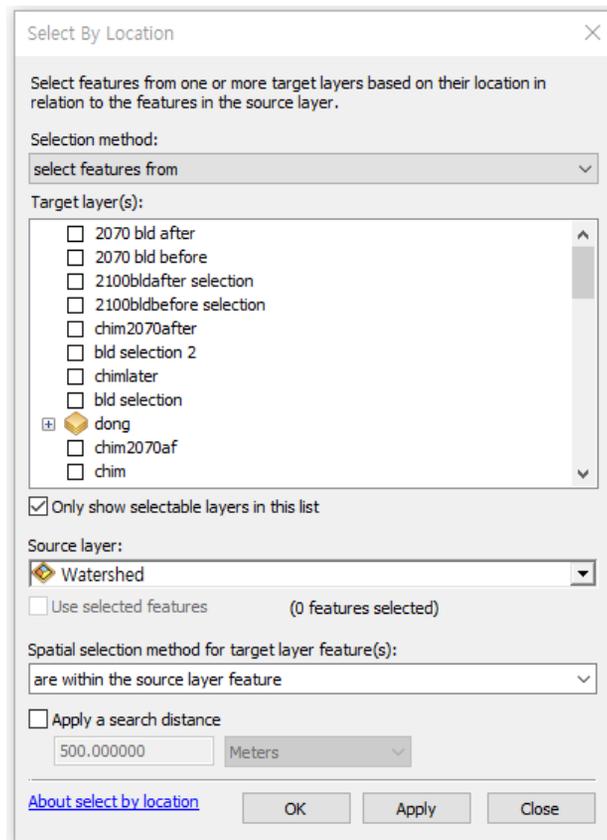
$$A_f = \text{Flooded Area}$$

침수심은 강우 시 모든 지역에 같은 값으로 존재하는 것은 아니지만 침수 면적 감소를 구하기 위해서는 필요하기에 계산 중간 단계의 값으로 활용된다.

각 기술의 효과를 앞선 논리에 의해 결정하면 다음과 같다.

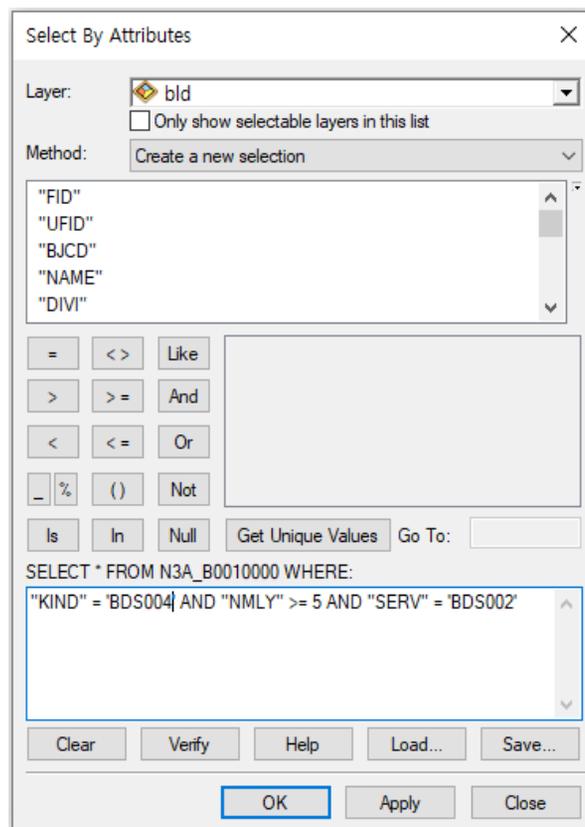
5.2.4 가용지 선정

저류조 기술을 배치하기 위한 방법으로는 GIS를 이용한 1차 분석과 현장답사를 통한 분석 두 가지가 쓰였다. 우선 GIS를 통한 분석은 건물 용도, 건물 유형 그리고 건물 층수를 같이 고려하여 진행되었는데 GIS의 Select by Location와 Select by Attribute 기능을 사용하였다. Select by Location은 GIS 문서상 특정한 Polygon안에 포함된 개체들을 찾아주는 기능이다. 본연구에서는 <그림 32>와 같이 건물 SHP 파일을 Target Layer로 Watershed를 Source Layer로 설정하고 진행하였다.



<그림 32> Select by Location 예시

영향지역에 있는 건물들의 선정이 끝난 다음에는 Select by Attribute의 기능을 사용해 각 기술에 맞는 건물 용도와 유형 그리고 층 수 높이를 가지고 있는 건물들을 찾아낸다. 예를 들어 빗물 저류조와 같은 경우에는 건물의 용도는 상업이거나 학교, 공공시설이고, 유형이 빌딩 형이며 건물의 층수는 최소 5층으로 설정하여 필터링 하였다. <그림 33>의 예시를 보면 KIND는 건물 유형, BDK004는 빌딩 형 건물을 의미하고 NMLY는 건물의 층수이다. SERV는 건물의 용도인데 BDS002는 상가건물을 나타낸다.



<그림 33> Select by Attribute 예시

Select by Attribute 단계에서 설계의 방향성을 설정할 수 있는데 만약 건물의 층수를 좀 더 높은 것으로 설정한다면 적은 수의 건물들이 선정될 것이고 이는 소극적인 기술 배치를 의미한다. 또한 건물의 형태를 연립주택을 포함시키고 용도에 주거지역을 넣는다면 좀 더 적극적으로 기술 배치를 한다는 의미이다. Select By Attribute에 사용된 Code는 < 표 6> 과 같다.

<표 6> Select by Attribute의 Code

Code	항목	세부 Code	세부 항목
NMLY	건물의 층수	-	-
KIND	건물의 유형	BDK001	일반주택
		BDK002	연립주택
		BDK003	아파트
		BDK004	빌딩
SERV	건물의 용도	BDS001	주택
		BDS002	근린생활
		BDS003	문화
		BDS004	종교
		BDS005	판매
		BDS006	운수
		BDS007	의료
		BDS008	교육
		BDS009	노유자
		BDS012	업무
		BDS016	공장
		BDS017	창고

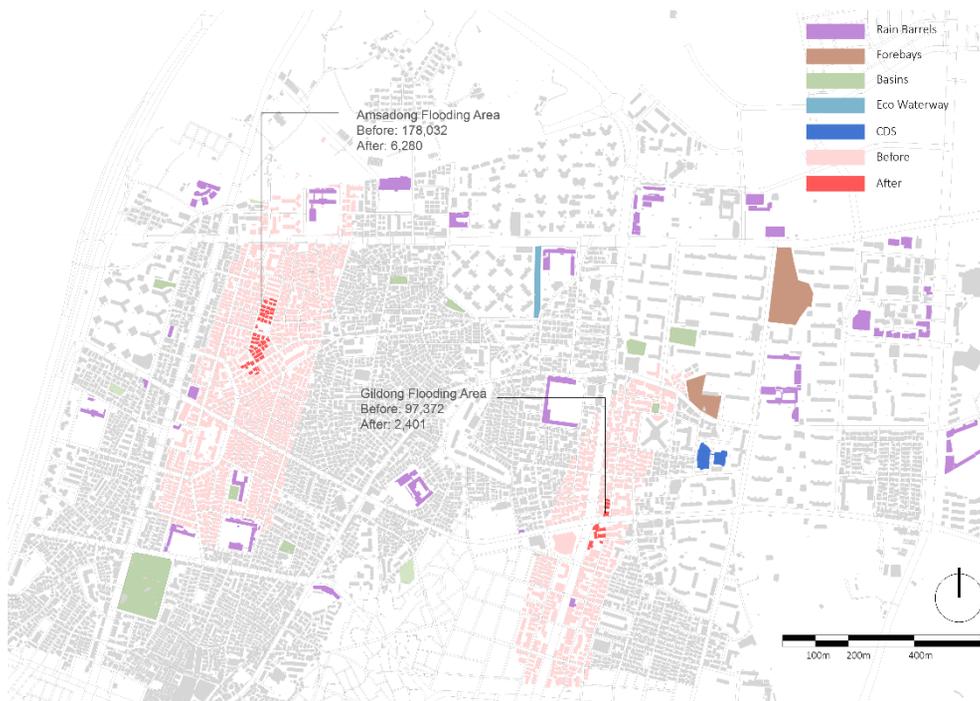
현장 답사를 통한 분석은 GIS로 선정된 건물들의 지하나 옥상 혹은 구조상에 기술 설치에 방해가 되는 것들이 있는지 확인하는 과정이다. <표 7>과 같이 각 분류 별 항목들을 확인하여 문제가 되는 것들을 확인하였다. 건물 옥상에 저류조를 배치하려고 할 때 가장 어려움이 되는 것은 적치물이 있거나 이미 건물의 옥상을 개보수를 통해 다른 공간으로 사용하는 것이다. 강동구의 경우 주로 연립주택들이 이러한 형태를 많이 보였다. 또한 건물 지하를 활용하고자 할 때에도 적치물이 기술 배치에 장애가 되는데 주로 분리수거장으로 활용되거나 경비원들의 휴식공간으로 활용이 되는 경우가 많았다. 학교에서도 운동장과 건물 지하에 다른 시설이 있을 때 기술 적용이 어렵다. 강동구의 경우 동북중·고등학교 운동장 지하에 지하철이 지나가 운동장 활용이 어려웠고, 배재중·고등학교는 지하에 매점이 운영되고 있어 지하공간의 일부만을 사용할 수 있었다. 공원과 주차장은 규모가 너무 작거나 주변환경의 영향으로 저류조의 배치가 어려운 경우를 확인하여 가용지에서 배제하였다.

<표 7> 현장 답사 시 저류조 배치에 문제가 되는 항목들

분류	항목	상세설명	예시 사진
건물	옥상	옥상에 적치물이 있거나 개보수가 이루어져 빗물 저류통의 설치가 어려운 경우	
	지하	지하에 적치물이 있거나 다른 시설이 존재하여 저류조 설치가 어려운 경우	
학교	운동장	운동장의 상태가 저류조 설치가 어려운 경우	
	지하	지하 공간이 없거나 다른 시설이 있는 경우	
공원	오픈스페이스	공원의 크기가 너무 작거나 다른 건물이 들어와 있는 경우	-
주차장	주변 환경	주변환경과 규모 때문에 지하공간의 개발이 어려운 경우	-

5.3 마스터 플랜

최종 설계 안에서는 각각의 기술을 앞선 논리에 맞게 적용하였고 얼마만큼의 효과가 있었는지를 보았다. 강우 시나리오는 현재상황에 맞추어 시간당 100ml의 물이 온다고 가정하였다, 설계는 과다 설계가 되지 않도록 기존 침수 면적만이 줄어 들도록 하였다. <그림 34>에서 보듯이 저류조는 학교에 주로 설치되었다. 침수지와 분산형 저류시설은 길동에 영향을 미치는 지역만 활용하였는데 이는, Drainage Line을 보았을 때 암사동 지역은 적절한 부지가 없었기 때문이다. 가장 효과가 컸던 것은 공원에 활용한 저류지 인데 강동구는 공원이 곳곳에 많이 위치하였고 주변에 상가나 주택지도 많았기 때문이다.



<그림 34> 마스터플랜, 100mm/h 강우 시, 침수심 h=40cm

기존 침수 면적은 암사동 $178,032 m^2$, 길동 $97,372 m^2$ 로 총 $275,404 m^2$ 였으며 기술 도입 이후는 암사동 $6,280 m^2$ 길동 $2,401 m^2$ 총 $8,681 m^2$ 로 줄어들어 총 97%가 줄어들었다. 각 기술 별 효과는 다음과 같다.

$$V_1 = \text{Rain water Storage} = 5,081 m^3$$

$$V_2 = \text{Forebays} = 6,234 m^3$$

$$V_3 = \text{Basins} = 21,772 m^3$$

$$V_4 = \text{Eco Waterway} = 704 m^3$$

$$V_5 = \text{CDS} = 2,857 m^3$$

5.4 연도별 RCP 시나리오에 따른 기술 효과

마스터 플랜은 현재 기후 상태를 기준으로 하였지만 본 연구의 목적 중 하나는 기후변화에 맞추어 적응하는 것이다. 따라서 앞서 조사한 기후변화 시나리오를 바탕으로 시간당 강수량 데이터를 변화 시켜 효과를 보았다. 시나리오 별 강우 강도의 변화는 서울시의 일 강수량 변화를 가중치로 변환하여 확률 강우 강도(국토부, 2011)에 곱하였다.

$$R_x = p \times IDF$$

$R_x =$ Predicted precipitation per hour at year x by climate change

$$p = \text{Weight of Precipitation Change} = \frac{\text{Future precipitation per day}}{\text{Current precipitation per day}}$$

$IDF =$ intensity duration frequency

표 8 기후변화 시나리오에 따른 확률강우강도(R_x)

구분	2010	2020	2030	2050	2070	2080	2100
일강우 (mm/d)	18.1	18.9		21.4		19.9	
p	1	1.033		1.169		1.087	
IDF (mm/h)	73	84	91	99	104	106	110
R_x (mm/h)	73	86	84	116	126	115	120

시나리오 별 결과를 보았을 때 현재(100mm/h)와 40년 강우 빈도(84mm/h)는 기존 설계로 충분히 홍수에 대한 대비가 되지만 2070년(126mm/h)의 경우 기존 설계로는 현재와 같은 피해가 그대로 발생하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 알 수 있는 것은 점진적으로 어느 시점에서 새로운 기술의 도입이 필요하다는 것이다.



a. 현재 최대 침수면적



b. 기술 도입 후 침수면적



c. RCP 8.5 2040년 침수면적



d. RCP 8.5 2040년 기술도입



e. RCP8.5 2070년 침수면적



f. RCP8.5 2070년 기술 도입

<그림 35> 시나리오별 침수면적과 효과

5.5. Hazard Capacity Factor Design(HCFM) Model

연구는 홍수 중 도시 홍수에 집중하여 한 지역을 대학으로 진행하였지만 방법론은 다른 지역에도 동일하게 쓰일 수 있다. 이를 HCFM이라는 모델을 사용하여 일반화 하였다. HCFM은 지자체에서 재난에 대비한 사업을 시행하고자 할 때 의사결정에 도움이 될 수 있으며 가장 기본적인 논리는 기술의 총합이 재난의 크기보다 크다면 기술 도입이 가능하다는 것이다.

$$\alpha \times d_j \leq \beta \times \gamma + \sum_{k=1, l=1}^n f_{kl} \times \gamma$$

$\alpha = \text{Weight of Climate Change}$

$d_j = \text{Capacity of Disaster } j$

$\beta = \text{Current Capacity}$

$\gamma = \text{Deterioation}$

$f_{kl} = \text{Capacity of } l_{th} \text{ facility } k$

좌변은 기후변화에 따른 재난의 크기이다. α 는 기후변화에 따른 가중치로써 시나리오별로 재난의 세기가 달라지는 것을 고려한 것이다. 우변은 지자체의 재난 대비 성능이다. 기존의 성능에 새로이 적용될 기술의 합을 나타낸 것으로 기술의 노후도가 고려되었다. 기술 적용의 위치는 다음과 같이 정의된다.

$X(x, y) = \text{Possible Area}$

$S(x, y) = \text{Affecting Area}$

$X(x, y) = \{X|(x, y) \in S\}$

강동구의 예를 들어보면 우선 좌변의 값은 크게 세 가지 경우로 볼 수 있다.

i) 시간당 100mm의 강우, 기술 적용 전

$$\alpha = 1, d_j = 628,717(m^3), \beta = 586,756(m^3), \sum_{k=1, l=1}^n f_{kl} \times \gamma = 0$$

$$628,717(m^3) > 583,756(m^3)$$

ii) 시간당 100mm의 강우, 기술 적용 후

$$\alpha = 1, d_j = 628,717(m^3), \beta = 586,756(m^3), \sum_{k=1, l=1}^n f_{kl} \times \gamma = 35,415$$

$$628,717(m^3) = 619,171(m^3)$$

iii) 70년 빈도 강우 시 시간당 10mm의 강우, 기술 적용 후

$$\alpha = 1, d_j = 1,005,074(m^3), \beta = 586,756(m^3), \sum_{k=1, l=1}^n f_{kl} \times \gamma = 35,415$$

$$1,005,074(m^3) > 619,171(m^3)$$

이러한 값들이 도출된다. 결국 강동구는 설계안과 같은 사업을 시행하고자 한다면, 시간당 100mm/h의 경우에는 적합하다. 하지만 2070년을 대비하여 시간당 126mm/h의 강우량을 대비한다면 적합하지 않다고 볼 수 있고 좀 더 적극적이거나 다른 방안을 찾아봐야 한다.

제 6장 결론

기후변화로 인한 기상변화, 생태계 변화 등으로 인해 앞으로의 지구는 어떻게 변해갈 것인가에 대한 관심은 지속적으로 커지고 있다. 특히 물, 열, 미세먼지등과 같은 재난에 관한 집중은 상당한데 이를 해결하기 위해서는 각 분야에서의 협업이 중요하다. 본 연구는 그 중 도시와 토목 분야에 관련된 도시홍수에 집중하여 지자체 규모의 수문학 분석을 통해 침수 지역과 영향 지역을 살펴본 후 이를 바탕으로 홍수에 대비한 설계안을 제시하고 기후변화 시나리오에 따른 변화를 살펴보았다. 연구를 통해 찾아낸 시사점은 다음과 같다.

첫 째, 침수피해를 받은 지역과 그에 영향을 주는 지역은 각 지자체마다 유형이 존재한다. 서울시 구 전체에 대한 분석을 해보았을 때 침수지역, 영향 지역이 각각 크게 3가지 유형으로 정리되었다. 침수 지역은 물 흐름 상 어느 위치에 있는지, 침수지역의 건물 용도와 유형에 따라 2~3가지로 묶었고 영향 지역은 침수 지역 대비 면적 비율, 건물 용도와 유형에 따라 3가지로 묶었다.

둘 째, 강동구를 대상으로 한 설계안을 통해 2000년대 이후 가장 강도가 강했던 집중호우를 침수 피해 없이 막아낼 수 있었다. 강동구를 대상으로 지자체의 강우 용량을 산정하고 기술 도입 논리에 근거하여 설계를 하였더니 시간당 강우량 100mm의 호우를 대비할 수 있었으며, 강동구는 침수와 영향 지역의 대표성을 띄는 구이기에 다른 지역에도 같은 방법론이 적용될 수 있다.

셋 째, 기후변화 시나리오를 바탕으로 같은 설계안의 효과를 분석해본 결과 40년 빈도 강우(84mm/h)에는 침수가 발생하지 않았지만

70년 빈도 강우(126mm/h)가 발생했을 경우는 기존 침수면적의 절반의 피해가 발생한다. 시나리오에 따라 미래에 기술효과의 한계가 발생하는 것은 어느 시점에 지자체에서 새로운 기술의 도입을 해야한다는 의미이고 이는 장기 계획 단계에서 중요한 역할을 한다.

넷 째, 논리에 근거한 재난 대비 방법론을 새로 개발한 HCFD 모델로 정리하여 보았다. 우선 식을 제시하고 그에 따른 변수를 가중치, 재난의 세기, 현재 용량, 노후도, 기술의 용량으로 정하였다. 이 모델은 지자체에서 새로운 재난 방지 사업을 실시 할 때 의사 결정을 위한 도구로써 사용할 수 있도록 한 것이며, 추후에 해안 홍수, 하천 홍수 등에도 사용될 수 있다.

본 연구는 분석 프로그램의 정확성, 기술 도입의 현실성에 대한 한계를 가지고 있다. 하지만 이 연구를 통해 방법론을 정립하고 지자체에서 사업 시행의 의사결정을 도와줄 수 있다는 면에서 큰 의의가 있다. 추후에 분석 방법이 더 정확해지고 다양한 재난에 대한 방법론이 정립되어 간다면 더 많은 재난에 대한 의사결정 지원이 가능할 것이다.

참고문헌

- Chen, Jian, A GIS-based model for urban flood inundation, 2009
- City of Boulder, Comprehensive Flood and Stormwater Utility Master Plan, 2004
- Correlia, Francisco, Floodplain in Urban Developing Area. Part 2. GIS-based Flood Analysis and Urban Growth Modelling, 1999
- J.A.S Tobio et al., Physical design optimization of an urban runoff treatment system using Stormwater Management Model(SWMM), 2015
- Intergovernmental Panel on Climate Change, *Fifth Assignment Report*, 2014
- Nikken Consultants, The Study on Flood Control and Water Management in Limboto-Bolango-Bone Basin in the Republic of Indoneisa, 2014
- Ozkan, Sevim Pelin, Detection of Flood Hazard in Urban Area Using GIS: Izmir Case, 2016
- Paquier Andre, From Hydraulic Modelling to Urban Flood Riks, 2015
- Portugues-Molia, A GIS-Based Model for the analysis of an urban flash flood and its hydro-geomorphic response. The Valencia event of 1957, 2014
- Samara Tanaya, Urban flood mitigation planning for Guwahati: A case of Bharalu Basin. 2018
- Somaya, K, Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS, 2015
- VicTor M. Ponce et al., Parking Lot Storage Modeling Using Diffusion Waves, 1999

Yuan, Z, Progress of urban flood research and overall handling of urban flood in china,2015

Zhou Li, Design of an Underground Storage Tank Involving water Collection for Water Reuse to Irrigate the Campus Green Area of the UAB Campus, 2012

국립기상과학원, 한반도 100년의 기후변화, 2018

국토교통부, 홍수조절지 및 저류지 관리규정, 2017

국토교통부, 확률강우강도 보고서, 2016

기상청, 서울특별시 강동구 기후변화 상세 분석보고서, 2016

김정연, 분산형 저류시설의 설치 위치와 운영 방식에 따른 침투유출저감 효과 분석, 2014

김택수, 플라스틱 우수저류/침투조의 국내 적용성 검토, 2006

박성직, 3D프린터를 이용한 버킷이 부착된 저류조 모형 실험, 2017

배다혜 외, LIDMOD2를 이용한 안동여고 옥상녹화 및 우수저류조 유출량 저감효과 모의, 2010

백현욱 외, 분산형 저류시설 - 하수관망 네트워크 시스템의 입자군집최적화 기반 모델 예측 제어 , 2012

서울시정개발연구원, 빗물관리시설 설치 및 관리 매뉴얼 작성. 2007

송창근, 지하저류조 신설에 따른 우수 유출량 저감, 2013

신석우, CORDEX-EA 2단계 실험을 위한 지역기후모델(HadGEM3-Ra)의 구축, 2015

심규성, GIS기반 홍수위험도 평가를 통한 공간정보 구축 방안 개발, 2015

여국현, 기후변화에 대비한 홍수방어기술 동향, 2016

오재일, 도시지역 저류시설 분류체계 연구, 2012

유환희 외, 도시홍수모델을 이용한 해안지역의 침수재해평가, 2006

- 이주호. 안전하고 경쟁력 있는 도시를 만들기 위한 물관리 방안, 2006
- 장옥재 외, 지역회귀분석을 이용한 홍수피해위험도 산정, 2009
- 조덕준, 도시침수 저감을 위한 최적 소규모저류지의 분산설치 효과, 2016
- 최수웅, 강우의 불균일성과 저류지의 연결상태에 따른 집중형 저류지와 분산형 저류지의 홍수저감 효과 비교. 2013
- 한국환경산업기술원, 기후변화에 대비한 홍수방어기술 동향, 2016
- 한명실, 하수관거 침수 방지를 위한 빗물 저류조 용량 설계, 2005
- 한무영, 분산형 빗물저류조 도입 시 치수안전도 증가효과 분석, 2011
- 환경부, 도로 비점오염저감시설 설치 및 관리 지침, 2015

Abstract

As urbanization and climate change have surged all over the world, many cities and governments have been trying to prepare the protective design for cities and infrastructures resilient to natural disasters but flooding in the city is still one of the biggest disasters. In 2018, total amount for water disaster reached 1 trillion Yen in Japan. Although large-scale reservoirs and underground drainage systems are being installed at the national level, it is hard to construct these kinds of facilities due to high cost and time-consuming approval process. It, therefore, is needed to develop the preventive design methodologies maximizing the safety of urban areas as well as minimizing the construction cost of facilities.

The objective of this study was to suggest the preventive designs for urban flood-risky areas adopted by local governments. The types of floods can be classified into 1) urban floods caused by the increase in impervious area, 2) river floods, 3) coastal floods occurring at coastal areas, and 4) sudden floods caused by sudden rainfall at steep slopes have. This study focused on urban floods, and Gangdong - gu in Seoul was chosen as a target area as it has been historically frequent floods. The disaster response technologies for flood are mainly the reservoir, the extension of the pipe, and the pitcher packing. However, because of the expensive construction cost and a large number of complaints, the packing of pavement and the extension of the pipe are difficult to be adopted. The location

analyses of Gangdong – gu were executed by ArcGIS, and the types of land use were classified based on the public data of the national geographic information platform. These include schools, parking lots, public facilities, and underground warehouses. The hydrological analysis was carried out through ArcGIS's ArcHydro plug-in using DEM data.

The flooded area and the watershed in Seoul were divided into several types based on the analyses. The flooded area was in the middle of the water flow, and the houses and commercial buildings were most damaged. The affecting areas were houses and commercial buildings, which were the most common types. Gangdong–gu can be represented as these two types. The technologies such as rainwater storage facilities, inundation sites, storage facilities, ecological water storage, and distributed rainwater storage were utilized for the flood–preventive design of Gangdong – gu. In the case of rainfall of 100mm per hour, which was the largest concentration of existing intensive rainfall, the flooded area without technological substitution was 84,802m², but the area was decreased by 8,682m² with applying these technologies to the selected locations. The reduction rate of flooded area is 97%, so it is concluded that the proposed design is highly effective to mitigate the flooding risk.

Climate change scenarios and the probability of rainfall intensity were also considered for the proposed design. In the case of 40–year rainfall at RCP 8.5 (84 mm/h), no flooding occurred, but

in the case of 70-year rainfall at RCP 8.5 (126 mm/h), half of the existing flooded area was flooded, which would provide a guideline for decision-making when the existing design is to be revised. Finally, Hazard Capacity Factor Design (HCFD) concept was proposed to generalize current proposed methods for urban flooding, later on, for applying to coastal flood or river flood. The HCFD is composed of quantifying both hazard from natural disasters and capacity of target areas, considering the climate change scenario, deterioration of infrastructure and system, contributions of the applied technologies etc. The basic concept of this method compares the hazard with the capacity to evaluate the safety factor of the city or site regarding the disaster-resisting potential.

Nevertheless, this study has limitations such as insufficient information for the characteristics of pavement and underground drainage lines. It, however, would provide a methodology to design flood-resisting systems for local governments, which is based on the climate change scenario, topographic information, and site analyses. The proposed methodology, therefore, would help decision making of project implementation for mid-term and long-term plan.

Keywords: Urban Flooding, Climate Change, ArcGIS, ArcHydro, Storage Tank, Location Optimization

부 록

부록 1. 서울시 침수 피해 통계

년도	총 액	이재민 (명)	인명 (명)	침수면적 (ha)	건물 (천원)	공공시설 (천원)
1992	40,501	7	1	0.2	1,245	35,191
1993	8,000	0	2	0	0	5,000
1995	4,311,782	0	5	0	13,673	4,210,248
1996	36,518	0	7	0	30,500	4,018
1997	461,352	161	0	35.6	148,850	31,785
1998	51,015,605	2,287	61	159.5	900,000	26,892,495
1999	10,509,003	1,823	3	0	310,500	9,569,815
2000	877,720	0	5	2	81,500	671,283
2001	58,368,240	465	139	50.2	8,128,300	31,885,987
2002	7,511,996	120	0	25	621,000	6,479,389
2003	1,890,520	0	1	0	24,000	1,477,621
2004	419,273	23	1	0	40,000	8,400
2005	101,000	0	1	0	30,000	71,000
2006	5,733,837	73	0	0	390,000	5,343,149
2007	0	0	0	0	0	0
2008	45,000	128	0	0	45,000	0
2009	24,390	541	0	2	15,000	1,218
2010	22,207,486	41,530	5	11,115.50	10,764,600	10,892,437
2011	31,316,701	34,253	22	0	9,283,800	21,928,860
2012	1,203,152	1,002	0	0	309,000	876,066
2013	896,379	176	1	0	64,200	831,321
2014	36,600	2	0	0	36,600	0
2015	0	0	0	0	0	0
2016	220,468	0	0	0	22,800	197,668
합계	249,203,434	772,753	1,306	38,262.20	36,965,516	143,673,646

부록 2. 서울시 구 별 침수 건물 용도

구	주택	근린생활	교육연구	업무	자동차관련
dobong	1,668	625	0	0	0
dongdaemun	26,050	15,757	0	575	402
dongjak	60,159	70,686	690	188	736
eunpyung	438	435	0	0	1,035
gangbuk	2,097	8,658	0	24	221
gangdong	156,731	92,814	6,899	1,307	1,913
gangnam	2,206	72,325	0	0	791
gangseo	10,180	41,207	3,010	6,845	611
geumcheon	117	6,383	0	0	310
guro	11,172	18,274	0	0	
gwanak	28,365	39,701	641	936	2,283
gwangjin	26,549	28,882	408	7,247	1,324
jongro	7,558	6,752	0	6,298	0
jung	0	23,196	0	0	0
jungrang	8,279	1,611	67	0	63
mapo	24,752	27,031	3,248	347	765
nowon	25,638	10,979	238	0	1,146
seocho	90,581	137,646	14,837	1,001	3,868
seodaemun	0	5,408	0	0	0
songpa	117,110	117,110	12,487	1,228	2,106
sungbuk	7,185	1,576	0	181	0
sungdong	0	0	0	0	0
yangcheon	107,301	49,498	2,597	0	2,879
yongsan	2,402	30,880	26	2,347	300
youngdeungpo	126,582	52,629	4,099	0	506

부록 3. 서울시 구 별 침수 건물 유형

구	일반주택	연립주택	아파트	주택외건물	무벽건물
dobong	0	0	1668.039	551.9866	96.27036
dongdaemun	22512.3	2809.466	584.4253	18632.4	4254.71
dongjak	44917.99	14294.84	781.4997	78982.02	2191.541
eunpyung	0	437.676	0	1694.953	0
gangbuk	772.4691		1324.881	12021.74	574.6377
gangdong	83266.51	46855.92	26119.04	113998.7	4621.517
gangnam	0	0	2205.766	80555.4	2182.829
gangseo	7664.929	2515.085	0	65880.1	7479.905
geumcheon	12356.38	2251.009	0	7795.464	117.3011
guro	7293.693	3877.825	0	19681.62	295.0186
gwanak	20432.81	6686.079	928.1212	49696.33	2153.137
gwangjin	22253.95	3608.44	286.9058	40655.92	2462.643
jongro	4810.118	2747.895	0	15606.3	1427.406
jung	0	0	0	23196.33	67.20641
jungrang	6427.554	1851.175	0	2128.02	0
mapo	15443.09	7676.653	1632.138	30600.78	1184.661
nowon	8565.66	7095.176	9047.446	14895.22	484.0919
seocho	34869.71	25963.41	29748.2	177661.9	6857.702
seodaemun	0	0	0	6887.439	0
songpa	79470.39	14345.99	23111.06	69428.19	6335.901
sungbuk	7086.557	98.76617	0	2170.69	9.88216
sungdong	0	0	0	0	0
yangcheon	39469.25	50612.28	17335.54	57437.04	4492.327
yongsan	1647.363	173.1916	581.7666	35369.52	1920.334
youngdeungpo	113439.6	11200.39	2033.707	61201.84	1759.783

부록 4. 서울시 구 별 영향 지역 건물 용도

구	주택	근린생활	교육연구	업무	자동차관련
dobong	271,006	112,227	35,231	0	5,292
dongdaemun	128,960	68,374	7,309	49	3,838
dongjak	1,033,008	270,955	47,929	525	3,201
eunpyung	72,116	16,275	308	366	41
gangbuk	592,809	182,210	37,665	3,468	11,899
gangdong	802,955	396,826	88,652	1,806	11,233
gangnam	182,564	269,125	3,014	0	4,716
gangseo	474,598	228,506	16,549	16,844	14,818
geumcheon	517,850	189,852	31,966	4,098	8,246
guro	49,174	8,434	2,828	0	118
gwanak	585,327	174,808	44,707	979	4,718
gwangjin	382,817	174,698	26,833	10,544	7,336
jongro	314,743	217,154	51,085	50,501	748
jung	50,950	347,615	9,570	18,909	6,774
jungrang	71,763	18,146	10,814	0	179
mapo	155,872	130,395	294	970	1,836
nowon	177,987	94,556	32,832	1,048	3,314
seocho	890,532	804,612	123,044	79,349	38,712
seodaemun	68,321	113,171	160,561	1,468	240
songpa	120,021	42,741	11,025	2,650	1,115
sungbuk	20,964	3,753	623	0	0
sungdong	0	0	0	0	0
yangcheon	107,301	49,498	2,597	0	2,879
yongsan	278,153	113,144	18,533	1,783	1,216
youngdeungpo	263,931	89,436	11,395	0	846

부록 5. 서울시 구 별 영향 지역 건물 유형

구	일반주택	연립주택	아파트	주택외건물	무벽건물
dobong	88186.7	77089.31	105729.8	193969	9777.257
dongdaemun	83220.59	7765.189	37974.32	91614.28	4254.71
dongjak	620953.6	325255.8	86373.8	361758.3	12561.04
eunpyung	39217.63	14305.97	18610.73	21527.06	3856.765
gangbuk	395526.2	97899.92	98529.17	274055.7	19550.87
gangdong	404350.5	184211.7	213042.9	561789.6	35250.57
gangnam	56741.46	105012.6	21072.75	300107.2	9114.561
gangseo	220767.4	210977.8	43222.23	468777.2	26309
geumcheon	343247.4	97194.18	77240.77	271912.8	10976.55
guro	24510.94	22940.23	1722.767	11902.1	563.4054
gwanak	368644.4	147003.6	69678.93	246234.1	12520.7
gwangjin	243762.8	124934	12294.72	252958.3	12488.68
jongro	234316.2	60511.56	21241.9	413899.7	18854.79
jung	36068.02	2623.366	12258.88	428513.5	13602.93
jungrang	59154.93	12607.82		31395.7	2212.195
mapo	85604.18	56795.95	13471.56	138003.3	6205.264
nowon	40993.26	40724.61	95457.22	210014.9	15846.31
seocho	235677.5	271707.7	386599.1	1171278	45210.5
seodaemun	47832.32	13018.38	7470.163	323968.5	11295.53
songpa	82047.82	16607.32	21183.31	66271.7	2254.791
sungbuk	17521.81	711.5677	2730.447	4946.087	320.6706
sungdong	0	0	0	0	0
yangcheon	39469.25	50612.28	17335.54	57437.04	4492.327
yongsan	230553.6	32539.69	49585.37	358717	9746.34
youngdeungpo	208317	18597.78	37108.14	117252.8	5461.651