

# 시가지 내수침수 방지대책 적용을 위한 지역구분방법 비교분석\*

## Comparing Area Classification Methods to Apply Urban Flood Mitigation Measures

신상영\*\* · 박창열\*\*\*

Shin, Sang Young · Park, Changyeol

### Abstract

Inland flooding by local heavy rainfall and urbanization is a major source of urban flood damage. This study compares various area classification methods of an urban catchment to develop strategies and measures for urban inland flood mitigation. By considering a flood prone area and the catchment affecting to the area, this study divides an urban catchment into flood prone area and stormwater runoff area in terms of past flood damage history, rainfall-runoff-flood simulation, or topography. A flood prone area could be further divided in terms of flood depth and other risk factors. Also, a stormwater runoff area could be further divided in terms of land use, soil, or topography. With the case of an urbanized area in Seoul, this study applies the area classification methods and compares the results with respect to size and shape of areas.

*키 워 드* ▪ 내수침수, 침수방지대책, 지역구분, 침수위험지역, 빗물유출지역

*Keywords* ▪ Inland Flooding, Flood Protection Measures, Area Classification, Flood Prone Area, Stormwater Runoff Area

### I. 서론

기상이변과 도시화에 따라 시가지 침수위험과 취약성이 높아지고 있다. 배수시설이 감당할 수 있는 설계용량을 초과하는 집중호우가 점증하여 침수위험이 높아지고 있고, 시가지 확산과 고밀개발에 따라 도시공간의 침수 취약성 또한 높아지고 있다. 그동안 지속적인 하천개수사업을 통해 하천범람에 의한 침수피해는 크게 줄어들었으나, 시가지 유역에서의 내수배제 곤란, 노면수의 급격한 저지대 집중

등 내수에 의한 침수피해는 늘어나고 있다. 이는 저지대 및 지하공간과 같은 침수취약공간의 개발, 불투수층 증가에 따른 유출증가, 배수시설 용량 또는 통수능력 부족 등에 주로 기인한다. 예컨대, 서울시의 과거 침수피해지역을 보면, 배수시설이 부족하거나 불량한 지역, 저지대와 같이 지형적으로 불리한 지역, 반지하주택 및 지하공간, 도시개발에 따른 불투수 포장면적이 과도한 지역 등에서 빈번히 피해가 발생함을 알 수 있다(신상영 등, 2011). 따라서 집중호우와 도시공간 취약성 증가에 따른 내

\* 이 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 첨단도시개발사업(11첨단도시G09)과 건설기술연구사업(13건설연구S04)의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

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

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

침수 위험을 어떻게 저감시킬 것인가가 도시지역에서 가장 중요한 과제가 되고 있다.

반복적으로 침수피해를 입는 지역들에서 보다 주목해야 할 점은 지역적 입지와 여건에 따라 피해원인의 상대적인 기여도와 결합 형태에 차이가 있다는 점이다. 따라서 상습침수지역에 대한 전략이 지역의 특성과 여건을 고려하여 보다 차별화되고 상세하게 마련될 필요가 있다(서울시정개발연구원, 2002; 이한세, 2004; 소방방재청, 2005; 서울시정개발연구원·서울특별시, 2006; 이창우, 2009; 경기개발연구원, 2010; 박창열 외, 2013). 특히 강우-유출과정이 유역단위로 이루어지고 다양한 침수피해 원인이 작용하기 때문에 침수해소를 위한 유역단위 접근이 필요하다. 즉, 대상유역을 지형적 특성, 입지 및 토지이용 특성, 수리·수문학적 특성을 고려하여 구분하고, 그 특성에 맞는 대책을 적용함으로써 침수방지효과가 최대로 발현될 수 있도록 전략적으로 접근할 필요가 있다(서울시정개발연구원·서울특별시, 2006; 박창열 외, 2013). 침수방지를 위한 지역구분은 도시계획 측면에서 특히 필요한데, 침수방지를 위해서는 시가지 유역을 유출과 침수 측면에서 구분하고, 기반시설, 토지이용, 건축 등 다양한 계획대상에 걸쳐 지역단위의 맞춤형 정비전략을 마련해야 하기 때문이다(소방방재청, 2009; 이창우, 2009). 이러한 관점에서 보면, 지역구분은 지형, 하천, 토지이용 특성 등의 객관적 자료만으로 유사한 특성의 공간영역을 식별하는 것이 주된 목적이라 할 수 있다. 이를 통해 대상지역을 수리·수문학적 특성에 따른 유형별로 구분하고, 각 공간영역에 적합한 대책이 전략적으로 적용되도록 해야 한다.

내수침수 방지를 위한 지역구분방법과 관련하여 기존의 국내외 사례들을 살펴보면, 침수위험지역 식별, 재해 위험도(risk) 또는 취약성(vulnerability) 평가 등을 중심으로 다양한 사례들이 존재한다(Hall et al., 2005; Rygel et al., 2006; 서울시정개발연

구원, 2006; 유기영·김인에, 2008; 소방방재청, 2009; 박민규 외, 2012; 국토교통부·국토연구원, 2013). 그러나 시가지 우수유출과정과 침수위험 영향요인의 측면에서 체계적이고 상세하게 지역을 구분하는 방법론을 제시한 본격적인 사례를 찾기 어렵고, 지역구분을 위한 다양한 조작적 정의방법(operational definition)에 따라 결과가 어떻게 달라지며 어떤 기준을 선택할지에 대한 실마리를 제공하는 기초연구 또한 찾아보기 어렵다.

이에 본 연구에서는 도시지역의 대표적인 침수유형인 내수침수를 중심으로 침수방지대책 적용을 위한 지역구분의 틀과 다양한 조작적 정의방법들을 검토하고, 서울시 서초구에 소재한 시가지 유역을 사례로 적용하여 그 결과를 비교함으로써 시사점을 얻고자 한다. 2장에서는 시가지 유역에서의 내수침수 방지대책과 지역구분의 의의와 기존의 국내·외 지역구분 사례를 검토하고, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 지역구분의 체계와 조작적 정의를 위한 다양한 구분방법들을 논의한다. 4장에서는 서울시 서초구 소재 상습침수지역을 포함하는 시가지 유역을 대상으로 사례분석을 실시하여 다양한 지역구분 방법들의 적용결과를 확인하고 상호 비교함으로써 적용상의 시사점을 도출한다.

## II. 시가지 내수침수 방지를 위한 대책과 지역구분 사례

### 1. 침수방지대책과 지역구분의 의의

침수피해는 강우특성, 유역특성, 유출의 수리·수문특성 등과 같이 다양한 요인에 의해 발생한다. 시가지 침수를 유역의 발생원 측면에서 보면, 크게 내수에 의한 침수와 하천과 같은 외수에 의한 침수로 구분할 수 있으며, 오늘날 도시지역에서는 지속적인 하천개수에 의해 외수에 의한 침수는 상당 수

준 해소되었고 내수에 의한 침수가 주류를 이룬다. 내수에 의한 침수는 크게 하수도를 비롯한 내수배제시설의 용량이나 통수능력 부족에 의한 침수, 저지대 개발에 따른 외수위 상승과 이에 따른 역류 및 내수배제 곤란에 의한 침수, 시가지 불투수층 증대에 따른 유출증가 및 노면수 저지대 집중에 따른 침수 등이 주류를 이룬다.

내수침수를 예방하기 위한 가장 기본적인이고 전통적인 대책은 하수관거, 빗물펌프장 등 내수배제를 위한 방제시설대책이라고 할 수 있는데, 이는 침수 위험지역과 그 상류부 유역을 대상으로 배수능력을 늘리고 원활히 하는 대책이다.

최근에는 친환경 물순환 회복과 맞물려 시가지 유역의 빗물유출 저감을 위한 저류·침투시설 대책도 점차 늘어나고 있다. 우수유출저감대책은 침수 위험지역 내에서 이루어지는 직접적인 침수방지대책이라기 보다는 침수 위험지역에 영향을 미치는 유역에 대하여 저류·침투능력을 높임으로써 침수 위험지역에 대한 유출부담을 줄이는 대책이라고 할 수 있

다. 최근 많은 정책적 관심을 받고 있는 저영향개발(Low Impact Development; LID)도 넓은 의미에서 이에 해당된다.

한편, 방제시설 설계용량을 초과하는 호우의 발생빈도가 증가함에 따라 침수 위험지역에 대하여 방제시설 용량을 넘어서는 잔존위험(residual risk)에 대처하기 위한 직접적인 대책으로 토지이용 및 건축 차원의 대책이 있다(이양재 외, 2008; 신상영 외, 2015). 지반고 승고, 필로티(piloti), 지하층 규제, 전기설비를 비롯한 건축설비 침수방지대책, 차수관 또는 침수방지턱 설치, 토지이용 재배치, 철거·이전 등을 들 수 있다.

지역구분은 시가지 침수방지를 위한 전략적 방향과 대책 설정을 위한 공간적 범위를 설정하는데 의의가 있다. 내수침수를 유출과정과 침수 측면에서 보면 크게 침수가 발생하는 침수 위험지역과 그러한 침수 위험지역의 상류부에 위치하여 침수에 유출 영향을 미치는 유역으로 구분할 수 있다. 침수 위험지역에 대해서는 배수시설 정비, 토지이용규제 및 건

표 1. 시가지 유역 내 지역유형별 침수방지전략 및 대책  
Table 1. Flood Mitigation Strategies and Measures by Areal Type in Urban Catchments

Areal Type		Strategies	Measures
Flood prone area		Rapid drainage, land use and building to protect against flooding	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drainage, pump station</li> <li>• Water storage</li> <li>• Flood water resisting building(elevation, pilotis, flood barrier, basement regulation, etc.)</li> <li>• Land use regulation(allocate developments to areas of least flood risk and apportion development types vulnerable to flooding to areas of least risk, relocation, demolition, etc.)</li> <li>• Warning systems, disaster preparedness/response</li> </ul>
Stormwater runoff area (Influencing area affecting flood)	Built-up area	Runoff reduction under the condition of urbanized built-up area	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retention/detention(public facilities, development project, building, etc.)</li> <li>• Infiltration, porous pavement, urban greening</li> </ul>
	Non-built-up area	Runoff reduction by natural areas conservation and development management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural areas conservation</li> <li>• Infiltration, retention/detention</li> <li>• Development regulation(reclamation, cultivation, excavation, building, etc.)</li> <li>• Erosion control</li> </ul>

축대책을 통한 침수방지 등 적극적인 침수방지대책이 필요하며, 침수위험지역 상류부 유역에 대해서는 저류·침투대책, 개발사업·행위 제한 및 재해영향 저감대책, 자연지역 보전 등 빗물유출 저감을 통해 침수위험지역에 대한 부담을 줄이기 위한 대책이 필요하다. 시가지 유역에서 각 세부지역의 침수방지를 위한 전략과 가능한 대책들을 정리하면 표 1과 같다.

## 2. 시가지 지역구분 사례

### 1) 국내 사례

국내 제도에서 침수방지대책 계획수립을 위한 지역구분 사례로는 「자연재해대책법」의 ‘풍수해저감 종합계획’에 의한 위험지구(내수재해, 하천재해, 해안재해 등) 식별방법을 들 수 있다(소방방재청, 2010). 그러나 이는 과거 내수침수 피해지역이나 장래 피해예상지역을 근거로 위험지역을 식별하는 것으로 그치고 있어, 시가지 유역을 대상으로 유출과정과 침수위험 측면에서 체계적이고 상세하게 구분하지는 않고 있다.

「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에서는 ‘기후변화 재해취약성분석’ 제도를 새로이 도입하였는데, 지역의 기후변화에 대한 재해 취약성을 기후노출(기온, 강수량 등)과 도시민감도(시민, 기반시설, 건축물 등)의 측면에서 I-IV등급으로 평가한다(국토교통부·국토연구원, 2013). 이 제도는 단위지역(인구주택총조사의 ‘집계구’)의 재해에 대한 전반적인 취약성을 판단하는데 유용할 수 있겠으나, 단위지역 구획방식이 유출 및 침수과정의 공간적 측면을 나타내는데 적합하지 않을 뿐만 아니라 종합적으로 지수화된 취약등급 그 자체로는 구체적인 대책을 유도해내는데 한계가 있다.

재해취약성분석과 유사하게 단위지역의 위험도

또는 취약성을 진단·평가하는 체계는 국내외에 광범위하게 존재하는데, 국내에서 제도적으로 많이 사용된 것으로는 홍수피해잠재능(PFD: Potential Flood Damage)과 지역안전도 진단제도를 들 수 있다. 홍수피해잠재능(PFD)은 수자원장기종합계획, 유역종합치수계획 등에서 사용되고 있는 것으로서, 수문요소뿐만 아니라 사회·경제적인 요소를 포괄하여 특정 치수단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 피해 취약도를 지수로 나타내는 체계이다(국토해양부, 2011). 소방방재청(현 국민안전처)의 지역안전도 진단제도 또한 유사하게 시·군·구를 단위지역으로 하여 재난위험성, 재난피해규모, 재난피해저감능력을 평가하여 중장기 재난저감대책 및 시설투자사업 수립에 활용하기 위한 체계이다. 이러한 평가체계들은 재해의 원인과 결과가 종합적으로 지수화된 체계 속에 함께 포함되어 있고, 공간단위가 거시적이기 때문에 그 자체로는 내수침수 방지를 위한 구체적인 대책을 유도하는데 한계가 있다.

### 2) 해외 사례

미국과 영국에서는 하천 또는 해안의 홍수위를 참조하여 지역을 구분한다. 미국의 경우, 국가홍수보험제도(Nation Flood Insurance Program) 시행을 위한 범람원(floodplain) 관리제도에서는 100년 빈도 홍수를 기준으로 기준홍수위(Base Flood Elevation)를 정하여 이에 해당하는 범람원 지역을 식별하여 각종 개발과 건축을 제어한다(Federal Emergency Management Agency, 2007). 영국의 국토·도시계획제도에서는 하천 또는 해안의 강우빈도별 침수위험을 고려하여 전국의 모든 지역을 4가지 등급의 홍수구역(Flood Zone)으로 구분하고 있으며, 이는 홍수위험평가제도(Flood Risk Assessment)와 임지 및 토지이용규제에 대한 순차 검증제도(Sequential Test)와 연계되어 있다(U.K.



표 2. 도시유역에서 침수위험지역과 빗물유출지역의 일반적 특징

Table 2. General Characteristics of Flood Prone Area and Stormwater Runoff Area in Urban Catchments

Areal Type		Flood Risk	Location	Slope	Built-up and Impervious Rate	Public Sewer System
Flood prone area		high	lowland	gentle	high	yes
Stormwater runoff area	Flood delay area (Built-up area)	low	upper areas of flood prone area	medium	medium or high	yes
	Runoff reduction area (Non-built-up area)	low	upper areas of flood prone area(upland)	steep	high	no

Department for Communities and Local Government, 2012).

일본에서는 ‘종합침수대책’을 비롯한 침수방지대책 계획수립을 위하여 치수기능에 따라 유역을 보수지역(保水地域; water retention zone), 유수지역(遊水地域; water retarding zone), 저지지역(低地地域; low land zone)으로 구분하는데(동경도(東京都)의 「東京都豪雨対策基本方針(改定)」), 이러한 지역구분 사례는 내수침수방지의 취지에서 보면 가장 유사한 지역구분 사례라고 할 수 있다. 우리나라의 유역종합치수계획, 우수유출저감대책 등에서도 채택하여 사용하고 있다.

자세히 살펴보면, 보수지역이란 유역의 상류부에 위치하면서 우수를 일시적으로 침투 또는 지체시킬 필요가 있는 지역, 유수지역은 중류부에 위치하여 우수가 유입될 때 일시적인 저류 기능을 가진 지역, 저지지역은 유역의 하류부에 위치하여 우수가 하천으로 배제되지 않거나 하천범람으로 인해 침수피해가 우려되는 지역으로 침수방지를 위한 적극적인 배수 또는 내수(耐水) 대책이 필요한 지역을 말한다. 이와 같은 지역구분 기준은 지역적 특성과 침수위험도에 따라 차등적인 전략을 마련하고, 각 전략의 효과를 극대화시킬 수 있는 입지선정을 위한 기초자료로써 활용 가능하다.

### Ⅲ. 내수침수 방지대책 적용을 위한 지역구분방법

#### 1. 지역구분 체계

시가지유역의 내수침수 문제를 유출과정과 침수 측면에서 보면, 기본적으로 지역구분은 침수가 발생하는 침수위험지역과 침수위험지역의 상류부에 위치하여 침수에 유출영향을 미치는 유역으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 시가지 침수위험을 줄이기 위한 유역단위의 대책 적용을 위해 지형적 특성, 토지이용 특성, 수리·수문학적 특성 등이 구별되도록 지역을 구분하고자 한다. 이를 위한 지역구분 체계는 시가지 유역을 공간적 범위로 하여 유역을 크게 침수위험지역과 빗물유출지역으로 구분한다. 침수위험지역은 실제 또는 잠재적으로 침수피해를 입을 수 있는 지역을 말하며, 빗물유출지역은 침수위험지역에 유출흐름의 측면에서 영향을 미치는 지역을 말한다(그림 1 참조).

이렇게 일차 구분된 유역은 필요한 경우 추가로 세분화할 수 있겠는데, 침수위험지역은 침수위험 정도(침수심, 유속, 토사 등)에 따라 세분화 할 수 있고, 빗물유출지역은 지형, 시가지화 정도, 공공하수도 설치 여부 등을 고려하여 홍수지체지역(또는 시가지화지역)과 유출억제지역(또는 비시가지화지역)으로 세분화할 수 있다.

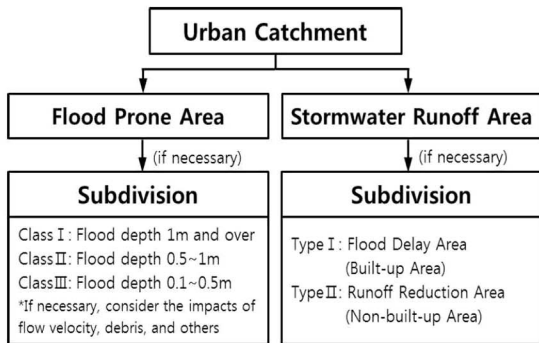


그림 1. 시가지유역 지역구분의 체계  
Fig 1. Area Classification in Urban Catchment

시가지 유역을 침수위험지역과 빗물유출지역으로 구분하기 위해서는 먼저 유역의 공간적 범위를 설정할 필요가 있다. 유역이란 빗물이 모이는 공간적 범위로, 이는 침수피해지역의 말단부를 기점으로 그에 영향을 미치는 상류부의 분수계, 배수유역이나 배수분구 등의 경계를 참조하여 설정한다.

도시유역을 중심으로 침수위험지역과 빗물유출지역의 일반적인 특징을 정리하면 표 2와 같다.

### 1) 침수위험지역

침수위험지역은 실제 침수피해가 발생했거나 예상되는 지역이다. 지형적으로는 급경사지 하류부에 위치하여 홍수도달시간이 짧으며 우수의 집중도가 높은 저지대에 주로 위치한다. 이로 인해 과거 침수피해 이력이 있거나 다양한 요인에 의해 침수피해 발생가능성이 높은 지역 등을 포함한다. 또한 시가화율이 매우 높아 침수피해 발생시 그 영향력이 크게 확대될 수 있는 불리한 입지여건을 갖고 있다. 이 지역은 대책의 차등적인 적용을 위해 필요시 침수심을 비롯하여 유속, 토사 등을 고려하여 세분할 수 있다.

### 2) 빗물유출지역

빗물유출지역은 침수위험지역의 상류부에 위치하

여 유출부담을 최소화하기 위해 유역 차원의 대책이 필요한 지역이다. 이 지역은 대책의 차등적인 적용을 위해 지형, 토지피복 및 시가화 정도, 배수시설(하수도) 유무 등을 고려하여 홍수지체지역(또는 시가화지역)과 유출억제지역(또는 비시가화지역)으로 세분할 수 있다.

홍수지체지역(또는 시가화지역)은 침수위험지역 상류부에 위치하여 유출저감대책이 필요한 지역이지만, 시가화지역에 기존의 배수시설(하수도) 정비가 이루어진 지역으로서, 공공시설이나 대규모 부지 등을 활용하여 우수유출저감시설을 확대하는 전략이 필요한 지역이다.

## 2. 침수위험지역과 빗물유출지역의 조작적 구분방법

### 1) 침수위험지역의 식별방법

침수위험지역과 빗물유출지역의 구분은 유역 내 침수위험지역을 식별함으로써 구분할 수 있는데, 이에 대한 명확한 적용기준과 방법에 대한 논의는 많지 않다. 본 절에서는 지역구분을 위한 가용한 방법들을 정리하였다. 먼저 침수위험지역 구분방법은 과거 침수이력을 활용하는 방법(이하 ‘침수피해이력’), 강우-유출-침수해석모형을 이용하여 침수예상지역을 식별하는 방법(이하 ‘침수예상지역’), 인근하천의 기준홍수위를 이용하는 방법(이하 ‘인근하천 기준홍수위’), 지형특성인자를 활용하는 방법(이하 ‘지형특성인자’) 등이 있다.

#### (1) 침수피해이력

과거 침수이력은 호우에 의한 침수위험지역을 식별하는데 있어 가장 간단하고도 널리 사용되는 방법이다. 자료구득이 비교적 용이하며, 침수위험에 대한 명확하고 객관적인 판단기준이 될 수 있다.

표 3. 인근하천과의 관계를 통한 저지대 구분

Table 3. Identifying Lowlands with Reference to Nearby Rivers and Streams

Methods	Description
Referencing design high water levels(HWLs)	· Areas below design HWL(plan, watch, or warning) of nearby rivers and streams when there is the River Improvements Plan by the River Act
Using buffer distances	· 500m buffer areas from nearby rivers('Flood Management Area' by the River Act) · According to a study of Gyeonggi Research Institute(2010), flood-vulnerable areas are defined by 100m in case of buildings and by 50m in case of agricultural lands of nearby rivers and streams
Areas by relevant laws or institutions	· 'Flood Management Area' by the River Act · 'Inland Flood Risk Area' in the Storm and Flood Mitigation Plan by the Natural Disaster Management Act · Flood Risk Area in the Area Based Flood Defense Criteria by the Natural Disaster Management Act

최근 침수피해 사례를 살펴보면, 그 원인이 매우 복합적으로 나타나고 있다. 특히 최근 발생한 내수 재해의 경우 불리한 지형 조건 외에도 도시개발에 따른 불투수 포장면적 증가, 배수시설의 용량 부족 등이 그 원인으로 지목되고 있다. 이로 인해 침수 위험도를 구분하기 위한 수단으로 단순 침수모의나 지형특성분석만으로는 그 결과의 신뢰도를 확보하는데 무리가 있다. 따라서 이미 발생한 침수피해 실적은 침수위험지역을 선별하기 위한 가장 현실적인 정보가 된다.

그러나 과거 침수이력을 기준으로 지역을 구분할 경우, 과거 침수피해 당시의 강우특성에 따른 차이나 토지이용이나 수방시설과 같은 유역조건에 있어서 오는 침수위험을 고려하지 못하는 한계가 있다. 또한 침수피해가 발생한 이후 침수방지대책이 이루어진 경우, 침수위험이 해소되었는지도 분석을 해야 한다. 침수피해가 불특정 지역에서 광범위하게 발생하는 상황에서 모든 침수피해지역에 대한 침수 기록 확보가 쉽지 않으며, 침수흔적도의 작성은 침수 이후에 이루어지므로 정확한 침수범위와 침수심을 기록하는데 한계가 있다.

## (2) 침수예상지역

강우-유출-침수해석에 의한 침수위험지역 구분은 시뮬레이션을 통해 현행 배수체계 또는 향후 계획된 시설 등을 고려하여 침수피해 예상지역을 식별하는 것이다. 다만, 어떤 목표강우량을 적용하는가에 따라 침수범람해석 결과가 달라질 수 있고, 강우의 시공간적 패턴을 어떤 식으로 적용하는가에 따라라도 그 결과가 크게 달라질 수 있다. 더욱 문제는 기술적으로 2차원 침수범람 해석결과의 신뢰도가 그리 높지 않다는데 있다. 따라서 침수피해 이력을 조사하여 모형의 검증이 보다 정교하게 이뤄질 필요가 있다. 소방방재청(현 국민안전처) 「지구단위 홍수방어기준」에서는 사업지구의 취약성 분석을 위해 기왕최대 홍수조건 등을 고려하여 계획규모 이상의 초과홍수조건 시나리오를 작성하고, 1·2차원 모형 등에 의한 홍수범람해석을 수행하여 침수구역을 산정하도록 하고 있다.

## (3) 인근하천 기준홍수위

침수위험지역은 저지대로 인하여 인근하천의 수위가 상승할 경우 하수역류 가능성과 함께 자연적인 내수배제가 어려운 경우가 많고, 하천월류나 제

방붕괴에 의한 침수위험도 잠재하고 있다. 따라서 침수위험지역을 식별하기 위한 방법으로 인근하천의 계획홍수위 등 기준홍수위를 시가지로 연장하여 설정할 수 있다. 즉, 인근하천의 수위표고와 주변 시가지지역의 표고를 비교하여 산정한다. 홍수위 자료수집이 용이하지 않은 경우에는 하상고 또는 하천에서 일정 범위의 버퍼지역을 이용하여 선정하기도 한다(표 3 참조).

(4) 지형특성인자

유역의 지형적 특성은 시가지 지역의 침수피해를 유발하는 주요 원인으로 알려져 있다. 일례로, 유역 하류부가 저지대 환경사이면서 인근하천으로의 우수배제가 원활하지 않은 경우, 지형적으로 우수의 집중도가 높은 경우에 해당한다. 한편으로, 지형특성인자는 객관적인 정보만을 이용하여 보다 현실적

인 수단이 된다. 이와 같이 침수위험지역을 구분하기 위한 대표적 지형특성인자는 습윤지수(TWI: Topographic Wetness Index)를 들 수 있다(서울특별시, 2011). 습윤지수는 상류로부터 내려오는 우수의 흐름 특성과 하류로 통수시켜줄 수 있는 유효능력을 비교하여 토양이 포화되는 정도(또는 침수되는 정도)에 따라 저지지역을 구분하는 것이다. 이 방법은 단순한 과정을 통해 저지대의 구분이 가능하며, 기타 방법들에 비해 상대적으로 객관적인 지표를 근거로 할 수 있다는 장점이 있다. 참고로 서울특별시(2011) 「2011 서울시 재난위험도 평가 및 활용방안」에서는 서울 전역을 대상으로 습윤지수를 산정하고, 습윤지수 '10'을 초과하는 지역을 내수침수 취약지역으로 설정한 바 있다.

지형특성인자를 이용한 침수위험지역의 또 다른 구분기준은 유역면적 및 경사와 침수피해액의 관계

표 4. 침수위험지역 식별을 위한 기준별 장·단점 비교

Table 4. Advantages and Disadvantages of Methods to Identify Flood Prone Area

Methods	Advantages	Disadvantages
Using past flood damage history	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rich data</li> <li>Objective and realistic information</li> <li>Simple analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Often, not accurate and not reliable</li> <li>Different rainfall patterns in every flood event</li> <li>Different land use and flood defense facility conditions in every flood event</li> <li>Not reflect flood protection measures after flood damage</li> </ul>
Simulating expected flood risk areas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possible to identify flooding areas by various rainfall-runoff scenarios</li> <li>Reflect altered drainage systems and area features</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Different flooding areas by rainfall scenario and no reference which scenario to choose</li> <li>Considerable amount of time, cost, data, and expertise required for analysis</li> <li>Errors in modelling</li> </ul>
Referencing flood water levels of nearby rivers and streams	<ul style="list-style-type: none"> <li>Some realistic information in the sense that most flooding areas are located in the vicinity of rivers and streams</li> <li>Relatively simple analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Different flooding areas by water level reference and no reference which level to choose</li> <li>Different design return period and timing of plan by river grade</li> <li>Not easy to develop flood water level data</li> <li>Possibility of exaggeration as flood risk may be distance-decayed</li> </ul>
Using topography	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relatively objective information by utilizing topographic Topographic Wetness Index(TWI), elevation/slope, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not consider drainage systems in urban areas</li> <li>High levels of uncertainty</li> <li>Considerable amount of time, cost, data, and expertise required for analysis</li> </ul>

표 5. 빗물유출지역의 홍수지체지역과 유출억제지역 식별을 위한 기준별 장·단점 비교  
Table 5. Advantages and Disadvantages of Methods to Identify Stormwater Runoff Area

Methods	Advantages	Disadvantages
Built-up land uses	<ul style="list-style-type: none"> <li>Objective and realistic information</li> <li>Simple and accurate if sufficient data</li> <li>Fast analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not consider soil effects</li> </ul>
Soil saturation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborate analysis by considering soil saturation</li> <li>Consider soil infiltration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suitable to permeable areas</li> <li>Considerable amount of time, cost, data and expertise required for analysis</li> </ul>
Stormwater flows by topographic slope	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborate analysis by considering topographic slope</li> <li>Hydrologically logical by considering stormwater flows characteristics</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suitable to impermeable area</li> <li>Necessary to hypothesize runoff coefficients and others</li> <li>Considerable amount of time, cost, data and expertise required for analysis</li> </ul>

를 이용하는 것이다. 이는 소방방재청(2009) 「내배수 침수재해 저감기술 개발」에 제시된 방법으로, 서울시의 강제배수구역과 삼교천유역을 대상으로 유도되었다. 이들 연구에 의하면, 유역면적과 제곱근 경사의 곱이 유출량과 밀접한 관련이 있으며, 이들 지형인자 특성과 침수피해액 관계를 파레토(Pareto) 법칙을 이용하여 설명 가능함을 제시하였다. 최종적으로는 유역면적의 경우,  $3.5\text{km}^2$ ,  $AS^{1/2}$ 의 경우  $0.5\text{km}^2$ 를 구분기준으로 제시하였고, 이와 같은 기준을 적용하여 저지지역의 경계부를 식별한 후 해당지역보다 낮은 표고를 가지는 지역을 침수 위험지역으로 구분하였다.

## 2) 빗물유출지역의 식별방법

빗물유출지역은 다시 홍수지체지역(시가지지역)과 유출억제지역(비시가지지역)으로 세분된다. 먼저, 홍수지체지역은 일반적으로 유역의 중·상류부의 시가지지역으로서, 유출억제지역과 침수위험지역의 사이에 위치한다. 홍수지체지역은 지표가 포화되어 상류로부터 유입된 우수가 지표면유출 흐름의 지배를 받는 지역으로, 유출억제지역에서 내려오는 빗물을 일시 저류하여 하류부 및 침수위험지역으로의 빗물 유출을 경감시키기 위한 전략이 필요하다.

유출억제지역은 수원지역에 해당하는 지역으로 급경사 지역으로 구성될 가능성이 높고, 지표가 포화되지 않은 특성을 가진다. 이러한 지역에서는 침투를 적극적으로 도모하여 하류지역으로의 유출을 최소화 시켜야한다.

빗물유출지역은 침수위험지역에 영향을 미치는 영향권으로 구분하며, 시가화 정도, 토양의 포화 여부, 경사도에 따른 우수의 흐름상태를 이용하여 홍수지체지역과 유출억제지역을 식별할 수 있다.

### (1) 시가화 정도

빗물유출지역을 구분하기 위한 가장 간단한 방법은 시가화 정도를 이용하는 것이다. 개념적으로 유출억제지역은 시가화되지 않은 자연지역이고, 홍수지체지역은 시가화가 이뤄진 지역에 해당한다. 일반적으로 시가화 정도는 다양한 기준에 의해 판단할 수 있으며, 기본적으로 토지이용현황 또는 용도지역 분류에 의해 구분이 가능하고, 도로 또는 도로에 접한 옹벽, 불투수층 등에 의해서도 구분이 가능하다. 일반적으로 공공하수도시설은 자연지역 하단부에서 시작되기 때문에 이 또한 구분기준으로 이용 가능하다.

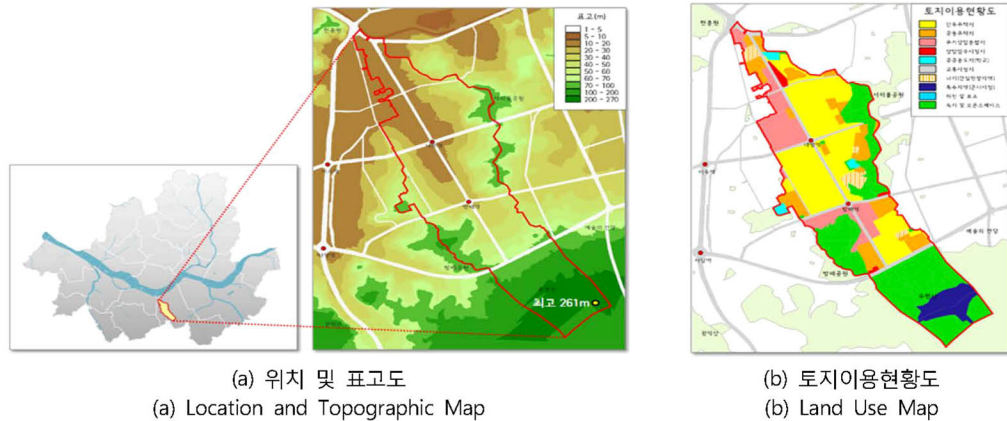


그림 2. 사례분석 대상구역의 위치, 지형, 토지이용현황  
 Fig. 2 Location, Topographic and Land Use Map in Study Area

(2) 토양의 포화 여부

토양의 포화 여부를 구분하기 위한 대표적 인자는 습윤지수를 들 수 있다. 습윤지수는 대표적으로 정적습윤지수, 동력학적 습윤지수, 유사 동력학적 습윤지수 등이 있으며, 지역구분을 위해서는 일반적으로 정적습윤지수가 이용된다. Beven and Kirkby (1979)에 의해 제안된 정적습윤지수는 지형의 포화 정도를 설명하며, 이는 자연의 지형 특성을 반영하는 인자로 분포형 수문모형의 입력자료로도 활용되고 있다.

이와 같은 습윤지수를 이용하여 빗물유출지역을 구분하기 위해서는 토양의 포화 여부를 판단해야 한다. O'Loughlin(1986), Bariling et al.(1994)에 의하면, 토양의 포화는 상부사면으로부터의 누적 배수 유량이 국부경사도와 토양 투수량 계수의 곱보다 큰 지역에서 발생하게 된다. 이를 통해 토양의 포화 여부를 판단하고, 빗물유출지역을 구분하게 되는데, 보다 자세한 내용은 소방방재청(2009)에서 참고할 수 있다. 참고로, 이와 같은 방법은 지표하 흐름 특성을 고려한 것으로 투수지역에서 빗물유출지역을 구분할 때 적절할 것으로 알려져 있다.

(3) 경사도에 따른 우수의 흐름상태

우수의 흐름 상태는 경사의 조건에 의해 결정된다. 즉, 경사에 의한 흐름의 특성 차이를 이용하여 빗물유출지역을 구분할 수 있다. 이와 같은 중력에 의한 유출흐름에서는 관성력과 중력의 비가 흐름 특성을 좌우한다. 이러한 흐름에 대한 판단 기준은 물의 관성력과 중력의 비인 프루드 수(Froude number)를 이용하며, 크게 상류, 한계류, 사류 등으로 나눌 수 있다(우효섭, 2002). 이때 한계경사를 이용하여 우수 흐름특성을 상류와 사류로 구분할 수 있으며, 보다 자세한 내용은 소방방재청(2009)에서 참고할 수 있다. 다만, 이와 같은 방법은 침투의 영향을 무시한 것으로 불투수지역에서 빗물유출지역을 구분할 때 적절한 것으로 알려져 있다.

3) 지역구분방법 장·단점 비교

앞서 제시된 지역구분방법은 실제 적용에 있어서는 대상지역의 특성과 자료의 구득가능성, 시간과 비용 등을 고려하여 전부 또는 일부가 적용될 것인데, 각 지역구분방법의 장·단점을 살펴보면 표 4와 5와 같다.



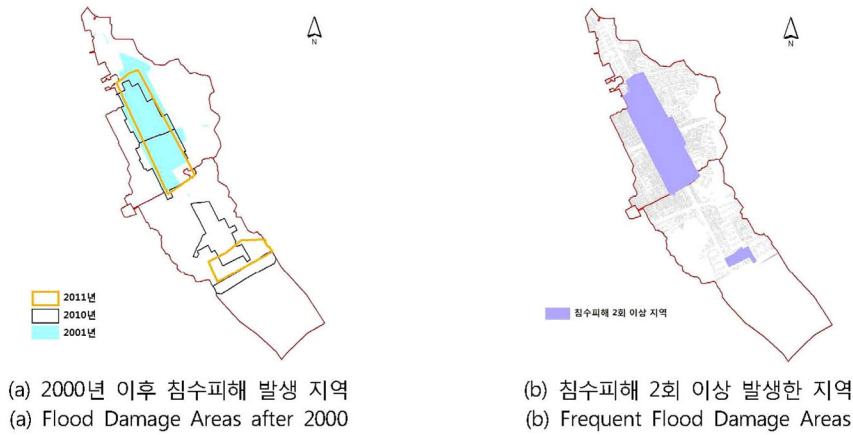


그림 3. 침수피해이력을 이용한 침수위험지역  
Fig. 3 Flood Prone Area using the Flood Damage Areas

#### IV. 내수침수 방지를 위한 지역구분 사례분석

##### 1. 사례분석 대상지역

사례분석을 위한 대상지는 서울시 239개 배수분구를 대상으로 과거 침수피해 이력과 시가화율 및 지형특성을 검토하여, 서초구에 소재한 2개 배수분구(방배2, 방배4)를 대상으로 하였다. 사례분석 대상지역은 전형적으로 고밀화된 시가지 유역으로서, 과거 반복적으로 침수가 발생하였던 상습침수지역에 해당하며, 최근 2010년, 2011년 집중호우에도 침수피해가 발생한 바 있다. 대상지역의 위치, 지형, 토지이용 현황은 그림 2와 같다

##### 2. 지역구분

시가지 내수침수 방지를 위한 지역구분은 무엇보다 객관적이고 비교적 간단하게 이뤄질 필요가 있다. 앞서 침수위험지역과 빗물유출지역을 구분하기 위한 장단점을 살펴보았거니와, 본 연구에서는 침수위험지역 식별을 위해 침수피해이력, 침수예상지역, 계획홍수위, 지형특성인자를 고려한 방법을 이용하

였고, 빗물유출지역의 경우 용도지역(토지이용, 시가화 정도, 공공하수시설 등)을 고려한 방법을 이용하였다.

##### 1) 침수위험지역 식별

###### (1) 침수피해이력

대상지역은 과거 반복적으로 침수가 발생하였던 상습침수지역에 해당한다. 이에 2001년, 2010년, 2011년 침수피해 이력을 이용하여 침수위험지역을 구분하면 그림 3과 같다.

###### (2) 침수예상지역

강우-유출-침수해석은 강우 조건에 따라 침수피해 예상지역이 달라질 수 있다. 이는 강우의 재현기간에 따른 강우량에 대한 차이로 나타날 수도 있고, 강우의 지속시간, 시간분포 등과 같은 시공간적 특성에 의한 차이일 수도 있다. 침수위험지역은 침수피해의 발생가능성이 높거나 침수취약도 역시 매우 불리한 지역을 나타낸다. 이에 재현기간에 따라 침수피해 예상지역을 그림 4와 같이 구분하였다.



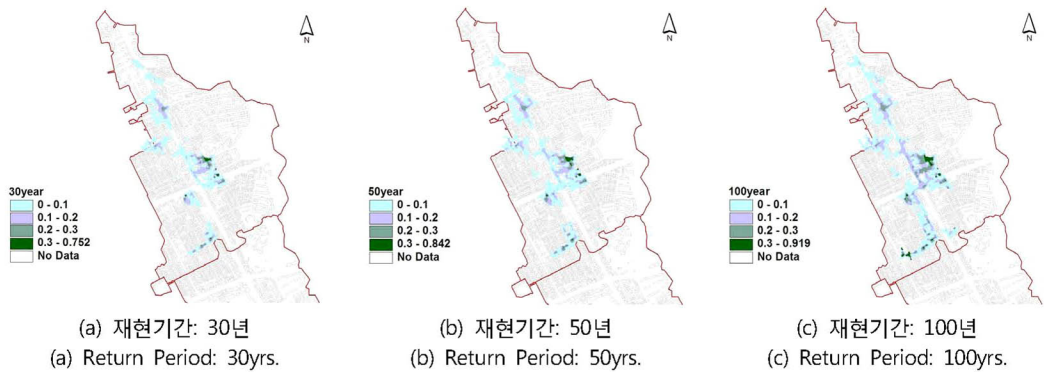


그림 4. 목표강우량별 침수예상지역을 이용한 침수위험지역 구분  
Fig 4. Flood Prone Area using Flood Simulation Results by Return Period

(3) 기준홍수위

대상지역의 말단부 하수관거는 사당천의 복개하천과 연결되고, 이는 다시 반포천으로 유입된다. 이에 「서울시 물순환기본계획 연구」(서울특별시, 2004)에서 이용한 반포천의 계획홍수위 자료를 수집하여 대상지역의 침수위험지역을 구분하였다. 그 결과는 그림 5와 같다. 이때 홍수위에 1m를 더한 기준도 추가하였다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 기준홍수위를 이용한 방법은 인근 하천의 홍수위를 이용하였기 때문에 침수위험지역의 범위가 주로 대상지역의 하류부에 집중되어 있음을 알 수 있다.

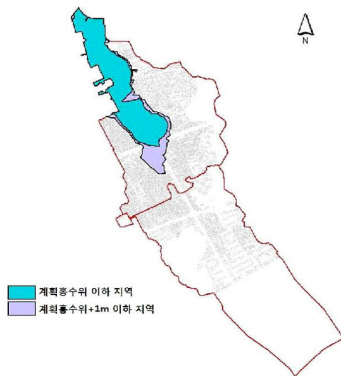


그림 5. 기준홍수위(계획홍수위)를 이용한 침수위험지역 구분  
Fig 5. Flood Prone Area with Reference to Design High Water Levels(HWLs)

(4) 지형특성인자

습윤지수(TWI)는 상류로부터 내려오는 흐름특성과 하류로 통수시켜줄 수 있는 유효능력을 비교하여 토양의 포화 정도를 판단하는 지표이며, 지형특성인자를 이용하여 저지대를 구분할 수 있는 대표적인 방법이다. 서울특별시(2011) 「서울시 재난위험도 평가 및 활용방안」에서는 습윤지수 '10'을 기준으로 저지대 및 침수취약지역으로 구분하였다. 본 연구에서도 이와 동일하게 습윤지수 '10'을 초과하는 지역을 침수위험지역으로 구분하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다.

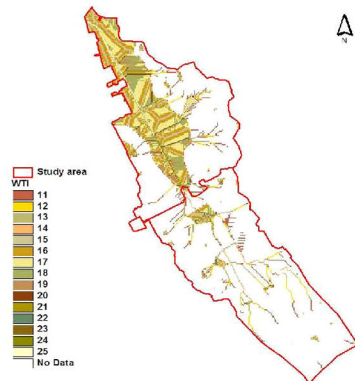


그림 6. 지형특성인자(습윤지수)를 이용한 침수위험지역 구분  
Fig 6. Flood Prone Area using the Topographic Wetness Index

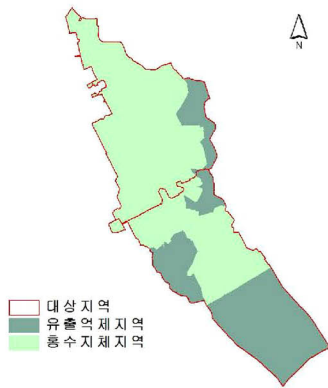


그림 7. 시가화 정도를 이용한 빗물유출지역 구분  
Fig 7. Stormwater Runoff Area using the Urbanization Level

## 2) 빗물유출지역 식별

빗물유출지역은 침수위험지역에 영향을 미치는 유역으로 구분해야 한다. 즉, 침수위험지역의 상류부 전체가 해당된다. 다만, 앞서 침수위험지역을 확정지을 수 없기 때문에 대상지를 빗물유출지역으로 가정한 후, 홍수지체지역과 유출억제지역으로 구분한다. 홍수지체지역과 유출억제지역의 식별을 위해서는 도시생태현황도를 이용한 토지이용 특성과 시가화 및 불투수 지역의 파악과 공공하수시설 현황 등을 검토해야 한다. 이에 2010년 도시생태현황도를 수집한 후, 토지이용 특성상 녹지 및 오픈스페이스 영역을 선별하였다. 다음 단계로, 시가화 및 불투수 지역을 제외하고, 공공하수관망의 시점을 확인하여 최종적으로 홍수지체지역과 유출억제지역을 그림 7과 같이 구분하였다. 그 결과, 대상지역(면적 293.4ha)에서 유출억제지역은 104.2ha, 홍수지체지역은 189.2ha(침수위험지역 포함)로 나타남을 알 수 있었다.

## 3. 지역구분방법 간의 비교평가

### 1) 비교평가방법

각 지역구분방법에 의해 식별된 지역들은 공간적으로 공통된 영역을 갖기도 하고 상이한 영역을 갖기도 한다. 구분방법별로 그 특성이 상이하고 각각의 장·단점이 있기 때문에 어떤 방법이 옳다고 단정하기에는 무리가 있다. 다만, 면적의 유사성 정도나 형태 측면에서의 중첩 또는 공통영역 공유정도 등의 측면에서 어느 정도 판단의 실마리를 제공해 줄 수 있을 것이다.

먼저, 각 방법에 의해 식별된 지역들 간의 중첩 특성을 파악하여 가장 적절한 방법을 선택할 수 있을 것이다. 예를 들어, 각 기준에 의해 구분된 지역을 다음과 같이  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ 라고 하자(그림 8 참조).

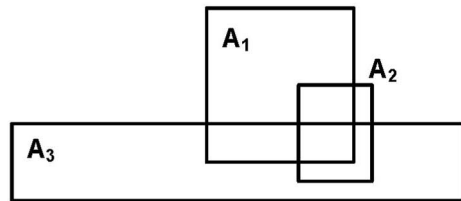


그림 8. 지역구분방법별 중첩관계  
Fig 8. Overlapping Relation of Areas by Classification Methods

이들 지역은 구분방법에 따라 서로 중첩되는 특성이 상이하게 나타난다. 예를 들어,  $A_1$ 을 기준으로 하면  $A_2/A_1$ ,  $A_3/A_1$ 을 비교해볼 수 있는데, 이는  $A_1$ 에  $A_2$ 와  $A_3$ 가 어느 정도 포함되었는지를 나타낸다. 이와 같이  $A_2$ 와  $A_3$ 를 기준으로 반복하면, 각 지역의 중첩 특성을 파악할 수 있다. 따라서 구분방법별로 중첩면적을 이용한 다음 계수를 통해 지역들 간의 중첩특성을 비교해볼 수 있다.

$$\frac{A_i \text{와 } A_j \text{의 중첩면적}}{A_i \text{의 면적}}$$

여기서  $i$ 와  $j$ 는 구분방법,  $A_i$ 와  $A_j$ 는 구분방법별 지역의 면적을 나타낸다. 위 관계식을 이용하여 각

j \ i	1	2	3
1	$\frac{A_1 \text{와 } A_1 \text{의 중첩면적}}{A_1 \text{의 면적}}$	$\frac{A_1 \text{와 } A_2 \text{의 중첩면적}}{A_1 \text{의 면적}}$	$\frac{A_1 \text{와 } A_3 \text{의 중첩면적}}{A_1 \text{의 면적}}$
2	$\frac{A_2 \text{와 } A_1 \text{의 중첩면적}}{A_2 \text{의 면적}}$	$\frac{A_2 \text{와 } A_2 \text{의 중첩면적}}{A_2 \text{의 면적}}$	$\frac{A_2 \text{와 } A_3 \text{의 중첩면적}}{A_2 \text{의 면적}}$
3	$\frac{A_3 \text{와 } A_1 \text{의 중첩면적}}{A_3 \text{의 면적}}$	$\frac{A_3 \text{와 } A_2 \text{의 중첩면적}}{A_3 \text{의 면적}}$	$\frac{A_3 \text{와 } A_3 \text{의 중첩면적}}{A_3 \text{의 면적}}$

그림 9. 지역구분방법별 지역들 간의 중첩관계 Matrix  
 Fig 9. Overlapping Matrix of Areas by Classification Methods

구분방법별 지역들 간의 중첩면적 관계를 Matrix로 나타내면 그림 9와 같다.

다음으로, 공통영역을 비교기준으로 하여 지역들의 중첩 및 공간분포 특성을 파악해볼 수 있다. 이때 공통영역은 구분방법별 지역들의 교집합 영역과 합집합 영역이 될 수 있다. 먼저, 각 지역구분 기준에 의한 교집합 영역을 기준으로 할 경우에 대해 살펴보자(그림 10 참조).

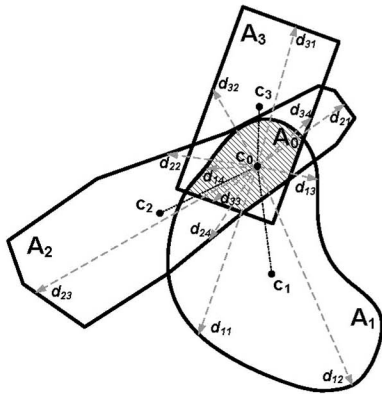


그림 10. 지역구분방법별 공유영역 (교집합)  
 Fig 10. Common Territory by Area Classification Methods (Intersection)

각 구분방법별 지역 면적이 상이하고, 그 형상도 상이하게 나타날 수 있음을 고려하여, 구분기준별로 지역구분은  $A_1, A_2, A_3$ 로 이뤄졌다고 가정해보자(그림 10 참조). 공통영역인 교집합 부분은  $A_0$ 가

된다. 이때 각 지역구분 결과와 교집합 영역과의 관계를 판단하기 위한 가장 단순한 방법은 교집합 영역의 중심점( $c_0$ )과 각 지역의 중심점까지의 거리( $c_i$ )를 이용하는 것이다. 이 방법은 지역면적과 형상을 무시한 가장 단순한 방법이 된다. 다음은 교집합 영역을 기준으로 구분방법별 지역들의 면적비를 비교하는 것이다. 이와 같은 방법은 각 구분방법별 지역이 교집합 영역을 얼마나 포함하는지 살펴볼 수 있다. 다만, 구분방법별 지역의 형상이 상이한 특성을 고려하는데 한계가 있다. 이를 고려하기 위한 방법은 교집합 영역의 중심점에서 구분방법별 지역 경계까지의 거리( $d_{ij}$ )를 이용하는 것이다. 이를 통해 지역의 형상 특성을 파악할 수 있다. 이상과 같은 기준을 정리하면 다음과 같다.

- ① 기준1(Case1): 교집합 영역의 중심점에서 구분방법별 지역의 중심점까지 거리

$$Min. \sqrt{(x_{c_0} - x_{c_i})^2 + (y_{c_0} - y_{c_i})^2},$$

- ② 기준2(Case2): 교집합 영역과 구분방법별 지역의 면적 비율

$$Max. \frac{A_0}{A_i}$$

③ 기준3(Case3): 교집합 영역의 중심점에서  
구분방법별 지역의 경계까지의 평균거리

$$Min. \sum_{j=1}^m \sqrt{(x_{c_0} - x_{d_j})^2 + (y_{c_0} - y_{d_j})^2}$$

여기서  $x_{c_0}$ 와  $y_{c_0}$ 는 교집합 영역 중심점의  $x, y$  좌표이고,  $i$ 는 구분기준,  $x_{c_i}$ 와  $y_{c_i}$ 는 구분기준별 지역 중심점의  $x, y$  좌표,  $A_0$ 는 교집합 영역의 면적,  $i$ 는 구분방법 순서,  $A_i$ 는 구분방법별 지역의 면적,  $m$ 은 지역의 형상을 등분한 횟수,  $x_{d_{ij}}$ 와  $y_{d_{ij}}$ 는 구분방법별 지역 경계를  $m$  등분으로 분할한 후의 각 분할지점의  $x, y$  좌표를 나타낸다.

## 2) 침수위험지역 식별을 위한 지역구분 비교평가

앞서 적용결과를 살펴보면, 침수위험지역은 구분방법에 따라 상이한 특성을 나타낸다. 구분지역의 수를 기준으로 보면, 계획홍수위를 기준으로 한 경우 하나의 지역으로 구분되기도 하고, 지형특성인자

표 6. 구분방법별 침수위험지역 면적 비교  
Table 6. Comparison of Flood Prone Areas by Area Classification Methods

Methods	Area (1,000m <sup>2</sup> )	Description
Using past flood damage history	456.6 (901.3)	more than 2 times (more than 1 times)
Simulating expected flood risk areas	198.7 (124.2)	100-year return period (30-year return period)
Referencing flood water levels of nearby rivers	343.4 (433.0)	Design High Water Levels (Design High Water Levels+1m)
Using topography	774.6	Wetness Index '10' and over

를 이용한 경우 공간적으로 산발적인 형태로 나타나기도 한다. 지역의 위치를 기준으로 보면, 계획홍수위를 기준으로 한 경우 하류부에 집중되기도 하고, 침수피해이력을 이용한 경우 다년간 누적된 침수피해 지역이 유역 전역에 나타나기도 한다. 또한 지역의 분포특성이 침수예상지역의 경우 배수시설의 초과유출량에 의해 관망 주변으로 분포되기도 하고, 계획홍수위를 기준으로 한 경우 계획홍수위를 수평으로 연장하였기 때문에 지면높이에 의해 구분되기도 한다.

한편, 구분방법별로 지역의 면적도 크게 상이함을 알 수 있다. 각 구분방법에 의한 침수위험지역의 면적은 표 6과 같다.

표 6에서 볼 수 있듯이 지형특성인자를 이용한 방법이 가장 넓은 지역으로 나타났으며, 전체적으로는 지형특성인자, 침수피해이력, 계획홍수위, 침수예상지역 순으로 나타났다. 구분방법별로 상대적인 면적의 차이가 크게 나타나고 있는데, 이는 기본적으로 구분방법 자체의 특성 때문이다. 지형특성인자를 이용한 지역은 습윤지수를 기준으로 하여 유역전역에서 우수 집중도가 높은 지역이 선정되어 넓게 분포되어 있고, 침수피해이력의 경우는 침수피해가 1회 이상 발생한 지역이 901천m<sup>2</sup>, 2회 이상 발생지역이 457천m<sup>2</sup>로 2000년 이후 다년간 누적된 침수피해 면적에 해당함으로 그 면적이 크게 나타나고, 침수예상지역의 경우는 배수시설을 모형화하여 초과유출량에 대한 침수모의 결과에 해당함으로 그 면적이 상대적으로 작게 나타난다.

한편, 구분방법별로도 다양한 기준을 이용할 수 있다. 본 연구에서는 침수피해이력을 이용한 경우는 침수피해 2회 이상 발생지역, 침수예상지역의 경우는 100년 빈도 확률강우량에 대한 침수모의결과, 기준홍수위의 경우는 계획홍수위, 지형특성인자의 경우는 습윤지수가 '10' 이상인 지역을 고려하였다. 이들 기준을 통해 구분된 침수위험지역의 특성을



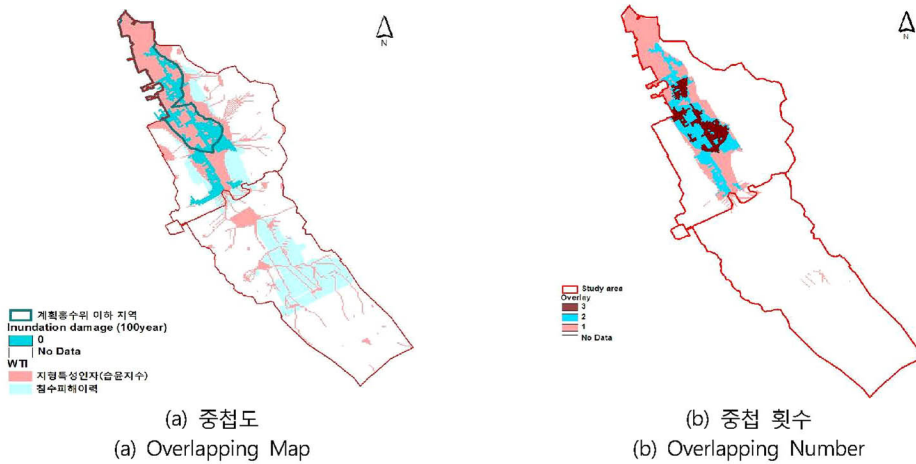


그림 11. 구분방법별 침수위험지역의 중첩 특성  
Fig 11. Overlapping Characteristics of Areas by Classification Methods

표 7. 구분방법별 침수위험지역들의 중첩 Matrix (단위: %)

Table 7. Overlapping Matrix of Flood Prone Areas by Area Classification Methods (Unit: %)

Methods	Using past flood damage history	Simulating expected flood risk areas	Referencing flood water levels of nearby rivers	Using topography	Average
Using past flood damage history	100.0	33.5	35.1	72.5	60.3
Simulating expected flood risk areas	77.0	100.0	57.3	57.6	73.0
Referencing flood water levels of nearby rivers	46.6	33.1	100.0	98.6	69.6
Using topography	42.7	14.8	43.7	100.0	50.3
Average	66.6	45.3	59.0	82.2	-

비교하기 위해 구분방법별 중첩특성을 살펴보았다.

(1) 지역들 간의 중첩관계를 이용한 구분방법의 평가

각 구분방법에 의한 침수위험지역 결과를 살펴보면, 침수피해이력을 이용한 경우에는 다년간 누적된 모든 피해이력이 포함되어 상대적으로 큰 면적을 차지함을 알 수 있으며, 침수예상지역을 이용할 경우에는 하수관망에서 발생한 초과유출량에 의해 관

거와 도로망 중심으로 침수피해가 나타남을 알 수 있다. 또한 하천 기준홍수위를 기준으로 침수위험지역을 구분할 경우에는 침수위험지역이 유역의 하류부에 대부분 위치함을 알 수 있고, 지형특성인자를 기준으로 한 침수위험지역은 완경사 저지대 지역과 우수의 집중도가 높은 소규모 지역을 향한 형태로 나타남을 알 수 있다. 이상과 같은 방법에 의해 구분된 침수위험지역들의 중첩특성을 정리하면 표 7과 그림 11과 같다.

하나의 구분방법에 의한 침수위험지역이 그 외의 구분방법에 의한 지역들을 포함하는 면적 순서(표 7의 하단 평균)는 지형특성인자, 침수피해이력, 기준홍수위, 침수예상지역 순으로 나타난다. 지형특성인자를 이용한 방법은 그 외의 방법들에 의한 지역을 평균 82% 정도 포함하며, 공통영역을 가장 많이 포함하는 것으로 나타났다. 따라서 중첩도만을 기준으로 구분방법을 평가하면, 지형특성인자를 이용한 방법이 그 외의 방법들에 의한 결과를 가장 많이 재현하는 것으로 이해할 수 있다. 그 다음은 침수피해이력을 이용한 경우인데, 약 67%로 지형특성인자를 이용한 방법 다음으로 그 외의 구분방법 결과를 많이 포함하고 있음을 알 수 있다.

또한 하나의 구분방법에 의한 침수위험지역이 그 외의 구분방법에 의한 지역들에 포함되는 면적이 많은 순서(표 7의 우측 평균)는 침수예상지역, 기준홍수위, 지형특성인자, 침수피해이력 순으로 나타났다. 침수예상지역을 이용한 방법이 그 외의 방법들에 의한 지역에 가장 많이 포함되는 것으로 나타났다. 이는 침수예상지역을 이용한 지역구분 결과가 관망과 도로망을 따라 상대적으로 소규모로 나타나기 때문이다. 또한 지역구분이 침수모의 결과에 의해 raster 형태로 나타나기 때문에 상대적으로 작은 면적을 차지하는 것도 이유가 된다.

이상과 같이 중첩면적비에 대한 matrix 결과를 두 가지 측면에서 종합적으로 비교해보면, 지형특성인자를 이용한 방법이 그 외의 방법들의 지역을 가장 많이 포함하고, 침수피해이력을 이용한 방법도 적절한 것으로 나타났다. 다만, 침수피해이력을 이용할 경우에는 그 외의 방법들에 의한 지역에 비해 상대적으로 넓은 지역으로 나타나고 있기 때문에 실제 적용 시에는 침수피해이력, 주변 하천의 기준홍수위 등과의 비교검토가 요구된다.

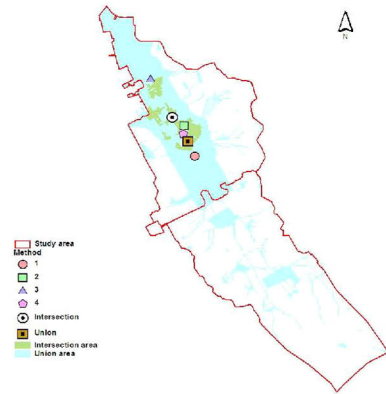


그림 12. 구분방법별 침수위험지역의 기준영역 및 중심점  
 Fig 12. Criterion of Flood Prone Areas by Classification Method

### (2) 공통영역을 이용한 구분방법의 평가

앞서 정리한 바와 같이 기준영역(교집합, 합집합)에 따라 각 구분방법별 침수위험지역을 비교하였다. 이때 평가기준은 기준1의 경우 기준영역의 중심점과 각 구분방법별 침수위험지역의 중심점까지의 거리, 기준2의 경우 기준영역과 각 구분방법별 침수위험지역의 면적비(교집합을 기준으로 할 경우: 교집합 면적/침수위험지역 면적, 합집합을 기준으로 할 경우: 침수위험지역 면적/합집합 면적), 기준3의 경우 기준영역의 중심점에서 각 구분방법별 침수위험지역의 경계까지의 거리를 이용하였다. 그림 12는 지역구분방법을 이용하여 산정한 침수위험지역의 교집합과 합집합 영역을 나타낸 것이다. 이때 각 구분방법에 의한 침수위험지역의 중심점 특성이 비교될 수 있도록 하였다.

그림 12에서 볼 수 있듯이 기준 영역별 중심점의 특성을 비교해보면, 교집합 영역은 합집합 영역에 비해 상대적으로 하류부에 위치하게 된다. 이는 유역 상류부의 침수피해이력이 있고, 상류 일부지역에서 우수의 집중도가 높게 나타나기 때문이다.

구분방법별 침수위험지역의 특성을 평가하기 위

한 기준 영역을 지역들의 교집합, 합집합 영역으로 설정하고, 그 특성을 이용한 평가 결과는 표 8과 같다.

총 4가지 구분방법(침수피해이력, 침수예상지역, 기준홍수위, 지형특성인자)에 의한 침수위험지역들의 교집합을 기준으로 비교해 보면, 기준1에서는 침수예상지역, 지역특성인자, 기준홍수위, 침수피해이력 순으로 나타났다. 이는 교집합 영역과 중심점 거리가 가까운 순서를 나타낸다. 기준2에서는 침수예상지역, 기준홍수위, 침수피해이력, 지형특성인자 순으로 나타났으며, 이는 교집합 영역을 많이 포함한 순서를 나타낸다. 기준3에서는 침수예상지역, 기준홍수위, 침수피해이력, 지형특성인자 순으로 나타났으며, 이는 구분방법별 지역의 형상까지의 거리가 교집합 영역에 가까운 순서를 나타낸다. 전체적으로 보면, 침수예상지역을 이용한 침수위험지역이 교집합 영역에 가장 근사하게 가까우며, 약 43% 정도가 교집합 영역에 포함되는 것으로 나타났다. 이는 앞서 살펴본 면적중첩비 결과와도 유사하다. 지형특성인자를 이용한 침수위험지역의 중심점은 교집합 영역에 근사하지만, 유역전역에 걸쳐 분포하여 기준3에서는 가장 큰 값을 보이며 교집합 영역을 포함하는 비율도 가장 작게 나타남을 알 수 있다.

합집합 영역을 기준으로 살펴보면, 먼저 합집합

영역의 중심점 위치는 침수피해이력과 지형특성인자에 의해 교집합 영역에 비해 상류로 이동하게 된다. 이로 인해 상대적으로 하류부에 위치한 계획홍수위 구분방법이 가장 먼 거리를 나타내게 된다. 기준1에서는 지형특성인자를 이용한 방법이 가장 작은 값을 나타내는데, 이는 합집합 영역을 결정하는데 가장 큰 기여를 하였기 때문이다. 합집합을 기준으로 한 기준2는 합집합 면적과 구분방법별 면적의 비율 순서를 나타내며, 지형특성인자, 침수피해이력, 기준홍수위, 침수예상지역으로 나타난다.

이상과 같이 공통영역을 기준으로 비교한 결과, 전반적으로 지형특성인자를 이용한 방법이 다른 기준들에 의해 결정된 침수위험지역에 대한 설명력이 가장 높으며, 침수피해이력을 이용한 방법도 어느 정도 적절한 것으로 나타났다. 따라서 침수위험지역은 지형특성인자를 중심으로 지역범위를 식별하되, 침수피해이력을 비롯한 다른 방법들을 보완적으로 이용하여 결과비교를 통해 최종 선정하는 것이 무난할 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구에서는 기성시까지 유역에서 내수침수 방시대책의 효과적이고 맞춤형 적용을 위한 지역구

표 8. 기준 영역을 이용한 구분방법별 침수위험지역 평가  
Table 8. Evaluation of Flood Prone Areas by Classification Method

Methods	Reference : Intersection			Reference : Union		
	Case1 (m)	Case2 (%)	Case3 (m)	Case1 (m)	Case2 (%)	Case3 (m)
Using past flood damage history	408.5	18.6	493.4	152.3	49.6	412.3
Simulating expected flood risk areas	126.8	42.7	374.5	149.8	21.6	367.5
Referencing flood water levels of nearby rivers	406.9	24.7	461.2	664.1	37.3	636.9
Using topography	178.1	10.9	639.5	79.7	84.2	654.5



분 방법에 대해 비교 분석하였다. 지역구분의 주된 목적은 지형, 하천, 토지이용 특성 등의 객관적 자료만으로 유사한 특성의 공간영역을 식별하는 것이다. 궁극적으로는 대상지역을 수리·수문학적 특성에 따른 유형별로 구분하고, 각 지역에 적합한 대책을 적용하기 위함이다. 이를 위해 본 연구에서는 침수 재해 위험도를 고려하여 시가지 유역을 크게 침수 위험지역과 빗물유출지역으로 구분하고, 빗물유출지역은 다시 유출억제지역(또는 비시가화지역)과 홍수지체지역(또는 시가화지역)으로 세분화하였다. 지역구분을 위한 방법으로는, 침수위험지역의 구분 기준의 경우 과거 침수피해이력, 모의를 통한 침수피해 예상지역, 인근 하천과의 관계(계획홍수위, 하상고 등), 지형특성인자(습윤지수 등) 등을 이용할 수 있으며, 빗물유출지역을 유출억제지역과 홍수지체지역으로 구분할 경우 시가화 정도(토지이용 특성 등), 토양의 포화 여부, 우수의 흐름 상태 등을 이용할 수 있음을 알 수 있었다.

사례분석 대상지역에의 적용 결과, 침수위험지역은 지형특성인자를 이용하는 것이 대체로 가장 무난함을 알 수 있었다. 다만, 침수위험지역에 대한 구분은 침수피해의 원인이 매우 다양한 형태로 나타나기 때문에 침수피해이력, 기존 식별지역 등과의 충분한 비교 검토가 필요할 것으로 보인다. 빗물유출지역은 침수위험지역의 영향권으로 구분하고, 이는 다시 시가화 정도를 고려하여 유출억제지역과 홍수지체지역으로 구분하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 이때 시가화 지역의 경계를 명확하게 파악하기 위해 공공하수시설 현황 등을 추가로 검토할 필요가 있다. 이상과 같은 연구결과는 내수침수 대응 전략 마련 시 간단하고 신속하게 지역을 설정하고, 도시지역의 침수피해 저감을 위한 도시계획적 접근방안을 마련하고, 시가지유역 단위에서 보다 전방위적이고 맞춤형 침수방지대책을 마련하는데 기초를 제공할 것으로 기대된다.

아울러 본 연구의 한계로는 대상지역에 따라 각각의 기준들의 적용결과가 달라질 수 있는데, 향후 다양한 유역에의 적용을 통해 각 기준들의 특성을 실증적으로 일반화해볼 필요가 있다.

## 인용문헌

### References

1. 경기개발연구원, 2010. 「수해지 분포특성에 따른 토지이용 관리방안」, 경기. Gyeonggi Research Institute, 2010. *Land Use Management Strategy based on the Distribution Characteristics of Storm Damage Areas*, Gyeonggi.
2. 국토교통부·국토연구원, 2013. 「도시 기후변화 재해 취약성분석, VER 3.0.」, 경기. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and Korea Research Institute for Human Settlements, 2013. *Urban Disaster Vulnerability Analysis due to Climate Change*, Gyeonggi.
3. 국토해양부, 2011. 「수자원장기종합계획(2011~2020)」, 서울. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011. *Comprehensive Water Resources Plan (2011~2020)*, Seoul.
4. 박민규·송영석·김상단·박무종, 2012. “수해취약성인자를 이용한 고위험 도시침수지역의 평가기법에 대한 연구”, 「한국방재학회논문집」, 12(2): 245-253. Park, M., Song, Y., Kim, S., and Park, M., 2012. “A Study on the Assessment Method for High-risk Urban Inundation Area Using Flood Vulnerability Index”, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(2): 245-253.
5. 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.

6. 서울시정개발연구원, 2002. 「서울시 상습침수지역 관리시스템 구축 방안」, 서울.  
The Seoul Development Institute, 2002. *Construction of Flooded Area Management System in Seoul*, Seoul.
7. 서울시정개발연구원, 2006. 「서울시 지역안전도 평가모형 개발연구 -홍수재해를 중심으로-」, 서울.  
The Seoul Development Institute, 2006. *Development of the Regional Safety Assessment Model in Seoul -Focusing on Flood-*, Seoul.
8. 서울시정개발연구원·서울특별시, 2006. 「서울시 상습침수지역 설정기준 및 관리방안 연구」, 서울.  
The Seoul Development Institute, 2006. *A Study on Management Plan and Classification Criteria of Flooded Area in Seoul*, Seoul.
9. 서울특별시, 2004. 「서울시 물순환 기본계획 연구」, 서울.  
Seoul Metropolitan Government, 2004. *A Master Plan for Water Cycle of Seoul City*, Seoul.
10. 서울특별시, 2011. 「2011년 서울시 재난위험도 평가 및 활용방안」, 서울.  
Seoul Metropolitan Government, 2011. *Disaster Risk Assessments and Applications in Seoul City 2011*, Seoul.
11. 소방방재청, 2005. 「상습수해지역 해소대책 방안 연구」, 서울.  
National Emergency Management Agency, 2005. *A Study on the Integrated Countermeasures for Repetitive Flooded Areas Master*, Seoul.
12. 소방방재청, 2009. 「내배수 침수재해 저감기술 개발」, 서울.  
National Emergency Management Agency, 2009. *Research on Flood Mitigation from Inland Inundation*, Seoul.
13. 소방방재청, 2010. 「풍수해저감종합계획 세부수립 기준」, 서울.  
National Emergency Management Agency, 2005. *Guideline for Comprehensive Disaster Management Plan*, Seoul.
14. 신상영·이석민·박민규, 2011. “서울의 침수피해특성과 수방정책방향”, 『한국방재학회지』, 11(3): 4-10.
- Shin, S. Y., Lee, S. M., and Park, M., 2011. “Flood Damage Characteristics and Policy Directions for Flood Protection in Seoul City”, *Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(3): 4-10.
15. 신상영·박창열·손은정, 2015. “건축물 침수방지대책의 효과 및 비용 비교분석”, 『국토계획』, 50(2): 243-260.  
Shin, S. Y., Park, C., and Son, E. J., 2015. “Analyzing the Effects and Costs of Flood Protection Measures for Buildings”, *Journal of Korea Planners Association*, 40(5): 87-100.
16. 우효섭, 2002. 「하천수리학」, 서울.  
Woo, H. S., 2002. *River Hydraulics*. Seoul.
17. 유가영·김인애, 2008. 「기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안」, 서울: 환경정책평가연구원.  
Yoo, G., and Kim, I., 2004. *Development and Application of a Climate Change Vulnerability Index*, Seoul: Korea Environment Institute..
18. 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.
19. 이창우, 2009. 「우수유출저감시설의 설치를 위한 지역구분 방안」, 고려대학교 석사학위 논문.  
Lee, C., 2009. *Regionalization of urban catchment for infiltration and storage facilities*, Korea University, master's degree dissertation.
20. 이한세, 2004. “상습침수지역의 문제점 개선방안”, 『국토: Planning and Policy』, 273(7): 16-23.  
Lee, H. S., 2004. “Problems and Improvement Directions of Repetitive Flood Hazard Areas”, *Planning and Policy*, 273(7): 16-23.
21. Bariling, R.D., Moore, I.D., Grayson, R.B., 1994. “A quasi-dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zones of surface saturation and soil water content”, *Water*

- Resources Research*, 30(4): 1029-1044.
22. Beven, K.J., and Kirkby, J.N., 1979. "A physically-based, variable contributing area model of basin hydrology", *Hydrological Sciences Bulletin*, 24: 43-69.
  23. Federal Emergency Management Agency, 2007. *Managing Floodplain Development Through the NFIP*.
  24. Hall, J.W., Sayers, P.B., and Dawson, R.J., 2005. "National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales", *Natural Hazard*, 36(1-2): 147-164.
  25. O'Loughlin, E.M., 1986. "Prediction of surface saturation zones on natural catchments by topographic analysis", *Water Resources Research*, 22(5): 794-804.
  26. Rygel, L., O'Sullivan, D., and Yarnal, B., 2006. "A method for constructing a social vulnerability index: An application to hurricane storm surges in a developed country, mitigation and adaptation strategies for global change", *Earth and Environmental Science*, 11: 741-764.
  27. U.K. Department for Communities and Local Government, 2012. *National Planning Policy Framework*.

Date Received	2015-04-30
Reviewed(1 <sup>st</sup> )	2015-06-17
Date Revised	2015-07-30
Reviewed(2 <sup>nd</sup> )	2015-08-17
Date Accepted	2015-08-17
Final Received	2015-09-14