

# 도시지역 홍수재해에 대한 안전도평가와 활용방안



이 창 희 |

서울시정개발연구원 디지털도시부 초빙부연구위원  
changhee@sdi.re.kr



여 창 건 |

서울시정개발연구원 디지털도시부 위촉연구원  
cgyeo@sdi.re.kr

## 1. 서 언

최근 기후변화로 홍수에 대한 피해 규모와 피해발생빈도 증가하고 있으며 특히, 인구가 경제가 집중된 도시지역에 대규모 재난이 발생하는 경우 피해의 정도가 과거에는 상상할 수 없을 정도의 큰 규모로 나타날 수 있으므로 재난에 대한 사후처리뿐 아니라 위험지역을 사전에 파악하고 위험을 저감하기 위한 대책 수립이 필요하다.

이에 국가에서는 체계적인 풍수해대책사업을 위하여 자연재해대책법을 개정(2005.8.4)하여 풍수해저감종합계획 수립하도록 하고 있다. 풍수해저감종합계획은 시·도지사 및 시장·군수·구청장이 매 5년마다 수립하여 행정자치부장관의 승인을 얻어 시행하여야 하며, 이를 위해서는 지역 안전도 평가가 선행되어야 한다(법제2조제5항 및 제16조).

지역안전도평가와 위험지역의 사전파악을 통하여 치수방재사업의 우선순위를 결정하도록 함으로써 경제성장 기반보호와 주민들의 거주 안정성 확보를 위

한 방재사업의 추진과 체계적인 풍수해 대응계획이 수립될 수 있다. 선진국에서는 이미 재난유형별로 위험도(Risk)평가 및 취약한 지역을 사전에 파악하여 재난발생에 대한 예방, 대비 및 대응 등에 활용하고 있다.

그러나 현재까지 지역안전도에 대한 많은 연구가 진행되어 왔지만, 나라별, 도시별 특성이 다를 수 있기 때문에 표준화된 평가기법 및 지표가 개발되지 못한 여지가 있다. 본고에 기술된 내용은 서울시정개발연구원(2006)의 연구내용을 요약하여 기술한 것으로써 서울시를 대상으로 도시지역 특성을 고려한 지역안전도 평가모형에 관한 내용을 소개하고, 치수대책과 관련하여 활용방안, 그리고 향후 과제를 정리하였다.

## 2. 지역안전도 평가의 개념 및 선행 연구

### 2.1 지역안전도 평가의 개념

안전도(Safety)란 사전적 의미로 위험이 생기거나 사고가 날 염려가 없는 정도를 뜻한다. 안전도와 위험도는 서로 연관되어 있으며, 위험도가 높으면 안전도가 낮아지고, 위험도가 낮으면 안전도가 높아진다. 이러한 관계로 인하여 지역안전도 평가를 위해 지역 위험도 평가가 이용될 수 있다. 해외에서는 주로 위험도(Risk) 평가, 위험도 분석 등 위험도에 관한 연구가 주류(Cutteer et al., 2001, FEMA, 2001, 2003; Godschalk et al., 1998)를 이루고 있는 반면, 국내에서는 소방방재청(2005), 자연재해대책법 등에서 지역안전도가 이용되고 있는 상황이다.

여기서 안전도란 위험이 생기거나 사고가 날 염려

가 없는 정도를 뜻한다는 사전적인 의미를 다시 짚어 본다면 안전도란 위험성과 그에 대비한 대책을 종합한 결과라고 볼 수 있다. 이에 지역안전도평가란 그림 1과 같이 위험 항목별 요인들을 조합한 위험도에 저감성을 고려한 것이라고 정의될 수 있다.

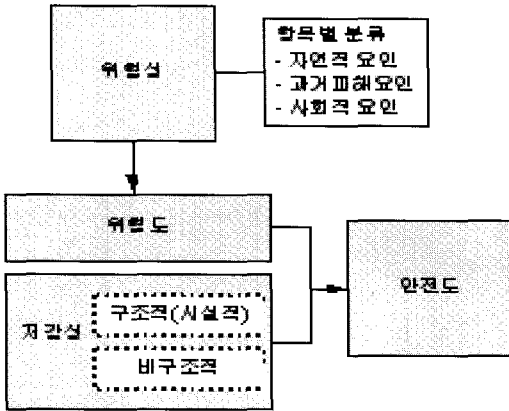


그림 1. 안전도 평가 개념

## 2.2 지역안전도 평가의 분류

지역안전도 혹은 지역위험도평가는 정량적인 방법과 정성적인 방법 등으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 홍수피해에 대한 안전도평가를 수행한다고 했을 때, 100년빈도, 50년빈도 등과 같은 각종 시나리오별 홍수위험지역을 대상 지역에 구체적으로 나타내는 것은 정량적인 방법이라고 할 수 있으며, 홍수위험에 대한 안전한 수준을 지수화하여 행정구역별 혹은 유역별로 등급화 하여 상대적인 안전수준으로 나타내는 것은 정성적인 방법이라고 할 수 있다. 정량적인 방법은 위험지역을 구체적으로 나타낼 수 있지만, 시나리오 설정방법의 차이와 매개변수의 불확실성 등으로 인해 분석을 수행하는 전문가별로 결과가 상이할 수 있다. 또한, 분석하고자 하는 대상지역이 대규모일 경우, 즉 우리나라 전지역에 대해서 100년 빈도 홍수에 대해서 내수와 외수에 대한 위험한 지역을 나타낼 경우 엄청난 자료의 요구량, 계산방법의 차이, 복잡성, 분석결과 정확도에 대한 신뢰도 논쟁 등으로 인해 대규

모지역에 대해서 정량적 평가를 수행하는 것이 사실상 어렵다고 할 수 있다. 그러므로 대규모지역에 대한 안전도평가를 수행할 경우 정량적인 평가의 수행에 앞서 정성적인 평가를 통해 행정구역별 혹은 유역별로 안전도를 평가한 후 안전도가 낮은 지점에 대해서 정량적인 평가를 수행하는 것도 한 방법이 될 수 있다. 본고에서는 서울시와 같은 대규모 도시지역에 대해 지역안전도 평가를 정성적으로 평가한 방법에 대해서 서술하였다.

## 2.3 선행연구

현재까지 지역안전도 평가에 대하여 국내외에서 많은 연구가 진행되어 왔다.

국외의 경우 미국에서는 “Understanding Your Risks : FEMA 386-2, 2001”에서 재해유형 중 홍수, 지진, 해일, 토네이도, 해안 폭풍, 산사태, 산불 등의 7개 재해유형에 대해 피해 위험과 피해규모 중심으로 위험도 산정방법을 연구하였다. 유럽연합(EU)에서는 ESPON(European Spatial Planning Observation Network) 프로젝트를 통해 산사태, 눈사태, 홍수, 가뭄, 산림화재, 지진 등을 포함한 자연재해와 방사능 재난 등과 같은 기술적 사고를 포함한 13개의 위험요소에 대해서 위험정도를 지수화 하는 연구를 수행하였다.

국내의 경우 수자원 장기종합계획(건설교통부, 2000)에서 치수단위구역별 치수특성을 파악하고 단위유역간 치수 투자우선순위를 산정하거나, 대규모 단위의 치수종합계획을 수립하기 위한 목적으로 홍수 피해잠재능(Potential Flood Damage ; PFD, 이하 PFD라 함)을 산정하였다. 홍수피해잠재능은 특정 치수단위구역의 잠재적인 홍수피해의 취약정도를 나타내는 지수로서 홍수에 의한 잠재적인 피해 정도와 홍수피해가 발생할 가능성 및 이에 대한 방어능력 정도를 종합하여 평가하는 지수이다.

지역별 안전도 평가기법 개발연구(소방방재청, 2005)에서는 지역의 자연재난 위험도를 사전에 파악

하여 홍수해저감 종합계획 수립, 재난보험제도 도입 등 중장기 재난저감대책 및 시설투자사업 수립에 활용하기 위한 목적으로 소방방재청에서 수행되었다. 평가단위구역은 시군구이며, 해당 시군구의 재난위험성, 재난피해규모, 재난피해저감능력을 평가할 수 있다.

홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구(국토연구원, 2005)에서는 시군구간의 홍수피해 발생빈도나 피해액을 비교할 수 있는 계량적인 기준이나 근거를 마련하기 위해 전국 232개 시군구의 최근 33년간의 홍수피해특성을 분석하여 시군구간의 홍수피해 정도를 비교할 수 있는 계량적인 홍수피해지표를 제시하였다.

### 3. 서울시 지역안전도 평가모형

#### 3.1 홍수재해에 대한 지역안전도 평가절차

홍수피해에 대한 지역안전도 평가는 그림 2와 같이 수행된다. 우선, 홍수피해의 주요 원인을 분석하고, 인자 선정 원칙과 자료의 구득 용이성을 고려하여 지역안전도 평가 요인 및 인자가 선정된다. 두 번째 단계에서는 홍수피해 주요 인자에 대한 자료 계량화 및 표준화가 이루어진다. 세 번째 단계에서는 홍수피해 안전도 평가에 있어서 인자들의 각각의 비중을 정해야 하는데 본고에서는 홍수 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시한 결과를 나타내었다. 네 번째 단계에서는 GIS Tool을 이용하여 각 요소별로 평가가 이루어진다. 마지막으로 평가된 각각의 요소들을 조합하여 지역안전도 평가가 이루어진다.

#### 3.2 지역안전도 평가 인자 선정

홍수재해에 대한 지역안전도를 평가하기 위해서는 홍수피해에 영향을 미치는 요인들을 선정하고, 이들을 대표할 수 있는 인자를 도출하여야 한다. 앞에서 언급했듯이 지역안전도 평가를 위한 요인별 인자는

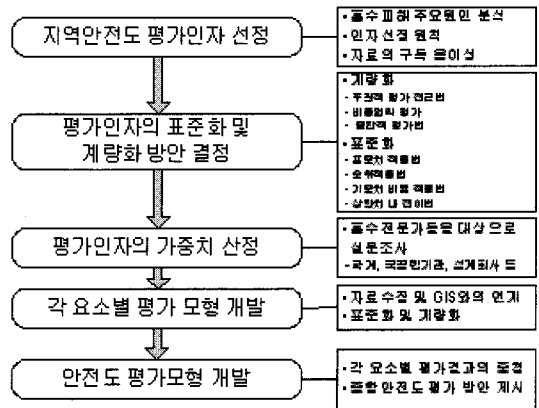


그림 2. 홍수재해에 대한 지역안전도 평가절차

홍수피해 원인 조사 자료를 토대로 인자선정 원칙과 자료의 구득용이성을 검토하여 선정하고, 다른 인자와의 관련성이 높은 인자들은 가장 대표적인 인자를 선정하여야 한다. 이렇게 하여 최종적으로 선정된 인자는 모두 12개이며, 표 1과 같다.

#### 3.3 평가인자의 표준화 및 가중치 산정

홍수피해에 대한 안전도를 지표화하여 각 지역별 상대적인 홍수피해 안전도 정도를 손쉽게 파악하기 위해서는 자료의 계량화가 필요하며, 인자마다 단위나 가중치가 다르기 때문에 계량화된 값들의 크기와 단위에 따른 편차문제를 해소하기 위해서는 표준화하는 과정이 수행된다.

한편, 표준화 값을 가진 각 인자에 대해 각각의 중요도 즉 가중치는 설문조사를 통하여 산정될 수 있다. 표 2와 같이 본고에서 제시하는 평가인자별 가중치는 학계, 연구소, 기업체, 국가기관 종사자를 대상으로 경력은 대부분 3년 이상의 경력자로서 하천 및 방재 분야, 도시계획, 기상, 댐 관리 등에 종사하는 전문가에게 조사한 사항이다.

#### 3.4 공간 단위의 결정

표 3은 자료의 구득 가능 공간단위를 조사한 내용

표 1. 홍수피해에 대한 지역안전도 평가 인자

구 분		주 요 인 자
위험성	자연적 요인 (홍수량 증가와 지형적인 특성으로 홍수피해 위험성이 큼)	강우량
		불투수비율
		저지대
	과거피해 요인 (과거 홍수피해 발생 경험이 있는 지역)	침수면적
		홍수피해액
		인구밀도
사회적 요인 (인구 및 자산, 사회기반시설 등이 밀집된 지역일수록 홍수시 많은 피해를 받을 잠재성이 큼)	자산밀도	
	사회간접시설의 밀집	
	시설적 요인 (구조물적 대책을 통한 홍수방어시설의 확대로 홍수피해위험을 저감할 수 있음)	외수방어능력
내수방어능력		
홍수조절용량		
저감성	행정적 요인 (저감, 대비, 대응, 복구 계획을 통해 홍수피해위험을 저감할 수 있음)	재난피해 저감능력진단점수*

\* 행정적 요인의 재난피해 저감능력 진단점수는 소방방재청에서 홍수에 대하여 6가지 진단부문(홍수해관리 및 경감, 유관기관단체 및 민간 협력부문, 대비계획 및 사전점검부문, 방재전문성 강화 및 홍보부문, 예경보 및 대응 부문, 재해복구부문)을 각 지자체를 대상으로 평가하는 점수임.

표 2. 인자별 가중치

위험성(0.56)							저감성(0.44)				
자연적요인 (0.27)			과거피해요인 (0.14)		사회적요인 (0.15)		시설적 요인 (0.30)			행정적요인 (0.14)	
강우량	불투수비율	저지대	침수면적	홍수피해액	인구밀도	자산밀도	SOC밀집	외수방어	내수방어	홍수조절	저감능력점수
0.12	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.10	0.10	0.10	0.14

표 3. 인자별 구득 가능 공간단위

주요 인자	구득 가능 공간단위			비 고
	구단위	동단위	세부지점	
강우량	○	△	△	강우관측소가 조밀하게 분포하지 못함 (구별 한 두개)
불투수비율	○	○	△	GIS분석 (토지이용현황도)
저지대	○	○	○	GIS분석 (저지대 분석)
침수면적	○	○	△	개별주택지 (침수피해주택관리대상)
홍수피해액	○	×	×	재해연보(구별 집계)
인구밀도	○	○	×	주민등록인구통계자료(동별 집계)
자산밀도	○	○	×	표준공시지가(동별 집계)
사회간접시설의 밀집	○	○	×	GIS 분석(도로, 철도연장)
외수방어능력	○	○	×	GIS 분석(하천 개수율)
내수방어능력	○	○	×	서울시하수도관리전산시스템
홍수조절용량	○	△	×	서울시하천관리전산시스템
재난피해 저감능력진단점수	○	×	×	구별 평가

이다. 그 결과 많은 부분에서 세부지점(여기서 세부 지점이라는 것은 필지단위규모로 매우 자세한 공간단위를 표현할 수 있는지에 대한 여부를 의미)에 대한 데이터 추출 시 구득이 쉽지 않았다. 대부분의 데이

터는 동단위에서 구득이 용이하였으며, 이러한 관계로 동단위로 적용이 타당할 것으로 판단된다.

### 3.5 GIS의 활용

선정된 평가 인자들은 GIS tool을 이용하여 인자별 평가결과의 가중 합을 통한 중첩으로 위험성과 저감성 요소별 평가를 수행할 수 있고, 위험성과 저감성 요소를 조합하여 홍수재해에 대한 지역안전도 평가가 수행된다. GIS tool을 이용한 지역안전도 평가 방법의 절차는 그림 3과 같다.

각 세부항목별 평가 결과를 조합하여 위험성 지수 및 저감성 지수를 식 (1)과 식 (2)에 의해 산정할 수 있으며, 분석 결과는 자연적 구분법에 의해 A(小) ↔ E(大) 5등급으로 구분하였다. 즉, E 등급은 위험성의 경우 위험요소가 큰 것을 의미하고, 저감성의 경우 시설적 요인과 행정적 요인이 잘 구비되고 있음을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{위험성 지수} &= \alpha_1 \times \text{자연적요인} \\ &+ \alpha_2 \times \text{과거피해요인} \\ &+ \alpha_3 \times \text{사회적 요인} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{저감성 지수} &= \alpha_4 \times \text{시설적 요인} \\ &+ \alpha_5 \times \text{행정적요인} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 는 계수이며, 가중치 산정을 위한 설문조사 결과를 이용

지역안전도 평가를 위한 안전도 지수는 위험성과 저감성에 대한 다음 선형 관계식에 의해 산출될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{안전도 지수} &= \alpha \times \text{위험성 지수} \\ &- \beta \times \text{저감성 지수} + \gamma \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $\alpha, \beta$ : 안전도 지수의 선형 계수  
 $\gamma$ : 상수

## 4. 활용방안 및 향후과제

### 4.1 활용방안

#### 4.1.1 지역안전도 평가와 도시계획

도시계획에 있어서 지역안전도 평가결과를 신도시의 설계나 재개발 계획에 반영하여 재해위험지역을 사전에 파악하여 주요시설의 배치, 건물 최소 지반고 지정 및 성토고 지정, 위험지역 집단이주, 배수시설 정비, 토지이용규제, 비상대피 계획 수립 등과 같은 도시 방재계획 수립의 기초자료를 제공하여 계획 단

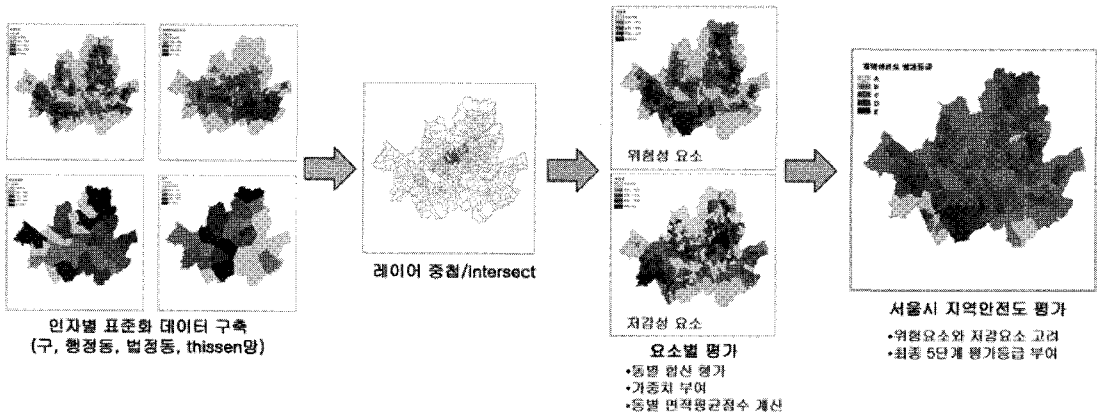


그림 3. 지역안전도 평가 과정

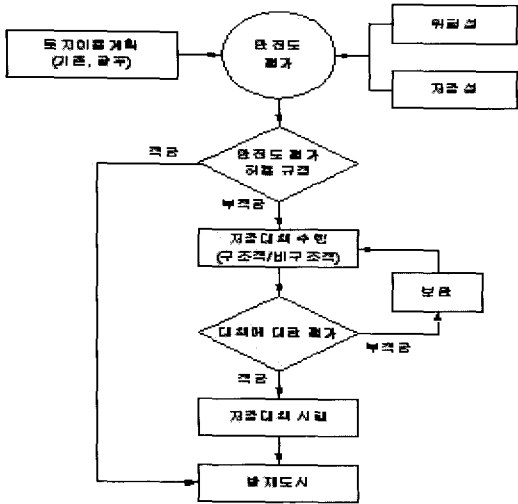


그림 4. 도시계획 시 지역안전도 평가 적용

계부터 방재 개념을 도입한 안전한 도시 건설계획 수립을 가능케 할 수 있을 것이다.

#### 4.1.2 지구단위 치수대책 수립과 지역안전도 평가

설계기준을 초과하는 홍수에 대해서 종래의 하천·하수도 등의 배수시설을 중심으로 한 수방체계 개선은 한계가 있으므로 지구단위별 수방대책이 강구

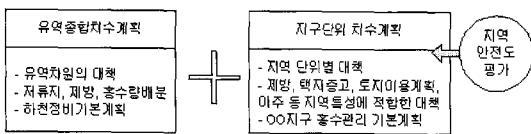


그림 5. 지구단위별 치수계획의 도입 시 지역안전도 평가의 적용

되어야 할 것이다.

지역안전도평가와 함께 지구별 중요도에 따라 지구단위 수방기준을 마련하고 수방대책을 수립할 수 있다.

#### 4.1.3 풍수해보험과 지역안전도 평가

풍수해 보험은 홍수피해자들에 대한 경제적 손실보상, 구조물적 홍수방어대책의 잔존위험 보충, 홍수위험에 대한 인식 확대 및 홍수위험지역 관리의 체계화, 경제활동의 중단 피해 최소화로 인한 국가경제의 효율성 제고, 재해손실의 시간적, 공간적 분산 등의 효과가 있으며 현재 풍수해보험법(제정 2006. 3. 3 법률 제7859호)을 제정하여 시범사업을 시행 중이다.

지역별 안전도 평가는 풍수해보험의 요율 결정과 풍수해보험법에 의하여 각 지자체에서 제출해야 할 침수흔적도 등 과거의 풍수해 발생 이력 및 향후 발생 위험 등을 고려하여 풍수해 위험정도를 지역별로 표시하는 「풍수해보험관리지도」제작의 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

#### 4.1.4 풍수해저감종합계획과 지역안전도 평가

지역 안전도 등급에 따라 재해위험지구정비사업, 하천정비사업, 하수도개선사업, 펌프장 개선사업 등 치수방재사업에 대한 우선순위를 결정할 수 있을 것이며 지역의 풍수해의 예방 및 저감을 위한 종합대책인 풍수해저감종합계획 수립 시 풍수해 유형별 재해위험도 분석의 정성적 평가에 대한 기본 자료로 그 활용성이 높을 것이다.

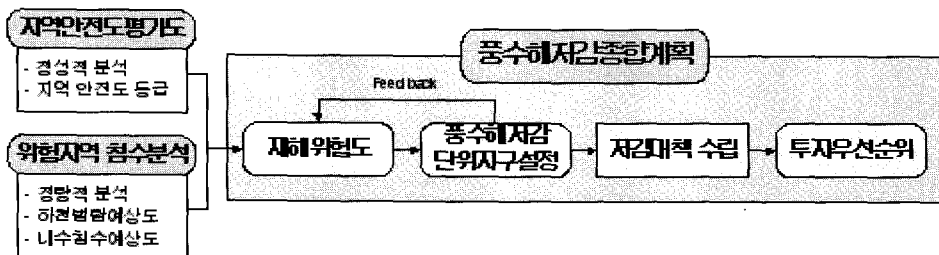


그림 6. 지역안전도 평가와 풍수해저감 종합계획과의 관계

지역별로 홍수피해 위험성을 분석하고 피해저감능력을 대비시켜 안전도 등급을 부여함으로써 지역 방재역량을 제고하고, 평가결과 나타난 문제점을 각종 방재정책에 개선 반영하는 상호보완체계를 구축할 수 있을 것이며, 방재에 대한 지역별 선의의 경쟁을 유도함으로써 재난저감 책임행정을 강화를 도모 할 수 있을 것이다.

#### 4.2 향후과제

지역안전도 평가를 수행하는데 있어서 가장 중요한 것이 정확한 자료의 수집이라고 볼 수 있다. 이러한 자료 중 일부는 GIS공간 자료를 통해 획득할 수 있지만, 대부분의 행정자료들은 데이터베이스화가 되어 있는 상황임에도 불구하고 공간정보와 연계되어 있지 않고 동일한 항목들은 여러 자료원에서 중복적으로 관리하면서 자료가 연계 되지 않고 있으며, 동일항목에 대해서 분류체계가 달라 자료의 공동활용이나 공유에 걸림돌이 되고 있는 상황이다. 일정 사업을 통해 구축된 일부 자료의 경우 DB의 구축 이후 유지관리의 소홀로 데이터의 현시성이 떨어지는 면도 다소 있는 상황이므로 체계적인 자료의 표준화 및 구축, 운영, 관리 대책이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 기초 자료 및 통계자료는 일부 동별로 구축되어 있는 것을 제외하곤 대부분 시군구 공간단위로 구축되어 있거나 유역의 경우 시군구 크기정도 되는 유역별 공간단위 자료로 구축 있는 상황이므로 보다 세부적인 공간규모의 자료구축 방안에 대해서 모색할 필요가 있다. 한편, 본고에서 제시한 지역안전도 평가는 지역별 상대적인 안전도를 정성적으로 평가 한 것으로 지역의 물리적인 상황을 명확하게 보여주지 못하는 한계를 가지고 있다. 따라서 재난계획의 수립시 방재구조물의 설계나 대피체계 수립 시 대피기준 설정과 같은 물리적인 데이터가 필요 할 경우는 정량적인 평가 모형과 연계하여야 할 것이다.

#### 5. 결론

홍수재해에 대한 위험성과 저감성을 고려하여 지역별 상대적인 안전도를 정성적으로 평가 할 수 있는 지역안전도 모형은 지자체에서 지역방재계획 등의 수립 시 위험성과 저감성의 수준을 파악 할 수 있으며 이들을 고려한 지역의 안전도 수준을 파악하는 기준이 될 것이며, 이를 토대로 홍수재해예방사업의 방향성 및 투자 우선순위 결정에 도움이 될 것으로 판단된다. 홍수재해에 대한 지역안전도 평가를 통하여 지역의 위험 및 취약지역을 파악하여 홍수재해에 대한 예방, 대비, 대응 등 중장기 홍수저감 대책을 수립하고, 나아가 풍수해저감 종합계획 수립이나, 풍수해보험제도 도입, 도시계획의 수립 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 추후 구체적인 방재시설설치 및 계획을 위해서는 통합 내배수범람 모형과 같은 정량적인 분석 모형의 개발과 이를 통한 계획이 필요할 것이다.

#### 참고문헌

- 건설교통부, 2000 “중랑천 하천정비기본계획”
- 건설교통부, 2000, “수자원 장기종합계획”
- 국토연구원, 2005, “홍수피해특성 분석 및 홍수피해 지표 개발에 관한 연구”
- 서울시정개발연구원, 2006, “서울시 지역안전도 평가모형 개발연구-홍수재해를 중심으로”
- 소방방재청, 2005 “지역별 안전도 평가기법 개발연구 보고서”
- Cutter, Susan L. 2001. “The Changing Nature of Risks and Hazards, Chapter 1, in American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters”, Joseph Henry Press.
- FEMA. 2001. “Understanding Your Risks: Identifying Hazards and Estimating Losses

(FEMA 386-2 Draft)”

Jenks, G.F. and Caspell, F.G. 1971 “Error on choropleth maps: Definitions, measurement, and reduction. Anals of the Association of American Geographers.” 61:217-244.

Philipp Schmidt-Thom?, 2006, “The Spatial Effects and Management of Natural and Technological Hazards in Europe - ESPON 1.3.1 EXECUTIVE SUMMARY”