

# GIS를 이용한 도시홍수에 대한 지역안전도 평가

여창건<sup>1</sup> · 서근순<sup>2</sup> · 송재우<sup>1\*</sup>

## Regional Safety Assessment Due to Urban Flood Using GIS

Chang-Geon YEO<sup>1</sup> · Geun-Soon SEO<sup>2</sup> · Jae-Woo SONG<sup>1\*</sup>

### 요 약

인구와 시설이 밀집되어 있는 도시지역은 대규모 재해가 발생하는 경우 엄청난 규모의 피해가 발생 할 수 있으므로 재난에 대한 사후처리뿐 아니라 위험지역을 사전에 파악하고 위험을 저감하기 위한 대책 수립이 필요하다. 현재까지 지역안전도에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으나, 나라별, 도시별 특성이 다를 수 있기 때문에 도시지역 특성을 반영한 표준화된 평가기법 및 지표의 개발이 필요하다. 본 연구에서 제시한 지역안전도 평가 모형은 위험 항목별 요인들을 조합한 위험도에 저감성을 고려한 것으로 홍수 위험에 미치는 3가지 요인과 저감성에 영향을 미치는 2가지 요인들을 선정하고, 이들을 대표할 수 있는 12개 인자를 선정한 후 GIS를 이용하여 인자별 평가결과의 가중 합을 통한 중첩으로 지역안전도평가 모형을 제안하였다. 제안된 지역안전도 평가모형을 이용하여 서울시에 대하여 모형의 시범적용을 수행하였다.

주요어 : 지역안전도평가, 도시홍수, 홍수 위험성, GIS

### ABSTRACT

Flood disasters on the metropolis where population and facilities were densely concentrated cause an enormous damage, therefore it is important to find risk and vulnerable area for floods, and then mid-long term disaster reduction plan should be established by the results. However, there is no rational method which reflects urban characteristics to estimate the regional safety for flood. so it is necessary to develop the standardized method of regional safety assesment due to urban flood. The proposed regional safety assesment model in this study was combined risk and mitigation score which consisted of three and two element, and 12 assesment factors which effect flood

2011년 5월 2일 접수 Received on May 2, 2011 / 2011년 7월 20일 수정 Revised on July 20, 2011 / 2011년 8월 22일 심사완료 Accepted on August 22, 2011

1 홍익대학교 토목공학과 Civil Engineering, Hongik Univ.

2 석탑엔지니어링 Soktop Engineering

\* 연락처 E-mail : jwsong@hongik.ac.kr

disasters were selected. And then the integrated regional safety was estimated by subtracting mitigation score from risk score. GIS tool was used to estimate the factor assesment and integrated regional safety. Developed regional safety assesment model was applied in Seoul to evaluate the suitability.

**KEYWORDS** : Regional Safety Assesment, Urban Flood, Flood Risk, GIS

## 서 론

도시지역에서는 인구나 건축물을 포함한 각종 시설물 등이 밀집되어 있기 때문에 대규모 재해가 발생하는 경우 엄청난 규모의 피해가 발생 할 수 있으므로 재난에 대한 사후처리뿐 아니라 위험지역을 사전에 파악하고 위험을 저감하기 위한 대책 수립이 필요하다.

지역안전도는 재해에 대한 체계적인 안전관리와 위험요인에 대한 대책을 마련하기 위해서 각 지역이 가지고 있는 재해의 발생가능성과 재해로 인한 피해의 가능성을 평가함으로써 재해에 취약한 지역을 파악할 수 있고, 재해 발생시 대응 및 피난계획 수립으로의 활용뿐만 아니라 안전을 고려한 방재도시 구축과 재난관리 행정을 체계적으로 수행하는데 필수적인 요소가 된다. 현재까지 지역안전도에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으나, 도시지역 특성을 반영하는 표준화된 평가기법 및 지표가 개발되지 못한 여지가 있다. 따라서 도시화가 집중되어 있는 서울시를 포함한 도시지역 특성을 고려한 지역안전도 모형개발 연구가 필요하다.

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 지역위험도 평가가 이용될 수 있다. 해외에서는 주로 위험도(Risk) 평가, 위험도 분석 등과 같은 용어를 사용하고 있으며, 국내에서는 소방방재청(2005), 자연재해대책법 등에서 지역안전도라는 용어가 이용되고 있는 상황이다. 본 연구

에서는 지역안전도 평가를 수행하기 위해서 위험도 평가를 이용하는 방안을 마련하고자 한다. 이를 위해, 지역안전도 평가는 지역위험도 평가보다 더 큰 개념으로써 위험 항목별 요인들을 조합한 위험도에 저감성을 고려한 것이라고 정의하고자 한다. 즉, 지역안전도 평가란 그림 1과 같이 자연적 위험 요인, 과거 재난 피해정도, 재난피해 발생시의 사회적 충격 등의 위험도와 구조적 혹은 시설적 대비 정도, 비구조적 대책 등의 저감성의 조합에 의한 지역의 안전 수준을 평가하는 것을 말한다.

본 연구는 자연재해 중 홍수재해를 중심으로 도시지역의 지역적 특성이 반영된 지역안전도 평가모형의 개발을 목적으로 한다. 제안된 지역안전도 평가는 위험지역 및 취약지역을 파악하여 홍수재해에 대한 예방, 대비, 대응 등 중장기 홍수저감 대책의 수립시 투자 우선순위 결정에 이용될 수 있는 것이며, 지역안전도평가 모형의 적용성 검토를 위하여 본 연구에서는 대표적인 도시유역인 서울시를 대상으로 평가를 수행하였다.

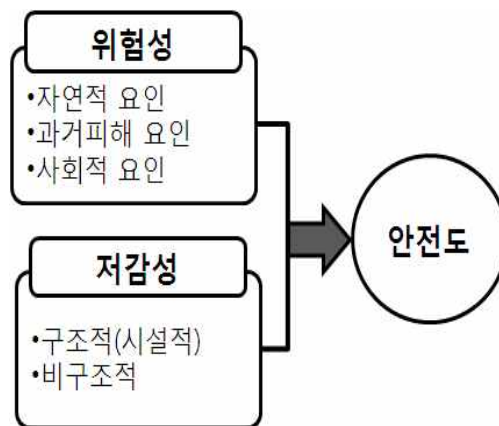


FIGURE 1. 지역안전도 평가 개념

### 선행 연구

현재까지 자연재해에 의한 지역별 위험 분석에 대한 연구는 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 산정 방법을 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 단위구역간 치수 투자우선순위를 산정하거나, 대규모 단위의 치수종합계획을 수립하기 위한 목적으로 홍수피해잠재능(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. 그 후, 이승종 등(2006)은 피해대상, 피해가능성, 방어취약성 등을 고려한 수정된 홍수피해잠재능을 제시하였다. 하지만 홍수피해잠재능에 관한 연구들은 치수단위구역별로 연구를 수행함으로써 시군구별로 이루어

어지는 치수사업에 직접 적용하기에는 어렵고, 시군구간의 홍수피해 정도를 상대적으로 비교하기도 곤란하다.

최승안 등(2006)은 예상피해 지역의 자산에 피해규모, 침수심 등에 따른 피해율을 적용하여 예상 홍수피해액을 산정하였으나 예상피해지역에 대한 수리학적 분석이 선행되어야 하기 때문에 일정 유역과 같은 한정된 지역에 대한 분석에는 유용하나 전국적인 홍수피해에 대한 지표 산정시 다소 무리가 있을 수도 있다.

홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발(국토연구원, 2005)에 관한 연구에서는 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 홍수지표를 제시하였으나 저감성에 대한 고려가 상대적으로 미흡한 평가지표를 산정한 연구였다.

### 지역안전도 평가모형 개발

#### 1. 공간단위의 설정

자연재해대책법에 따르면, 각 지자체는 풍수해저감종합계획을 수립해야 하며, 이를 위해서는 지역안전도평가를 거치도록 명시하고 있다. 풍수해종합계획 수립시 적용 범위가 시·군·구 행정구역별로 적용토록 구성됨으로써 각 구청별 풍수해저감계획 수립 시 보다 적용 단위가 구보다 더 세밀한 지점에 대한 지역안전도 평가 방안을 마련하여야 한다. 지역안전도 평가가 풍수해저감계획과 같은 치수사업을 위한 기초자료로 활용되기 위해서는 기본적으로

TABLE 1. 안전도 평가인자 및 각 인자별 가중치

		위험성(0.56)					저감성(0.44)				
자연적 요인 (0.27)		과거피해 요인 (0.14)		사회적 요인 (0.15)			시설적 요인 (0.30)			행정적요인 (0.14)	
강우량	불투수 비율	침수 면적	홍수 피해액	인구 밀도	자산 밀도	SOC 밀집	외수 방어	내수 방어	홍수 조절	저감 능력	접수
0.12	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14

행정구역 단위별 평가자료가 제시되어야 하며, 최소 행정구역 단위인 구에서도 치수사업의 우선순위 결정을 위해서는 좀더 세분화된 동 단위의 평가가 이루어져야 한다. 그러나 지역안전도평가를 위한 자료들의 분석 결과, 많은 부분에서 세부지점에 대한 자료 추출 시 구득이 쉽지 않았다. 대부분의 자료는 최소단위로 동단위에서 구득이 용이하였으며, 이러한 관계로 동단위로 적용이 타당할 것으로 판단된다.

## 2. 지역안전도 평가인자의 선정

홍수재해에 대한 지역안전도를 평가하기 위해서는 홍수피해에 영향을 미치는 요인들을 선정하고, 이들을 대표할 수 있는 인자를 도출하여야 한다. 지역안전도 평가를 위한 요인별 인자는 홍수피해 원인 조사 자료를 토대로 인자선정 원칙과 자료의 구득용이성을 검토하여, 선정하였다. 지점별 자료이거나 자료구득이 어려운 경우는 인자선정에서 제외하였으며, 다른 인자와의 관련성이 높은 인자들은 가장 대표적인 인자를 선정하였다. 지역안전도 평가는 크게 위험성과 저감성으로 구분될 수 있으며, 홍수 위험성은 홍수량 증가지점과 지형상 저지대인 경우 홍수피해 위험성을 증가시키는 영향을 반영한 자연적 요인, 과거 홍수피해 발생 지역의 경우 홍수 재발 가능성이 큰 영향을 반영한 과거피해 요인, 인구 및 자산, 사회기반시설 등이 밀집된 지역일수록 홍수시 많은 피해를 받을 잠재성이 큰 영향을 반영한 사회적 요인으로 구분하였다.

홍수 피해를 저감시키는 홍수 저감성은 구조물적 대책을 통한 홍수방어시설의 확대로 홍수피해위험을 저감할 수 있는 영향을 반영한 시설적 요인과 지역별 저감, 대비, 대응, 복구 대책 마련을 통해 홍수피해위험을 저감할 수 있는 영향을 반영한 행정적 요인으로 구분하였다. 각 요인을 대표할 수 있는 인자들을 각각 2, 3개씩 선정하였으며, 최종적으로 선정된 인자는 모두 12개이며,

표 1과 같다.

각 인자별 자료의 획득은 지역별 강우영향을 평가하기 위한 강수량 자료는 구청별 관측 자료를 이용하였으며, 홍수에 영향을 주는 호우주의보 발령 기준인 시간당 20mm 이상의 강우 발생 횟수를 기준으로 자료를 구축하였고, 유출량 증가를 야기시키는 불투수포장 비율은 서울 도시생태현황도(2005)에 수록된 서울지역 토지이용현황을 조사한 후 대상 소유역인 동별 불투수도포비율을 산정하였다. 저지대 지역은 서울시를 관류하는 하천인 한강의 홍수위를 기준으로 하여 한강의 계획홍수위(200년 빈도) 이하인 지역을 저지대로 분류하였으며, 침수면적은 침수피해주택관리대장을 기반으로 작성된 서울시 침수흔적도(서울시, 2004)를 이용하여 침수지역의 면적을 해당지역의 침수면적비로 계산하여 자료를 구축하였다. 홍수피해액은 재해연보에 기록된 과거 10년간 지역별 평균피해액자료를 산정하여 피해액 밀도로 환산하여 자료를 구축하였으며, 인구는 서울시 주민등록인구통계자료를 이용하여 인구를 수집 한 후 행정구역별 인구 밀도로 환산하여 자료를 구축하였다. 자산밀도는 표준공시지가 자료를 수집한 후 면적 평균하여 행정구역별 평균 표준공시지가 자료를 구축하여 자산밀도를 평가하는 자료로 활용하였으며, 사회간접시설은 홍수재해발생시 주로 피해를 입는 도로 및 철도에 대하여 평가하여, 행정구역별 도로 및 철도의 밀도를 계산하여 자료를 구축하였다. 외수방어능력은 행정구역별 인접하천의 개수율로 산정하였으며, 내수방어능력은 행정구역별 배수관거의 총 체적에 행정구역면적을 나눈 행정구역별 배수관거의 용량으로 평가 자료를 구축하였다. 홍수조절 용량은 빗물펌프장의 처리능력인 빗물펌프장의 혜택을 입는 몽리면적을 행정구역의 면적으로 나눈 행정구역별 몽리면적비를 산정하여 평가 자료를 구축하였고, 행정적 요인은 홍수재해저감을 위한 비구조물적인 대책을 고려하는 요인으로 소방방재청에서 시행하는 재난피해저감능력 진단점수를 이용하였다.

### 3. 자료의 계량화 및 표준화

자료의 계량화를 통해 홍수피해에 대한 안전도를 지표화하여 각 지역별 상대적인 홍수피해 안전도 정도를 손쉽게 파악할 필요가 있다. 또한, 임의지역의 홍수피해에 영향을 미치는 인자들을 선정하여도 인자마다 단위나 가중치가 다르기 때문에 단순히 합산하여 비교할 수 없다. 따라서 인자 값들의 크기와 단위에 따른 편차문제를 해소하기 위해서는 표준화하는 과정이 필요하며 본 연구에서는 Z점수법과 T점수법을 이용하여 표준화를 하였다. Z점수법은 어떤 분포의 원점수(raw score)를 표준점수  $Z$ 로 바꾸면 평균이 0, 표준편차가 1인 단위정상분포가 되기 때문에 산술적 조작을 쉽게 할 수 있고, 분포가 다른 점수들을 서로 비교할 수 있는 방법이다. 표준점수  $Z$ 를 계산하는 공식은 다음과 같다(식 1).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

여기서,  $Z$ 는 표준화 값,  $X$ 는 인자 값,  $\mu$ 는 인자에 대한 평균치,  $\sigma$ 는 인자에 대한 표준편차이다.

$Z$  점수법을 이용하여 표준화된 점수는 원점수가 평균보다 작을 경우에는 모두 음수로 표시되며, 대부분의  $Z$  점수가 소수점을 지니는 단점을 가진다. 또한 각 요인별 표준화된  $Z$ 점수가 양(+), 음(-)의 값으로 분포되어 지역안전도 평가를 위한 요인별 합산시 각 인자의 영향이 상쇄되는 결과를 초래할 수 있다.

따라서 이러한 단점을 보완하기 위해서는 표준화된 값이 모두 양의 값을 갖도록 변환하여야만 할 것이다.  $T$  점수법은 이러한  $Z$  점수법의 단점을 보완하기 위하여 식 2와 같이  $Z$ 점수를 평균  $\mu$ , 표준편차  $\sigma$ 의 분포로 전환시킨 표준점수이며, 각 인자들을 평균 50, 표준편차 10인 양의 값을 갖도록 표준화하였다.

$$T = \sigma \times Z + \mu \quad (2)$$

### 4. 인자 선정의 적절성 검증

#### 1) 인자 독립성 검토

세부 평가 인자 중 각 세부 인자간의 독립성이 부족하여 상호 중첩되는 영향이 나타날 수가 있다. 예를 들어, 사회적 요인으로 지정한 인구밀도, 자산밀도, 사회간접시설 등이 독립적인지 여부에 대한 조사가 필요하다. 일반적으로 인구가 많으면 자산밀도가 높고, 사회간접시설이 많을 것이라는 추론을 할 수 있기 때문이다. 따라서 인자간 독립성에 대한 통계적 검토가 필요하며, 이를 위해 각 인자들의 상관관계를 검토하였다. 각 변수 사이에 상관관계가 있는지 어떤지를 수치적으로 판단하는 데는 상관계수라고 부르는 지표를 이용한다. 상관계수는 통상  $r$ 이라는 기호로 표기되고, -1에서 1까지의 값을 취하며 상관계수의 부호가 양(+)일 때에는 양의 상관관계가 있다는 것을, 음(-)일 때에는 음의 상관관계가 있다는 것을 나타낸다. 변수  $x$ 와  $y$ 의 상관계수는 다음 식 3을 이용한다.

$$r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}} \quad (3)$$

여기서,  $S(xx)$ 는  $x$ 의 편차제곱의 합,  $S(yy)$ 는  $y$ 의 편차제곱의 합,  $S(xy)$ 는  $x$ 와  $y$ 의 편차곱의 합이다.

상관관계의 강도는 절대값  $|r|$  또는 자승값  $r^2$ 으로 평가하며, 1에 가까울수록 상관이 강하다는 것을 의미한다. 변수들 간의 상관계수를 검토한 결과 선별 인자간의 상관관계는 낮게 나타나며, 각 인자간의 독립성이 보장됨을 확인할 수 있었다.

#### 2) 요인수의 검증

요인의 인자수를 결정하는 방법에는 고유값을 이용하는 경우가 가장 많으며 기준은 보통 고유값 1이 된다. 그림 2는 경우, 불투수비율,

TABLE 2. 각 인자별 상관관계

구 분	강우	불투수 비율	저지대	침수 면적	홍수 피해액	인구 밀도	자산 밀도	사회간접 시설	내수방어 능력	홍수조절 용량
강우	1.00	0.09	-.079	-.143	.120	.114	-.082	-.009	.140	.031
불투수비율	0.09	1.00	.096	.112	-.103	.647	.136	.533	.406	.106
저지대	-0.08	.096	1.00	.072	-.236	-.015	.155	-.049	-.107	.276
침수면적	-0.14	.112	.072	1.00	.414	.191	-.240	.009	-.107	.276
홍수피해액	0.12	-.103	-.236	.414	1.00	.108	-.293	-.023	-.010	-.208
인구밀도	0.11	.647	-.015	.191	.108	1.00	-.190	.359	.485	.122
자산밀도	-0.08	.136	.155	-.240	-.293	-.190	1.00	.099	-.016	-.061
사회간접시설	-0.01	.533	-.049	.009	-.023	.359	.099	1.00	.254	-.235
내수방어능력	0.14	.406	-.107	-.017	-.010	.485	-.016	.254	1.00	.031
홍수조절용량	0.03	.016	.276	.047	-.208	.122	-.061	-.235	.031	1.00

저지대, 침수면적, 홍수피해액, 인구밀도, 자산 밀도, 사회간접시설 등 홍수 위험성 인자들에 대한 성분별 요인수를 검증한 스크리도표를 보여준다. 이 스크리도표는 각 요인의 고유값을 그림 2에서 보여주는데 첫 번째 요인부터 마지막 요인으로 갈수록 고유값은 점점 작아진다. 스크리도표로부터 본 분석 시 고유값 1 기준을 만족시키는 요인은 세 개임을 알 수 있다. 이를 통하여 홍수 위험성을 자연적 요인, 과거피해 요인, 사회적 요인으로 구분하였다.

요인 검증을 위해 통계 분석 프로그램인 SPSS를 이용하여 요인분석을 수행하였다. 요인분석 방법으로 주성분 분석을 이용하였고, 요인 회전방법으로 직각 회전방식 중 베리벡스법(Varimax)을 이용하였다. 그 결과 표 3과 같이 세 요인에 대한 각 인자별 적재량을 추출하였고, 각 요인에 높게 적재된 변수들을 중심으로 요인의 명칭을 부여 할 수 있다. 성분 1은 인구밀도, 불투수비율, 사회간접시설에서 공통적 특성을 가지고 있고, 성분 2는 홍수피해액, 침수면적에서 공통적 특성을 가지며, 성분 3은 강우, 저지대, 불투수비율의 공통적인 특성을 가지고 있는 것으로 보인다. 이 결과를 가지고 각 요인의 의미를 부여할 수 있으며, 성분 1은 사회적 요인, 성분 2는 과거피해 요인, 성분 3은 자연적 요인으로 부를 수 있다. 이를 통해 본 연구에서 제시한 요인의 수 및 분류 항목은 요인분석 결과 적

정한 것으로 판단된다.

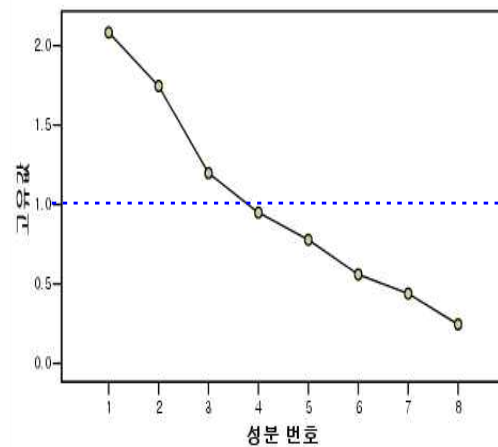


FIGURE 2. 스크리도표를 이용한 요인수 검증

TABLE 3. 요인분석 결과

구 분	성분		
	1	2	3
인구밀도	.808	.253	-.076
자산밀도	.774	-.091	.056
사회간접시설	.736	-.112	-.037
홍수피해액	-.031	.779	-.187
침수면적	.155	.742	.440
불투수비율	.060	.216	.666
강우	.128	-.018	.714
저지대	.067	-.226	.655

### 5. 평가인자의 가중치 산정

본 연구에서는 연구의 목적과 연구기간 등을 고려할 때 인자간의 중요도 파악이 가능하고, 작성자가 쉽게 작성할 수 있으며, 짧은 기간에 신속하게 균형 잡힌 가중치를 산정할 수 있는 점수할당법을 적용하였다. 점수할당법은 인자 수가 증가하면 작성자들의 배점이 곤란하다는 것이 단점이다. 그러나 본 연구에서는 안전도 평가 영향을 미칠 수 있는 요인을 크게 위험성과 저감성으로 나누고, 이들을 각각 계층적 구조를 통해 점수할당법의 단점을 보완하고, 작성자들이 손쉽게 균형 잡힌 가중치를 산정할 수 있도록 하였다. 가중치를 산정하기 위해 학계, 연구소, 기업체, 국가기관 종사자 50명을 대상으로 경력은 대부분 관련 직종 3년 이상의 경력자로서 하천 및 방재 분야, 도시계획, 기상, 댐 관리 등의 전문가에게 조사를 실시하였다. 조사대상자 50명 중에서 조사에 응답한 사람은 44명으로서 회수율은 88%였으며 평가인자별 가중치는 표 1과 같다. 전문가들은 홍수피해 안전도는 주로 강우량과 같은 자연적 요인과 시설적 요인과 저감능력점수 등에 높은 점수를 줌으로써, 정확한 홍수예경보와 구조적, 비구조적 대책 수립을 통해 안전도를 높일 수 있는 것으로 생각하고 있는 것으로 나타났다.

### 6. 지역안전도 평가모형의 개발

지역안전도 평가의 요소별 평가는 인자별로 구축된 자료를 표준화 한 후 홍수피해 요인별 (위험성, 저감성) 평가를 위하여 각 인자별로 산정된 가중치를 인자에 곱한 후 요소별로 합산하여 평가 점수를 산정하였다. 하지만 요소별로 구축된 자료들이 자료의 성격에 따라 구단위 또는 행정동 단위, 법정동 단위와 같이 공간적 범위가 상이하게 구축되어 이들에 대한 통일화 과정이 필요하다.

이를 위하여 그림 3와 같이 GIS tool을 이용하여 각 요소들의 레이어를 중첩시킨 후 각 요소별 최소 단위인 구 및 동별로 분할한 후 각 영역의 속성정보인 인자들의 점수를 지역안전도 평가를 위한 최소 공간단위인 동단위로 면적 평균하여 통합하였다. 요소별 평가는 각 인자별 가중치를 부여하는 가중 합을 통하여 산정하였다.

## 지역안전도 평가모형 적용

### 1. 지역안전도 평가모형의 적용

각 세부항목 별 계량화 및 표준화한 자료를 바탕으로 서울시에 대해서 시범적용을 실시하였다. 표 1의 각 세부항목별 평가 결과를 조합하여 위험성 지수 및 저감성 지수를 식 4와 식 5에 의해 산정할 수 있으며, 분석 결과는

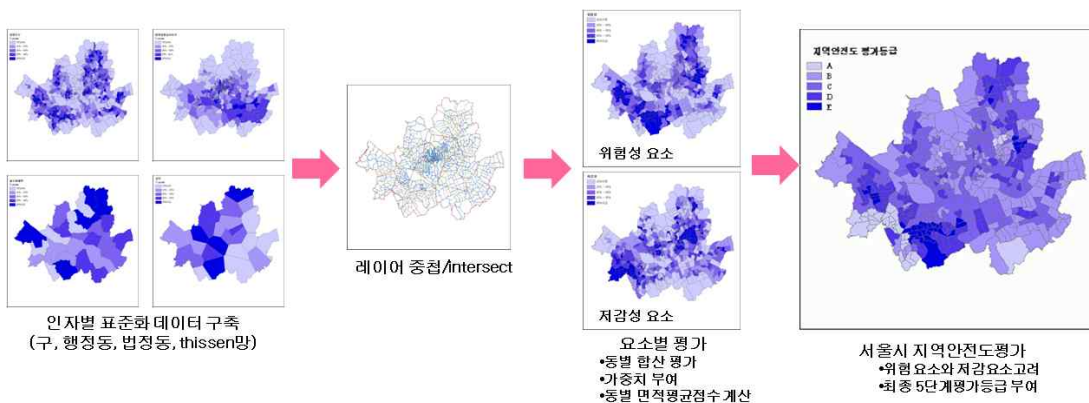


FIGURE 3. 지역안전도 평가 과정

자연적 구분법에 의해 그림 4와 같이 A(小)부터 E(大)까지 5등급으로 구분하였다. 즉, E등급은 위험성의 경우 위험요소가 큰 것을 의미하고, 저감성의 경우 시설적 요인과 행정적 요인이 잘 구비되고 있음을 나타낸다.

$$RI = \alpha_1 \times F_n + \alpha_2 \times F_d + \alpha_3 \times F_s \quad (4)$$

$$MI = \alpha_4 \times F_f + \alpha_5 \times F_a \quad (5)$$

여기서, RI는 위험성 지수(Risk Index), MI는 저감성 지수(Mitigation Index),  $F_n$ 은 자연적 요인,  $F_d$ 는 과거피해 요인,  $F_s$ 는 사회적 요인,  $F_f$ 는 시설적 요인,  $F_a$ 는 행정적 요인,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 는 계수이며, 가중치 산정을 위한 설문조사 결과를 이용하였다.

지역안전도 평가를 위한 안전도 지수는 위험성과 저감성에 대한 다음 선형 관계식에 의해 산출될 수 있다(식 6).

$$SI = \alpha \times RI - \beta \times MI \quad (6)$$

여기서, SI는 안전도 지수(Safety Index)이며,  $\alpha, \beta$ 는 안전도 지수의 선형 계수이다.

위험성과 저감성을 고려한 지역안전도 평가 결과는 그림 5와 같다.

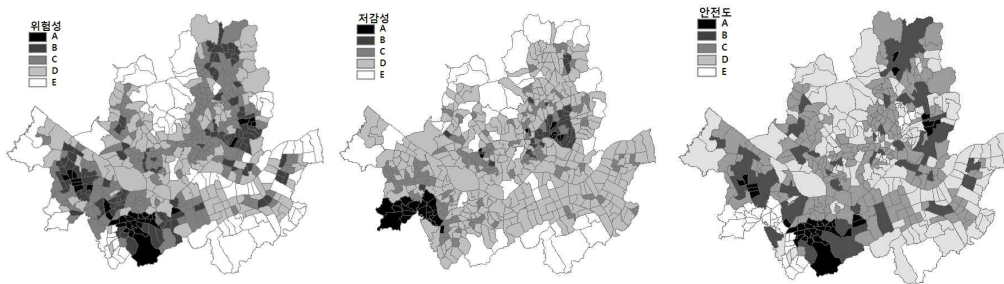
## 2. 지역안전도 평가모형의 등급분류 방법

지역안전도평가에 의하여 평가된 지역에 대

하여 위험성과 저감성 특성을 고려하여 5단계로 구분하고자 할 때 등급 구분에 대한 이론적 근거가 필요하다.

등급구간의 분류방법이란 계급의 간격과 등급구간의 경계를 결정하는 방법이라고 할 수 있으며, 여러 가지 방법이 있으나 본 연구에서는 대표적인 4가지 등급 분류법인 자연적 구분법(Jenks최적화방법), 등 간격법, 표준편차법, 분위법에 대하여 검토해보았다. 자연적 구분법은 자료의 도수 분포도를 토대로 자연적으로 구분될 수 있는 지점들을 중심으로 하여 분류하는 방법으로 그룹 내에서는 동질성을, 그룹 간에서는 이질성을 최대화하여 그룹화 하는 것이다. 자연적 구분법은 등급평균으로부터 편차 제곱의 합을 최소화시키는 방법을 찾음으로써 원하는 등급의 수에 따라서 최적 등급구간의 경계를 설정할 수 있다는 장점이 있다. 등 간격법은 자료를 분류화 하는데 가장 일반적으로 쓰이는 방법으로 각 등급의 구간을 등 간격(equal interval)으로 나누는 방법이다. 등 간격법에 의해 단계 구분도를 구축하는 경우 직관적으로 보기에 상당히 좋으며 범례도 질서 정연하게 나타날 수 있으나 행정구역단위가 같은 크기이며, 나타내고자 하는 현상의 도수분포도가 사각형으로 일정하게 나타나는 경우에 적용하기 좋은 방법이지만 실제에서는 그러한 경우가 거의 없다.

표준 편차법에 의한 분류는 평균과 표준편차를 산출한 후 평균값을 중심으로  $\pm$ 표준편



(a) 위험성 평가

(b) 저감성 평가

FIGURE 4. 요소별 평가 결과

FIGURE 5. 지역안전도 평가

결과



차의 값에 의해 구간의 경계를 설정하는 것이다. 일반적으로 자료 집단이 정규분포를 하고 있는 경우에 계급구간의 경계로 사용하는 것이 좋은 방법이다.

분위법은 각 등급에 같은 수의 사례수가 포함되도록 등급구간의 경계를 설정하는 것으로 분위법을 이용한 경우 등급구간은 불규칙한 간격으로 만들어진다. 따라서 행정구역의 크기가 상당히 다를 경우 이 방법을 사용하는 것은 좋지 않으며, 행정구역의 크기가 서로 다른 경우 등급구간의 경계의 중요성을 약화시키게 된다.

다양한 분류방법에 의해서 구축된 단계구분도 가운데 어느 지도가 더 좋은가를 판정하는 방법으로 Jenks and Caspell(1971)은 오차지수 측정법을 고안하였다. 등급의 수와 등급구간의 경계에 따라서 지도상에 나타난 면적 기호패턴이 달라지므로, 실제 각 지역의 실측값과 지도상에 등급구간으로 분류되어 표현된 등급구간 값의 차이를 측정하여 그 차이가 적게 나타나는 지도일수록 보다 잘 구축된 지도라고 판정 할 수 있다. 즉 가장 정확한 지도란 실측값과 등급구간으로 나타난 수치가 서로 일치되도록 표현된 지도라고 할 수 있다. 단계구분도의 오차는 식 7과 같은 오차지수의 형태로 표현되며 오차지수의 산정방법은 표 4와 같다.

$$\begin{aligned} \text{오차 지수 (E)} &= \frac{\text{④ 특정분류법에 따른 오차}}{\text{⑤ 최대오차}} \quad (7) \\ &= \frac{\text{각 지역 면적비} \times (\text{계급구간의 중앙값} - \text{실제 관측치})^2}{\text{각 지역 면적비} \times (\text{계급구간의 중앙값} - \text{평균값})^2} \end{aligned}$$

본 연구에서는 지역안전도 평가 결과에 대한 최적 평가등급 분류법을 결정하기 위해 4가지 등급 분류법인 자연적 구분법(Jenks최적화방법), 등간격법, 표준편차법, 분위법을 표 5와 같이 각 분류법의 오차지수를 산정하여 비교하였다.

TABLE 4. 오차지수 산정절차

구분	산정 방법
① 각지역 면적비	각 행정동 면적 / 서울시면적
② 실측값	각 동별 안전도 평가점수
③ 단계 구분도에 의한 값	각 분류법별 계급구간의 중앙값(median)
④ 특정분류법에 따른 오차	① × (② - ③) <sup>2</sup>
⑤ 최대치 오차	① × (② - 평균값) <sup>2</sup>

※ 평가 단위 : 행정동

TABLE 5. 분류법에 따른 오차지수 산정

등급 분류법	자연분류법 (jenks최적화 방법)	등 간격법	표준 편차법	분위법
특정분류법에 따른 오차	0.907	1.364	0.944	1.334
오차지수 (E)	0.888	0.831	0.883	0.835

오차지수 산정결과 오차지수가 1에 가장 가까운 자연분류법(jenks최적화방법)으로 분류한 것이 가장 적합하다고 할 수 있다.

### 결론

일반적으로 지역안전도 평가지도와 같은 단계구분도 작성 시 단위지역의 면적이 클수록 자료의 공간적 변이는 감소되거나 평균화 되어지는 경향이 있는 반면에, 단위지역이 작을수록 공간적 변이가 그대로 잘 나타난다. 즉 행정구역의 수가 증가될수록(동별 평가) 공간적 분포는 상세하게 나타나게 되고, 반면에 행정구역의 수가 적을수록(구별평가) 공간적 분포는 개략적으로 표현된다. 본 연구에서는 동단위로 시범 적용한 것으로써 치수방재사업을 수행 및 대책 마련을 위해서는 소단위구역별 관련 자료의 축적이 요구된다.

본 연구에서 개발한 모형은 홍수재해에 대한 위험성과 저감성을 고려하여 지역별 상대적인 안전도를 정성적으로 평가 할 수 있는

모형으로 구 또는 시에서 지역방재계획 등의 수립 시 위험성과 저감성의 수준을 파악할 수 있으며 이들을 고려한 지역의 안전도 수준을 파악하는 기준이 될 것이다. 이를 토대로 홍수재해예방사업의 방향성 및 투자 우선순위 결정에 도움이 될 것으로 판단된다.

추후 다른 도시들에 대한 시범적용을 통하여 모형의 적용성을 높이고, 구체적인 방재시설 설치 및 계획을 위해서는 통합 내배수범람 모형과 같은 정량적인 분석 모형의 개발과 이를 통한 계획이 필요할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2008학년도 홍익대학교 학술연구진흥홍비에 의하여 지원되었음. **KAGIS**

## 참고문헌

- 건설교통부. 2000. 수자원 장기종합계획.
- 국토연구원. 2005. 홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구. 연구보고서.
- 박태선, 김광목, 윤양수, 이승복. 2005. 홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구. 국토연 2005-6. 국토연구원.
- 서울특별시. 2004. 극한강우시 침수예상지역 대피계획 수립. 연구보고서.
- 소방방재청. 2005. 지역별 안전도 평가기법 개발연구 보고서.
- 소방방재청. 2009. 재해연보 2009.
- 이길성, 정은성. 2006. 도시유역관리를 위한 통합적인 접근방법. 한국수자원학회논문집. 39(2):161-178.
- 이승중, 김영오, 이재형, 이윤영. 2006. 유역치수안전도를 위한 홍수피해잠재능의 개선. 한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집. 226-230쪽.
- 정은성, 이길성. 2007. 다기준 의사결정기법을 이용한 공간위험 순위산정. 한국수자원학회 논문집. 40(12):969-983.
- 정인철. 1998. 단계구분도 제작을 위한 최적 분류방법에 대한 소고. 부산지역연구 7. 1-12쪽.
- 최승안, 이충성, 심명필, 김형수. 2006. 다차원 홍수피해산정방법(I): 원리 및 절차. 한국수자원학회논문집. 39(1):1-9.
- 통계청. 2002. 시군구 100대 지표.
- Cutter, S.L. 2001. American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters. Joseph Henry Press, USA. 250pp.
- 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. Annals of the Association of American Geographers 61(2):217-244.
- Philipp Schmidt-Thomé. 2006. The Spatial Effects and Management of Natural and Technological Hazards in Europe-ESPON 1.3.1 Executive Summary. Geological Survey of Finland. **KAGIS**