

홍수위험지도 활용을 위한 낙동강 유역에서의 홍수취약도 분석*

김태형¹ · 한건연¹ · 조완희^{2*}

Vulnerability Analysis in the Nakdong River Basin for the Utilization of Flood Risk Mapping*

Tae-Hyung KIM¹ · Kun-Yeun HAN¹ · Wan-Hee CHO^{2*}

요 약

오늘날 홍수재해의 특성은 기후변화와 이상기후의 영향으로 인하여 점점 더 높은 강도를 나타내고, 예측이 불가능한 기상이변의 형태를 보이고 있다. 이러한 기상이변에 따른 댐 및 제방 등의 수공구조물 붕괴, 또는 내수배제 불량 등으로 인한 침수피해를 예방하기 위해 침수범위의 예측 및 분석을 통한 홍수위험지도 작성의 필요성이 대두되었고, 실제로 국가 차원의 홍수위험지도가 제작되고 있다. 본 연구에서는 이러한 홍수위험지도 제작에 있어서 단순한 위험성(hazard)의 개념이 아닌 위험도(risk)개념으로의 확장을 위해 홍수에 노출된 지역의 인구수, 경제적 활동의 형태, 홍수가 발생했을 때 2차적 피해를 불러올 수 있는 설비 등을 나타내는 홍수 취약도(flood vulnerability)에 대한 정량적 평가를 실시하고자 하였고, 낙동강 유역에 적용하여 행정구역별로 세분화된 홍수위험지도 제작을 위한 취약도 지표를 산정하였다. 본 연구에서 연구된 결과는 각 지자체 및 관련부처에서 효율적인 방재대책 수립 및 치수방재사업에 대한 우선순위 결정을 위한 정량적 자료 및 중요한 가치판단 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 위험성, 위험도, 홍수위험지도, 홍수취약성, 취약도 지표

ABSTRACT

The characteristics of flood damages have been increasingly strengthened and take the form of unpredictable and unusual weather phenomena caused by climate change and climate anomalies. To prevent inundation damage caused by breach of hydraulic

2011년 8월 2일 접수 Received on August 2, 2011 / 2011년 9월 5일 수정 Revised on September 5, 2011 / 2011년 9월 19일 심사완료 Accepted on September 19, 2011

* 본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행된 연구성과물로서 관계당국에 감사드립니다.

1 경북대학교 공과대학 건축·토목공학부 School of Archi. & Civil Engineering, Kyungpook National University

2 한국수자원공사 댐·유역관리처 Dam & Watershed Dept., K-water

* 연락처 E-mail : wanhee@kwater.or.kr

structure such as dam or levee, and trouble of drainage of inner basin, the prediction necessity of flood inundation area, flood risk analysis, and drawing flood risk maps have been on the rise, and the national flood risk maps have been produced. In this study, the quantitative flood vulnerability analysis was performed, which represents population living within flood-affected areas, types of economic activities, facilities affected by flood, in order to extend flood risk mapping from simple hazard concept into risk based idea. By applying it to Nakdong River basin, the flood vulnerability indices were estimated to draw flood risk maps subdivided into administrative districts. The result of this study can be applied to establish the disaster prevention measures and priority decision of disaster prevention project.

KEYWORDS : Hazard, Risk, Flood Risk Map, Flood Vulnerability, Vulnerability Index

서 론

21세기에 들어 홍수 규모는 대형화 되어가고 있고, 그 발생빈도 및 발생강도도 증가하고 있다. 또한 최근에는 지구온난화가 지속화되면서 전 세계적으로 높은 기상이변들이 속출하고 있다. 우리나라도 예외는 아니어서 지난 100년 동안 기온이 약 1.5℃ 가량 상승하였고, 집중호우나 태풍과 같은 극단적인 기상현상들로 인한 피해가 날이 갈수록 심해지고 있다. 이러한 이상기후에 따른 태풍, 집중호우 등의 대규모 호우는 댐 및 제방 등의 수공구조물 붕괴와 같은 비상상황을 초래시킬 수 있다. 국내에서는 2002년 태풍 루사로 인해 낙동강 유역 및 낙동강 연변의 제방이 붕괴되는 피해가 발생했으며, 2006년 집중 호우시 강원도 지역 및 남강 지역의 제방붕괴가 발생하였고, 충주댐 수위가 계획홍수위까지 이르러 댐 월류 직전의 위험한 상황을 맞기도 하였다. 이와 같은 피해들을 통해 침수범위의 예측 및 분석을 통한 홍수위험지도 작성의 필요성이 대두되었고, 실제로 국가 차원의 홍수위험지도가 제작되고 있다. 그러나 이전까지의 홍수위험지도 제작에 대한 연구 및 실무에서 사용되고 있는 홍수위험지도는 단순한 위험성(Hazard) 개념이 적용된 Flood Hazard Map

제작방법에만 국한하고 있고, 정교한 수치해석 결과를 재해에 대한 홍수취약도(Flood Vulnerability)와 연계한 Flood Risk Map 제작의 표준화와 이에 근거한 체계적인 홍수위험지도 제작은 이루어지고 있지 않은 실정이다. 특히, 하천의 수공구조물 붕괴에 의한 홍수위험지도의 제작은 특정지점의 붕괴에 의한 지도제작에만 국한하고 있고, 과거 붕괴지점 및 취약지점에 대한 공학적 판단에 의한 수공구조물 붕괴 시나리오를 적용하여 범람범위를 결정하는 수준에 머물러 있다. 더욱이, 홍수위험도 분석에 있어서 홍수에 노출된 지역의 인구수, 홍수에 노출된 지역에서의 경제적 활동의 형태, 홍수가 발생했을 때 2차적 피해를 불러올 수 있는 설비 등을 나타내는 홍수취약도(Flood Vulnerability)에 대한 정량적 평가가 이루어지지 못하고 있으며, 경우에 따라서는 직관에 의한 정성적인 평가기준에 의해서 홍수위험지도 제작이 수행되고 있는 실정이다.

최근 들어 선진국에서는 홍수위험지도 제작에 있어 정성적으로 분석해오던 홍수 취약도(Flood Vulnerability)개념을 정량적으로 적용하여 홍수위험지표 및 홍수위험강도 등에 의해 Flood Hazard Mapping 개념에서 Flood Risk Mapping 개념의 홍수위험지도 제작 기법이 제안되고는 있으나, 홍수 취약도 지표 산정 기법에 대한 방법론적인 면에서 다소 단순하고 직관에 의한 분석이 이루어지고

있다. 취약도 지표 산정에 대한 국외의 연구는 주로 국가적 차원의 연구개발 사업이 이루어지고 있다. Karmakar and Simonovic (2007a)은 홍수위험도(Flood Risk)를 위험성(Hazard), 취약도(Vulnerability), 노출도(Exposure) 지표의 곱으로 표현하고, 노출도 지표를 물질, 경제, 사회, 사회기반시설에 대한 취약도로 분류하여 정의하였다. Karmakar and Simonovic(2007b)은 이후에 Upper Thames River 유역에 대해 앞서 정의한 홍수위험지표를 적용하여 유역별로 산정하여 제시하였으며, 이를 웹을 기반으로 한 표출시스템으로 구축하여 제공하였다. Zhang *et al.*(2002)은 홍수위험지표를 홍수피해발생가능성, 과거피해내역 및 규모, 홍수피해의 시간변화, 사회경제적 발전수준 및 취약성, 홍수피해에 대한 저항능력 및 회복능력으로 구분하여, 각 인자의 합을 홍수위험지수로 계산하였으며, Kannami(2008)는 홍수위험지수를 위험성(Hazard), 노출도(Exposure), 그리고 기본적 취약성(Basic Vulnerability)의 곱에 비구조적 대책 및 구조적 대책의 평균으로 표현한 수용력(Capacity)을 나눈 값으로 정의하여 국가별로 광범위하게 평가하여 제시하였다.

국내의 홍수취약도 지표 산정은 홍수위험지도 제작에 대한 일부분으로써 최근 들어 많은 연구가 진행되고 있다. 김주훈 등(2003)과 박경훈(2003)은 RUSLE 모형과 GIS의 연계를 통한 토양침식 위험도 평가를 수행하였으며, 유환희 등(2005)은 도시지역에 대한 재해위험도의 평가를 위해 침수, 화재, 건물붕괴, 그리고 대피에 대한 위험도를 산정한 바 있고, 이창희 등(2006)은 홍수피해영향인자를 위험성요인과 저감성 요인으로 분류하여 서울시에 대한 지역안전도 평가모형을 구축하였다. 김석규 등(2007)은 영산강 유역의 수자원 단위유역을 대상으로 직접유출량을 계산하여 홍수위험지표로 설정하였고, 김정엽 등(2006)과 한건연 등(2007)은 홍수위험지도 제작에 있어 위험도(Risk)개념을 정량적으로

적용하여 홍수위험지표 및 홍수위험강도 등에 의해 Flood Hazard Mapping 개념에서 Flood Risk Mapping 개념의 홍수위험지도 제작 기법을 제안한바 있다. 장옥재와 김영오(2009)는 지역회귀분석을 이용하여 가능피해금액을 추산하고 이를 통해 홍수위험지표를 산정하여 일부 광역시에 적용한 바 있으며, 윤홍식 등(2009)은 GIS 기법 및 발생자료 분석을 통하여 산사태 위험지도를 작성하는 연구를 수행하였고, 임광섭 등(2010)은 홍수위험지수를 압력지수, 현장지수, 대책지수로 구분하여 전국의 중권역 단위로 적용한 바 있다. 그러나 현재까지의 위험지표 및 위험도 산정 기법이 방법론적인 면에 있어 다소 단순하고, 직관에 의한 위험도의 분류가 이루어지고 있으며, 위험도 지표의 산정기준 및 방법 또한 연구자들마다 대부분 상이하다. 따라서 위험도 지표의 산정과정은 전문가의 의견에 의존하는 경우가 많아 인자 선정과정과 가중치 결정과정에 전문가들의 주관이 개입되는 등 홍수위험지표의 정량화에 어려움을 겪는 경우가 많다. 본 연구에서는 Flood Risk Mapping 기술의 적용에 있어 중요한 요소인 취약도 분석지표를 산정하고, 국내 낙동강 유역에 대해 행정구역별로 세분화된 홍수위험지도 제작을 위한 취약도 지표를 산정하고자 하였다. 또한 홍수위험지표 및 지수들의 결합에 대한 다양한 방법론을 제시하고, 그에 따른 지도화 기법을 확립하고자 하였다.

홍수취약도 지표의 산정

1. 홍수위험도 지표의 정의

홍수위험도의 평가와 일반 대중, 정책결정권자, 수자원관리자 등의 모든 이해당사자에 대한 홍수위험도 정보의 제공은 홍수관리의 모든 과정에 있어서 매우 중요한 사항이다. 홍수위험도의 인지는 정책결정권자들로 하여금 토지개발계획 및 토지이용구역의 개발, 비상대응전략 수립, 폐기물 처리 부지선정, 사회

기반시설 예산 결정, 모든 단계에서의 일반 정책 개발 등에 도움을 준다. 수자원관리 및 기타 전문가들은 홍수방어 기반시설(저수지, 제방, 배수관 등)의 계획, 설계, 건설, 유지 등에 있어서 홍수위험도 평가정보를 이용할 수 있다. 홍수위험도 정보는 연구와 교육에 있어서도 이용될 수 있다. 홍수위험도 분석에 대한 사용자들의 지식에 대한 각각의 유형은 모두 다르고, 홍수위험도 정보를 이용하는 방법도 각기 다르므로 본 연구에서는 홍수위험지도 작성을 위한 도구로서 홍수취약성 평가 방안을 제시하였다.

홍수위험도(Flood Risk)는 어떠한 확률하의 홍수에 관련되는 발생 가능한 피해를 나타낸다. 즉, 홍수에 노출된 지역의 인구수, 홍수에 노출된 지역에서의 경제적 활동의 형태, 홍수가 발생했을 때 2차적 피해를 불러올 수 있는 설비 등을 의미까지 포함하는 개념이다. 본 연구에서는 홍수위험도(Flood Risk)를 위험성(Hazard)과 취약도(Vulnerability)의 조합으로 정의하였다. 이를 수학적으로 나타낸 식 1과 같다

$$Flood Risk = Hazard \times Vulnerability \times Exposure \quad (1)$$

2. 취약도 지표의 선정

집중호우 및 수공구조물 붕괴 등에 의한 홍수재해에 기여하는 그 요인들은 기상학적 유발요소, 지표면 상태와 연관된 자연요소, 인류와 사회 등의 상태와 관련된 사회경제적 요소 등과 관계된 광범위한 측면을 포함한다. 이러한 요소들 간의 상호작용을 정량적으로 분석하기 위해 취약도 지표를 민감도, 노출도, 저감성 지표로 구분하였다.

민감도 지표는 홍수피해의 원인이 되는 지표로서 본 연구에서 사용한 민감도 관련 지표로는 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)에서 정한 50가지 기상변수 중 극치값을 나타낼 수 있는 일최대강수량 및 극

치강수량, 일강수량 80mm이상인 날수, 그리고 유출모형으로 분석된 유출량 자료를 지표로 설정하였다. 산정된 지표의 수치가 높을수록 해당지역이 홍수에 대해 취약한 조건을 가질 수 있는 것으로 판단할 수 있다. 노출도 지표는 민감도 요소에 의한 피해에 노출되어 있는 정도 및 현황을 나타내는 지표이며 일반적으로 재해사상에 대한 인구의 반작용, 반응 및 저항력과 홍수 사상에 대한 시설물의 위험이나 노출 또는 한 홍수사상에 대한 재해를 포함한다. 본 연구에서 사용한 노출도 지표로는 각 유역별 평균고도, 단위면적당 인구밀도, 단위면적당 자산밀도, 유역의 사회간접시설의 밀도를 사용하였다. 노출도 지표를 산정함으로써 분석되는 지역에 대한 홍수 피해에 대한 정도를 분석 할 수 있다. 저감성 지표는 위험성 요소에 의한 홍수피해를 저감시키는데 기여하는 인자로 유역의 홍수를 분담할 수 있는 내수배제시설인 각 유역의 펌프 양수량과 외수방어시설인 하천 개수율, 홍수조절 용량 등으로 나타낼 수 있다. 저감성 지표를 산정함으로써, 해당 지역의 홍수피해에 대한 대응능력의 정도를 파악할 수 있다.

낙동강 유역에 대한 행정구역별 취약도 지표 선정

1. 유역의 일반현황 및 소유역 구분

민감도, 노출도, 저감성 지표로 구분된 홍수취약도 지표 산정을 위해 도시지역 및 농촌지역 등의 지역별 특성차를 한꺼번에 표현할 수 있도록 대권역에 대해 적용하고자 하였고, 그중 분류 및 지류 하천에서의 홍수사상 발생시 심각한 피해가 발생해 왔던 낙동강 유역을 대상유역으로 선정하였다(표 1).

그림 1과 같이 낙동강 유역을 지방자치단체의 행정구역 단위인 57개 시·군·구로 구분하여 홍수취약도 분석을 실시하였으며, 산정결과를 공간분포로 나타내어 지역적인 분포경향과 지표간의 상관성을 평가하고자 하였다.

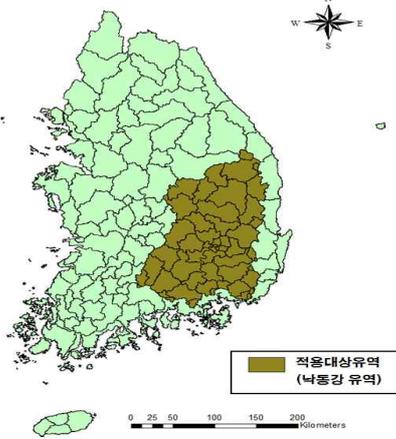


FIGURE 1. 대상유역의 위치도

2. 민감도, 노출도, 저감성 지표의 구성요소에 대한 자료 구축

1) 민감도 지표의 구성요소에 대한 자료 구축
 민감도 지표는 홍수피해의 원인이 되는 지표로서 본 연구에서 사용한 민감도 관련 지표로는 세계기상기구(WMO)에서 정한 50가지 기상변수 중 극치값을 나타낼 수 있는 일최대 강수량 및 극치강수량, 일강수량 80mm이상인 날수, 그리고 유출모형으로 분석된 단위면적당 유출량 자료를 지표로 설정하였다. 강수량에 대한 지표 값들은 각 유역별 대표값으로 나타내기 위해서 기상관측소 관측 값들을 공간보간 기법인 역거리가중법(IDW, Inverse Distance Weight)을 이용하여 산정하였다.

TABLE 1. 대상유역에 대한 시·군·구의 구분

광역시·도	시·군·구	광역시·도	시·군·구	
강원도	태백시	경상북도	영양군	
	거창군		영주시	
	고성군		영천시	
	김해시		예천군	
	마산시		울진군	
	밀양시		의성군	
	사천시		청도군	
	산청군		청송군	
	양산시		칠곡군	
	의령군		포항시 북구	
	진주시		남구	
	창녕군		달서구	
	창원시		달성군	
	하동군		동구	
경상남도	합안군	대구광역시	북구	
	함양군		서구	
	합천군		수성구	
	경산시		중구	
	경주시		강서구	
	고령군		금정구	
	구미시		부산진구	
	군위군		북구	
	김천시		사상구	
	문경시		사하구	
	봉화군		서구	
	상주시		울산광역시	울주군
	성주군		전라남도	구례군
	안동시		전라북도	남원시
영덕군				

역거리가중법(IDW)은 이동평균법(moving average)이라고도 하며 공간적으로 인접한 지점 사이값은 공통된 위치요인으로 인하여 유사성을 갖게 되는 반면 지점간 거리의 증가에 따라 이러한 유사성은 상대적으로 감소하게 된다는 것에 기초한다.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

여기서, $\hat{Z}(s_0)$ 는 위치 s_0 에서 우리가 예측

하고자하는 값, N 은 관측지점의 수, λ_i 는 관측지점 s_i 에 사용할 가중치, $Z(s_i)$ 는 관측지점 s_i 에서의 관측값을 나타낸다. 위 식 2에서 가중치는 거리가 증가함에 따라 그 값이 줄어든다.

또한 준 분포형 해석모형인 SWAT 모형을 이용하여 낙동강 유역에 대한 중권역별 유출량을 분석하여, 이를 행정구역별로 변환하여 구성하였다. SWAT 모형은 장기간에 걸친 다양한 토양속성과 토지이용, 그리고 관리상태의 변화 등에 따른 크고 복잡한 유역의 유출량, 유사량, 및 농업화학물의 영향을 예측하기

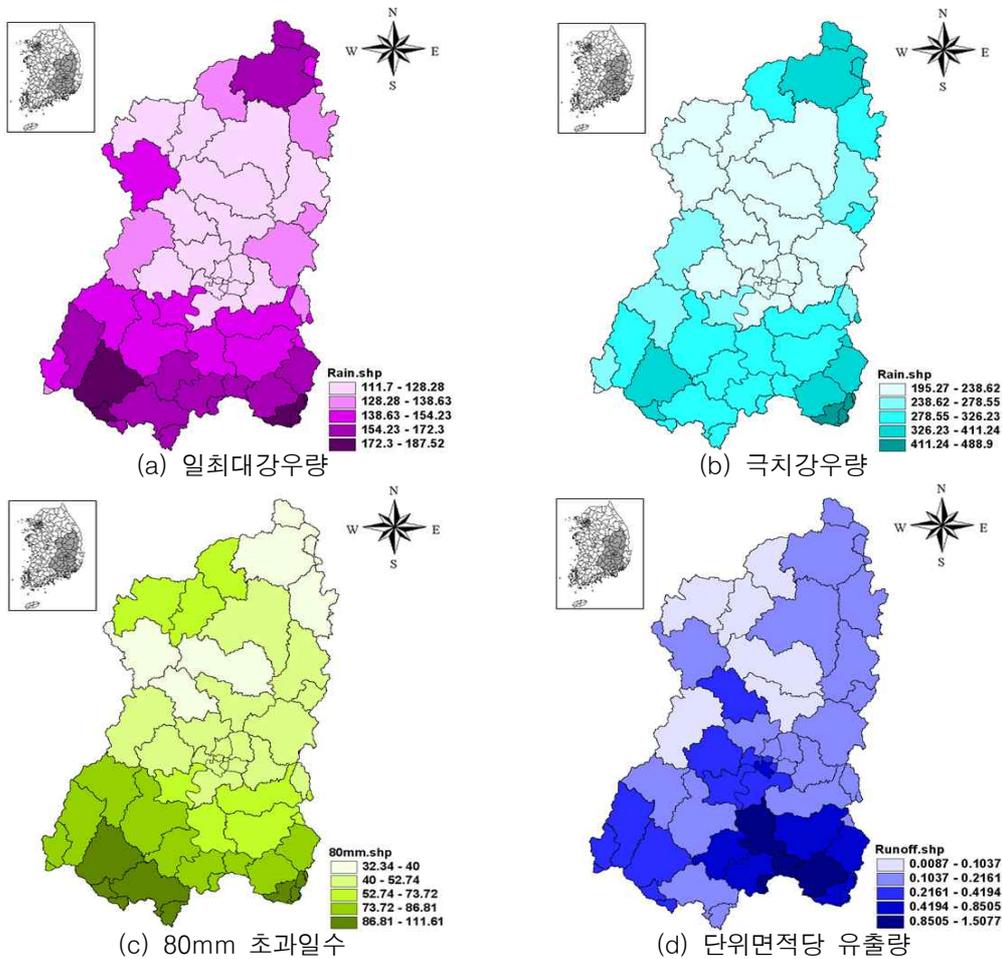


FIGURE 2. 민감도 지표의 구성요소

TABLE 2. 민감도 지표의 구성요소

광역시·도	시·군·구	일최대강수량	극치강수량	80mm 초과일수	단위면적당 유출량
강원도	태백시	161.700	355.600	40.0	0.1542
	거창군	143.457	267.748	83.2	0.2014
	고성군	166.014	294.971	94.6	0.1511
	김해시	169.463	373.141	86.8	1.0957
	마산시	172.300	284.500	82.0	1.5051
	밀양시	147.009	302.957	73.0	0.6337
	사천시	166.000	293.300	95.0	0.2660
	산청군	187.521	411.240	111.6	0.2661
	양산시	157.621	386.645	77.4	0.7696
	의령군	156.043	292.245	83.2	0.7013
	진주시	166.170	293.110	94.7	0.1776
	창녕군	147.787	298.097	73.7	1.3495
	창원시	163.277	290.991	78.8	1.5077
	하동군	177.350	355.069	103.7	0.2661
경상남도	함안군	171.207	285.998	84.2	0.5480
	함양군	161.383	309.877	85.5	0.2661
	합천군	149.636	298.530	79.0	0.2161
	경산시	127.616	224.407	44.7	0.1507
	경주시	136.306	273.413	47.5	0.1245
	고령군	141.950	278.552	68.6	0.3110
	구미시	124.905	217.961	37.4	0.4194
	군위군	120.114	227.787	42.2	0.0087
	김천시	131.745	259.817	52.7	0.0727
	문경시	126.324	220.944	62.4	0.0622
	봉화군	156.047	361.096	36.8	0.1315
	상주시	142.052	217.746	32.3	0.1335
	성주군	126.669	236.513	51.1	0.2303
	안동시	111.704	195.268	42.1	0.1410
경상북도	영덕군	127.900	307.000	43.0	0.1174
	영양군	135.887	314.322	39.9	0.1182
	영주시	138.632	286.656	69.5	0.0705
	영천시	131.374	218.542	43.1	0.1508
	예천군	128.275	235.107	59.4	0.1037
	울진군	154.229	359.258	36.1	0.1542
	의성군	119.625	223.374	38.0	0.0878
	청도군	141.287	283.443	64.2	0.1257
	청송군	122.421	268.655	42.7	0.1174
	칠곡군	122.111	225.558	43.3	0.2130
	포항시 북구	136.053	326.225	45.1	0.1462
	남구	124.400	229.100	46.0	0.3070
	달서구	124.400	229.100	46.0	0.5547
	동구	124.400	229.100	46.0	0.1518
대구광역시	북구	124.400	229.100	46.0	0.1518
	서구	124.400	229.100	46.0	0.2449
	수성구	124.400	229.100	46.0	0.1518
	중구	124.400	229.100	46.0	0.1518
	달성군	127.751	238.623	50.3	0.8505
	강서구	185.258	488.232	100.9	0.8505
	금정구	185.300	488.900	101.0	0.8505
부산광역시	부산진구	185.300	488.900	101.0	0.8505
	북구	185.300	488.900	101.0	0.8505
	사상구	185.300	488.900	101.0	0.8505
	사하구	185.300	488.900	101.0	0.8505
	서구	185.300	488.900	101.0	0.1262
	울산광역시	울주군	150.043	391.617	67.5
전라남도	구례군	133.700	228.100	78.0	0.2661
전라북도	남원시	145.038	253.722	76.8	0.3971

위한 모형으로써, 미국 농무성 농업연구소 (USDA ARS, U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service)에 의해 개발되었다.

그림 2 및 표 2는 낙동강 유역의 시·군·구 행정구역 단위에 대한 분석된 민감도 지표의 구성요소를 나타내며 그림 2 및 표 2에 제시된 바와 같이 위도, 지형, 해안과의 거리, 저기압 통과 등의 이유로 전체적으로 상당한 지역차를 나타내고 있다. 경상북도의 내륙지방인 청송·의성·영천 등은 우리나라에서 가장 비가 적은 지역의 특성을 잘 나타내고 있

으며, 반면 영주, 문경, 경산, 청도, 고령 등은 상대적으로 많은 강수량을 보이고 있고, 또한 우리나라에서 다우지역에 속하는 마산, 창원, 진주 등의 경상남도 남부지방 역시 그 특성을 잘 보여주고 있다.

2) 노출도 지표의 구성요소에 대한 자료 구축

노출도 지표는 민감도 요소에 의한 피해에 노출되어 있는 정도 및 현황을 나타내는 지표이며 일반적으로 재해사상에 대한 인구의 반작용, 반응 및 저항력과 홍수사상에 대한 시설물의 위험이나 노출 또는 홍수사상에 대한

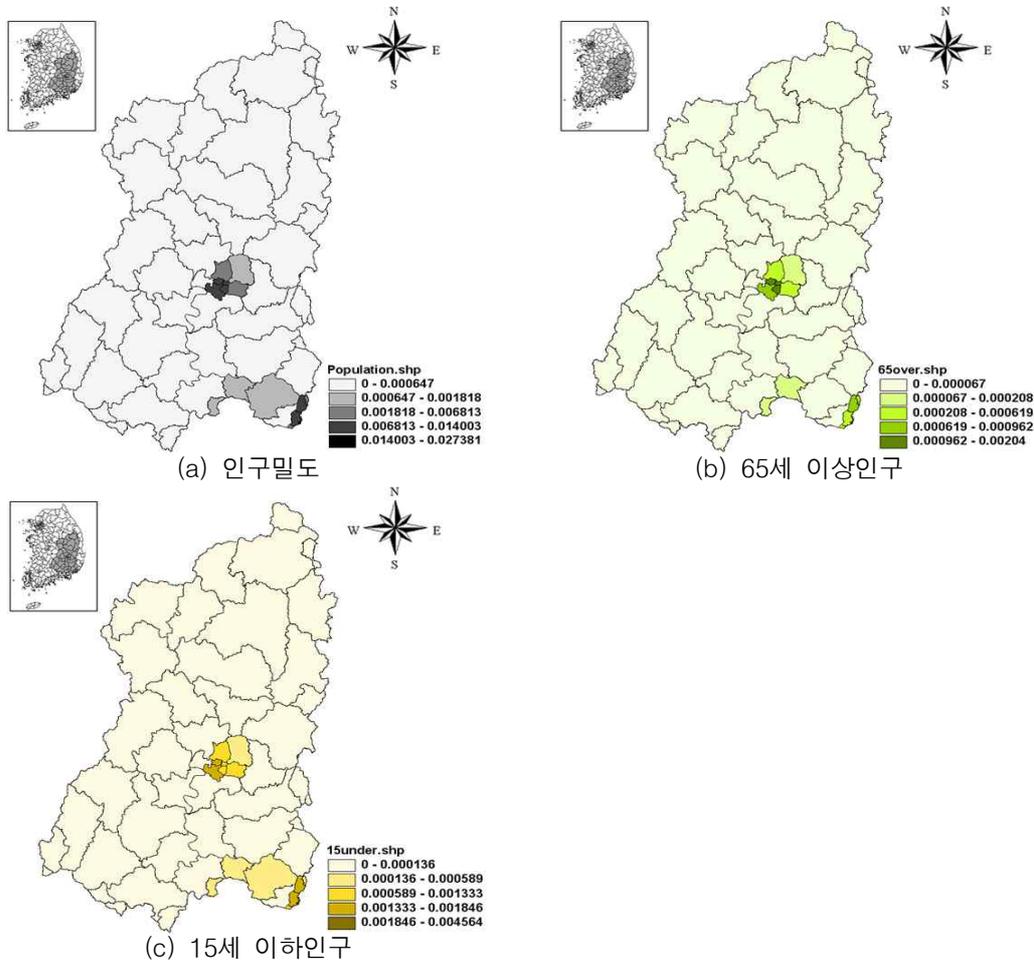


FIGURE 3. 노출도 지표의 구성요소(인구)

TABLE 3. 노출도 지표의 구성요소(인구)

광역시·도	시·군·구	인구밀도($\times 10^{-6}$) (인/km ²)	65세 이상인구($\times 10^{-6}$) (인/km ²)	15세 이하인구($\times 10^{-6}$) (인/km ²)
강원도	태백시	0.000	0.000	0.000
	거창군	79.882	6.352	12.120
	고성군	106.917	24.069	13.202
	김해시	1006.035	66.696	232.152
	마산시	1250.928	112.609	204.547
	밀양시	138.963	25.150	19.549
	사천시	283.831	41.700	48.557
	산청군	44.501	12.542	4.925
	양산시	478.319	37.856	100.260
	의령군	65.137	18.889	7.306
	진주시	463.688	48.971	84.271
	창녕군	118.004	27.261	14.556
	창원시	1716.203	88.904	352.773
	하동군	82.366	19.213	11.201
경상남도	합안군	155.845	27.606	24.547
	합양군	56.352	14.935	7.524
	합천군	56.348	15.689	6.684
	경산시	592.074	62.863	102.503
	경주시	206.549	29.585	32.417
	고령군	93.400	19.902	11.062
	구미시	647.287	38.227	136.381
	군위군	42.004	12.636	3.522
	김천시	139.044	23.637	20.556
	문경시	82.968	17.867	10.576
	봉화군	28.955	7.941	2.990
	상주시	84.694	19.600	10.719
	상주군	74.692	17.048	7.971
	안동시	110.355	19.170	16.383
경상북도	영덕군	57.720	15.722	6.219
	영양군	23.088	6.679	2.280
	영주시	170.385	30.221	25.151
	영천시	115.576	22.933	14.858
	예천군	72.902	20.871	7.251
	울진군	53.510	11.883	7.599
	의성군	51.833	15.729	4.401
	청도군	65.352	17.827	6.057
	청송군	32.368	8.749	3.298
	칠곡군	264.945	28.064	50.012
	포항시 북구	345.266	28.961	62.461
	남구	10068.811	1283.873	1261.752
	달서구	9931.905	702.555	1785.794
	동구	1817.930	207.695	273.792
북구	4972.043	394.830	968.243	
서구	14003.279	1400.565	1845.917	
수성구	5955.036	545.980	1080.227	
중구	11522.507	1707.156	1332.910	
부산광역시	달성군	406.426	38.561	77.658
	강서구	320.000	42.419	34.943
	금정구	4006.035	354.560	589.260
	부산진구	9673.833	809.855	1457.932
	북구	10192.086	962.201	1484.268
	사상구	9065.149	619.024	1680.712
	사하구	6812.937	445.088	1122.601
울산광역시	서구	27380.862	2040.241	4563.872
	울주군	180.586	21.937	23.900
전라남도	구례군	410.577	37.509	84.990
전라북도	남원시	0.000	0.000	0.000

재해를 포함한다. 본 연구에서는 노출도 지표를 인구에 대한 노출도와 자산 및 사회간접시설에 대한 노출도 지표로 나타내었다. 인구에 대한 노출도 지표는 각 행정구역별 인구밀도로 구성하였고, 고령인구 및 유아인구에 대한 노출도를 파악하기 위하여 65세 이상인구와 15세 미만 인구에 대한 조사를 수행하였다. 또한 자산 및 사회간접시설에 대한 노출도 지표는 자산밀도, 도로비율, 불투수비율, 유역평균고도 등으로 나타내었다.

단위면적당 인구밀도는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 연도별 자

료를 사용하였다. 이 자료는 5년마다 조사하는 인구주택 총조사 자료를 이용한 것으로 매년 구축한 자료에는 조사한 연도의 자료를 5년 동안의 대표 값으로 사용하였다. 그림 3 및 표 3은 인구에 대한 노출도 지표의 구성요소를 나타내고 있고, 예상되어 지는 바와 같이 대구 및 부산과 같은 광역시에 가장 높게 나타났고, 창원시 및 김해시가 타 시도에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 그러나 인구밀도가 높다고 반드시 홍수피해에 많이 노출되어 있는 것은 아니다. 보다 정확한 평가를 위해서는 홍수위험구역에 위치한 인구의

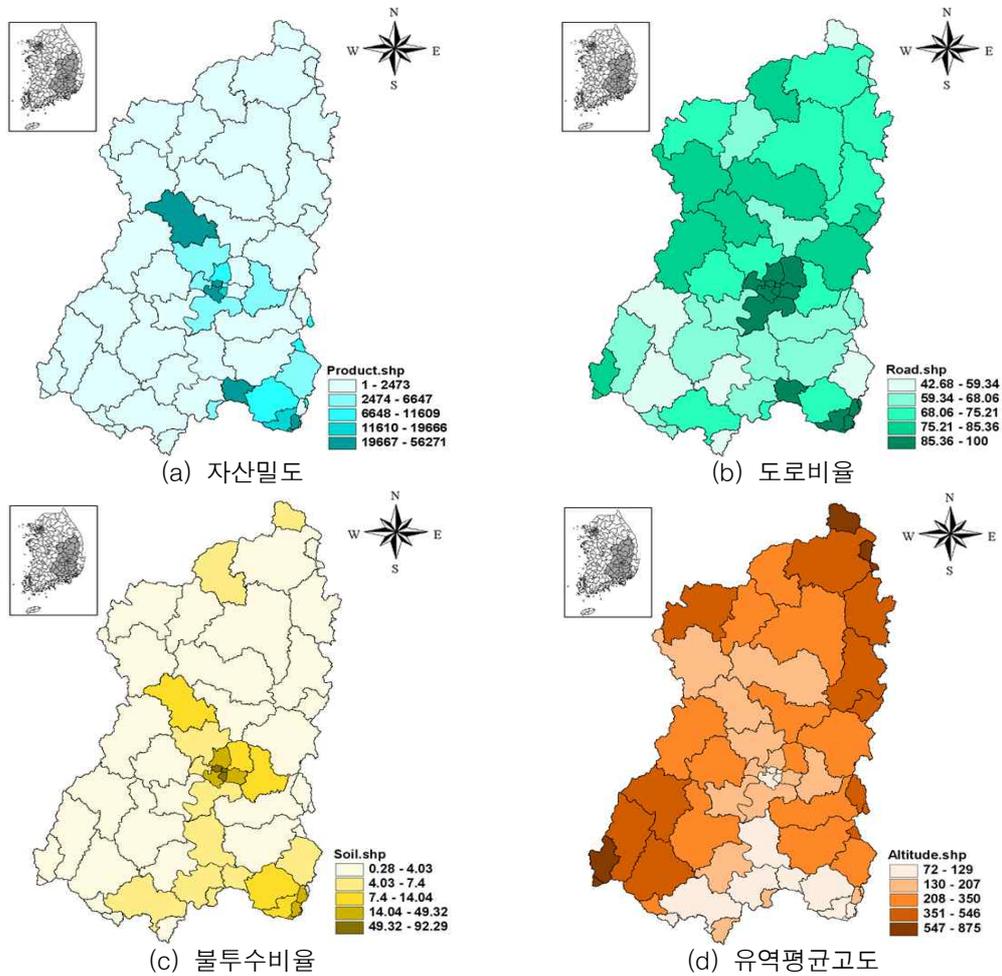


FIGURE 4. 노출도 지표의 구성요소(자산 및 사회간접시설)

TABLE 4. 노출도 지표의 구성요소(자산 및 사회간접시설)

광역시·도	시·군·구	자산밀도 (백만원/km ²)	도로비율 (m)	불투수비율 (%)	유역평균고도 (m)
강원도	태백시	52	59.32	5.41	875
	거창군	110	59.34	2.86	531
	고성군	393	59.23	3.10	157
	김해시	8859	70.02	10.44	128
	마산시	4556	70.29	7.40	157
	밀양시	321	67.02	4.03	241
	사천시	1901	65.54	2.10	94
	산청군	35	58.10	2.33	394
	양산시	6647	56.39	6.22	282
	의령군	191	51.96	2.83	160
경상남도	진주시	923	74.59	6.13	105
	창녕군	381	65.29	4.48	129
	창원시	38029	94.50	7.26	84
	하동군	19	61.90	2.89	264
	합안군	2473	66.21	5.80	123
	함양군	68	62.92	2.46	533
	합천군	58	68.06	2.66	258
	경산시	4183	75.21	9.05	204
	경주시	1651	67.05	1.79	422
	고령군	787	64.16	3.58	163
경상북도	구미시	39062	79.81	8.49	151
	군위군	167	67.59	2.37	259
	김천시	1146	76.81	3.38	314
	문경시	86	72.47	2.89	374
	봉화군	84	69.79	1.45	546
	상주시	80	81.77	3.60	205
	성주군	314	75.04	3.04	241
	안동시	79	71.74	2.80	252
	영덕군	47	64.22	0.73	418
	영양군	7	69.25	1.17	449
대구광역시	영주시	656	78.02	4.25	350
	영천시	822	79.51	3.69	240
	예천군	57	66.47	3.81	228
	울진군	29	60.97	0.33	722
	의성군	70	81.35	2.65	198
	청도군	182	61.23	2.77	300
	청송군	10	73.43	1.72	410
	칠곡군	3210	72.13	6.13	173
	포항시 북구	357	85.36	0.92	419
	남구	19666	99.38	56.07	127
부산광역시	달서구	54682	100.00	49.32	113
	동구	672	100.00	14.04	235
	북구	11609	100.00	28.65	174
	서구	46267	100.00	79.13	72
	수정구	983	100.00	30.23	203
	중구	4096	100.00	92.29	95
	달성군	4529	91.69	6.85	207
	강서구	18935	99.77	13.24	84
	금정구	9398	100.00	3.43	187
	부산진구	8414	100.00	56.58	91
울산광역시	북구	931	99.66	25.21	183
	사상구	56271	100.00	40.92	91
	사하구	51986	99.81	36.86	90
	서구	6187	100.00	4.97	90
울산광역시	울주군	8222	42.68	0.97	511
전라남도	구례군	1	84.17	0.28	700
	전라북도	남원시	97	77.91	2.61

수와 나이 교육수준 등의 자료가 추가로 필요할 것으로 판단된다(정일원, 2007).

자산 및 사회간접시설에 대한 노출도 지표는 자산밀도, 도로비율, 불투수비율, 유역평균 고도 등으로 구성하였다. 행정구역별 자산밀도는 지가공시에 관한 연차보고서 자료를 이용하였고, 공시지가가 산정되기 전의 값들은 지가변동률을 적용하여 산정하였다. 도로비율은 행정구역별 통계연보의 자료를 이용하였고, 불투수비율과 유역평균고도는 토지피복도와 수치지형도를 각각 이용하여 GIS분석을 통해 산정하였다.

그림 4 및 표 4는 자산 및 사회간접시설에 대한 노출도 지표의 구성요소를 나타내고 있으며, 대구광역시 및 부산광역시와 같은 도심 지역에 자산 및 불투수비율이 집중되는 것을 보여주고 있고, 도로비율 역시 광역시에 높게 분포하고 있으나 고속도로 사업 등으로 인하여 타 지표에 비해 도시지역과 비도시지역간의 차이가 상대적으로 적은 것을 보여주고 있다. 유역의 평균고도는 태백산맥과 소백산맥을 중심으로 높고, 경상북도의 내륙지방 및 경상남도의 해안지방으로 갈수록 저지대가 형성되어 홍수위험에 취약성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

3) 저감성 지표의 구성요소에 대한 자료 구축

저감성 지표는 위험성 요소에 의한 홍수피해를 저감시키는데 기여하는 인자로 유역의 홍수를 분담할 수 있는 내수배제시설인 각 유역의 펌프 양수량과 외수방어시설인 하천 개수율, 홍수조절 용량 등으로 나타낼 수 있다.

내수배제시설인 펌프 양수량은 국가수자원 관리종합시스템(WAMIS) 자료와 매년 환경청에서 발간하는 하수도 통계자료를 이용하여 구축하였다. 외수방어시설인 하천개수율은 일반적으로 전국 행정구역별 통계연보에 수록된 지방2급 하천 이상의 하천을 기준으로 요개수연장 대비 기계수연장을 백분율로 환산하여 산정하였다. 본 연구에서는 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)과 한국하천일람 자료를 사

용하여 구축하였다. 그림 5 및 표 5는 낙동강 유역에 대하여 산정된 저감성 지표의 구성요소를 나타내고 있다. 배수펌프용량 및 토양배수분포도는 대도시를 중심으로 높은 수치를 나타내고 있고, 하천개수율이나 홍수조절용량 등은 하천이 위치한 지역에 대하여 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

3. 행정구역별 취약도 평가

각 지표를 구성하는 요소들에 대하여 민감도, 노출도, 취약도 지표를 산정하였다. 산정된 자료들은 각각 단위가 다르기 때문에 그 값들을 표준화 하는 과정을 수행하였다. 지표들의 표준화는 식 3과 같이 각 행정구역에 대한 세부지표들의 값과 평균값의 차(편차)에 대해 표준편차를 나누어 변환하는 Z-점수법을 이용하였다(이창희 등, 2006). Z-점수법은 평균치와 표준편차가 서로 다른 여러 평가 지표들의 분포에서 지표들간의 통계치를 직접 비교하는데 유용하게 사용될 수 있는 통계적 기법이다(임광섭 등, 2010).

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

여기서, i 는 57개 법정동 시·군·구를 의미하여, Z_i 는 각 행정구역 i 에 대한 해당 세부지표의 표준화된 값, X_i 는 각 행정구역에 대한 해당 세부지표의 값, μ 와 σ 는 각각 57개 시·군·구에 대한 각 세부지표들의 평균값 및 표준편차를 의미한다.

표준화된 각 세부지표들은 각 행정구역 단위별로 부여된 Z값이 0을 기준으로 지표값이 낮은 경우 음수의 값을 나타내고 높은 경우 양수의 값을 나타내는 분포로 그 값이 구성된다. 따라서 산정된 값이 어느 정도의 수준을 나타내는지 파악하기 어렵고 취약도 지표의 계산시 왜곡된 결과를 나타낼 수 있으므로, 산정된 Z값을 등급화 할 필요가 있다. 본 연구에서는 윤하연 등(1999)에 의해 제안된 방

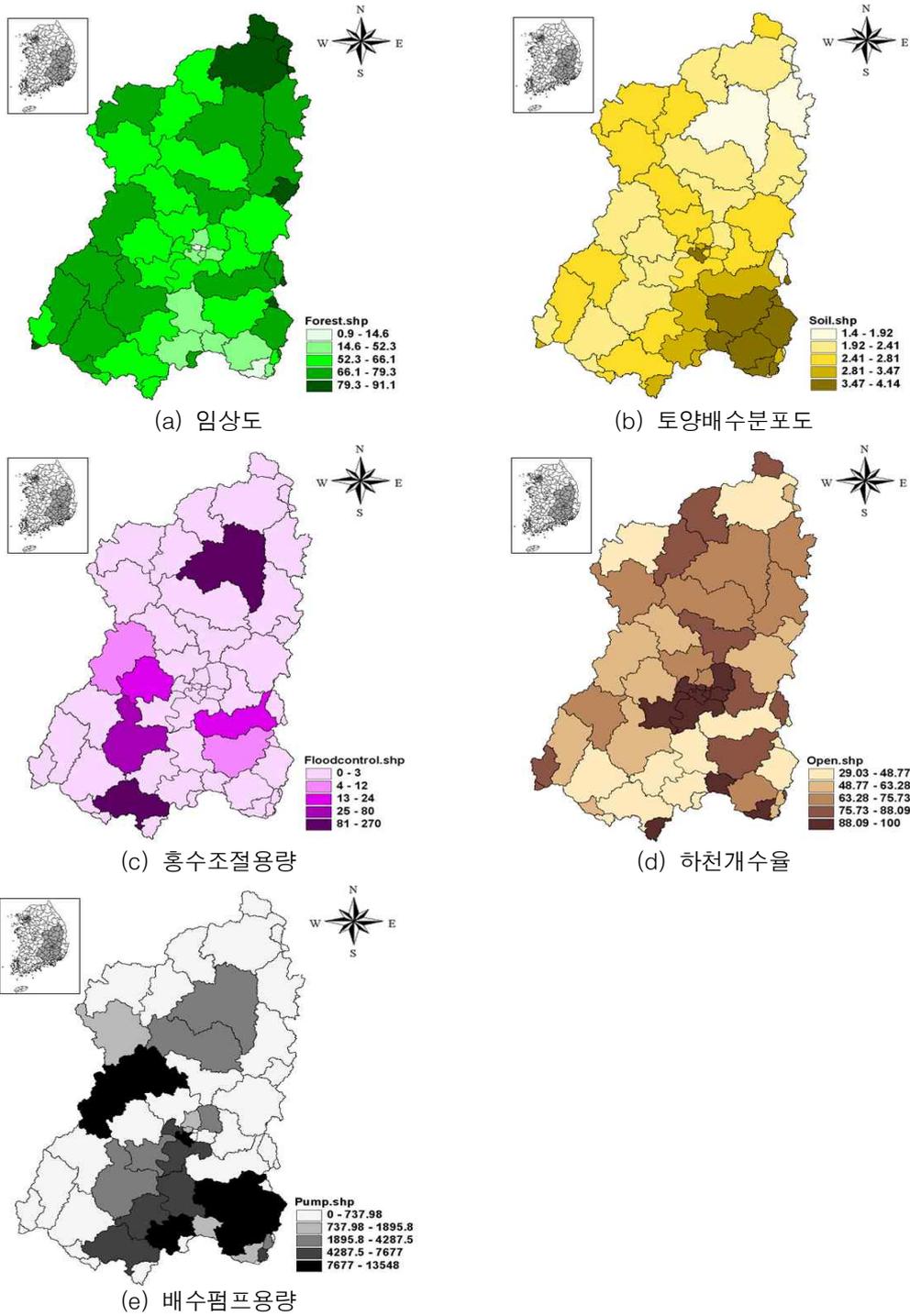


FIGURE 5. 저감성 지표의 구성요소

TABLE 5. 저감성 지표의 구성요소

광역시·도	시·군·구	임상도 (%)	토양배수분포도	홍수조절용량 (백만m3)	하천개수율 (%)	배수펌프용량 (m3/분)
강원도	태백시	88.3	2.62	0	88.09	0.00
	거창군	69.9	2.50	0	68.72	0.00
	고성군	66.1	3.19	0	91.50	63.31
	김해시	48.1	3.63	0	74.10	12833.06
	마산시	72.7	3.17	0	47.14	0.00
	밀양시	61.9	3.86	6	79.33	9896.73
	사천시	59.3	2.51	0	48.29	602.20
경상남도	산청군	72.1	2.08	0	29.03	0.00
	양산시	72.4	3.61	0	46.04	9739.97
	의령군	65.9	2.67	0	42.94	7052.30
	진주시	56.6	2.66	270	46.14	7525.15
	창녕군	49.2	3.08	0	45.89	7133.80
	창원시	33.4	3.75	0	100.00	1686.97
	하동군	67.3	2.15	0	55.41	0.00
	합안군	52.3	3.36	0	43.76	9392.86
	함양군	72.6	2.62	0	57.14	0.00
	합천군	68.0	2.13	80	63.28	3684.10
	경산시	53.4	2.63	0	82.88	628.20
	경주시	77.7	1.88	0	81.79	0.00
	경상북도	고령군	64.8	2.11	0	97.63
구미시		55.1	2.74	0	51.66	12864.10
군위군		72.0	2.40	3	84.52	0.00
김천시		68.2	2.16	12	62.29	10890.44
문경시		72.5	2.62	0	45.21	0.00
봉화군		85.3	2.16	0	38.48	0.00
상주시		58.0	2.72	0	70.44	1091.62
성주군		64.5	2.18	16	57.44	0.00
안동시		67.7	1.92	254	66.00	2809.80
영덕군		76.0	1.40	0	73.07	0.35
영양군		79.3	1.64	0	70.88	0.00
영주시		65.5	2.34	0	84.13	0.00
영천시		64.4	2.79	0	57.02	0.00
예천군		56.8	2.45	0	76.74	737.98
울진군		91.1	1.75	0	56.40	0.00
의성군		64.9	2.41	0	67.59	4287.50
청도군		68.7	3.11	24	45.53	0.00
청송군		77.7	2.24	0	75.73	0.00
칠곡군		65.3	2.43	0	67.21	529.20
포항시 북구	85.6	2.01	0	56.34	227.06	
대구광역시	남구	43.0	2.81	0	100.00	0.00
	달서구	32.4	3.65	0	100.00	13548.00
	동구	57.0	2.28	0	97.97	3782.20
	북구	44.4	2.67	0	72.41	1895.80
	서구	12.7	3.47	0	100.00	1752.00
	수성구	51.5	2.78	0	91.57	660.00
	중구	0.9	4.01	0	100.00	0.00
	달성군	56.8	2.49	0	100.00	5572.40
	강서구	14.6	3.91	0	100.00	1132.02
	금정구	71.6	2.10	0	86.25	0.00
부산광역시	부산진구	42.4	4.14	0	99.39	0.00
	북구	57.3	3.37	0	61.60	2661.72
	사상구	36.4	3.99	0	52.00	7677.00
	사하구	10.0	2.35	0	100.00	119.09
	서구	46.6	1.60	0	100.00	0.00
	울산광역시	울주군	82.9	4.08	0	48.77
전라남도	구례군	89.1	3.39	0	77.29	0.00
전라북도	남원시	65.6	2.28	0	76.92	0.00

TABLE 6. 표준정규분포도상의 Z_i 값의 범위에 따른 평가등급 부여

확률분포	하위 20%	20%~40%	40%~60%	60%~80%	80%초과
Z_i 의 범위	$Z_i \leq -0.85$	$-0.85 \leq Z_i \leq -0.26$	$-0.26 \leq Z_i \leq 0.26$	$0.26 \leq Z_i \leq 0.85$	$Z_i \geq 0.85$
평가등급	1	2	3	4	5

법을 이용하여 표준정규분포도상의 Z 값을 이용해 다섯 등급으로 나누어 1에서 5까지 각 등급의 값을 부여하였다. 표 6은 각 등급에 따른 범위산정의 근거를 제시하고 있다.

등급화된 각 세부지표들은 각 인자들의 상대적 중요성 등을 고려해 가중치를 부여하여

취합함으로써 민감도, 노출도, 저감성 지표들을 각각 산정할 수 있다. 그러나 이러한 방법으로 가중치를 적용한 결과와 적용하지 않은 결과는 그 차이가 없는 것으로 보고되고 있으며, 특히 부적절한 가중치의 적용은 평가결과의 왜곡을 초래할 수 있다고 알려져 있다(임

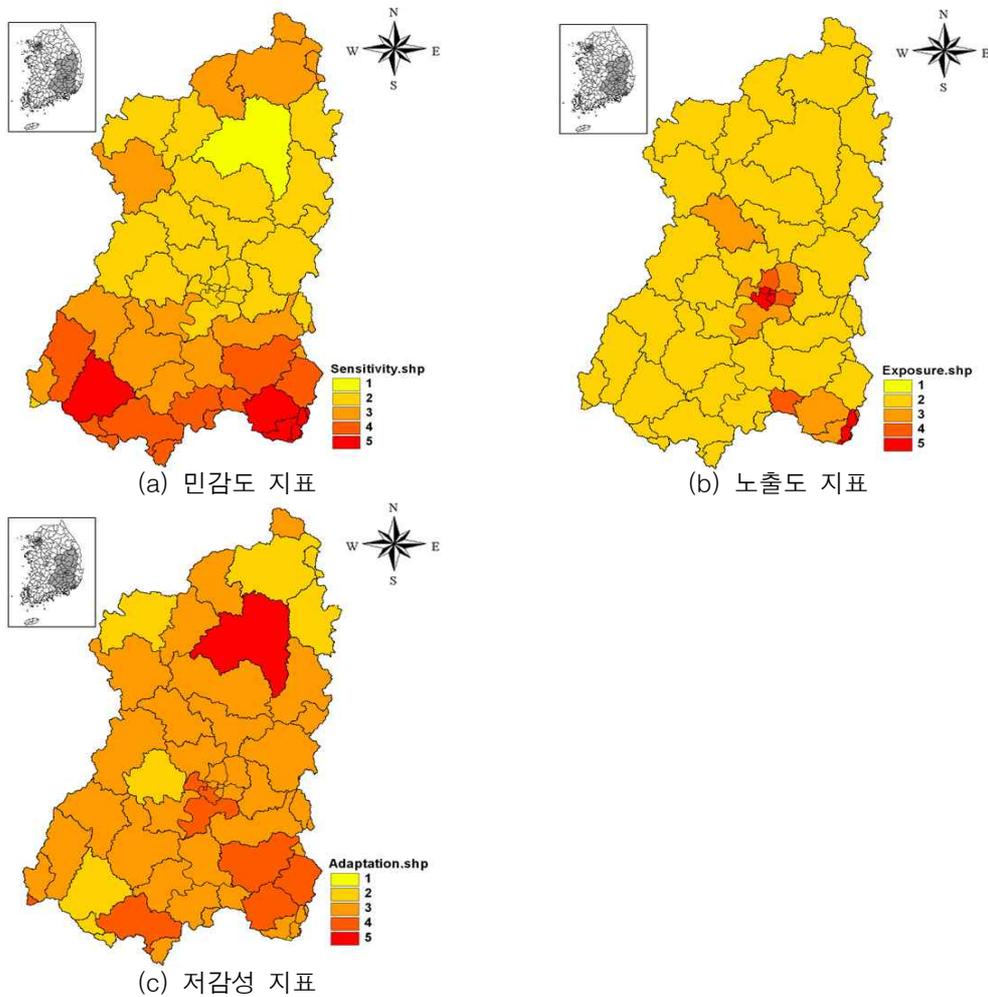


FIGURE 6. 민감도, 노출도, 저감성 지표

TABLE 7. 민감도, 노출도, 저감성 지표

광역시·도	시·군·구	민감도 지표(등급)	노출도 지표(등급)	저감성 지표(등급)
강원도	태백시	-0.074(3)	-0.571(2)	0.252(3)
	거창군	-0.075(3)	-0.584(2)	-0.161(3)
경상남도	고성군	0.377(4)	-0.572(2)	0.223(3)
	김해시	1.173(5)	-0.208(3)	0.642(4)
	마산시	0.283(4)	-0.260(2)	-0.151(3)
	밀양시	0.286(4)	-0.480(2)	0.773(4)
	사천시	0.376(4)	-0.477(2)	-0.437(2)
	산청군	1.133(5)	-0.603(2)	-0.648(2)
	양산시	0.609(4)	-0.469(2)	0.453(4)
	의령군	0.188(3)	-0.658(2)	-0.051(3)
	진주시	0.433(4)	-0.342(2)	0.822(4)
	창녕군	0.142(3)	-0.495(2)	-0.069(3)
	창원시	0.306(4)	0.410(4)	0.215(3)
	하동군	0.774(4)	-0.553(2)	-0.420(2)
	함안군	0.393(4)	-0.447(2)	0.135(3)
	함양군	0.271(4)	-0.549(2)	-0.214(3)
	합천군	0.075(3)	-0.493(2)	0.116(3)
경상북도	경산시	-0.784(2)	-0.261(2)	-0.124(3)
	경주시	-0.516(2)	-0.477(2)	-0.132(3)
	고령군	-0.042(3)	-0.514(2)	0.107(3)
	구미시	-0.704(2)	0.176(3)	0.240(3)
	군위군	-0.711(2)	-0.502(2)	-0.006(3)
	김천시	-0.346(2)	-0.374(2)	0.252(3)
	문경시	-0.560(2)	-0.442(2)	-0.331(2)
	봉화군	-0.145(3)	-0.489(2)	-0.397(2)
	상주시	-0.200(3)	-0.337(2)	-0.150(3)
	성주군	-0.690(2)	-0.412(2)	-0.365(2)
	안동시	-0.973(1)	-0.448(2)	0.965(5)
	영덕군	-0.560(2)	-0.550(2)	-0.374(2)
	영양군	-0.475(2)	-0.499(2)	-0.291(2)
	영주시	-0.197(3)	-0.355(2)	-0.104(3)
	영천시	-0.776(2)	-0.349(2)	-0.249(3)
	예천군	-0.500(2)	-0.498(2)	-0.196(3)
	울진군	-0.188(3)	-0.589(2)	-0.281(2)
	의성군	-0.571(2)	-0.353(2)	-0.034(3)
	청도군	-0.254(3)	-0.562(2)	-0.145(3)
	청송군	-0.651(2)	-0.449(2)	-0.088(3)
칠곡군	-0.831(2)	-0.364(2)	-0.216(3)	
포항시 북구	-0.391(2)	-0.295(2)	-0.252(3)	
대구광역시	남구	-0.793(2)	1.588(5)	-0.042(3)
	달서구	-0.793(2)	1.823(5)	0.777(4)
	동구	-0.793(2)	0.135(3)	0.121(3)
	북구	-0.793(2)	0.706(4)	-0.243(3)
	서구	-0.793(2)	2.390(5)	-0.076(3)
	수성구	-0.793(2)	0.713(4)	-0.014(3)
	중구	-0.793(2)	1.947(5)	-0.129(3)
	달성군	-0.564(2)	-0.123(3)	0.291(4)
부산광역시	강서구	1.960(5)	0.168(3)	0.038(3)
	금정구	1.221(5)	0.340(4)	-0.087(3)
	부산진구	1.221(5)	1.324(5)	0.325(4)
	북구	1.232(5)	1.051(5)	0.025(3)
	사상구	2.760(5)	1.687(5)	0.149(3)
	사하구	1.221(5)	1.342(5)	-0.508(2)
울산광역시	서구	1.221(5)	2.583(5)	-0.353(2)
	울주군	0.191(3)	-0.673(2)	0.230(3)
전라남도	구례군	-0.353(2)	-0.307(2)	0.375(4)
전라북도	남원시	-0.165(3)	-0.398(2)	-0.188(3)

광섭, 2010). 따라서 본 연구에서는 동일 가중치를 부여하여 민감도, 노출도, 저감성 지표를 각각 산정하였다. 그림 6 및 표 7은 산정된 민감도, 노출도, 저감성 지표를 나타내고 있으며, 분석 결과 강수량 및 유출량에 큰 영향을 받는 민감도 지표는 경상북도 내륙지방보다 남부지방이 높게 나타났으며, 노출도 지표는 인구 및 자산이 밀집한 대도시를 중심으로 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

각각 산정된 지표를 이용해 최종적으로 식 4와 같이 민감도 지표와 노출도 지표를 곱하고, 그 값을 저감성 지표로 나누어 취약도 지표를 산정하도록 하는 IPCC(2001)에서 정의한 방법을 이용하였다.

$$Vulnerability = \frac{Sensitivity \times Exposure}{Adaptation} \quad (4)$$

여기서, *Vulnerability*는 취약도 지표, *Sensitivity*는 민감도 지표, *Exposure*는 노출도 지표, *Adaptation*은 저감성 지표를 나타낸다.

위와 같이 산정한 취약도 지표는 연도별 지표들의 값에 의해 변하게 되므로 객관적인 분

석 및 판단은 어렵다. 그러므로 객관적인 지표와 비교를 위하여 산정한 취약성 지표와 홍수 피해액을 비교할 필요성이 있다고 판단되어 그림 7 및 표 8에 산정된 취약도 지표와 홍수피해밀도를 제시하였다. 홍수피해밀도는 상대적으로 홍수피해에 취약하다는 것을 나타내는 것으로 취약도가 크다고 반드시 피해액이 큰 것은 아니지만 대체로 취약도 분석 결과와 홍수피해액의 정도가 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

지역별로 홍수피해에 가장 취약한 지역은 민감도 지표가 크게 나타난 경상남도 남부지방으로 나타났고, 이에 비해 노출도가 상대적으로 낮은 경상북도 내륙지방의 취약도 지표는 비교적 낮게 나타난 것을 확인할 수 있으며, 이는 과거 홍수피해밀도와도 일치되는 결과를 보여준다. 반면 취약도 지표 분석결과 대구광역시 지역은 인구밀도에 의해 높은 노출도를 나타내어 결과적으로 취약도 지표도 높게 나타난 것을 확인할 수 있으나, 실제 홍수피해밀도와는 일치하지 않는 결과를 나타내고 있다. 이러한 사실은 홍수취약도 지표가 앞서 기술한 바와 같이 홍수피해를 나타내는

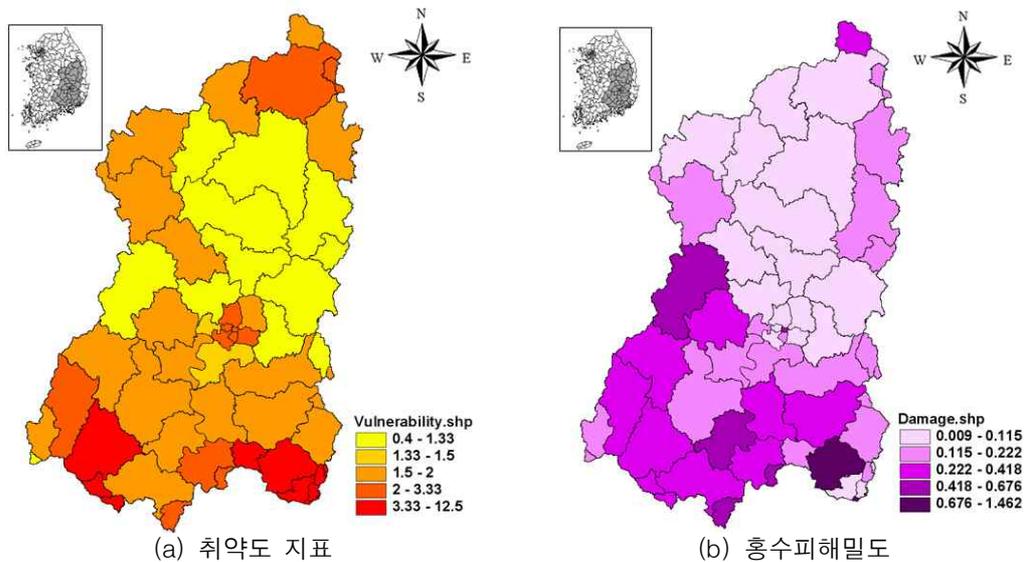


FIGURE 7. 취약도 지표와 홍수피해밀도의 비교

TABLE 8. 취약도 지표와 홍수피해밀도의 비교

광역시·도	시·군·구	취약도 지표	홍수피해밀도
강원도	태백시	2.00	0.369
	거창군	2.00	0.367
경상남도	고성군	2.67	0.597
	김해시	3.75	0.989
	마산시	2.67	0.676
	밀양시	2.00	0.262
	사천시	4.00	0.329
	산청군	5.00	0.275
	양산시	2.00	0.157
	의령군	2.00	0.508
	진주시	2.00	0.258
	창녕군	2.00	0.320
	창원시	5.33	0.219
	하동군	4.00	0.418
	합안군	2.67	0.378
	합양군	2.67	0.351
	합천군	2.00	0.201
	경상북도	경산시	1.33
경주시		1.33	0.140
고령군		2.00	0.132
구미시		2.00	0.061
군위군		1.33	0.115
김천시		1.33	0.588
문경시		2.00	0.050
봉화군		3.00	0.100
상주시		2.00	0.214
성주군		2.00	0.309
안동시		0.40	0.091
영덕군		2.00	0.189
영양군		2.00	0.204
영주시		2.00	0.081
영천시		1.33	0.097
예천군		1.33	0.064
울진군		3.00	0.163
의성군		1.33	0.100
청도군		2.00	0.143
청송군		1.33	0.168
칠곡군	1.33	0.074	
포항시 북구	1.33	0.222	
대구광역시	남구	3.33	0.222
	달서구	2.50	0.069
	동구	2.00	0.070
	북구	2.67	0.049
	서구	3.33	0.011
	수성구	2.67	0.040
	중구	3.33	0.596
	달성군	1.50	0.167
부산광역시	강서구	5.00	0.009
	금정구	6.67	0.029
	부산진구	6.25	0.095
	북구	8.33	0.172
	사상구	8.33	0.056
	사하구	12.50	1.462
울산광역시	서구	12.50	1.234
	울주군	2.00	0.124
전라남도	구례군	1.00	0.154
전라북도	남원시	2.00	0.169

절대적인 기준으로 적용될 수는 없으며, 민감도, 노출도, 저감성 지표의 상호적 관계에 의해 나타나는 수치로서, 보다 정확한 홍수취약도의 적용을 위해서는 홍수위험성(Flood Hazard)과의 결합을 통해 홍수위험도(Flood Risk)의 개념까지 확장되어야 할 것이라 판단된다. 다만 본 연구에서 제시한 홍수 취약도 지표가 연도별로 구축되어 현재의 각 행정구역별 홍수취약도를 파악하고, 미래 기후변화에 의한 취약도 지표를 예측하여 표현할 수 있다면, 분석된 자료를 통해 각 지자체 및 관련부처에서 효율적인 방재대책 수립을 위한 정량적 자료로써 활용하고 치수방재사업에 대한 우선순위 결정을 위한 중요한 가치판단 기준으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

결론

본 연구에서는 Flood Risk Mapping 기술의 적용에 있어 중요한 요소인 홍수 취약도지표를 정의하고, 낙동강 유역에 대하여 행정구역별로 세분화된 홍수위험지도 제작을 위한 취약도 지표를 산정하여 제시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 홍수위험도(Flood Risk)를 홍수위험성(Flood Hazard)과 홍수취약도(Flood Vulnerability)의 곱으로 제시하였으며, 홍수취약도(Flood Vulnerability)는 민감도(Sensitivity), 노출도(Exposure), 저감성(Adaptation)의 합수로 나타내고 각각 지표화하여 구성하였다.

둘째, 민감도, 노출도, 저감성 지표를 정량적으로 분석하기 위하여, 각 지표별로 세부지표를 설정하여 WAMIS, 통계연보, 수치지형도 등을 이용해 자료를 구축하였고, 각 세부 지표간의 상관성을 분석하기 위하여 Z-점수법을 적용하여 표준화된 지표를 제시하였으며, 최종적으로 민감도 지표와 노출도 지표를 곱하여 그 값을 저감성 지표로 나눔으로써 취약도 지표를 산정하였다.

셋째, 산정된 취약도 지표는 지역별 홍수피

해밀도와 비교를 통하여 상관성을 분석하였으며, 각 지역별로 홍수피해에 가장 취약한 지역은 경상남도 남부지방으로 나타났고, 반면 경상북도 내륙지방의 취약도 지표는 비교적 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 다만 대구광역시 지역은 인구밀도에 의한 영향 때문에 높은 노출도를 나타내어 결과적으로 홍수피해에 취약한 지역으로 나타나 홍수피해밀도와 일치하지 않은 결과를 나타내었고, 이를 통해 홍수취약도 지표는 홍수피해를 나타내는 절대적인 수치로서는 적용할 수 없다는 사실을 확인하였다.

넷째, 본 연구에서 제시한 홍수취약도 지표의 보다 정확한 적용을 위해서는 홍수위험성(Flood Hazard)과의 결합을 통해 홍수위험도(Flood Risk)의 개념까지 확장되어야 할 것으로 보이며, 이러한 홍수취약도 지표가 각 연도별로 구축되고, 또한 미래 기후변화에 대한 취약도 지표의 산정기준으로 활용될 수 있다면, 각 지자체 및 관련부처에서 치수방재사업에 효율적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

참고문헌

- 김석규, 송인호, 고광용. 2007. 지형정보를 활용한 영산강 유역의 재해위험지도 작성. 한국지적정보학회지 9(2):121-131.
- 김정엽, 정대진, 복정수, 조효섭, 정관수. 2006. 홍수위험지표 및 위험도 작성에 관한 연구. 2006년 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 1156-1160쪽.
- 김주훈, 김경탁, 연구방. 2003. GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석. 한국지리정보학회지 6(2):22-32.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식위험도 평가. 한국지리정보학회지 6(4):24-36.
- 윤하연. 1999. 인천광역시 환경지표의 개발과

- 적용. 인천발전연구원 연구보고서. 99-13 쪽.
- 윤홍식, 이동하, 서용철. 2009. GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성. 한국지리정보학회지 12(4):59-73.
- 유환희, 김성삼, 박기연, 최우석. 2005. 지형공간정보체계에 의한 도시지역 재해위험도 평가. 한국지형공간정보학회논문집 13(3):41-52.
- 이창희, 이석민, 여창건. 2006. 서울시 지역안전도 평가모형 개발연구 - 홍수재해를 중심으로 -. 서울시정개발연구원.
- 임광섭, 최시중, 이동률, 문장원. 2010. 홍수지표의 인과관계를 이용한 홍수위험지수 개발. 대한토목학회논문집 30(1B):61-70.
- 장옥재, 김영오. 2009. 지역회귀분석을 이용한 홍수피해위험도 산정. 한국방재학회논문집 9(4):71-80.
- 정일원. 2007. 혼합 상세화 기법을 적용한 국내 수자원의 기후변화 영향평가. 세종대학교 박사학위논문.
- 한건연, 김극수, 최승용, 이용신. 2007. 홍수정보지도 작성방법에 관한 연구. 2007년 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 1322-1326 쪽.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers. A Report of the Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. pp.17.
- Kannami, Y. 2008. Establishment of country-based flood risk index. 30th ICHARM International Symposium. pp.1-6.
- Karmakar, A.P.S. and S.P. Simonovic. 2007a. Physical, Economical, Infrastructural and Social Flood Risk - Vulnerability Analyses in GIS, Report 57, Water Resources Research Report No. 1913-3200, The University of Western Ontario Department of Civil and Environmental Engineering.
- Karmakar, A.P.S. and S.P. Simonovic. 2007b. A Web-Based Flood Information system, Report 56, Water Resources Research Report No. 1913-3200, The University of Western Ontario Department of Civil and Environmental Engineering.
- Zhang, J., N. Okada, H. Tatano and S. Hayakawa. 2002. Risk assessment and zoning of flood damage caused by heavy rainfall in Yamaguchi Prefecture, Japan. Flood Defence 2002. pp.162-169. [KAGIS](#)