기후변화로 인한 홍수위험의 사회적 취약성 평가 연구 -인천시를 사례로-

조형진¹ · 김경배²

¹인하대학교 도시계획전공 · ²인하대학교 건축학과

(2015년 10월 23일 접수, 2015년 12월 24일 수정, 2015년 12월 27일 게재 확정)

Assessment of the Social Vulnerability in the Climate Change Induced - Flood Risk : Focused on the City of Incheon

Hyung-Jin Cho¹ · Kyung-Bae Kim²

¹Integrated Urban Planning, Inha University

²Department of Architecture, Inha University

(Received 23 October 2015, Revised 24 December 2015, Accepted 27 December 2015)

Abstract : The aim of this study is to suggest the social vulnerability index for reflecting social properties of a region, such as population and economy, in vulnerability assessment. For such a research objective, this study composed the assessment index with 'social vulnerability' and 'physical vulnerability'. Also, this study composed the social vulnerability with 'population vulnerability index', 'economic vulnerability index' and 'information vulnerability index' while composing the physical vulnerability with 'flood-risk index', and then selected proxy variables. In addition, this study determined the weight using an entropy weight measurement as an objective weight measurement.

The vulnerability assessment result is as follows: First, the vulnerable areas were concentrated around the inner harbours and some rivers of Incheon. Second, the areas vulnerable to the flood caused by climate change were found to be highly vulnerable socially as well as physically. Third, results of assessment were different according to the social properties of an areas despite the identical level of flood risk.

The resultant implications are following. First, there is the necessity of having to put emphasis on social vulnerability of an area from the perspective of adaptation to climate change. Second, there is the necessity of having to arrange effective social and physical adaptation strategy based on the results of vulnerability assessment.

Key Words : climate change, flood, disaster vulnerability, social vulnerability

주요어 : 기후변화, 홍수, 재해 취약성, 사회적 취약성

1. 서론

기후변화로 두드러지는 지구적 변화는 자연재해 위험의 증가이다. 우리나라는 기후변화로 강우량이 증가하고, 해수면이 상승하여 홍수위험이 증가할 것으로 예상되고 있다. 기후변화 위험을 인식한 인류는 이에 대응하기 위한 여러 방안들을 마련하고 있다. 기후변화에 대한 대응은 ‘완화’와 ‘적응’으로 구분된다(Lee, 2015). 초기 기후변화 대응은 온실가스 감축 등 기후변화 ‘완화’에 집중해 왔다. 그러나 기후변화로 인한 자연재해가 현실화 되고 피해가 두드러지자 ‘완화’정책과 더불어 피해를 최소화 하기위한 ‘적응’정책을 병행하게 되었다.

효과적인 기후변화 적응방안을 마련하기 위해서는 취약성 평가가 선행되어야 한다. 취약성 평가는 공공이 한정적인 재원으로 효과적인 적응대책을 마련하는데 중요한 근거자료가 된다(Lee and Cha, 2015). 또한 민간은 취약성 평가결과를 통해 기후변화가 자신이 속한 조직이나 활동에 미치는 영향을 쉽게 이해할 수 있다.

그러나 국내 취약성 평가는 지역적 특성과 현실적인 부분을 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다. 특히 사회, 경제와 같은 지역적 특성을 공간적으로 반영하지 못하고 있다. 취약성 평가가 기후변화 적응으로 연결되기 위해서는 지역의 고유한 지리적 조건과 함께 사회, 경제적 조건이 복합적으로 고려되어야 한다(Lee *et al.*, 2010; Koh, 2011; Lee and Kang, 2012; Lee and Cha, 2015).

본 연구는 취약성 평가에 지역의 인구, 경제 등 사회적 특성을 반영하기 위한 사회적 취약지수를 제시하는데 목적이 있다. 사회적 취약지수는 특정지역의 인구적, 사회적 특성에 따른 취약인구의 구성비가 높을수록 기후변화에 대한 상대적 취약성이 높아진다는 점에 착안하고 있다.

연구절차는 “사회적 취약성 평가모형 및 지표

설정”과 “지표별 가중치 산정”, “사례대상지의 취약성 평가”로 구성된다. 첫째, 기후변화로 인한 홍수의 사회적 취약성 분석모형과 평가지표를 선정한다. 선행연구 및 문헌연구를 통하여 취약성 결정요인을 검토하여 지표 및 대리변수를 선정한다. 둘째, 지표별 가중치를 산정한다. 먼저 선정한 지표를 중심으로 센서스 집계구 통계자료를 활용하여 분석데이터를 구축한다. 그리고 객관적 가중치 산정방법인 엔트로피 기법을 적용하여 가중치를 결정한다. 셋째, 평가모형 및 지표를 사례대상에 적용하여 사회적 취약성을 평가한다. 인천을 사례대상지로 하여 기후변화로 인한 홍수의 사회적 취약성을 공간적으로 평가하고 연구의 시사점을 제시한다.

2. 이론적 고찰

IPCC(2012)에 의하면 초기 기후변화 연구는 취약성의 개념을 “시스템이 기후의 변이와 극한 현상을 포함해 기후변화의 부정적 영향에 민감하고 대처할 수 없는 정도”로 정의하였으며 위험관리적 관점을 강조하였다. 반면 최근의 취약성은 “부정적 영향을 받기 쉬운 성향 또는 기질”로 정의되고 있으며, 취약성의 사회적 배경이 강조되고 있다.

이러한 관점에서 취약성은 시스템이 교란이나 부정적 영향에 얼마나 쉽게 영향을 받는가 하는 것으로 설명된다. 시스템의 취약성은 노출, 민감성, 회복력 등 특정조건에 의하여 결정된다(Scheuer *et al.*, 2010; Willroth *et al.*, 2010; Fuchs *et al.*, 2011, Hufschmidt, 2011; Balica *et al.*, 2012). 따라서 물리적 영향이 동일한 경우에도 취약성의 수준에 따라 피해와 손실의 차이가 발생하게 된다(Dow, 1992; Wisner *et al.*, 2011).

사회적 취약성은 재해위험으로 인한 생명 또는

재산손실의 가능성으로 정의된다. Cutter(1996)는 재해에 대한 공간의 취약성을 도출하기 위하여 재해의 물리적 특성과 사회의 취약성을 결합하였다. 사회적 취약성은 지역의 기후변화 적응역량에 영향을 미치는 사회, 경제, 그리고 인구적 특성 등으로 표현된다(Cutter *et al.*, 2003; Haki *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2014).

일반적으로 기후변화로 인한 재해 연구는 시스템의 취약성 보다는 재해의 위험과 피해규모를 강조하고 있다(Kim *et al.*, 2015). 그러나 이러한 연구는 재해로 인한 피해를 평가하는데 한계가 있다(Park *et al.*, 2014). 특히 도시지역은 많은 재산과 인프라가 집중되고 인구밀도가 높아 같은 재해위험에도 큰 피해를 받게 된다. 따라서 보다 정확하게 지역의 사회적 특성을 고려할 수 있는 재해 취약성 평가가 요구된다.

국내에서 기후변화로 인한 재해의 사회적 취약성 연구는 사회적 특징에만 집중하거나 다양한 재해에 대한 사회적 취약성을 한꺼번에 다루고 있다. 기후변화에 의한 기후요소를 대리변수를 사용하거나, 기후변화에 의한 재해영향의 규모 또는 공간적 범위와 관계없이 전문가 의견을 토대로 사회적 취약정도를 측정하는 연구가 주를 이루고 있다. 이처럼 기후변화로 인한 재해의 사회적 취약성을 평가하는 연구는 다음과 같다. Lee *et al.*(2010)은 기후변화 영향으로 인한 풍수해 피해, 폭염 영향, 에너지 사용에 대한 사회경제적 취약계층을 도출하기 위해 행정구역별 통계자료를 사용하여 취약성을 평가하였다. 사회적 취약성 관련 지표는 건강상태, 건강관리 서비스, 사회경제적 취약가구, 가구원 건강상태, 주택유형, 주택점유형태, 주택난방형태 등이 대리변수로 사용되었다. 그리고 Park *et al.*(2014)은 사회경제적 관점에서 서울시 자치구 및 집계구의 재해 취약성을 평가하였다. 사회적 특성을 반영하기 위한 지표는

Safeland(2012)에서 제안한 취약성 평가모형을 참조하여 인구통계 및 사회적 지표와 경제적 지표, 재해대비/대처/복구지표로 구성하고 다양한 대리변수를 적용하고 있었다.

국외에서 기후변화로 인한 재해 취약성 연구는 자연재해의 특성, 위험 및 취약성, 사회적 특성 등 다양한 관점에서 연구가 이루어지고 있다. 특히 GIS기반에서 지리적 환경을 고려한 ‘물리적 취약성’과 사회적 환경을 고려한 ‘사회적 취약성’을 결합하여 지역의 취약성을 평가하는 연구가 주를 이루고 있다. 이처럼 기후변화로 인한 홍수의 ‘물리적 취약성’과 ‘사회적 취약성’을 결합하는 방식으로 지역적 취약성을 평가한 연구는 다음과 같다. Co-ninx and Bachus(2007)는 기후변화 시나리오를 적용한 침수예상지역과 사회적 취약성을 결합하였으며, Koks *et al.*(2015)은 홍수 재해위험 및 노출지역과 사회적 취약성을 결합하여 취약성을 평가하였다. 특히 홍수 위험지역의 침수심 누적빈도에 따른 위험정도를 함께 고려하고 있었다. 그리고 사회적 취약성 관련 대리변수는 홍수위험지역의 전체 주민 수, 한부모 가정 비율, 비유럽 이민자 비율, 14세 이하 인구 비율, 65세 이상 인구 비율, 총 가구 수, 월 평균 소득, 평균 건축연도를 사용하고 있었다.

국내외 연구를 검토한 결과, 효과적인 취약성 평가는 “자연재해 특성을 고려한 공간적 분석단위의 적용”과 “지역의 사회적 특성을 반영한 평가지표의 설정”이 요구된다. 자연재해에 대한 사회적 취약성을 공간적으로 평가하기 위해서는 재해위험의 범위와 재해영향을 받는 지역의 사회적 특성을 구체적으로 설명할 수 있어야 한다. 특히 홍수는 수문학적 특성을 가진 재해로 자연적 요인과 인위적 요인, 사회적 요인 등이 복합적으로 결합하여 다양한 형태의 피해를 가져온다(Heo *et al.*, 2014).

본 연구는 이러한 점을 고려하여 소지역의 인구

및 사회적 특성을 설명하는데 용이한 센서스 집계구 통계자료를 기초자료로 활용한다. 그리고 문헌 연구를 통하여 국내 실정에 맞는 사회적 취약성 평가지표를 선정한다. 마지막으로 해당 취약성 평가방법을 인천에 적용하고 평가하여 연구의 시사점을 도출한다.

3. 연구 자료 및 방법

1) 취약성 평가모형 및 지표 설정

본 연구는 국외 선진연구에서 나타나는 사회적 취약성(Social Vulnerability, SV)과 물리적 취약성(Physical Vulnerability, PV)의 결합모형을 적용하여 기후변화로 인한 자연재해의 사회적 취약성(Social Vulnerability to Disasters, SoV)을 평가한다(Figure 1). 취약성 평가결과는 취약지도로 작성하고 취약성 밀집지역을 중심으로 기후변화에 의한 재해의 사회적 취약성의 공간적 특징을 비교·분석한다.

평가지표는 사회적 취약성과 물리적 취약성으로 구성한다. 사회적 취약성은 ‘인구 취약지수’, ‘경제 취약지수’, ‘정보 취약지수’로 구성하였으며, 데이터의 가용성을 우선적으로 고려하여 대리변수를 선정하였다. ‘인구 취약지수’는 의존인구인 유아 및 아동인구와 고령인구로 구성하였다. 의존인

구는 신체적 조건 및 기능 정도가 낮다. 이들은 동일한 자연재해 위험에도 큰 영향을 받는 취약집단이다. 대리변수는 인구통계학적 기준에 따라 집계구별 14세 이하의 인구수와 65세 이상 인구수 비율로 선정하였다(Cutter *et al.*, 2003; Haki *et al.*, 2004).

다음으로 ‘경제 취약지수’는 재산수준을 측정하기 위한 지표이다. 개인과 지역사회의 부의 정도는 재해위험에 따른 손실을 복구하는데 중요한 요소가 된다. 또한 낮은 경제적 수준은 상대적으로 위험에 대한 노출가능성이 높음을 의미하기도 한다(Cutter *et al.*, 2003). 특히 소득은 사회적 취약성을 정의하는 가장 중요한 요인이다(Haki *et al.*, 2004). 그러나 소득에 대한 직접적인 공간데이터 구축의 한계점과 집계구 데이터의 가용성을 고려하여 다음과 같이 대리변수를 사용하였다. 대리변수는 주택점유형태 중 임대가구 비율과 주거면적이 연건평 60㎡인 소형주택 비율, 건축 이후 20년 이상이 경과된 주택의 비율로 선정하였다.

마지막으로 ‘정보 취약지수’는 저학력 인구와 외국인 인구가 구성하였다. 정보 접근성은 기후변화 취약성을 낮추고 복원력을 증가하는데 큰 영향을 준다(IPCC, 2012). 우선 교육 수준은 재해위험을 빠르게 이해하고 이에 대응, 복구하는 능력과 관계가 있다. 교육 수준이 낮을수록 이러한 능력이 상대적으로 낮은 집단으로 구분된다. 한편 교육수준은 소득 또는 사회경제적 지위와 연관되기도 한다(Cutter *et al.*, 2003; Haki *et al.*, 2004). 그리고 외국인은 언어 및 문화적 차이로 재해정보, 복구 등과 관련한 정보의 습득이 자국민에 비해 상대적으로 어려워 재해에 취약한 집단으로 구분된다(Cutter *et al.*, 2003; Park *et al.*, 2014). 특히 외국인은 정보, 지원서비스, 적응역량 등에서 사회적 배제성향이 강하여 저소득계층 보다는도 취약한 것으로 나타난다(Shin and Lee, 2014). 대리변수는

Figure 1. Conceptual diagram of Social Vulnerability Assessment to Disasters caused by climate change.

Table 1. Social Vulnerability Assessment Index to the Flood caused by climate change.

	Indexes	Proxy variable	Example explanation
Social Vulnerability (SV)	Population Vulnerability Index	Ratio of Early Childhood	Ratio of population of infants & children
		Ratio of an Old Age Population	Ratio of population of senior citizens
	Economic Vulnerability Index	Ratio of Rental Households	Ratio of rental housing, such as a lease on a deposit base, and monthly rent, etc.
		Ratio of Small-sized Housing	Ratio of housing under 60m ² in total floor area
		Ratio of Dilapidated Housing	Ratio of housing whose dwelling age is above 20
	Information Vulnerability Index	Ratio of Low-Educated Population	Ratio of population under graduation from an elementary school
		Ratio of Foreigners	Ratio of foreign population
Physical Vulnerability (PV)	Flood Risk Vulnerability Index	Ratio of Flood Areas caused by Climate Change	Ratio of lowland area within 1 km from the coast and riverside

Source: SGIS Census blockgroup data (2010) and Regional statistics yearbooks (2010)

미취학 인구 및 최종학력이 초등학교 졸업 이하인 저학력 인구와 외국인 인구 비율로 선정하였다.

사회적 취약성 평가를 위한 분석데이터는 SGIS의 센서스 집계구별 통계자료를 데이터로 활용한다. 해당 자료의 기준년도는 2010년으로 인구주택 총조사를 근거로 하고 있다. 센서스 집계구별 통계자료는 통계자료와 공간정보가 포함된 경계파일로 구성되어 있으며, 집계구 통계수치가 5 이하인 값은 통계의 비밀보호에 따라 제외되어 있다(Statistics Korea, 2010). 본 연구는 분석을 위해 필요한 통계항목을 추출하여 사회적 취약성 평가를 위한 분석데이터를 구축한다. 외국인 인구비율은 집계구별 통계자료의 인구 데이터 중 군부대와 같은 특별조사구와 외국인 인구가 제외되어 있어, 자치구별 통계연보(2010년 기준)의 행정동별 외국인 수에 총 인구 수를 나누어 적용한다. 그리고 집계구 경계와 통계자료를 결합(join)하여 사회적 취약성 지도를 작성한다.

물리적 취약성은 ‘홍수 위험지수’로 기후변화 영향 중 홍수에 직·간접적 원인이 되는 해수면 상승

및 강우량의 증가에 따른 홍수발생 위험지역을 의미한다. 해수면 상승은 해일, 폭풍우에 의한 연안 지역의 홍수위험을 증가시키고, 강우량 증가는 하천의 범람에 의한 홍수의 발생요인이 된다. 특히 홍수는 재해 원인요소에 대한 인접성 및 지형과 밀접한 관계가 있다. 대리변수로는 하천변 1km 내 계획홍수위 보다 낮은 지역의 면적 비율과 연안 1km 내의 표고 10m 이하인 지역의 면적 비율을 적용하였다.

물리적 취약성의 분석데이터는 분석대상지의 지형적 특성을 분석하기 위한 국토지리정보원의 수치표고모델(90m간격 DEM)과 한강홍수통제소(HRFCO)의 하천정보 공간 데이터, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)의 하천일람(2013)을 활용한다. 대상하천은 인천시 육지부에 위치하고 하천기본계획이 수립된 지방하천 16개를 대상으로 하였다. 그리고 이것을 센서스 집계구별 경계파일과 함께 중첩 및 공간통계 등 공간분석을 통해 물리적 취약성 지도를 작성한다(Table 1).

2) 지표별 가중치 산정

(1) 엔트로피 가중치 개요

엔트로피는 “어떤 체계의 가장 있음직한 상태”로 정의되며, 따라서 엔트로피가 큰 상태는 존재 가능성이 큰 상태임을 의미한다(Wilson, 1970). 엔트로피 가중치 결정방법은 정보이론(information theory)에 근거하여 데이터 속성의 빈도수를 기반으로 응집도가 높은 속성에 높은 가중치를 적용하는 방법이다(Rajendra *et al.*, 1999; Park, 2009; Kim *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013). 그리고 엔트로피 가중치 결정방법은 의사결정자의 주관적인 판단에 의존하지 않고 자체적인 데이터의 정보값으로 가중치를 계산하는 객관적인 가중치 측정방법이라는 특징이 있다. 엔트로피에 근거한 분석기법 중 최대엔트로피는 알려진 부분적 사실만을 지식획득의 원천으로 보는 기법이다. 최대엔트로피 기법은 사전에 정의한 제한조건을 만족하면 그 외 사항에 대해서는 균일분포(uniform distribution)를 가지는 확률모형으로 정의된다(Jang *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2013)

(2) 엔트로피 가중치 산정

엔트로피 기법으로 가중치를 구하는 과정은 속성정보 데이터의 표준화, 속성별 엔트로피 산정, 지표간 가중치 결정으로 이루어진다(Kim *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014).

엔트로피 가중치를 계산하기 위해서는 구성된 지표별 속성정보를 표준화 하는 과정이 필요하다. 먼저 분석데이터의 속성값으로 구성되는 $m \times n$ 의 행렬을 작성하였다. 여기서 m 은 분석데이터의 수로 분석에 사용되는 전체 집계구의 개수(4,386개)를 의미한다(4장 1절. 사례대상지 개요 참조). 그리고 n 은 평가지표의 수(8개)를 의미한다.

다음으로 속성값(x_{ij})은 각 속성별 최대값(x_{jmax})으로 나누어 0에서 1 사이의 값으로 표준화(P_{ij})하고, 0인 값은 속성에 영향을 미치지 않는 가장 작은 값으로 대체하였다. 다음은 표준화한 데이터를 사용하여 속성별 엔트로피 지수(E_j)를 산정하고, 마지막으로 산정한 엔트로피 지수의 다양성 정도(d_j)를 통하여 평가지표별 가중치(w_j)를 결정하였다(Kim *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2013)(Figure 2).

엔트로피가 크다는 것은 지표를 표현하는 값이 다양하게 존재함을 의미한다(Park, 2009). 따라서

Figure 2. Process of Entropy Method.

Source: Kim *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2013

속성값에 대한 정보량이 같을 때, 엔트로피가 큰 지표는 해당 지표를 표현하는 값이 다양하여 불확실성이 높다는 의미로 해석될 수 있으며, 지표들 사이에서도 상호 중요도가 높다고 할 수 있다. 즉 속성값들 간의 차이가 큰 기준은 중요한 기준이고, 차이가 작은 기준은 덜 중요한 기준으로 본다 (Park, 2009; Kim *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2013).

본 연구에 적용한 가중치는 다음과 같다. 지표의 가중치는 사회적 취약성이 0.590이고, 물리적 취약성이 0.410으로 산출되었다. 세부적으로 사회적 취약성 관련 대리변수의 가중치는 외국인 인구 비율이 0.178로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 노후주택 비율이 0.148, 소형주택 비율이 0.118로 나타났다. 가장 낮은 가중치의 대리변수는 저학력 인구비율이며 0.012로 나타났다(Table 2).

4. 사례대상지 적용 및 평가

1) 적용 및 평가 개요

(1) 사례대상지 개요

인천은 입지적으로 타 시도에 비해 해안과의 인

접도가 크고 산업시설 등이 해안에 밀집되어, 해수면 상승으로 인한 홍수에 대하여 취약성이 높다. 예로써 인천은 2003년 태풍 매미로 인한 많은 피해가 발생하였으며, 2006년, 2007년에도 피해복구액이 크게 나타나 타도시에 비해 상대적으로 자연재해에 취약한 것으로 평가된다(Lee *et al.*, 2010). 그리고 기후변화에 따른 해수면 상승으로 467.8km²에 이르는 넓은 지역이 침수되고, 침수에 상지역의 인구는 약 27만명으로 예측된다(Cho *et al.*, 2011).

본 연구는 인구와 기반시설 등이 밀집하여 사회적 취약성이 두드러지는 인천 육지부의 도시지역을 중심으로 취약성을 평가한다. 대상지의 분석데이터는 인천 전체 센서스 집계구 4,588개 중 강화군, 옹진군과 중구 영종도 등 도서지역을 제외한 집계구 총 4,386개로 구성된다. 분석대상지의 총면적은 48.15km²이며, 대상지는 123개의 행정동으로 구성되며, 하나의 행정동은 평균 35개의 센서스 집계구로 형성되어 있다(Table 3).

취약성 평가결과는 자연적 구분법(natural breaks)을 이용하여 5개의 등급으로 구분하였다. 자연적 구분법은 같은 등급 내의 동질성을 유지하고, 다른 등급 간의 이질성을 최대화하여 그룹화 하는 방식이다(Jenks and Caspell, 1971). 자연적 구분법은

Table 2. Weights of indexes.

	Indexes	Proxy variable
SV (0.590)	Population (0.085)	Ratio of Early Childhood (0.019)
		Ratio of an Old Age Population (0.066)
	Economic (0.315)	Ratio of Rental Households (0.049)
		Ratio of Small-sized Housing (0.118)
		Ratio of Dilapidated Housing (0.148)
PV (0.410)	Information (0.190)	Ratio of Low-Educated Population (0.012)
		Ratio of Foreigners (0.178)
	Flood Risk (0.410)	Ratio of Flood Areas caused by Climate Change (0.410)

Table 3. General status of census output area of Incheon City.

Administrative District(Gu)	Number of Census Areas	Population	Number of Households	Number of Dwellings	Area (km ²)
Jung	89	52,971	20,667	18,145	14.98
Dong	123	72,027	26,287	23,140	5.44
Nam	710	406,630	151,908	118,979	23.31
Yeon-su	485	270,272	94,007	75,918	31.27
Namdong	790	447,393	157,683	135,159	5.96
Bupyeong	951	534,807	187,494	157,540	31.64
Gyeongang	567	330,194	113,561	100,926	45.25
Seo	671	383,852	128,973	117,177	131.05
Sum	4,386	2,498,146	880,580	746,984	48.15

원하는 등급의 수에 따라 최적의 등급 경계를 설정할 수 있어, 등급간 지수의 변화량이 큰 경우에 적합하다(Song *et al.*, 2013). 자연적 구분법으로 결정된 등급은 1등급이 5점으로 “매우 취약”, 2등급은 4점으로 “상대적으로 취약”, 3등급이 3점으로 “보통”이며, 4등급이 2점으로 “양호”, 마지막 5등급이 1점으로 “매우 양호” 수준으로 설정하여 취약성을 평가하였다. 그리고 행정구역별 취약성은 각 행정구역에 소속된 집계구들의 등급별 모두 합산하고, 이를 집계구 수로 나눈 값을 소수점 이하 반올림하여 점수화하였다.

(2) 인천의 사회·물리적 취약성

사회적 취약성은 전체평균이 2.93이고, 표준편차가 1.24로 나타났다. 집계구는 663개의 집계구가 “매우 취약”한 수준이었다. 행정구역별로는 기초지자체 중 중구가 “상대적으로 취약”하고, 그 외 지역은 “보통” 수준이었다(Table 4). 행정동은 서구 가좌1동과 중구 연안동, 북성동의 취약성이 가장 높았다.

물리적 취약성은 전체평균이 3.86이고, 표준편차가 1.75로 나타났다. 집계구는 1,116개의 집계구가 “매우 취약”한 수준이었다. 행정구역별로는 기초지자체 중 중구와 연수구가 “보통” 수준이고, 그

외 지역은 “양호” 이하의 수준이었다(Table 5). 행정동은 남동구 만수6동, 부평구 삼산2동, 갈산2동 등의 취약성이 가장 높았다.

Table 4. Social Vulnerability Assessment result.

Administrative District(Gu)	Number by Grade					Score
	1	2	3	4	5	
Jung	31	31	17	10	—	3.93
Dong	12	39	45	16	11	3.20
Nam	56	198	295	107	54	3.13
Yeon-su	83	34	185	91	92	2.85
Namdong	121	165	237	84	183	2.95
Bupyeong	118	219	411	87	116	3.14
Gyeongang	110	110	193	69	85	3.16
Seo	132	113	141	174	111	2.97

Table 5. Physical Vulnerability Assessment result.

Administrative District(Gu)	Number by Grade					Score
	1	2	3	4	5	
Jung	29	4	5	3	48	2.58
Dong	25	3	8	3	84	2.04
Nam	31	4	6	4	665	1.21
Yeon-su	192	20	16	14	243	2.80
Namdong	227	16	12	16	519	2.26
Bupyeong	314	14	13	6	604	2.40
Gyeongang	108	15	12	8	424	1.90
Seo	190	26	14	18	423	2.32

2) 기후변화로 인한 홍수위험의 사회적 취약성

사회적 취약성과 물리적 취약성을 공간적으로 결합모델을 적용한 기후변화로 인한 홍수위험의 사회적 취약성(이하 종합취약성)은 전체평균이 4.21이고, 표준편차가 1.31로 나타났다. 집계구는 267개의 집계구가 “매우 취약”한 수준이었다. 행정구역별로는 모든 기초지자체가 “보통” 이하의 수준이었다(Table 6).

행정동은 중구 연안동의 종합 취약성이 가장 취약한 것으로 나타났다. 연안동은 종합취약성 점수가 5.00으로 행정동을 구성하는 집계구들의 사회적, 물리적 취약성이 모두 1등급으로 “매우 취약”한 지역으로 나타났다. 취약성 상위지역은 1등급에서 5등급까지 다양한 취약등급으로 구성되어 있으나, 전반적으로 1, 2 등급에 집중되어 있었다(Figure 3, Table 7).

공간적으로 종합취약성이 “매우 취약”한 것으로 나타나는 지역은 중구 내항 일대, 연수구 승기천 일대, 남동구 장수천 일대, 부평구 청천천 및 굴포천 일대에서 집중되어 있었다. 이러한 취약지역은 해당 지역의 홍수위험 정도인 물리적 취약성에 크

Figure 3. Map of Social Vulnerability in the climate change induced - flood risk.

게 영향을 받는 것으로 나타났다. 취약 밀집지역의 공간적 분포는 Figure 4~7과 같다.

그리고 대부분 사회적 취약성이 매우 높은 지역은 물리적 취약성도 취약한 것으로 나타나, 기후변화에 대한 지역차원의 대응방안 마련이 시급한 것을 알 수 있었다. 중구 연안동, 신흥동, 북성동을 비롯하여 동구 2개동, 남구 1개동, 연수구 4개동, 남동구 5개동, 부평구 7개동, 계양구 1개동, 서구 2개동의 일부 집계구(총 198개)가 이러한 지역에 해당된다.

한편 중구 북성동, 연수구 동춘2동, 서구 검단1동의 5개 집계구는 물리적 취약정도가 “상대적으로 취약”한 수준이지만 사회적 취약수준이 높아 “매우 취약”으로 평가되기도 하였다.

Table 6. SoV Assessment result.

Administrative District(Gu)	Number by Grade					Score
	1	2	3	4	5	
Jung	21	8	8	5	47	2.45
Dong	11	15	8	6	83	1.90
Nam	2	22	13	8	665	1.15
Yeonsu	46	105	28	56	250	2.26
Namdong	94	86	32	58	520	1.96
Bupyeong	82	166	36	62	605	2.01
Gyeong	2	56	25	62	422	1.51
Seo	9	62	110	61	429	1.75

Table 7. SoV(Dong ranked in the Top 8).

	Administrative District(Gu, Dong)		Number by Grade					Score
			1	2	3	4	5	
1	Jung	Yeonan	14	-	-	-	-	5.00
2	Namdong	Mansu1	33	4	-	-	-	4.89
3	Dong	Hwasu2	9	5	1	-	-	4.53
4	Bupyeong	Galsan2	17	23	-	-	-	4.43
5	Namdong	Mansu6	20	26	3	2	-	4.25
6	Namdong	Guwol4	12	16	3	1	-	4.22
7	Yeonsu	Yeonsu2	19	17	9	4	-	4.04
8	Bupyeong	Galsan1	9	14	8	-	1	3.94

Figure 4. Inner Harbor Area in Jung-gu.

Figure 5. Seunggi River Area in Yeonsu-gu.

Figure 6. Jangsu River Area in Namdong-gu.

Figure 7. Cheongcheon and Gulpo River Area in Bupyeong-gu.

5. 결론

본 연구는 취약성 평가에 인구, 경제 등 지역의 사회적 특성을 반영하기 위한 사회적 취약지수를 제시하는데 목적이 있다. 이러한 연구목적을 위하

여 본 연구는 평가지표를 ‘사회적 취약성’과 ‘물리적 취약성’으로 구성하고 이를 공간적으로 결합하여 취약성을 평가하는 모형을 적용하였다. 사회적 취약성은 ‘인구 취약지수’, ‘경제 취약지수’, ‘정보 취약지수’로 물리적 취약성은 ‘홍수 위험지수’ 구성

하고 지표별로 대리변수들을 선정하였다. 그리고 객관적인 가중치 측정방법인 엔트로피 가중치 결정방법을 활용하여 지표별 가중치를 결정하였다.

위의 평가지표와 모형을 사례대상지인 인천에 적용한 취약성 평가결과는 다음과 같다. 첫째, 인천 내항과 일부 하천을 중심으로 취약지역이 집중한 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 해당 지역의 홍수위험 정도인 물리적 취약성의 영향을 크게 받은 것이 원인인 것으로 나타났다. 둘째, 기후변화로 인한 홍수의 사회적 취약지역은 대부분 사회적 취약성과 물리적 취약성이 둘 다 매우 높은 수준으로 나타났다. 이것은 인천지역의 홍수 위험성과 사회적 취약성의 장소적 공존성이 강한 것을 의미한다. 셋째, 물리적 취약성이 동일한 지역에서도 평가결과가 다양하게 나타났다. 동일한 홍수위험 지역에서도 지역의 사회적 특성에 따라 취약성이 다양하게 결정된다는 것을 알 수 있었다.

연구의 시사점은 다음과 같다. 첫째, 기후변화 적응관점에서 지역의 사회적 취약성이 강조될 필요가 있다. 기후변화로 자연재해의 규모가 예측 불가능한 규모와 형태로 증가하고 있다. 그러나 파국적 재해(catastrophic disaster)를 제외한 대부분의 재해는 지역차원에서 효과적인 대응이 가능하다(Sim *et al.*, 2008). 따라서 지역적 특성과 재해의 특징을 공간적으로 고려한 취약성 평가가 요구되며, 이를 토대로 대응계획을 수립할 필요가 있다. 지역의 특성은 인구구조적 특징 외에도 경제, 교육 등과 같은 다양한 사회적 요소를 포함한다. 그러나 현재의 많은 취약성 평가와 연구는 공공의 입장에서 기후변화 정책의 우선순위를 결정하는 연구로 관점이 집중되고 있다. 그리고 기반시설 및 건축물에 대한 평가가 주를 이루고 있으며, 사회적 특성과 관련해서는 어린이, 고령인구 등의 인구통계학적 기준만이 다루어지고 있다. 따라서 현재의 취약성 평가는 지역적 관점에서 기후변화 취

약성을 평가하기 위한 방법론으로는 분명한 한계가 있다.

본 연구는 동일한 위험에도 지역의 인구구조, 소득 등의 특성에 따라 최종적인 취약성 평가결과가 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 사회적 취약집단은 자연재해 대하여 더욱 큰 피해를 받을 뿐만 아니라, 원상태로 복원하는 데에도 상대적으로 큰 어려움을 겪게 된다. 취약성 평가결과가 효과적인 기후변화 적응으로 연결되기 위해서는 지역의 고유한 지리적 조건과 함께 사회, 경제 등 사회적 특성이 복합적으로 고려되어야 한다.

둘째, 사회적, 물리적 취약성 정도를 고려한 대응방안이 모색되어야 한다. 취약성 평가결과를 토대로 효과적인 물리적, 사회적 적응전략이 체계적으로 마련되어야 한다.

특히 사회적 취약성과 물리적 취약성의 수준에 맞추어 다양한 대응전략을 마련할 필요가 있다. 예로써 사회적 취약성이 매우 높지만, 상대적으로 물리적 취약정도가 낮은 지역은 주민대상의 지속적인 재난안전교육과 홍보를 실시하여 지역 또는 가계차원의 적응역량을 높이는 전략이 필요하다. 그리고 물리적 취약성과 사회적 취약성의 모두 취약한 지역은 사회적 적응역량의 제고와 함께 물리적인 방재시설의 보강이 신속히 이루어질 필요가 있다.

연구의 한계점은 다음과 같다. 먼저 미래의 사회적 취약성이 반영되지 못하였다. 본 연구는 현재 사회적 경제적 특성이 일정부분 유지될 것을 전제로 기후변화에 따른 홍수 취약성을 평가하고 있다. 따라서 미래의 기후변화 적응 관점의 취약성 연구로는 다소 미흡한 면이 있다. 향후 과거와 현재의 사회적 취약성 변화를 토대로 미래의 사회적 취약성을 도출하고, 사회경제 시나리오에 따른 사회적 취약성 대리변수의 미래수치를 추정하여 평

가에 반영한다면 보다 정확한 기후변화 취약성을 진단할 수 있을 것이다.

다음으로 센서스 집계구 통계자료의 한계이다. 현재 자료는 경제적 취약정도를 직접적으로 판단할 수 있는 소득수준을 반영하지 못하였다. 따라서 경제 취약지수의 도출을 위한 대리변수로 주택 점유형태, 주거면적, 주택노후도를 사용하였다. 향후 구체적인 소득의 추정이 가능한 신뢰성 있는 데이터를 사용한다면 연구의 정확성을 높여, 기후변화 취약성 연구에 보다 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

마지막으로 취약성 평가결과에 대한 검증의 어려움이 있다. 본 연구는 문헌연구를 통하여 평가지표를 도출하고, 이를 이용하여 기후변화에 의한 홍수위험의 사회적 취약성을 평가하였다. 그리고 평가결과는 취약성 정도에 따라 자연적 구분법을 통해 5개의 등급으로 분류하였다. 그러나 평가 지표와 자연적 구분법을 사용하여 도출한 결과가 실제 공간적인 취약성의 정도를 제대로 설명하고 있는가에 대한 검증이 이루어지지 못한 한계가 있다. 따라서 향후 설득력 있는 검증과정을 적용하여 평가방법과 연구결과에 대한 신뢰성을 높일 필요가 있다.

이러한 연구의 한계에도 본 연구는 특정 지역의 취약성 평가에 사회적 특성을 공간적, 정량적으로 반영하는 사회적 취약지수를 제시하였다는데 의미가 있다. 사회적 취약지수는 홍수 외에도 다양한 기후변화와 관련한 재해위험 분석결과와 공간적으로 중첩하여 취약지역을 도출할 수 있다. 그리고 평가결과를 토대로 지역적 차원의 기후변화 적응 방안을 마련하고, 민간의 역량강화 전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용이 가능하다. 아울러 사회적 취약성 평가지표는 최근 기후변화 연구에서 주목하고 있는 '회복력(resilience)', '적응역량' 등의 개념과 연계·적용하여, 다양한 기후연구의 평가

및 분석기준으로 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Balica, S. F., Wright, N. G., and Meulen, van der F., 2012, A Flood Vulnerability Index for Coastal Cities and Its Use in Assessing Climate Change Impacts, *Natural Hazards*, 64(1), 73-105.
- Cho, K.-W., Lee, H.-M., Rho, B.-H., Kang, J.-E., and Nobuoka, H., 2011, *National Assessment on Sea Level Rise Impact of Korean Coast in the Socioeconomic Context I*, Korea Environment Institute.
- Choi, H.-I., Park, S.-Y., Song, J.-H., and Park, M.-J., 2013, Identification of flood risk areas using a multi-criteria decision making method, *Journal of Korea Society of Hazard Mitigation*, 13(2), 237-243 (in Korean).
- Coninx, I. and Bachus, K. 2007, *Integrating Social Vulnerability to Floods in a Climate Change Context*, International Conference on Adaptive and Integrated Water Management, Coping with Complexity and Uncertainty.
- Cutter, S. L., 1996, Vulnerability to Environmental Hazards, *Progress in Human Geography*, 20(4), 529-539.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., and Shirley, W. L., 2003, Social Vulnerability to Environmental Hazards, *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261.
- Dow, K., 1992, Exploring Differences in our Common Future(s): the meaning of vulnerability to global environmental change, *Geoforum*, 23(3), 417-436.
- Fuchs, S., Kuhlicke, C., and Meyer, V., 2011, Editorial for the Special Issue: vulnerability to natural hazards-the challenge of integration, *Natural Hazards*, 58(2), 609-619.
- Haki, Z., Akyurek, Z., and Düzgün, S., 2004, Assessment of Social Vulnerability Using Geographic

- Information Systems: Pendik, Istanbul case study, 7th AGILE Conference on Geographic Information Science, 413-423.
- Heo, I.-H., Jeong, J.-H., and Lee, S.-H., 2014, Changes of Disaster Regions by Heavy Rainfall in South Korea, *Journal of Climate Research*, 9(2), 94-95 (in Korean).
- Hufschmidt, G., 2011, A Comparative Analysis of Several Vulnerability Concepts, *Natural Hazards*, 58(2), 621-643.
- IPCC, 2012, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582.
- Jang, J.-H., Jang, B.-T., and Kim, Y.-T., 1999, Text Categorization Based on the Maximum Entropy Principle, *Proceedings of Fall Congerence on Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 26(2), 57-59 (in Korean).
- Jenks, G. F. and Caspell, F. G., 1971, Error in Choroplethic Maps: definitions, measurement and reduction, *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), 271-244.
- Kim, H.-S., Park, G.-J., Kim, S.-D., Choi, M.-H., Park, M.-J., and Yoon, J.-Y., 2012, Assessment of Flood Vulnerability Considering Climate Change and Large-Scale River Restoration Project, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(2), 107-113 (in Korean).
- Kim, E.-S., Yoon, K.-Y., and Lee, S.-H., 2014, Lake Vulnerability Assessment, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 15(11), 6877-6883 (in Korean).
- Kim, S.-Y., Joh, C.-H., and Lee, S.-H., 2015, Change of Damages and Damage Areas Caused by Typhoon in South Korea, *Journal of Climate Research*, 10(2), 121-135 (in Korean).
- Koh, J.-K., 2011, A Study on Climate Change Vulnerability Types and Adaptation in Local Government : With Cases from Gyeonggi-Do, *Korean Society and Public Administration*, 22(2), 93-118 (in Korean).
- Koks, E. E., Jongman, B., Husby, T. G., and Botzen, W. J. W., 2015, Combining Hazard, Exposure and Social Vulnerability to Provide Lessons for Flood Risk Management, *Institute for Environmental Studies*, 47, 42-52.
- Lee, C.-W., 2015, Discourse for Expanding the Study Realm and Subject of Economic Geography on Climate Change and its effects, *Journal of Climate Research*, 10(2), 75-88 (in Korean).
- Lee, G.-J. and Cha, J.-W., 2015, Assessing Climate Change Vulnerability for Tuning the Local Government's Countermeasure, *Journal of Climate Research*, 10(1), 13-24 (in Korean).
- Lee, J.-H., Kim, H.-S., Kang, J.-E., Ahn, J.-E., and Baek, K.-H., 2010, *Climate change adaptation capacity indicators - a pilot study for the application of the indicators at the local level*, Korea Environment Institute (in Korean).
- Lee, L.-Y., Kim, S.-J., Kim, Y.-S., and Kim, H.-S., 2013, Evaluation of Resilience in Anyang River Basin for Flood Damage Mitigation, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(2), 291-298 (in Korean).
- Lee, M.-J. and Kang, J.-E., 2012, Predictive Flooded Area Susceptibility and Verification Using GIS and Frequency Ratio, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(2), 86-102 (in Korean).
- Park, H.-W., 2009, A Study on the Establishment of the Core Climate Axis of Korea Climate Based on

- the Entropy of Climate Elements: Focus on Honam Region, *Journal of Climate Research*, 4(2), 67-95 (in Korean).
- Park, Y.-K., Jeong, S.-M., and Kim, S.-D., 2014, Natural Disaster Vulnerability Assessment at Boroughs and Census Output Areas in Seoul Focusing on Socio-economic Perspective, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(6), 439-449 (in Korean).
- Rajendra, G. K., Roger, R. S., and Kingsley, E. H., 1999, Towards an Information Entropy Model of Job Approval Rating: the clinton presidency, *Entropy*, 1(3), 37-49.
- Safeland, 2012, *Living with Landslide Risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies, Deliverable D2.6 Methodology for evaluation of the socio-economic impact of landslides(socio-economic vulnerability)*, 7th Framework Programme.
- Scheuer, S., Haase, D., and Meyer, V., 2011, Exploring Multicriteria Flood Vulnerability by Integrating Economic, Social and Ecological Dimensions of Flood Risk and Coping Capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability, *Natural Hazards*, 58(2), 731-751.
- Shin, H.-S., and Lee, S.-H., 2014, Development of a Climate Change Vulnerability Index on the Health Care Sector, 13(1), *Journal of Environmental Policy*, 69-93 (in Korean).
- Sim, O.-B., Wang, K.-I., Lee, B.-H., Lee, M.-W., and Moon, C., 2008, *A Study on the Disaster-prevention Urban Planning for the Creation of Safe City*, Korea Research Institute for Human Settlements (in Korean).
- Song, J.-H., Kim, S.-D., Park, M.-J., and Choi, H.-I., 2013, Estimation of Flood Risk Index for the Nakdong River Watershed, *Journal of the Korean Water Resources Association*, 46(1), 35-45 (in Korean).
- Willroth, P., Revilla Diez, J., and Aruntai, N., 2011, Modelling the Economic Vulnerability of Households in the Phang-Nga Province (Thailand) to Natural Disasters, *Natural Hazards*, 58(2), 753-769.
- Wilson, A. G., 1970, *Entropy in Urban and Regional Modelling*, Pion Limited.
- Wisner, B., Gaillard, J. C., and Kellman, I., 2011, *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction*, Routledge.
- <http://sgis.kostat.go.kr>
<http://www.hrfco.go.kr>
<http://www.incheon.go.kr>
<http://www.ngii.go.kr>
<http://www.wamis.go.kr>

책임편집: 허인혜
 영문교열: 조창현