

기후변화 불확실성을 고려한 226개 기초지자체 유형화 연구

김재완* · 정태용**† · 박찬*** · 문종우* · 강다현*

*연세대학교 국제학대학원 박사과정, **연세대학교 국제학대학원 교수, ***서울시립대학교 조경학부 부교수

Climate Change Uncertainty and the Classification of 226 Local Entities in Korea

Kim, Jaewan* · Jung, Tae Yong**† · Park, Chan*** · Moon, Jongwoo* and Kang, Dahyun*

*Ph.D. Student, Graduate School of International Studies, Yonsei University, Seoul, Korea

**Professor, Graduate School of International Studies, Yonsei University, Seoul, Korea

***Associate Professor, Department of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study aims to classify 226 local entities in Korea according to the type of climate vulnerability to provide appropriate climate adaptation policies that consider local characteristics. Using climate impact as the y-axis and adaptive capacity as the x-axis, we can create four types of vulnerability and plot 226 local entities on a quadrant. Unlike previous studies in this field, we consider the concept of uncertainty while calculating the exposure index, which is a climate impact component, by estimating the probability of disaster risk. In addition, using the principal component analysis method to calculate weights for each index increased the statistical robustness to our study. The results indicated that Type 1 areas (those with high climate impact and high adaptive capacity) included coastal regions or geographically vulnerable places that could overcome climatic restrictions through their high adaptive capacity. Type 2 areas (those with high climate impact and low adaptive capacity) were the most vulnerable, and included several local areas on the west coast of the Korean peninsula. Socially vulnerable groups in this area may need support from the central government to avoid negative climate impacts. Local entities in Type 3 areas (those with low climate impact and low adaptive capacity) pay less attention to climate adaptation issues, but they are exposed to the potential risks of climate impacts due to their low adaptive capacity. For Type 3 specifically, further education and enhancing public awareness on climate change adaptation are required. Last, Type 4 areas (low climate impact and high adaptive capacity) include mostly urban areas where vulnerability is the lowest, yet potential risk could be the highest due to large populations and extensive infrastructure. The findings will contribute to map out locally specified climate change adaptation policies in each local entity.

Key words: Climate Vulnerability, Classification, Adaptive Capacity, Climate Impact, Principal Component Analysis, 226 Low-level Local Entities

1. 서론

전 세계적으로 기후변화가 심화됨에 따라 이로 인한 영

향과 피해도 증가하고 있는 추세이다. 홍수, 가뭄, 폭염 등 과 같은 기상이변이 인간의 삶에 악영향을 미치고 있으며, 직접적 인과관계의 증거가 미흡함에도 불구하고 이러한

†Corresponding author : tyjung00@yonsei.ac.kr (03722, Yonsei University, Yonsei-ro 50, Seodaemun-gu, Seoul, Republic of Korea. Tel. +82-2-2123-3594)

ORCID 김재완 0000-0002-0945-1540
박찬 0000-0002-4994-6855
강다현 0000-0003-3807-6089

정태용 0000-0002-3953-0725
문종우 0000-0003-3147-3102

기상이변이 기후변화의 영향과 관련이 있음을 부정할 수는 없다. 기후변화로 인한 영향은 생물·물리적 영향과 사회·경제적 영향으로 구분될 수 있다. 특히 후자의 경우, 생물·물리적 영향과도 밀접한 관련이 있다. 예를 들어 작물 생산량의 감소가 GDP의 감소로 이어지고 이로 인한 경제난이 더 많은 사회적 취약계층을 배태하는 상황이다(Lee et al., 2010). 기후변화의 위험을 줄이는 조치로는 완화(mitigation)와 적응(adaptation)이 있다. 기후변화 완화는 원인이 되는 온실가스 배출을 줄임으로써 기후변화의 진전을 막는 것이다. 적응은 현재 또는 미래의 기후변화 효과와 영향에 대하여 자연적 혹은 인위적으로 시스템을 조절함으로써 기후변화로 인한 피해를 완화하거나 더 나아가 유익한 기회로 촉진시키는 활동을 의미한다(Han et al., 2007; IPCC, 2007). 두 문제 모두 기후변화 위험을 줄이는 것을 목적으로 하나 효과는 다른 양상으로 나타난다. 완화 정책은 혜택이 전 지구적이며 미래에 발생할 가능성이 높지만, 적응은 현재의 기후변화 취약성을 줄이고 정책효과가 지역에 즉각적으로 나타난다. 또한 적응은 취약성을 줄이는 조절 과정과 극한 기상 현상에 대한 적응능력(adaptive capacity)을 높이는 것을 포함하므로 지역 차원의 기후변화 대응을 위해 더 강조되고 있다(IPCC, 2007; Swart and Raes, 2010). 그러므로 적응의 편익은 지역에 귀속될 뿐만 아니라, 동일한 기상현상이 발생하더라도 각각의 지역이 처한 제반 여건들 - 지리적, 기반시설, 인구특성, 물적·인적·사회적 자본 등의 영향을 다르게 받기 때문에 지역 차원의 노력이 우선시 되어야 한다.

지역이 처한 기후변화 취약성을 파악하는 과정을 거침으로써 그 지역에 맞는 적응정책의 개발이 가능해질 것이다. 적응정책의 우선순위는 지역의 취약성 특성에 맞는 적절한 접근이 필요하다. 그것은 민감한 시스템의 개선이 될 수도 있고, 지역의 적응능력을 향상시킴으로써 기후변화로 야기될 수 있는 피해를 최소화하는 방안이 될 수도 있기 때문이다(Koh, 2011). 우리나라의 경우, 기후변화 완화에 비해 적응분야의 투자 및 대책이 미흡했다. 따라서, 2010년 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 토대로 2011년부터 광역시 및 기초지자체에서 기후변화 적응대책을 수립 및 이행하고 있다(Ahn et al., 2016). 하지만, 지금까지 수립된 지자체 기후변화 적응 세부시행계획들은 적응 대책이 중앙정부 주도하에 탑다운(Top-down)방식으로 이루어져 왔다. 그에 따라, 지역이 처한 상황이나 각각의 특성을 반영하기 어렵다는 한계가 지적되어 왔다(Lee, 2013). 따라서, 기후변화 적응대책에 대한 효과적인 피드백 시스템 마련

의 필요성이 제기되기 시작했다(Chae, 2014). 국내에서는 적응대책의 환류 시스템 정립을 위한 연구가 활발히 이루어지지 않고 있다. 게다가, 환경부 주도로 수행되고 있는 기후변화 적응대책의 이행평가는 적응대책의 적합성을 평가하기에는 역부족인 상태이다(Ahn et al., 2016). 기후변화 적응 계획 및 정책의 효과적 피드백을 위해서 우선적으로 이루어져야 할 과업은 기후변화 적응 관련, 각각의 지자체가 처한 상황에 대해 명확한 진단을 내리는 일이다. 그러한 맥락에서, 기후변화 취약성 평가에 따른 지자체 유형화는 이러한 역할을 수행할 수 있는 효과적 방법이라고 사료된다.

그간 기후변화 취약성에 기반한 다양한 유형화 연구가 이루어졌으나, 상당수의 연구가 건강, 농업, 산림, 생태계, 물관리, 재난·재해 등 부문별 연구에 집중되어 왔다. 그러므로 통합적 분야에 대한 취약성 연구는 다소 미흡한 실정이다. 아울러, 부문을 통합한 기후 취약성에 따른 유형화 연구의 경우에도 많은 경우 특정 지자체를 대상으로 연구가 진행되었거나 광역 단위의 연구가 이루어졌다. 따라서, 226개 기초지자체를 대상으로 지역의 취약성을 고려하여 유형화를 수행한 본 연구는 학문적 기여도뿐 아니라, 정책적으로도 의미가 크다고 할 수 있다. 본 고에서는 기후취약성을 구성하는 함수인 기후영향 및 적응역량 지수를 산출하고, 이에 따라 226개 기초지자체의 유형을 4가지로 분류하였다. 아울러, 각 유형별로 적절한 적응 계획 및 정책의 방향을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

2.1 기후변화 취약성

기후변화 취약성의 개념은 연구의 초점이나 정책적 중요도에 따라 다양하게 존재해왔다. 일반적으로 민감도의 개념은 기후변화가 가져오는 부정적인 영향에 대해 시스템이 대처할 수 없는 정도를 의미한다(McCarthy et al., 2001; Koh, 2011). 취약성 개념은 IPCC (McCarthy et al., 2001)의 정의가 널리 사용되는데, 이는 노출, 민감도, 적응역량의 함수로서 기후변화에 대한 시스템 노출, 이러한 외부적 요인에 대한 스트레스 민감도, 적응능력이라는 내부적 요인을 포함하고 있다. IPCC의 취약성 정의는 외부적 요인인 기후변화에 대한 시스템 노출과 내부적 요인인 민감도 및 적응능력을 모두 포함하여 사회적 취약성과 생물물리학적 취약성을 포괄적으로 담고 있는 개념이다(Fussler, 2007).

IPCC 보고서에서 개념화된 취약성 평가의 흐름을 보면, 처음 취약성의 개념이 도입된 것은 1995년 2차 보고서였다. 3차 보고서에서는 주로 기상에 초점을 맞춘 기후영향 평가의 관점을 견지하였다. 4차 보고서에서는 생물·물리적 평가 중심의 3차 보고서 내용에 덧붙여 사회경제적 취약성 평가까지 그 범위를 확대하였다. 이를 토대로 의사결정자 및 이해 당사자들의 평가 참여를 독려하는 방법론이 다루어졌다(Yoo and Kim, 2008). 이러한 취약성의 개념은 Fussel and Klein (2006)이 정리한 기후 취약성 평가의 4단계(영향평가, 제1세대 취약성 평가, 제2세대 취약성 평가, 그리고 적응정책 평가) 프레임으로 전환하여 생각해 볼 수 있다. 우선, Fussel and Klein (2006)은 영향평가와 제1세대 취약성 평가는 완화정책에 초점이 맞춰져 있으며 전자의 경우, 기후변화의 생물물리학적 영향이 무엇인가를 추정하며, 후자는 이에 덧붙여 기후변화의 사회경제적인 영향까지 고려한다고 주장한다. 제2세대 취약성 평가 단계는 해당 시스템과 인구의 적응능력을 고려하여 가장 효과적인 자원의 배분에 초점을 두고 있다. 마지막으로 적응정책 평가는 기후 취약성을 줄이기 위한 구체적인 적응정책을 제시하는 것 목적으로 하기 때문에 평가목적에 있어 근본적인 전환을 보인다. 이 마지막 단계의 특징은 이익당사자들의 적극적 참여, 기후변동에 대한 인구 취약성에 대한 강조, 기후변화 대응 전략의 수립 및 평가, 그리고 기존의 정책에 적응 조치를 통합시키는 노력 등을 통해 나타나는 데 국내·외 연구의 방향이 4단계 적응정책 평가로 옮겨가고 있는 추세이다.

2.2 기후 취약성 평가에 대한 선행 연구

기후변화 취약성에 대한 다수의 선행연구 가운데, Yoo and Kim (2008)의 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안 연구는 McCarthy et al. (2001)의 취약성 개념들을 따랐다. 기후에 대한 노출, 시스템의 민감도 정도, 그리고 시스템이 이에 대응할 수 있는 적응능력에 해당되는 33개의 대리변수들을 선정하였다. 그 후, z-score 표준화 과정을 거쳐 주성분 분석 방법에 따라 가중치를 구하고 취약성-탄력성 지표(VRI)를 계산하였다. 한국의 상황에 맞는 지표를 이용하여 광역단위 지자체의 기후변화 취약성을 전국범위로 확대하여 시도한 최초의 연구이므로 의의가 크다. Koh and Kim (2010)은 지자체 취약성 평가를 위

한 지표를 도출하여 경기도 내 31개 시·군 지역을 대상으로 노출, 민감도 그리고 적응능력에 기반하여 취약성 지수를 산정하였다. 가중치는 AHP기법을 활용한 전문가 설문 에 근거하여 결정하였다. 또 다른 Koh (2011)의 연구는 지자체의 기후 취약성 유형 및 그 적응방안에 대한 연구로, 경기도 지역을 대상으로 수행되었다. 경기도 내 각 지자체별 기후 취약성 지수를 산정 후 4개의 유형 틀로 분석, 각각의 유형에 맞게 기후변화 적응방안을 제시하였다. Hwang and Byun (2011)은 서울시 25개 자치구를 대상으로 기후변화 취약성 평가지표를 개발하고 적용하였다. 특히, 이 연구는 사회경제적 요소보다는 도시의 공간적, 지형적 요소, 타 지역과 구분될 수 있는 차이점을 파악할 수 있는 민감도 변수 선정에 초점을 맞추었다. 그 결과, 서울시 기초지방자치단체 간의 취약성 차이를 분석하고 이를 유형화하였다. Oh et al. (2012)의 연구는 강원도 지역을 대상으로 고해상도 공간자료(GIS)를 사용하여 취약성 평가를 실시하였다. 지역간 취약성의 상대적 차이가 뚜렷한 4개의 항목 - 오존에 의한 건강 취약성, 홍수에 의한 기반시설 취약성, 산사태에 의한 산림 취약성, 가뭄에 의한 물관리 취약성을 선정하여 각 시군구의 상대적 취약성에 따라 3개의 등급으로 분류하였다. 이는 적절한 예산 분배 및 정책 수립이 가능토록 함으로써 의의가 있다.

다음은 Fussel and Klein (2006)의 4단계 취약성 평가에 해당되는 구체적인 적응정책 평가의 내용을 담고있는 최근의 연구동향을 살펴보았다. Ahn et al. (2016)은 기후변화적응 33개 기초지자체를 대상으로 지자체 기후변화 적응대책 세부 시행계획에 해당하는 총 1,279개의 적응옵션의 수와 예산을 기준으로 K평균 군집분석을 수행하였다. 이를 통해 군집별 적응대책 특성과 피해 유형을 비교·분석하고, 24년 간의 신문 기사 2,565건을 8개의 분야별로 분류하였다. 이를 통해 전국 지자체의 피해 사례 유형 및 빈도수 등을 기초지자체 기후변화 적응대책 세부 시행 계획과 비교·분석하여 향후 개선방향을 제시하였다. Kim et al. (2018)의 연구에서는 수원시를 대상으로 사회적 회복력 및 경제적 회복력을 지표로 선정하여 평가하고 이를 높이기 위한 방안을 제시하였다. 이는 IPCC AR5에서 강조한 바 있는 기후변화 취약성 중심 관리에서 지역의 회복력(resilience)을 높이는 것으로 초점을 옮겨간 것을 반영한 새로운 접근법이다.

3. 취약성 지표 및 유형화 방법론

3.1 기후변화 취약성 분석틀

IPCC 기후변화 취약성의 개념은 Fig. 1과 같이 노출, 민감도, 그리고 적응능력의 함수로 정의될 수 있다. 노출은 시스템이 기후와 관련된 자극에 노출되는 정도를 의미하는데 자극이란 평균적 기후특성, 기후변동 및 극단적 기후 현상의 빈도 및 세기 등을 포함한다. 민감도는 시스템이 기후 관련 자극에 어떻게 영향을 받는가 정도를 나타내는데 기후변화의 영향을 많이 받을 경우 민감도가 높다고 할 수 있으며 이는 긍정적, 부정적 영향이 모두 해당된다. 적응능력은 기후변화 영향에 대처할 수 있는 능력으로 연구마다 다른 변수들을 포함하고 있지만, Cutter et al. (2000)은 경제적 자원, 제도적 역량, 사회적자본, 인적자본, 기술적 대안 등에 의해 적응역량이 결정된다고 하였다.

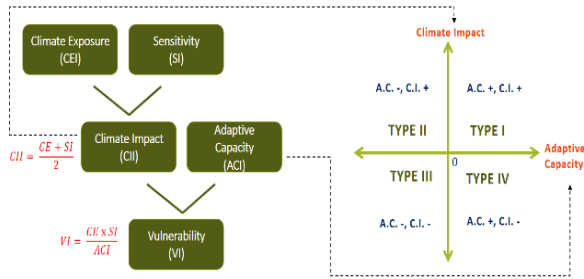


Fig. 1. Vulnerability framework and classification

본 연구에서 활용된 취약성 지표의 개념 틀은 앞서 Fig. 1과 같이 IPCC의 취약성 개념을 기반으로 하였다. 취약성 지수의 값이 커지면 커질수록 해당 지자체가 기후변화에 취약하다고 할 수 있다. 즉 기후변화에 대한 노출이 시스템의 민감도에 따라 기후영향지수로 나타나며, 시스템이 가지고 있는 기후변화에 대한 적응역량에 따라 적응역량 지수가 도출된다. 유형화를 위해 기후영향지수를 y축, 적응역량지수를 x축으로 두면 기후변화 취약성에 따라 226개 기초지자체를 4개의 유형으로 구분할 수 있다. 본 연구는 선행연구에서 각각의 지수를 산정하기 위해 사용한 변수들을 참고하되, 가용데이터 여부 및 연구의 목적에 맞게 변수를 취사선택하였다.

3.2 유형화 지표도출

3.2.1 기후 노출(Exposure)

기후 노출의 개념은 평균적인 기후특성과 관련하여 해당 시스템이 자극에 노출되는 정도를 의미하는데, 연구자마다 그리고 연구 목적에 따라 구체적인 기후 변수를 선택하는 폭은 차이가 있다. Koh and Kim (2010)의 연구에서는 기후 노출의 요소로 호우, 가뭄, 기온(혹서), 해수면 상승 등 자연적 요인으로 한정하여 사용하였고 Yoo and Kim (2008)의 연구에서는 호우, 가뭄, 혹서와 관련된 지표를 기후노출 변수로 선정하여 분석에 사용하였다.

본 연구에서는 기후노출지수를 구성하기 위해 과거 기후 데이터를 수집하기보다는 Table 1과 같이 불확실성을 반영한 재해 데이터(RCP8.5, 2050년 기준)를 활용하여 기후노출지수를 산정하였다. 불확실성이 발생하는 원인은 자료의 오류, 모호하게 정의된 용어, 인간 행동의 불확실한 전망 등 다양하게 존재한다(Kunreuther et al., 2014). 본 고에서 다루고 있는 불확실성 연구는 기후변화로 인한 영향(특히, 재해)의 발생과 관련하여 정보 불확실성을 낮추는 것을 목표로 한다. 정보 불확실성은 의사결정에 있어 장애 요인이 되기 때문에 이를 돕기 위해 발생 여부 확률이 매우 높은 지역과 발생확률이 매우 낮은 지역과 같이 정보가 확실한 지역의 환경정보를 바탕으로 정보 불확실성이 높은 지역을 예측하고, 정보가 확실한 지역의 수를 평가단위의 면적 비율로 환산하여 정보를 주는 것이 중요하다고 판단하였다.

Table 1. Data used for exposure index

Sector	Data source	Method
Forest fire	MOTIVE	Physics-based model, use normalized value from 1 to 7
Landslide	Study for landslide production	MaxEnt probability model
Flooding	Self-production	MaxEnt probability model, Produced based on existing data
Health	MOTIVE	Number of deaths from heat waves, use normalized value
Productivity	MOTIVE	Average cultivation suitability for rice, barley, cabbage, apple

수집 혹은 생산된 재해 데이터는 부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 개발 연구단(MOTIVE)에서 생산된 데이터와 MaxEnt 모델을 활용하여 분석한 결과물을 활용하였다(MOTIVE, 2020).

데이터를 활용하여 재해 발생 확률을 0.0 - 1.0으로 나타내고, 0.4 - 0.6의 수치를 불확실 범위로 설정하였다(Fig. 2). IPCC에서는 AR5의 불확실성과 관련된 가이드라인에서는 매우 확실한 가능성에서부터 매우 예외적인 가능성도 없는 상태까지 0 ~ 100%로 구분하여 적용하고 있다 (Mastrandrea et al., 2010). 본연구에서는 모든 자료는 1 km × 1 km 해상도로 제작되었으며, 0-1 사이의 값들을 0.4, 0.6을 기준으로 분류하였다.

- 0 - 0.4 = 비발생(0)
- 0.4 - 0.6 = 불확실(X)
- 0.6 - 1 = 발생(1)

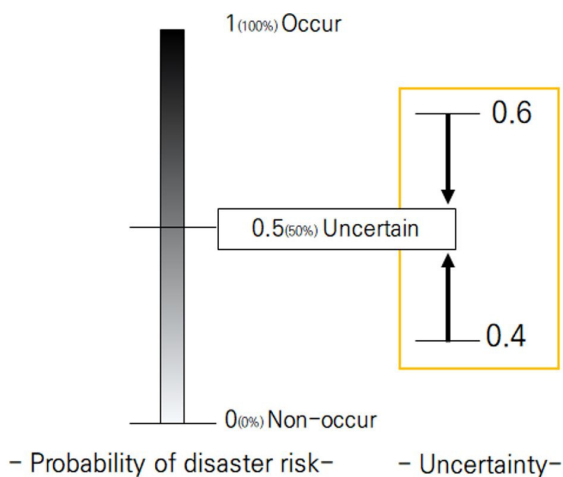


Fig. 2. Probability of disaster risk and uncertainty

아울러, 5가지 재해에 해당하는 값을 아래와 같이 다섯 자리 코드로 작성(e.g. 100 X1) 모든 값이 비발생 또는 발생이면 확실한 지역으로, 다섯 자리 중 하나라도 불확실하다면 불확실 지역으로 아래와 같이 코딩하여 분류하였다

- 산불: 온도로 인한 재해(10000)
 - 산사태: 강수량, 지형에 의한 재해(01000)
 - 침수: 강수량, 지형에 의한 재해(00100)
 - 건강: 온도로 인한 재해(00010)
 - 생산성: 온도, 강수량, 지형에 의한 재해(00001)
- 재해발생 가능성이 확실하게 판명된 지역만 추출하여, 재

해의 원인이 되는 온도, 강수량, 지형(geomorphic)재해로 유형 구분의 기준을 세워, 재해 유형을 다음과 같이 총 4가지 A, B, C, D유형으로 분류하였다. Fig. 3은 재해의 유형별로 지도 위에 색깔을 달리하여 표출한 결과를 보여주고 있다.

- A유형: 온도로 인한 재해(산불, 건강)
- B유형: 강수량, 지형에 의한 재해(산사태, 침수)
- C유형: 온도, 강수량, 지형의 복합재해(산불 + 산사태, 산불 + 침수 등)
- D유형: 저위험

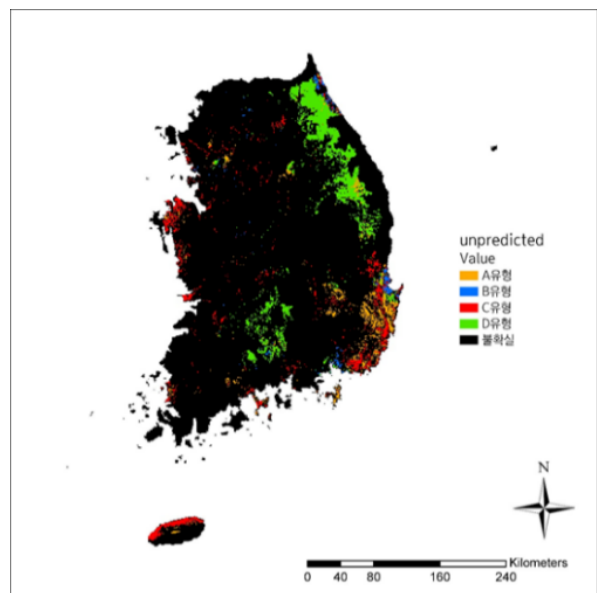


Fig. 3. Classification of disaster types in disaster certain areas

재해발생 가능성이 확실한 지역을 대상으로 재해유형과 재해의 원인이 되는 기후자료는 기상청 기후정보포털에서 제공하는 1 km 해상도의 격자 단위 자료를 활용하였다(Korea Meteorological Agency, 2020). 지형의 정보는 해당 지점과 주변 지점과의 차이에 대한 분석을 바탕으로 구분하는 지오모폰 방식을 활용하여 데이터를 구축하였다(Jasiewicz and Stepinski, 2013).

재해발생 가능성에 대한 평가는 온도, 강수량, 지형에서 얻은 값을 딥러닝 시켜 모델을 제작하였다. 재해발생 가능성이 불확실한 지역의 경우에는 온도, 강수량, 지형 값을 통해 재해 유형을 추정한 후, 재해 점수를 다음과 같이 계산하였다.

- 확실한 지역의 단일재해(온도재해, 강수량지형재해): 1점
- 확실한 지역의 복합재해: 2점
- 불확실한 지역의 단일재해: 0.5점
- 불확실한 지역의 복합재해: 1점

이와 같이 도출된 재해점수는 1 km × 1 km로 이루어진 셀에 해당하는 값이므로 각 지자체 단위의 값을 구하기 위해서는 해당 지자체에 속한 셀의 값을 모두 더한 뒤 그 개수로 나눈 평균값을 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 재해 위험도로 계산할 수 있다. 재해위험도 값을 기후노출지수로 활용하여 226개 지자체의 기후 취약성에 따른 유형화를 위한 y축의 부분 값으로 활용하였다.

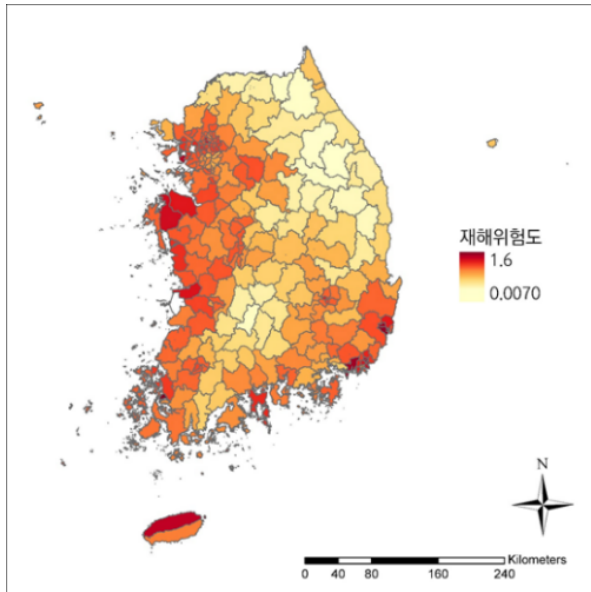


Fig. 4. Disaster risk

3.2.2 민감도(Sensitivity)

IPCC AR5에서 강조한 바와 같이, 기후변화 적응의 방향은 지역의 회복력(resilience)을 높이는 위험관리로의 전환을 맞고 있다(IPCC, 2014). 따라서 기후 취약성 중심의 유형화를 수행함에 있어서도 기후변화로부터의 영향을 최소화하고 신속히 복원하도록 하는 회복력에 초점을 맞출 필요가 있다. 이러한 지역의 회복력은 지역이 처한 자연적 특성뿐만 아니라 인문·사회적 특성까지도 고려한 기후변화 적응 체계의 구축에 대한 필요성이 제기되는 추세이다(Kim et al., 2018). Lim and Yoon (2018)은 226개 기초지자체를 대상으로 효율적 재난관리 및 지역의 회복력 제고

를 위해 인구특성, 주거특성, 지역산업특성, 토지이용특성으로 지역의 속성을 설명하였다. 방법론으로써 측정값 간의 평균거리의 제곱을 활용하는 Ward 방법 및 측정값 간의 평균거리를 이용하는 방법을 이용, 각각의 군집을 분류하고 이를 비교하였다. Koh (2011)의 지자체 취약성 유형 연구에서도 민감도에 대한 고려 범주를 지리적 특성 및 토지이용, 인구적 특성, 그리고 기반시설 및 산업으로 고려하였다. 따라서, 종합적으로 기후민감도 요소로서 본 연구는 토지이용에 관한 변수, 지역산업 특성 변수, 주민생활 특성 변수의 범주를 고려하였고 이는 타당한 구분이라고 볼 수 있다.

본 연구의 초점이 지자체 기후변화 적응을 위한 취약성 유형화임을 고려 시, 기후영향에 직접적으로 영향을 받는 토지이용 변수만을 포함시키는 것이 타당하므로, 선행연구의 분류기준을 참고하되 ‘과수원, 논, 유지, 임야, 전, 하천’만을 변수로 고려하였다. 해당지목별 토지면적을 지자체 전체 면적으로 나눔으로써 비율을 계산하였다. 지역산업특성에 관한 변수는 각 기초지자체의 주요산업에서 해당하는 지표를 반영한 선행연구(Lim and Yoon, 2018)를 참고로 하였다. 그 후, 기후변화의 영향을 가장 많이 받는 1차 산업인 ‘농업, 임업, 어업’만을 추려내어 각 지자체의 해당 산업체 수를 전체산업체 수로 나누어 비율을 구하였다. 마지막으로 기후적응에 영향을 받는 취약한 주민생활 특성변수로서 인구밀도, 노인인구비율, 독거노인비율, 영·유아비율, 그리고 단독주택 비율을 고려하였다. 기후변화에 취약한 계층과, 구조적으로 아파트에 비하여 홍수 등에 취약한 단독주택을 주요 변수로 반영하였다. Table 2는 민감도 지수에 사용된 변수를 정리하여 표의 형태로 보여주고 있다.

3.2.3 적응역량(Adaptive Capacity)

일반적으로 적응역량은 경제적 자원, 기술 및 정보에 대한 접근성, 인프라의 다양성, 적응을 위한 제도적 역량, 자원 이용 가능성 및 공평한 배분이 이루어질 경우 높아진다고 한다(Koh and Kim, 2010). 호주의 뉴사우스웨일즈 주 정부에서 발표한 보고서에 의하면, 적응역량이라는 것은 기후변화에 대한 통합적 지역 취약성 평가 (IRVA: Integrated Regional Vulnerability Assessment)의 관점에서 다루어질 필요가 있다. 통합적 지역 취약성 평가 절차는 5개의 자본 프레임워크를 이용, 취약성 평가가 각 지방정부의 서비스나 활동 등에 연결될 수 있도록 하는 데 목적이 있다. 이는 통상적으로 사람들의 생활자산 혹은 자원 등을 의미하는데 다음의 5개 범주로 구분된다(NSW Office of

Environment and Heritage, 2013).

- 금융자본: 재산, 개인소득, 부채 정도
- 인적자본: 교육수준 정도 및 건강
- 사회적자본: 커뮤니티 및 사회와의 연대, 신뢰, 참여
- 자연자본: 자연자본 확보, 자연재해 빈도
- 물리적자본: 도로, 대중교통, 가옥의 형태 및 상태와 같은 인프라의 종류 및 수준

통합적 지역 취약성 평가는 지역의 기후변화 취약성을 정치적, 제도적, 사회적 그리고 경제적 변화의 관점에서 평가할 수 있다. 그러므로 적응역량은 위에서 언급한 5개 범주의 자본 프레임워크로 고려해 볼 수 있는데, 이는 적

응에 장애가 되는 요소들을 제거하려는 노력이 구조 및 절차의 변화 또는 지역 수준에서 보다 개인적인 차원으로 세계와 직접적으로 관련된 전략으로 나타날 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 통합적 지역 취약성 평가에서 제시하고 있는 5가지 자본에서 설명하고 있는 지표들을 참고하여, 각 지자체의 적응역량 평가를 위한 변수를 설정하였다. 하지만, 226개 기초지자체를 대상으로 사회적자본을 측정하는 변수와 관련된 데이터를 찾는 데 어려움이 많아, 기후 취약성에 따른 유형화는 사회적 자본역량이라는 세부요소를 배제하고 4개의 자본역량을 기준으로 아래 Table 2와 같이 정리하였다.

Table 2. Variables for sensitivity and adaptive capacity

	Category	Variable	Source	Period	
Sensitivity	Land use	Orchard	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
		Rice paddy	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
		Dry paddy	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
		River	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
		Forest	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
		Marsh	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
	Local industry	Number of business in agriculture	Statistics Korea, Economy census	2015	
		Number of business in forestry	Statistics Korea, Economy census	2015	
		Number of business in fishing	Statistics Korea, Economy census	2015	
	Resident life	Population density (population per 1 km ²)	Ministry of Public Administration and Security, Korea urban statistics	2016	
		Elderly population ratio to total population	Statistics Korea, Census	2018	
		Infant population ratio to total population	Statistics Korea, Census	2018	
		Ratio of elderly living alone to total population	Statistics Korea	2018	
			Detached house ratio to total house	Statistics Korea, Housing census	2018
	Adaptive capacity	Human capital	Number of students per faculty	KOSIS, e-local indicator	2017
Number of doctors per 1,000 population			KOSIS, e-local indicator	2017	
Number of hospital beds per 1,000 population			KOSIS, e-local indicator	2017	
Physical capital		Green area per population	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
		Sewer system supply rate	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2016	
		Water supply rate	Ministry of Environment, Water supply statistics	2017	
		Embankment area per total area	Korea Land and Housing Corporation, City planning status	2018	
Institutional capital		Number of residents in charge per firefighting official	KOSIS, e-local indicator	2017	
		Proportion of public administration budget in general accounts	KOSIS, e-local indicator	2017	
Financial capital		GRDP	Statistics Korea, Regional income	2016	
	Financial independence	Ministry of Public Administration and Security	2018		

3.3 취약성 지수 산출 방법론

본 연구에서는 취약성 지수(vulnerability index)를 계산하였고, 이를 위한 자료의 표준화 방법, 각 지표의 방향성에 따른 부호의 결정, 인덱스 도출을 위한 연산의 과정을 거쳤다. 표준화 과정은 z-score 방식을 이용하였는데, 이 방법의 문제점은 자료가 정규분포를 하지 않을 경우 결과가 왜곡될 수 있다는 점이다(Yoo and Kim, 2008). 표준화를 거친 자료들에 대해 방향성에 따라 부호를 결정하여야 하는데, z-score 방법은 기준이 되는 값에 대한 상대적 거리를 표현하는 표준화 방법이므로 기준보다 작은 값의 경우 음의 부호를, 기준보다 큰 값에 대해서는 양의 부호를 취한다. 적응역량을 측정하는 변수 가운데, ‘교사 1인당 학생 수’는 숫자가 증가할수록 적응역량이 떨어지는 것을 의미하므로, 변수에 각각 음수를 취해 주었다. 부호가 결정된 이후에는 각 세부요소별로 지수를 계산하였다. 기후변화에 대한 노출이 시스템의 민감도에 따라 이를 기후영향지수로 산정하고 시스템이 가지고 있는 기후변화에 대한 적응역량에 따라 적응역량지수를 도출하였다.

기후영향지수는 기후노출과 민감도로 구성이 되어있다. 민감도를 구성하는 세부요소인 토지이용, 주민생활, 지역산업 등의 세 부분에 대하여 각 세부요소 내 변수들의 가중치를 주성분 분석을 통하여 도출한 뒤 이를 각각 곱하여 합한 후, 이 결과를 기후노출에 해당하는 재해노출 지수와 다시 산술 평균하여 다음과 같이 계산을 하였다.

•민감도지수

$$= \frac{\sum_{i=1}^k \text{토지이용}(a_i W_i) + \sum_{i=1}^l \text{주민생활}(b_i X_i) + \sum_{i=1}^j \text{지역산업}(c_i Y_i)}{3}$$

적응역량지수도 마찬가지로 아래 수식이 보여주는 바와 같이 인적자본, 물리적 자본, 제도적 자본, 금융자본의 네 요소를 포함하고 있다. 그리고 각각의 요소가 포함하고 있는 변수들에 가중치를 곱하여 합침으로써 도출되는데, 각 세부요소들의 산술평균을 계산함으로써 적응역량 지수를 구하였다.

•적응역량지수

$$= \frac{\sum_{i=1}^o \text{인적}(d_i Q_i) + \sum_{i=1}^p \text{물리}(e_i R_i) + \sum_{i=1}^q \text{제도}(f_i S_i) + \sum_{i=1}^r \text{금융}(g_i T_i)}{4}$$

가중치를 구하는데 이용된 통계적 방법인 주성분분석(Principal component analysis: PCA)은 고차원의 데이터를 저차원의 데이터로 축소시키는 방법이다. 직교변환을 사

용하여 서로 연관된 고차원의 표본들을 선형 연관성이 없는 저차원의 표본으로 변환하여 주성분을 추출해 내는 것을 목적으로 하는 방법이다. 실제 분석대상에 서로 상관성이 있는 변수들이 많이 포함되는 경우 해석상 문제를 야기할 수 있다. 예를 들어, 변수가 n개 존재하는 경우 분산의 개수는 n개이고, 두 변수 사이에 존재하는 공분산은 n(n-1)/2개가 존재하게 된다. 따라서 변수가 증가함에 따라 공분산의 개수는 기하급수적으로 증가하는 경향을 보인다. 주성분 분석 기법을 활용하여 복잡한 변수들 간의 상관관계를 체계적으로 요약하고자 한다. 주성분분석은 존재하는 변수들을 선형 결합함으로써, 각 변수들이 담고 있는 정보를 최대한 잘 설명할 수 있는 새로운 인공변수를 만들어 해석하는 방법으로 선형결합으로 이루어진 인공변수들을 주성분이라고 일컫는다. 주성분분석의 목적은 소수의 주성분을 이용, 변수들의 전체분산을 설명하는 것이다. 그러므로 첫 번째 주성분은 가장 잘 변수들의 전체분산을 설명할 수 있도록 도출되고, 두 번째 주성분은 첫 번째 주성분과 독립이면서도 첫 번째 주성분에 의해서 설명되지 않은 잔여분산을 설명하도록 도출된다. 주성분 분석에서 고유값(Eigenvalue), 고유벡터(Eigenvector)라는 개념이 등장하는데, 이는 다음과 같이 정의할 수 있다. A를 K상의 선형공간 V의 선형변환이라 한다면, a ∈ K에 대해 Ap = ap (p ≠ 0)를 만족하는 p ∈ V가 존재 시, a를 선형 변환 A의 고유값이라고 하고 p를 고유값 a에 속하는 고유벡터라고 한다. 주성분 분석에서 고유벡터를 어떻게 해석하느냐가 관건인데, 고유벡터의 절대값이 큰 설명변수에 주목하여 제1주성분을 비롯하여 각각의 성분이 포함하고 있는 변수들의 종합적 특성을 해석할 수 있어야 한다(Jang, 2006; Choi et al., 2007).

4. 유형화 분석결과

전국 226개 기초 지자체의 자료를 종합하여 주성분분석을 한 결과, 각 세부요소별로 직교변환(Orthogonal Rotation) 후, 요인 적재(Factor Loading)를 한 결과는 Table 3와 같다. 각 세부요소별로 첫 번째 주성분 및 두 번째 주성분을 통해 설명되지 않는 비율 및 가중치가 도출되었고, 이 가중치는 민감도 지수 및 적응역량지수를 산출키 위한 값으로 각 변수에 곱해졌다. 기후노출지수는 이미 재해지수라는 지수화 된 값을 도입하였고, 민감도지수를 구성하고 있는 세부 범주 가운데 토지이용 및 지역산업은 각각 기후취약지역 비중 및 1차 산업체수 비중이라는 일원화된 값으로 도출되므로 가중치를 고려하지 않았다.

Table 3. PCA result

Variable	PC1	PC2	Unexplained	Weight
Resident life				
Population density	-0.2691	-	0.7298	0.072417
Ratio of elderly population	0.5088	-	0.03445	0.258886
Ratio of infant population	0.5054	-	0.04739	0.255437
Ratio of elderly living alone	0.5014	-	0.06214	0.25141
Ratio of detached house	-0.4023	-	0.3964	0.16185
Human capital				
Number of students per faculty	-0.2969	-	0.8645	0.088142
Number medical doctors per 1,000 population	0.6896	-	0.2688	0.475505
Number of hospital beds per 1,000 population	0.6606	-	0.329	0.436353
Physical capital				
Green area per population	0.4721	-	0.5371	0.222882
Sewer system supply rate	0.6053	-	0.2389	0.366394
Water supply rate	0.6072	-	0.234	0.368698
Embankment area per total area	0.205	-	0.9127	0.042026
Institutional capital				
Number of residents in charge per firefighting official	-0.7071	-	0.416	0.5
Proportion of public administration budget in general accounts	0.7071	-	0.416	0.5
Financial capital				
GRDP	0.7071	-	0.1034	0.5
Financial independence	0.7071	-	0.1034	0.5

주성분 분석을 통해 도출된 각 지자체별 기후영향지수와 적응역량 지수를 각각 사분면의 y축과 x축으로 놓고 지자체의 값을 플로팅하게 되면 226개 기초지자체의 유형화 결과는 Fig. 5와 같다. 사분면과 같이 지자체 유형을 4개로 구분할 경우, x축은 오른쪽으로 갈수록 적응능력이 높아지기 때문에 취약성이 낮아지는 것을 의미하며, y축은 위로 올라갈수록 기후변화에 대한 잠재적 영향에 많이 노출되므로 취약이 높아진다고 할 수 있다.

226개 기초지자체 유형화 결과를 바탕으로 각 유형별 특징을 살펴보면 다음과 같다. Table 4에 정리된 바와 같이,

제1유형 (제1사분면)은 기후영향이 크나 그로 인한 시스템 내 취약성을 관리할 수 있는 지역으로, 부산광역시, 인천광역시, 울산광역시, 전라남도에 속한 기초지자체들 가운데 지리적으로 해안가에 위치하고 있다. 아울러, 지리적 여건으로 인해 재해위험도가 높은, 즉 복합재해(산불 + 침수 혹은 산불 + 산사태) 발생가능성이 확실한 지역을 상당수 포함하고 있다. 서울·경기수도권 일부 지역과 충북, 대구 및 광주 지역 등 도시지역이지만 재해발생 가능성이 높은 곳이 제1유형에 속하므로 토지이용 및 계획 차원에 이러한 취약성을 고려, 사전에 기후변화로 인한 피해를 예방할 수 있는 기제를 마련하는 것이 중요하다. 민감도 측면에서 이들 지역은 상대적으로 도시지역에 속해 있는 경우가 많아 농업이나 어업 등 1차산업의 비중이 높지 않고 노령인구 및 독거노인의 수가 많지 않다. 뿐만 아니라, 주거형태 또한 단독주택이 아닌 경우가 많아 민감도가 상대적으로 낮은 유형이다. 비록 기후영향이 큰 유형이나, 언급하였듯이 지자체의 적응역량이 높기 때문에, 잠재적 위험에 대비할 수 있는 물적, 제도적 역량을 높이는 대책을 마련하는 데 집중하여야 한다. 각 지자체가 보유하고 있는 기후변화 적응역량의 차이에 따라 그 취약성이 달라질 수 있다. 예컨대, 물리자본 및 금융자본이 낮고 상대적으로 취약한 지역일지라도 인적자본 및 제도적 역량이 뛰어난 지자체의 경우 우수한 적응능력을 보일 수 있으며, 반대의 경우도 존재한다(Koh, 2011).

Table 4. Type 1 local entities

Municipality	Local entity	No.
Seoul	Jongno, Yeongdeungpo, Dongjak, Gangdong	4
Busan	Busanjin, Dongrae, Buk, Gangseo, Saha, Yeonjae, Sooyoung, Sasang, Gijang	9
Incheon	Jung, Dong, Michoohol, Yeongsu, Namdong, Seo	6
Daegu	Jung,Seo, Buk	3
Gwangju	Dong, Seo, Nam, Gwangsan	4
Daejeon	Jung, Yoosung, Daeduk	3
Ulsan	Nam, Dong, Buk, Uljoo	4
Gyeonggi	Euijeongbu, Gwangmyeong, Pyeongtaek, Goyang, Guri, Osan, Hanam, Icheon, Kimpo,Hwasung Gwangju, Yangju, Yeosu	13
Chungbuk	Cheongju	1
Chungnam	Cheonan, Asan	2
Jeonbuk	Jeonju, Iksan, Gunsan	3
Jeonnam	Mokpo, Yeosu, Sooncheon	3
Gyeongbuk	Gyeongju	1
Gyeongnam	Gimhae, Tongyoung, Sacheon, Changnyeong	4
Total number of Type 1 local entities		60

제2유형(제2사분면)은 재해 위험에 많이 노출되어 있어 기후변화의 영향이 크면서도 인적, 물리적, 제도적, 금융자본의 적응역량이 낮아 기후변화에 효과적으로 대응이 어려운 유형이다(Table 5). 이 유형에 속하는 기초지자체로는 충청남도 및 전라남도에 위치한 서쪽 해안가에 자리잡은 지역이 대다수이다. 하지만, 강화, 옹진과 같이 인천광역시에 속해 있으면서 외딴 도서지역에 위치한 지자체는 제2유형 내에서도 가장 취약성이 큰 지역으로 구분된다. 이들 지역은 1유형과 마찬가지로 복합재해의 발생가능성이 높은 지역이 다수이다. 게다가, 민감도 부분에서도 1차산업의 비중이 높고, 고령인구 및 독거노인 등의 비중이 높고 주거형태 또한 농어촌 지역의 단독주택으로 이루어진 경우가 많아 매우 취약한 여건을 갖추고 있다. Koh (2011)에 따르면, 이러한 유형 내에서 취약성을 줄이기 위한 방안은 기후노출에 대한 시스템 민감도를 낮추고, 적응능력을 동시에 높이는 노력이다. 재해 완화를 위한 인프라 확충 등의 구조적 대책 및 비구조적 대책, 주민 및 공무원 인식제고, 전담조직 확충, 인적자본 확충 등이 함께 이루어져야 한다. 아울러, 중앙 정부 및 광역지자체 차원의 투자 및 지원이 요구되는데, 특히 이들 지역에는 고령인구, 독거노인 등 사회적 취약계층의 비중이 높은데다, 의료시설 및 인력의 부족하므로 이들에 대한 특별 대책마련이 필요하다. 보다 효과적으로 적응정책이 입안 및 실행될 수 있도록 해당 지자체장의 적응분야에 대한 관심 및 의지를 고취시키는 것도 중요한 일이다.

Table 5. Type 2 local entities

Municipality	Local entity	No
Seoul	Nowon, Eunpyeong, Gangseo, Gwanak	4
Busan	Nam, Haewoondae, Geumjeong	3
Incheon	Bupyeong, Gyeyang, Ganghwa, Ongjin	4
Daegu	Dong, Soosung	2
Gwangju	Buk	1
Ulsan	Jung	1
Gyeonggi	Ansung, Yangpyeong	2
Gangwon	Wonju	1
Chungbuk	Okcheon	1
Chungnam	Gongju, Boryeong, Seosan, Nonsan, Dangjin, Buyeo, Seochun, Chungyang, Hongsung, Yesan, Taean	11
Jeonbuk	Jeongeup, Namwon, Wanju, Muju, Jangsu	5
Jeonnam	Naju, Gwangyang, Goheung, Gangjin, Haenam, Yeongam, Muan, Hampyeong, Yeonggwang, Jangsung, Wando, Jindo, Sinan	13
Gyeongbuk	Euisung, Goryeong	2
Gyeongnam	Jinju, Geoje, Milyang, Haman, Hadong, Hapcheon, Namhae, Euiryeong	8
Total number of Type 2 local entities		58

Table 6. Type 3 local entities

Municipality	Local entity	No.
Seoul	Jungrang, Seongbuk, Gangbuk, Dobong	4
Busan	Yeongdo	1
Daejeon	Dong	1
Gyeonggi	Namyangju, Pocheon, Gapyeong	3
Gangwon	Gangreung, Samcheok, Hongcheon, Hoengsung, Yeongwol, Pyeongchang, Jeongsun, Cheolwon, Hwacheon, Yanggu, Inje, Gosung, Yangyang	13
Chungbuk	Chungju, Jecheon, Boeun, Youngdong, Jincheon, Goisan, Eumseong, Danyang,	8
Chungnam	Gyeryong, Geumsan	2
Jeonbuk	Gochang, Buan, Imsil, Soonchang, Jinan	5
Jeonnam	Damyang, Goksung, Gurye, Bosung, Jangheung	5
Gyeongbuk	Kimcheon, Andong, Youngju, Youngcheon, Sangju, Moongyeong, Gyeongsan, Gunwi, Cheongsong, Yeongyang, Yeongdeok, Cheongdo, Seongju, Chilgok, Yecheon, Bonghwa, Uljin, Ulreung	18
Gyeongnam	Geochang, Gosung, Hamyang, Sancheong	4
Total number of Type 3 local entities		64

제3유형(제3사분면)은 일반적으로 기후 영향도 낮지만, 시스템에서 이에 대응할 수 있는 경제적 능력이나 인프라 등과 같은 적응능력 또한 낮아서 재해에 대한 잠재적 위험이 있는 지역이며, 기후변화 문제에 대해 관심이 낮은 유형이다(Koh, 2011). 본 연구의 유형화 결과에 따르면 Table 6에서 보이듯 제3유형은 일부를 제외하고 대부분 경상북도에 속하는 지자체가 압도적으로 많았다. 이 외에도 경상남도, 충청남·북도 및 전라남·북도의 내륙지역에 해당하는 지자체가 유형으로 구분되었다. 유형화 결과 주목할 만한 점은 강원도 지역에 속한 대다수의 지자체가 제3유형으로 나타났다는 점이다. 이는 실제 강원도 지역이 기후로 인한 재해지수의 값이 낮은 데에 기인한다. 이는 강원도 지역에서의 재해발생 불확실성이 높기 때문에 재해 위험도가 낮게 도출되었고 기후변화에 대한 민감도 역시 인구밀도가 낮기 때문에 전반적으로 낮은 데에 기인한다고 볼 수 있다. 아울러 강원도 지역은 인적, 물리적, 금융자본역량이 전반적으로 낮은 것으로 나타나고 있다. Koh (2011)의 연구에 따르면, 본 유형에 속하는 지역은 대부분 경제능력이 낮을 뿐만 아니라, 시민의 기후변화에 대한 인식 및 참여도도 저조하므로 취약성이 높다. 따라서,

시민의 의식과 참여를 높이고, 민관 협력을 활성화하여 경제적 자원의 한계점을 보완하고 적응 능력을 향상시킬 수 있다. 적응역량 향상을 위해서는 비경제적 요소인 제도적 자본 역량 및 동 연구에서는 제외되었지만 중요도가 높은 사회적자본에 대한 고려가 우선시되어야 할 것이다.

제4유형(제4사분면)은 잠재적 영향이 적으면서 적응역량이 높기 때문에 기후변화 취약이 가장 낮은 유형이다. 본 연구에서 제 4유형에 속하는 지자체는 서울특별시 및 경기도에 속하는 수도권 지역 위주였다(Table 7). 동 유형의 특성은 경제적 능력 및 도시화율이 높아 인구가 밀집되어 있고, 건물, 교통, 인프라 등이 집중되어 있다는 점이다. 따라서 기후변화로 인한 영향이 매우 집약적으로 나타나 큰 피해를 야기할 가능성이 높다. 이에 대한 대비, 고위험 지역의 개발을 제한하고 기반시설 설치 시 기후민감도를 낮추는 설계가 요구된다(Kropp et al., 2006). 토지이용계획, 기반시설, 도심 및 주거환경, 방재·안전관리 등 기후변화와 밀접한 관련이 있는 분야에 대한 가이드라인을 제시함으로써 지자체 스스로 기후 불확실성에 대비할 수 있는 방안을 마련하여야 할 것이다(Koh, 2011).

Table 7. Type 4 local entities

Municipality	Localentity	No.
Seoul	Jung, Yongsan, Seongdong, Gwangjin, Dongdaemun, Seodaemun, Mapo, Yangcheon, Guro, Guemcheon, Seocho, Gangnam, Songpa	13
Busan	Jung, Seo, Dong	3
Daegu	Nam, Dalseo, Dalseong	3
Daejeon	Seo	1
Gyeonggi	Suwon, Seongnam, Anyang, Bucheon, Dongducheon, Ansan, Gwacheon, Siheung, Gunpo, Euiwang, Yongin, Paju, Yeoncheon,	13
Gangwon	Chuncheon, Donghae, Taebaek, Sokcho	4
Chungbuk	Jeungpyeong	1
Jeonbuk	Gimje	1
Jeonnam	Hwasoon	1
Gyeongbuk	Pohang, Gumi	2
Gyeongnam	Changwon, Yangsan	2
Total number of Type 4 local entities		44

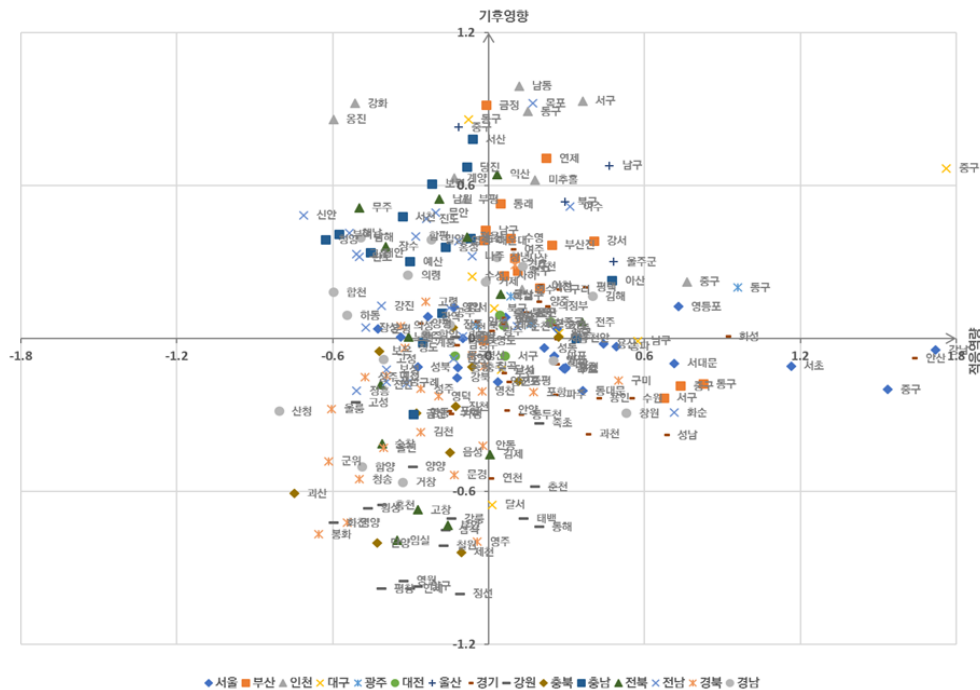


Fig. 5. Classification of 226 local entities

5. 결론 및 정책 시사점

본 연구는 226개 기초지자체를 대상으로 기후변화 취약성 함수를 이루는 요소인 기후영향과 적응역량 지수를 산정하였다. 그 결과를 바탕으로, 기후 취약성의 특징에 따라 지자체를 4개의 유형으로 분류하고 각 유형에 맞는 적응방안을 제시하였다. 특히, 기후영향을 구성하는 기후 노출 요소를 고려함에 있어, 과거 데이터 수집에 기반한 분석을 넘어 불확실성의 요소를 고려한 연구방법론을 사용함으로써 연구의 참신함을 도모하였다. 기후변화 적응에 있어 각 지역이 처한 상황 및 여건이 상이하기 때문에 지역적 특성이 우선시 고려되어야 한다. 또한, 기후변화 적응정책이 가지고 있는 불확실성과 모호함, 그리고 내재된 복잡성으로 인해 기후변화 적응 문제는 다양한 주체간, 위계간, 부문간 수직적·수평적 조화를 이루는 거버넌스를 수립하는 것이 중요하다(Koh, 2017). 하지만, 우리나라의 적응정책은 중앙 정부에 의해 하향식으로 추진되어 왔다. 이와 같은 특성은 지자체 기후변화 적응 대책 세부 시행 수립과정과 달리 이행 과정에서 중앙정부-광역지자체-기초지자체 간의 파트너십 거버넌스의 약화를 가져왔다. 또한 민관협력도 그 필요성을 공감하는 것과는 달리 실제로 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다(Koh, 2017). 보다 효과적인 기후변화 적응에 있어 파트너십 거버넌스를 강화하기 위해서는 중앙정부와 지자체의 협력을 촉진하는 중간지원조직의 역할을 강화할 필요성이 제기되고 있다. 이는 광역지자체 간의 파트너십을 구축하여 중간지원조직의 역할을 할 수 있는 토대를 마련하고, 여러 개의 기초지자체를 군집화함으로써 수평적인 파트너십의 확산을 도모할 수 있는 환경을 조성하는 것이 선행되어야 할 것이다(Koh, 2017). 이러한 맥락에서 226개 기초지자체를 취약성 유형에 맞게 구분하고, 기후변화 적응을 위한 역량 및 기후영향 등의 여건이 유사한 기초지자체 간의 교류를 통해 구체적인 대응 정책의 방향과 거버넌스 상황에 대한 공유가 이루어질 수 있다면 보다 효과적인 적응대책 마련이 가능할 것이다.

226개 기초지자체를 대상으로 전국단위의 분석을 수행한 것은 기존의 취약성 유형화 연구가 시도한 바 없는 새로운 연구로서 의의가 크다고 할 수 있다. 아울러 주성분 분석 방법론을 도입하여 지수화에 필요한 가중치를 계산한 것은 탄탄한 통계기법을 활용한 방법론을 적용하여 보다 연구결과를 객관화시킬 수 있었다. 하지만 여전히 동적인 개념인 기후변화 취약성을 판단하는 데 있어 횡단

자료를 활용한 것은 자칫하면 개념을 정적으로 왜곡시킬 수 있다는 한계를 가지고 있다. 아울러, 기후변화 적응 분야에 대한 구분 없이 통합적으로 전 분야를 합쳐 지역 유형화 시도하였기 때문에 특정 지역이 한 분야에서 나타내는 특징까지는 면밀히 살펴보지 못했다는 아쉬움이 있다. 이는 향후 후속 연구과제로 남겨두기로 한다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화대응환경기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2018001310002).

References

- Ahn YJ, Kang YE, Park CS, Kim HG. 2016. The Characteristics and Improvement Directions of Regional Climate Change Adaptation Policies in accordance with Damage Cases. *J. Environ. Impact Assess* 25(4): 296-306.
- Chae YR. 2014. Study on Climate Change Adaptation Plans Evaluation Methods and Mainstreaming Feedback System. Ministry of Environment
- Choi JH, Jeon SB, Jin SH. 2007. Principal Component Analysis and Factor Analysis using JMP. Kyowoosa, Seoul.
- Cutter SL, Mitchell JT and Scott MS. 2000. Revealing Vulnerability of People and Places: A case study of Georgetown County, South Carolina, *Annals of the Association of American Geographers* 90(4): 713-737.
- Fussel HM. 2007. Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research, *Global Environmental Change* 7(2): 155-167.
- Fussel HM and Klein RJT. 2006. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climate Change* 75: 301-329.
- Han HJ, Ahn SE, Yoo GY, Cho KW, Lee SY, Kim JE, Ahn SW. 2007. Climate change impact assessment and development of adaptation strategies in Korea III. Korea Environment Institute
- Hwang HS and Byun BS. 2011. Building Vulnerability

- Index on Climate Change: Focused on Seoul Metropolitan City. *Environmental Policy* 19(4): 93-119.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: "Impacts, Adaptation, and Vulnerability"*. Forth Assessment Report. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- IPCC. 2014. 'Summary for Policymakers' in *Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp1-32.
- Jang MW. 2006. Country-based Vulnerability Evaluation to Agricultural Drought Using Principal Component Analysis: the Case of Gyeonggi-do. *Rural planning* 12(1): 37-48.
- Jasiewicz J and Stepinski TF. 2013. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology* 182(15):147-156.
- Kim EY, Jung KM, Song WK. 2018. Evaluating and Improving Urban Resilience to Climate Change in Local Government: Focused on Suwon. *J. Environ. Impact Assess.* 27(4):335-344.
- Koh JK. 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.
- Koh JK. 2017. A Study on Change in Climate Change Adaptation Governance of Korean Local Governments: Focusing on the Process of Developing the Climate Change Adaptation Action Plan and Its Implementation Stage. *Journal of Climate Change Research* 8(2):99-108.
- Koh JK and Kim HS. 2010. A study on Local Vulnerability Assessment to Climate Change - the Case of Municipalities of Gyeonggi-Do. *Journal of Environmental Policy and Administration* 18(2):79-105.
- Korea Meteorological Agency. 2020. Climate change scenario data, http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents/35_download.php
- Kropp JP, Block A, Reusswig F, Zickfeld K. and Schellnhuber HJ. 2006. Semiquantitative assessment of regional climate vulnerability: the North-Rhine Westphalia study. *Climatic Change*. 76:265-29
- Kunreuther H, Gupta S, Bosetti V, Cooke R, Dutt V, Ha-Duong M, Held H, Llanes-Regueiro J, Patt A, Shittu E, Weber E, 2014: *Integrated Risk and Uncertainty Assessment of Climate Change Response Policies*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T and Minx JC (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lee JH, Kim HS, Kang JE, Ahn JE, Baek KH. 2010. Climate change adaptation capacity indicators: a pilot study for the application of the indicators at the local level. Korea Environment Institute.
- Lee SJ. 2013. A Study of Countermeasures against Climate Risks in Response to Adaptation Strategies for Climate Change Strategic Partner Nations. Korea Environment Institute.
- Lim SB and Yoon JH. 2018. Regional classification for complex disaster management on resilience: focusing on low-level local entities. The Korean Association for Policy Studies. Conference material for 2018 Summer: 35-52
- Mastrandrea MD, Field CB, Stocker TF, Edenhofer O, Ebi KL, Frame DJ, Held H, Kriegler E, Mach KJ, Matschoss PR, Plattner GK, Yohe GW, and Zwiers FW. 2010. Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (ed), 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- MOTIVE, 2020, Impact assessment data (internal data) <http://motive.kei.re.kr/>
- NSW Office of Environment and Heritage. 2013. Guide to

- Integrated Regional Vulnerability Assessment (IRVA) for Climate Change. prepared to assist local government. Available at:
<https://www.environment.nsw.gov.au/resources/climatechange/130016IRVAguide.pdf>.
- Oh SH, Lee WK, Yoo SJ, Byun JY, Park SM, Kwak HB, Cui GS, Kim MI, Jung RS, Nam KJ, Shin DH. 2012. A Study on Vulnerability Assessment and Prioritizing Sectors to Support Adaptation Strategy to Climate Change - Case Study of Gangwon Province. *Journal of Climate Change Research* 3(4):245-257.
- Swart R and Raes F. 2007. Making Integration of Adaptation and Mitigation Work: Mainstreaming into Sustainable Development Policies?. *Climate Policy* 7(4): 288-303.
- Yoo GY and Kim IA. 2008. Development and application of a climate change vulnerability index. Korea Environment Institute