

사회적 취약성을 고려한 도시홍수 취약요인 연구: 서울시 행정동을 중심으로

김혜령* · 김윤정**†

*서울대학교 환경대학원 박사수료, **한국환경정책평가연구원 전문연구원

Identification of Vulnerability Factors for Urban Floods : Considering Social Vulnerability of Vulnerable Groups in Seoul

Kim, Hae Ryung* and Kim, Yoon Jung**†

*Ph.D. Candidate, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Seoul, Korea

**Research Specialist, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

ABSTRACT

Urban areas are experiencing considerable damage from urban flooding due to climate change. Vulnerable groups (e.g., older people and infants) are susceptible to such damage, as they generally exhibit higher social vulnerability. Moreover, damage from urban floods differs in terms of type and scale based on the distribution features of local adaptation resources and characteristics of the urban environment. Therefore, the purpose of this study is to identify the major vulnerability factors along with their spatial clustering considering the social vulnerability of socio-economically vulnerable groups, as well as the urban and residential environments under increasing urban flooding. Specifically, the regional distribution features of these vulnerable groups, conditions of the urban and residential environments, and provision status of adaptation resources should be comprehensively studied. This research identified the major vulnerability factors through correlations, principal components, and cluster analysis of the considered vulnerable elements. In particular, our results show that the elderly to are the most vulnerable group. Furthermore, elderly people living in poverty require the most active adaptation measures. Improvements in land cover distribution (e.g., increases in green areas and protected areas) considering regional spatial plans and provision in adaptation resources are also required to reduce vulnerability. The results of this study can be used to assess the status of social vulnerability and improve previous flood vulnerability assessments due to climate change. We expect that consideration of social vulnerability may contribute to successful adaptation policies for urban floods.

Key words: Vulnerable Group, Urban Flood, Social Vulnerability, Principal Component Analysis, Cluster Analysis

1. 서론

홍수, 가뭄 등 기후변화 관련 재해의 발생빈도 및 발생 강도가 증가함에 따라 인명, 재산 피해가 증가하고 있다. 우리나라의 경우, 특히 홍수 등 풍수해 피해가 전체 재해 피해액의 약 90% 이상을 차지하여 홍수피해에 대한 적극적인 정책적 대응이 필요한 실정이다(MOIS, 2018; RNAS, 2020). 도시지역은 고밀도 개발 환경과 높은 인구밀도로 인해 홍수가 발생하였을 때 대규모 경제손실, 막대한 인명

피해를 초래할 수 있다(Choi, 2004). 도시지역의 높은 불투수면적율, 빠른 우수유출 속도는 홍수로 인한 인명, 재산 피해의 발생속도와 피해강도를 급격하게 높일 수 있다(Ha and Jung, 2017). 그러므로 도시홍수에 대한 피해를 줄이기 위해 홍수취약성을 가중시키는 도시의 사회경제적, 생물·물리적 요인을 다각도로 검토하고 규명할 필요가 있다.

도시홍수에 대한 국내연구는 도시 구조적 측면에서 홍수에 대한 취약성을 평가하는 연구가 주를 이룬다. 취약성에 영향을 미치는 요인으로 사회경제적 요인 외에도 도시

†Corresponding author : kimyj@kei.re.kr (30147, Korea Environment Institute, 370 Sicheong-daero, Sejong, Republic of Korea. Tel. +82-44-415-7605)

ORCID 김혜령 0000-0001-5474-3430

김윤정 0000-0002-2240-3703

의 생물·물리적 환경, 재해 대응을 위한 인적, 물적 인프라 인 적응자원, 기후요인 등이 제시된 바 있다(Choi, 2004; Kim et al., 2013a; Shin et al. 2019). 도시지역의 적응자원(Adaptation resources)은 재해로 인한 피해를 저감하고, 이미 진행된 환경변화와 그 영향에 대한 적응능력(Adaptation capacity)을 향상하며, 예상되는 피해를 예방하는 것을 목적으로 하며, 물리적인 형태의 시설과 사회시스템을 모두 포괄한다. 대표적으로 녹지, 공원, 인공지반 녹화 등 투수면적 증대, 기후재해로 인한 의료혜택 확대, 재해지구 지정 및 관리 등이 있다. 이밖에도 홍수 취약성에 영향을 미치는 요인으로 세금과 재정여건, 공무원 수 등의 요인이 고려된 바 있다(Kim et al., 2013b). 그간 선행된 대부분의 연구는 도시구조, 물리적 측면에 집중하고 있으나, 피해대상의 민감성, 피해대상의 공간적 분포를 종합적으로 고려하여 도시공간별 홍수에 대한 취약요인을 검토한 연구는 미흡한 실정이다.

국제사회에서는 IPCC 5차 보고서부터 기후변화 재해에 대해 사회적 취약성(Social vulnerability) 고려에 대한 필요성이 강조되었다(Oppenheimer et al., 2014). 사회적 취약성은 자연재해의 영향을 예측, 대응, 저항, 회복할 수 있는 능력에 영향을 미치는 개인 및 집단의 특성을 의미한다(Blaikie et al., 2003). 기후에 대한 노출, 스트레스가 발생하였을 때 사회적 취약성은 삶의 질을 결정짓는 식량안보, 건강, 안전, 이주·이민여부에 따라 그 영향이 가중될 수 있다(Otto et al., 2017). 사회적 취약성 취약요인의 분류는 인구학적, 생물학적 특징을 포괄하는 사회경제적 취약계층(Socioeconomic vulnerable groups)과 도시 및 주거환경(Urban and residential environment)을 포괄하여 세분하고 있다(Table 1 참고).

사회적 취약성은 우리나라 제1차 및 제2차 국가 기후변화 적응대책에서 명시하고 있는 기후변화 취약계층에 대한 개념과 유사하다. 기후변화 취약계층은 기후변화로 인한 이상기후와 기후재해에 취약하여 민감하게 반응하고, 이로 인한 피해에 대응하는 능력이 낮은 모든 계층을 의미하며, 재해 대응과정에서 필수적으로 고려해야 하는 집단으로 노인, 영유아, 장애인 등 생물학적 취약집단, 저소득층, 노후주거 거주민 등 사회경제적 취약집단, 재해정보 배제집단 등으로 세분할 수 있다(Shin et al., 2011; Wang et al., 2012). 또한 사회적 취약성에 미치는 영향요인은 도

시의 생물·물리적 환경요소, 기후변화 재해에 대응하기 위한 적응자원 측면을 모두 고려한다(Schimdtlein et al., 2008; Fekete, 2009; Armas and Gavris, 2013; Török, 2018; Chakraborty et al., 2020).

그러므로 사회적 취약성을 고려한 기후변화 취약계층의 정책적 대응을 위해서는 도시홍수가 발생하였을 때 기후변화 취약계층의 분포를 고려함과 동시에 도시환경, 적응자원의 존재 등 도시 및 주거환경 취약요인을 포괄적으로 검토함이 필요하다. 또한 취약계층은 홍수에 대한 적응력이 낮고 홍수피해에 높은 민감성을 갖는 것으로 알려져, 취약계층별, 취약요인별, 지역별 특성을 고려하여 세밀한 대응책을 마련해야 한다. 국내에서도 사회적 취약성의 영향요인을 세분화하여 대응할 필요가 있다(Oppenheimer et al., 2014). 이러한 배경으로, 본 연구의 목적은 사회적 취약성의 영향요인인 기후변화 취약계층의 분포, 도시 및 주거환경 취약요인을 고려하여 주요 취약요인을 추출하고 지역별 취약요인의 공간분포를 제시하는 것이다.

이를 위하여 사회적 취약성의 영향요인을 기후변화 취약계층(Vulnerable groups, 이하 '취약계층')과 도시 및 주거환경 취약요인(Urban and residential environments)으로 구분하였다. 취약계층을 사회경제학적 측면을 고려하여 5개의 계층으로 세분하고, 각 계층별 도시홍수에 대한 도시 및 주거환경 영향요인을 도시환경요인(Urban environment factors), 적응 자원(Adaptation resources), 도시홍수 피해이력(Urban flood damage history)으로 나누어 검토하였다. 본 연구의 흐름은 구체적으로 다음과 같다(Fig. 1 참고).

문헌분석을 통해 도시홍수에 영향을 미치는 사회경제적 취약계층을 분류하고 도시 및 주거환경 취약요인을 추출하였으며, 상관분석(Correlation Analysis)을 통해 각 변수 간 상관성을 살펴보았다. 주성분분석(Principal Component Analysis)으로 사회적 취약성 영향요인의 주성분이 무엇인지 추출하고, 추출된 주성분에 대해 K-means 군집분석(Cluster Analysis)을 사용하여 주요 주성분에 대한 공간분포를 서울시 행정동 단위의 지도로 표현하였다. 궁극적으로 사회적 취약성의 영향요인을 기후변화 적응정책 수립 과정에서 정책적 우선순위와 지역단위 정책수립에 활용할 수 있도록 행정동 단위로 분석한 결과를 공간분포로 제시하였다.

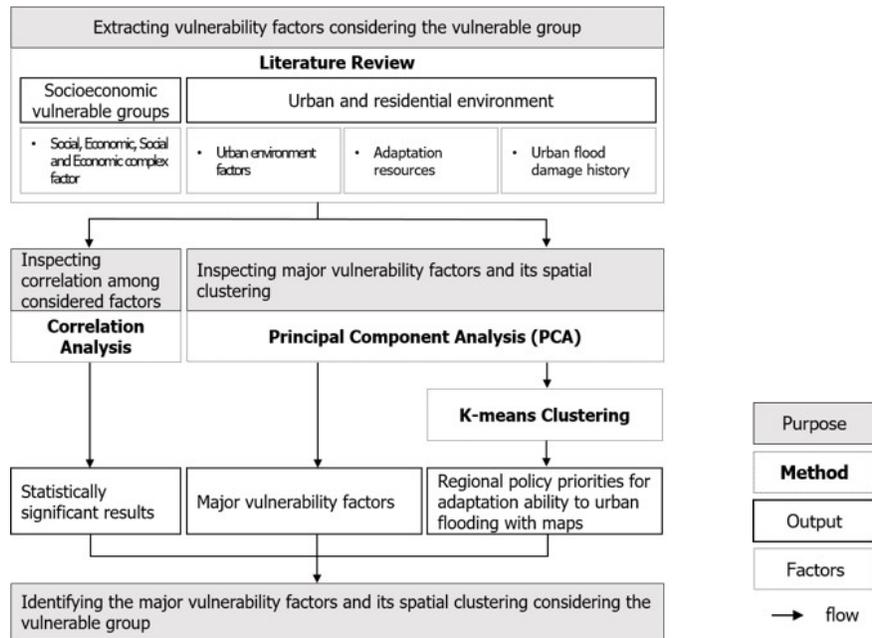


Fig. 1. Research flowchart

Table 1. Cases of social vulnerability classification for climate change disasters in previous studies

| Country (Authors) | Validated variables | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| | Category | Sub-division |
| Canada (Chakraborty et al., 2020) | Socioeconomic vulnerability | Aged 65 and older, Aged 0-4 years, Unemployment, Female, Education level, Foreigners, Low income, Psychological and physical disability, Lone parents, Illiteracy, Immigration, Ethnicity, Race, Unattached elderly, No private vehicle |
| | Urban and residential environment | House with major repair, Dwellings built before 1970, Apartment with 5+ stories constructed before 1980, Renters, Dwelling size, Urban population density, Commuting/transportation in public transit |
| Romania (Török, 2018) | Socioeconomic vulnerability | Aged 65 and older, Aged 0-4 years, Unemployment, Female, Education level, Foreigners, Immigration, Illiteracy |
| | Urban and residential environment | Piped eater, Sewage network, Heating system, Kitchen area, Fixed bath, Housing structure, Reinforced structure, Accessibility to transportation |
| Romania (Armas and Gavris, 2013) | Socioeconomic vulnerability | Aged 65 and older, Aged 0-4 years, Unemployment, Female, Education level, Low income, Economically active, Social dependent people, Women having 3 or more children |
| | Urban and residential environment | Area of dwelling rooms |
| Germany (Fekete, 2009) | Socioeconomic vulnerability | Aged 65 and older, Aged 0-5 years, Unemployment, Female, Education level, Foreigners, Handicapped Unemployed, Persons in need of care, Social welfare Recipients |
| | Urban and residential environment | Small apartments, Rent subsidies, Dwelling size, Urban areas have more than 150 persons per km ² per municipality, Open space, Hospital bed, Day-care center, Medical care centers |
| U.S. (Schmidtlein et al., 2008) | Socioeconomic vulnerability | Aged 65 and older, Aged 0-4 years, Unemployment, Female, Education level, Income, Immigration, Race, Living in poverty, Employed in transportation, communications, and other public utilities, Employed in service occupations |
| | Urban and residential environment | Renter, Dwelling size, Urban population density |

2. 연구방법

2.1 도시홍수 민감도 영향요인

본 연구는 도시홍수에 높은 민감성을 가지는 5개 취약 계층을 인구학적, 생물학적, 사회경제적 취약성을 복합적으로 고려하여 분류하였다. 취약계층의 도시홍수에 대한 민감성을 증가시키는 취약요인은 도시환경요인(Urban environment factors), 적응 자원(Adaptation resources), 도시홍수 피해이력(Urban flood damage history)으로 선정하여 검토하였다. 취약계층의 분류와 취약요인의 선정은 기존선행연구와 마찬가지로 연구목적, 이론적 배경, 사회적 취약성 데이터 및 통계결과의 가용성과 정확성, 연구 대상지의 여건, 선행연구를 바탕으로 선정하였다(Diener and Suh, 1997; Niemeijer, 2002; Armas and Gavris, 2013). 분류구조는 문헌조사를 바탕으로 사회경제적 취약계층(Socioeconomic vulnerable groups)과 도시 및 주거환경 취약요인(Urban and residential environment)으로 크게 나누었으며, 세부 취약요인은 국내 현황을 고려하여 적합한 변수를 선정하였다.

분석에 사용된 자료는 국가공간정보포털(National Spatial Data Infrastructure Portal), 국토지리원 국토정보플랫폼(Geospatial Information Platform), 환경공간정보서비스 토지피복도(Land cover map), 서울시 열린데이터광장(Seoul Open Data Square) 서울시 법정구역 읍면동 공간정보(Seoul Legal District Spatial Information), 국가통계포털(Korean Statistical Information Service), 한국보호지역 통합DB관리 시스템(KOREA Database on Protected Areas) 등 국가 공공자료를 활용하였으며, 각 요인별 변수 설명과 데이터 출처, 변수 선정에 대한 참고문헌은 Table 2에 서술하였다.

2.1.1 사회경제적 취약계층(Socioeconomic vulnerable groups)

Table 1에서 언급된 기존 선행연구의 공통적인 분류구조, 국내 데이터 구조와 데이터 가용성을 고려하여, 분석대상인 사회경제적 취약계층을 사회적 요인(Social factors), 경제적 요인(Economic factor), 사회경제 복합요인(Social and economic complex factor)의 3가지 유형으로 구분하였다. 사회적 취약성을 대표하는 계층으로 65세 이상 노인(Elderly, aged 65 and older), 0~4세 영유아(Infants, aged 0-4 years), 장애인(Disabled)으로 분류하고,

경제적 취약성을 대표하는 계층으로 기초생활수급자(Basic livelihood security recipients), 사회경제적 복합요인에 의한 취약성을 대표하는 계층으로 기초생활수급자 중 65세 이상 노인(Elderly among Basic livelihood security recipients)을 선정하여 분석하였다. 기타 사회적 취약성의 결정요인으로 무직자 비율, 주거지 거주유형(세입자), 1인당 주거면적, 교육수준, 1인당/가구당 소득 등을 들 수 있으나, 자료의 가용성을 고려하여 본 연구 분석에는 포함하지 않았다.

2.1.2 도시 및 주거환경 요인(Urban and residential environment factors)

도시 및 주거환경 요인은 도시홍수에 대한 취약성을 가중시키는 도시환경 요인(Urban environment factors)을 검토할 목적으로, 행정동 면적(Dong Administration area), 불투수면적(Impervious area), 재해위험지구면적(Natural disaster prone area), 주거환경개선지구 면적(Housing environment amelioration area), 35년 이상 된 노후건축물 수(Number of aging building more than 35 years)를 변수로 선별하였다.

적응자원(Adaptation resources)은 홍수에 대응하기 위한 공공인프라로 주요 인적, 물적 인프라를 대변한다. 주요 변수는 공무원 수(Number of the civil servant), 병원 및 병상수(Number of hospitals and hospital beds), 녹지면적(Green area), 방재시설 중 피난처 수(Number of shelters as prevention facility), 보호지역면적(Protected area)을 변수로 선별하였다. 도시홍수 피해이력(Urban flood damage history)은 홍수로 인한 건물의 침수(flooded building), 반파(half-destroyed)된 건물의 수(Number of flood damaged building) 현황을 검토한 것으로 서울시 내부 집계자료를 활용하였다. 홍수피해를 입은 건물의 수 자료는 홍수피해량의 공간적 분포를 간접적으로 유추할 수 있는 변수로써, 행정동 단위로 분석이 가능하여 본 연구에서 활용하였다.

2.2 분석방법

본 연구의 공간적 범위는 서울특별시로 2015년 기준 행정동 단위로 분석하였다. 시간적 범위는 2020년 기준으로 활용 가능한 가장 최신의 공공자료를 사용하였다(Table 2 참고). 기준이 된 행정동 지도는 2015년 기준 서울시 자료로 최신 공공자료 간 시간차이로 인해 행정동

구조에 변화가 있었다. 행정동의 경계에는 변함이 없었으나, 행정동의 통합과 분할로 인해 데이터를 재가공 할 필요가 있었다. 따라서 변화한 행정동의 자료는 2015년 행정동 면적을 기준으로 면적비율대로 수치를 재가공하여 분석하였다. 통계분석은 STATA 15.1을 사용하였으며, 공간자료는 ArcGIS 10.8.1을 이용해 데이터를 가공하고, 공간분포를 나타내었다.

본 연구에서는 상관분석(Correlation analysis)을 통해

취약계층간, 취약계층과 사회적 취약성 영향요인인 도시환경, 적응자원, 도시홍수 피해이력의 상관관계를 분석하여 취약계층별 상관관계가 있는 취약요인을 도출하였다.

취약계층별 주성분분석(Principal Component Analysis: PCA)을 수행한 후 비교분석을 통해 도시 홍수에 대한 주요 취약요인을 추출하였다. 주성분분석은 이론적으로 정립되어 있지 않은 현상을 분석할 때, 복잡한 데이터의 구조를 단순화시키고 각 변수의 연관성을 도출하여 요인 간

Table 2. Vulnerability factors of vulnerable groups to urban flood, and data and variables reference

| Category | Variable | Data reference (year) | Variable reference (year) |
|--|--|--|---|
| Socioeconomic vulnerable groups | | | |
| Social factors | Number of aged 65 and older | GIP (2019) | Chakraborty et al. (2020), Török (2018), Armas and Gavris (2013), Fekete (2009), Schimidtlein et al. (2008) |
| | Number of aged 0-4 years | | |
| | Number of disabled | | |
| Economic factor | Number of Basic livelihood security recipients | SODS (2019) | |
| Social and economic complex factor | Number of aged 65 and older among Basic livelihood security recipients | | |
| Urban and residential environment | | | |
| Urban environment factors | Dong Administration area (m ²) | SLDSI of Eup, Myeon, Dong (2016) | Chakraborty et al. (2020), Kim et al. (2013a), Kim et al. (2013b), Shin et al. (2011), Kim et al. (2011), Yeo et al. (2011) |
| | Impervious area (m ²) | Land cover map (2018) | |
| | Natural disaster prone area (m ²) | NSDIP (2020) | |
| | Housing environment amelioration area (m ²) | | |
| | Number of aging building more than 35 years | GIP (2019) | |
| Adaptation resources | Number of the civil servant | SODS (2018) | Kim et al. (2013a), Kim et al. (2011), Yeo et al. (2011), Niemeijer (2002) |
| | Number of hospitals | KOSIS (2017) | |
| | Number of hospital beds | | |
| | Green area (m ²) | Land cover map (2018) | |
| | Number of shelters as prevention facility | SODS (2018) | |
| | Protected area (km ²) | KDPA (2019) | |
| Urban flood damage history | Number of flood damaged building (flooded building, half-destroyed) | Internal document of Seoul city (2018, 2019) | Armas and Gavris (2013), Wisner et al. (2004) |

*Abbreviations and Web-site: Geo-spatial Information Platform (GIP); National Spatial Data Infrastructure Portal (NSDIP); Seoul Open Data Square (SODS); Seoul Legal District Spatial Information (SLDSI) of Eup, Myeon, Dong; KOREA Database on Protected Areas (KDPA); Korean Statistical Information Service (KOSIS)

**Protected area types: scenic spots, ecosystem and landscape conservation area, national park, natural monument, water source protection area, wildlife conservation area

특성을 파악하는데 유용한 방법론이다(Jolliffe, 2002). 분석에 사용되는 각 변수는 크기와 단위가 달라, 분포가 서로 다른 변수를 비교하기 위해서 Z-표준화된 값으로 분석한다. 제1주성분(PC 1)은 가장 큰 특징을 나타내며, 제2, 제3, 제n번째 주성분(PC n) 순으로 적어지며, 원래 변수가 가지고 있는 복잡한 정보량이 축소되어 명확한 결과가 도출된다.

주성분분석을 통해 도출한 주요 취약요인으로 서울시 내 행정동을 5개의 군집으로 나누고, 군집별 주요 취약요인과 행정동 단위의 지역분포를 규명하였다. K-means 군집분석(Cluster Analysis)은 여러 객체를 유사한 특성별로 집단화하여 각 집단의 성격을 파악하는 탐색적 데이터 분석 방법으로, 한 군집의 중심(Centroid)과 각 객체들 사이의 유클리드 거리(Euclidean distance)의 오차제곱합이 최소가 되도록 군집을 구성한다(Anderberg, 2014). 형성된 군집은 유사한 특성을 나타내는 객체로 구성되며 이 특성이 그 군집을 대표하는 특성이 된다.

3. 분석결과

3.1 사회적 취약성 영향요인에 대한 상관분석 결과

본 연구는 기후변화 취약계층을 사회적, 경제적 취약계층으로 구분함과 동시에 사회경제적 복합요인으로 나누어 고려하였다. 5개 취약계층 집단에 대해 계층 간, 취약계층과 기타 도시환경요인, 적응자원, 도시홍수 피해이력 간 관계를 규명한 결과는 다음과 같다. 사회적 취약성 결정요인에 대한 상관분석 상세결과는 통계적으로 유의한 값만을 Table 3에 명시하였으며, 상관관계에 대한 해석은 상관계수의 값이 0.2 이상인 경우를 해석하였다. 다만, 주요변수인 도시홍수 피해이력과 취약계층 간 상관관계에 대한 해석은 통계적으로 유의한 값을 나타내는 경우 다른 계층에 비해 관련성이 있다고 보았다. 취약계층 중 도시홍수 피해이력과 상관관계가 있는 것으로 나타난 계층은 노인, 기초생활수급자 중 노인으로 나타나, 특히 노인에게 대한 도시홍수피해 민감도가 높은 것으로 분석되었다. 노인계층에 대한 기후변화 적응자원은 긍정적이나, 경제적 측면에서 취약계층 중 가장 취약한 것으로 나타났다. 재해위험지구, 주거환경개선지구는 기후변화 취약계층과 상관관계가 없으며, 장애인은 도시환경요인과 적응자원과 상관없는 것으로 나타났다.

3.1.1 기후변화 취약계층 간 상관관계

사회적 측면을 고려하여 기후변화 취약계층을 65세 이상 노인, 0~4세 영유아, 장애인으로 구분하여 분석하였다. 65세 이상 노인수와 0~4세 영유아수는 다소 높은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(0.6983, $p = 0.0000$). 즉 노인이 많이 거주하는 곳에 영유아 수도 많이 거주하고 있음을 알 수 있다. 노인과 장애인은 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(-0.3172, $p = 0.0000$). 이는 노인이 많이 거주하는 곳에 장애인 수가 상대적으로 적은 경향이 있음을 뜻한다. 0~4세 영유아와 장애인은 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 경제적 측면을 고려한 취약계층을 대변하는 기초생활수급자는 장애인과 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(0.3892, $p = 0.0000$). 사회적 측면을 복합적으로 고려한 기초생활수급자 중 65세 이상 노인수는 65세 이상 노인수와 다소 높은 양의 상관관계가 있었다(0.5371, $p = 0.0000$). 이는 노인거주지역에 기초생활수급자 비율이 다소 높음을 의미한다. 장애인과는 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(-0.3010, $p = 0.0000$). 노인이 많이 거주하는 곳에 장애인 수가 상대적으로 적은 경향이 있음을 나타낸다.

3.1.2 기후변화 취약계층과 도시환경요인 간 상관관계

도시의 생물·물리적 환경요인으로 선정한 행정동 면적, 재해위험지구 면적, 불투수면적, 주거환경개선지구 면적, 노후건축물 수와 취약계층과의 상관관계를 분석하였다. 65세 이상 노인수와 행정동 면적(0.2874, $p = 0.0000$), 불투수면적(0.3218, $p = 0.0000$)은 낮은 양의 상관관계가 있었다. 이는 면적이 넓을수록 인구가 많기 때문에, 노인수도 다소 많은 것으로 나타난 것으로 해석된다. 0~4세 영유아수와 행정동 면적(0.2887, $p = 0.0000$), 불투수면적(0.3820, $p = 0.0000$)은 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 앞에서 노인수와 영유아수가 높은 양의 상관관계가 있어, 같은 행정구역 내에 거주하는 비율이 높기 때문에 유사한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 장애인과 도시환경은 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 기초생활수급자 중 65세 이상 노인과 35년 이상 된 노후 주거 수는 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(0.2070, $p = 0.0000$). 이는 기초생활수급지원을 받는 노인이 노후주거에 거주하는 경향이 있음을 의미한다.

3.1.3 기후변화 취약계층과 적응자원 간 상관관계

기후변화 취약계층과 도시 내 도시홍수 적응자원으로 행정동 내 공무원 수, 병원수, 병상수, 녹지면적, 방재시설 중 피난처수, 보호지역 면적과의 상관관계를 분석하였다. 65세 이상 노인과 공무원 수는 낮은 양의 상관관계가 있

었다(0.2942, $p = 0.0000$). 노인이 많이 거주하는 행정동에 상대적으로 공무원 수가 더 많아, 노인의 행정서비스 접근도가 비교적 높다고 평가할 수 있다. 녹지면적(0.2052, $p = 0.0000$)과 보호지역의 면적(0.2046, $p = 0.0000$)은 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 노인이 많이 거주하는 행정동에 상대적으로 더 넓은 면적의 녹지와 보

Table 3. Result of correlation analysis on the socioeconomic vulnerable groups

| Category | | Elderly | Infant | Disabled | BLSR | BLSR among Elderly |
|--|---|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Socioeconomic vulnerable groups | | | | | | |
| Social factors | Elderly | | | | | |
| | Infant | 0.6983*** (0.0000) | | | | |
| | Disabled | -0.3172*** (0.0000) | | | | |
| Economic factor | BLSR | | | 0.3892*** (0.0000) | | |
| SEC factor | BLSR among Elderly | 0.5371*** (0.0000) | 0.1524*** (0.0013) | -0.3010*** (0.0000) | | |
| Urban and residential environment | | | | | | |
| Urban environment factors | Dong Administration area (m ²) | 0.2874*** (0.0000) | 0.2887*** (0.0000) | | | |
| | Impervious area (m ²) | 0.3218*** (0.0000) | 0.3820*** (0.0000) | | | |
| | Natural disaster prone area (m ²) | 0.0990** (0.0374) | 0.1129** (0.0175) | | | |
| | Housing environment amelioration area (m ²) | | | | | |
| | Number of aging building more than 35 years | 0.1254*** (0.0083) | -0.1976*** (0.0000) | -0.1525*** (0.0013) | | 0.2070*** (0.0000) |
| Adaptation resources | Number of the civil servant | 0.2942*** (0.0000) | 0.1853*** (0.0001) | | 0.1316*** (0.0056) | 0.4065*** (0.0000) |
| | Number of hospitals | | | | | |
| | Number of hospital beds | 0.1093** (0.0217) | | | | |
| | Green area (m ²) | 0.2052*** (0.0000) | 0.1079** (0.0233) | | | 0.1091** (0.0218) |
| | Number of shelters as prevention facility | 0.2048*** (0.0000) | 0.2640*** (0.0000) | | | |
| | Protected area (km ²) | 0.2046*** (0.0000) | | -0.1234*** (0.0094) | | 0.1476*** (0.0019) |
| Urban flood damage history | Number of flood damaged building | 0.1601*** (0.0007) | | -0.1003** (0.0350) | | 0.1315*** (0.0056) |

*Abbreviations: Elderly (Number of aged 65 and older), Infant (Number of aged 0-4 years), Disabled (Number of disabled), BLSR (Basic livelihood security recipients), SEC factor (Social and economic complex factor)

**There was no correlation between each factor for flood damage, but the coefficient value of elderly, disabled and elderly among BLSR was statistically significant.

***Standard errors in parentheses; *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

호지역이 있는 것으로 분석되었으며, 보호지역 대부분이 녹지이기 때문에 녹지면적과 유사한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 노인과 방재시설 중 피난처 수는 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(0.2048, $p = 0.0000$). 노인인구수가 많은 행정동에 상대적으로 학교, 주민 센터 등 피난처가 좀 더 많이 지정되어 있음을 뜻한다. 0~4세 영유아와 방재시설 중 피난처 수는 낮은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타나(0.2640, $p = 0.0000$), 노인과 유사하게 영유아수가 많은 행정동에 상대적으로 더 많은 피난처가 있는 것으로 나타났다.

3.1.4 기후변화 취약계층과 도시홍수 피해이력 간 상관관계

도시홍수 피해이력에 대한 자료로 반파 또는 침수피해를 입은 건물의 수와 기후변화 취약계층과의 상관도를 분석하였다. 분석 결과 상관관계가 있다고 할 만한 값을 나타내지는 않았으나, 65세 이상 노인수(0.1601, $p = 0.0007$), 기초생활수급자 중 65세 이상 노인수(0.1315, $p = 0.0056$)의 2가지 요인이 홍수피해와 통계적으로 유의한 양의 상관도를 보였다. 장애인의 경우, 통계적으로 유의한 음의 상관도를 보였다(-0.1003, $p = 0.0350$).

3.2 주성분분석을 이용한 주요 취약요인

취약계층이 도시홍수에 받는 영향에 대한 원인이 명확히 이론으로 정립되지 않았고 지역별 영향분포에 대해 명확한 구분이 어렵기 때문에 군집분석 이전에 주성분 분석을 통해 취약요인을 추출하고 지역분포를 살펴보았다.

사회적 취약계층을 더 세분화하여 기후변화에 따라 취약계층별 특성을 도출하였다. 취약계층은 65세 이상 노인, 0~4세 영유아, 장애인, 기초생활수급자, 기초생활수급자 중 65세 이상 노인으로 구분하여 분석하였다. 분석 결과는 제1주성분, 제2주성분, 제3주성분, 제4주성분, 제5주성분 순으로 더 많은 정보를 설명하며, 적재값>Loading)이 0.4 이상인 변수가 설명력이 있다고 보았다(Leimeister, 2010).

주성분분석 결과의 의미 여부를 판단하기 위해 Kaiser-Meyer-Oklin (KMO) 검정을 시행하였다. 그 결과, 각 취약계층별 PCA분석에 대한 KMO 검정 결과 값은 65세 이상 노인은 0.5554, 0~4세 영유아는 0.5022, 장애인은 0.5123, 기초생활수급자는 0.4887, 기초생활수급자 중 65세 이상 노인은 0.5279로, 기초생활수급자 관련 분석을 제외한 나머지 취약계층에 대한 주성분 분석은 의미가 있는 것으로 나타났다. 기초생활수급자의 경우 KMO 검정

값이 0.5 미만이었으나, 0.5값에 가깝고 분석결과가 다른 취약계층과 유사하여 분석결과에 포함하여 해석하였다. 취약계층 별 주성분분석 결과는 Appendix 1에 표로 작성하였으며, 상세 해석은 다음과 같다.

65세 이상 노인에 대한 주성분분석 결과(Model 1), 고유값(Eigenvalue)이 1이 넘는 주성분은 5개였으며, 설명력은 58.7%로 나타났다. 제1주성분은 불투수면적이 높고 65세 이상 노인이 많이 거주하는 특성을 의미한다. 제2주성분은 병원의 수가 적고, 보호지역의 면적이 넓은 특성을 나타내고, 제3주성분은 행정동 내 공무원 수와 방재시설 중 피난처의 수가 많고 녹지면적이 적은 특성을 갖는다. 제4주성분은 재해위험지구와 주거환경개선지구의 면적이 넓은 특성을 나타낸 반면에, 제5주성분은 주거환경개선지구의 면적이 넓고 재해위험지구의 면적이 낮은 특성을 나타낸다.

0~4세 영유아에 대한 주성분분석 결과(Model 2), 고유값이 1이 넘는 주성분은 6개였으며, 설명력은 66.9%로 나타났다. 그러나 취약계층간 동일성 있는 비교를 위해 주성분을 5개까지 분석과 해석에 활용하였으며, 설명력은 58.5%였다. 제1주성분은 불투수면적이 높고 0~4세 영유아가 많이 거주하는 특성을 의미한다. 제2주성분은 보호지역과 녹지면적이 넓고 홍수피해를 입은 건물수가 많은 특성을 나타내며, 제3주성분은 행정동 내 공무원 수가 적고 병상수가 많은 특성을 나타낸다. 제4주성분은 피난처수, 노후건축물수, 공무원 수가 많은 특성이 있고, 제5주성분은 주거환경개선지구의 면적이 적은 특성을 나타낸다.

장애인에 대한 주성분분석 결과(Model 3), 고유값이 1이 넘는 주성분은 5개였으며, 설명력은 56.8%로 나타났다. 제1주성분은 녹지면적, 불투수면적, 보호지역면적이 넓은 특성을 나타낸다. 제2주성분은 병원의 수가 많고, 보호지역의 면적이 넓은 특성을 나타내며, 제3주성분은 행정동 내 공무원 수와 방재시설 중 피난처의 수가 많고 녹지면적이 적은 특성을 나타낸다. 제4주성분은 재해위험지구와 주거환경개선지구의 면적이 넓은 반면에, 제5주성분은 주거환경개선지구의 면적이 작고 재해위험지구의 면적이 넓은 특성을 나타낸다.

기초생활수급자에 대한 주성분분석 결과(Model 4), 고유값이 1이 넘는 주성분은 5개였으며, 설명력은 57.0%로 나타났다. KMO 검정 값은 0.4887로 0.5에 근접한 값을 갖으나, 분석의 의미가 없는 것으로 나타났다. 다만, 다른 취약계층 모델 결과 해석을 위해 결과해석에 포함하여 분석하였다. 제1주성분은 불투수면적, 녹지면적이 넓은 특

성을 나타낸다. 제2주성분은 병원의 수가 적고, 보호지역의 면적이 넓은 특성을 나타내며, 제3주성분은 행정동 내 주거환경개선지구의 면적이 넓고 기초생활수급자수가 많음을 의미한다. 제4주성분은 피난처수, 행정구역 내 공무원 수, 노후건축물수가 많은 특성을 나타내며, 제5주성분은 재해위험지구의 면적이 적고 기초생활수급자수가 많은 특성을 나타낸다.

기초생활수급자 중 65세 이상 노인에 대한 주성분분석 결과(Model 5), 고유값이 1이 넘는 주성분은 5개였으며, 설명력은 58.3%로 나타났다. 제1주성분은 녹지면적이 넓은 특성을 나타낸다. 제2주성분은 불투수면적이 넓고 행정동 내 병원수가 많은 특성을 나타내며, 제3주성분은 녹지면적, 보호지역면적이 적고, 기초생활수급자 중 65세 이상 노인의 수가 많은 특성을 갖는다. 제4주성분은 재해위험지구와 주거환경개선지구의 면적이 넓은 특성을 나타낸 반면에, 제5주성분은 재해위험지구의 면적이 넓고 주거환경개선지구의 면적이 낮은 특성을 나타낸다.

5개 모델에 대해 주성분분석 결과를 비교하였다(Table 4 참고). 5개 취약계층에 대한 주성분분석의 누적설명량(Cumulative)을 도출한 결과, 최대값은 58.7%, 최소값은

56.8%로 모델 간 편차는 크지 않았다. 5개 모델의 주성분 구성이 유사하며 홍수피해에 대한 취약성을 결정짓는 중요요인은 토지피복유형, 적응자원, 도시환경 순이었다. 주요 영향변수는 토지피복유형에서 녹지, 보호지역, 불투수면적을 적응자원에서 행정동 내 병원수, 병상수, 공무원 수, 방재시설 중 피난처수를, 도시환경에서 재해위험지구 면적, 주거환경개선지구 면적, 노후건축물 수를 나타낸다.

기후변화 취약계층의 경우, 도시홍수 피해이력과 상관도를 보였던 65세 이상 노인, 기초생활수급자 중 65세 이상 노인의 값이 제1주성분~제3주성분으로 분석되었다. 그 밖에 0~4세 영유아는 제1주성분, 기초생활수급자는 제3~5주성분으로 분석되었다.

기후변화 취약계층 5개 모델에서 특정 변수에 대해 3개 모델 이상에서 영향력이 있는 것으로 나타난 주요취약요인은 각 주성분별로 다음과 같다. 제1주성분(PC1)은 주성분분석에서 변수 중에 가장 큰 설명력이 있는 것으로 해석한다. PC1은 ‘토지피복유형(Land cover type)’을 나타내며, 불투수면적, 녹지면적이 이에 속한다. 기후변화 취약계층이 제1주성분에 포함될 경우는 65세 이상 노인수와 0~4세 영유아 수였다. 이밖에 보호지역면적이 포함되었다.

Table 4. PCA Results comparison by 5 vulnerable groups

| Category | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 |
|-------------------|--|--|--|--|--|
| Vulnerable groups | Elderly | Infant | Disabled | BLSR | BLSR among elderly |
| PC 1 | Elderly, Impervious area | Infant, Impervious area | Impervious area, Green area, Protected area | Impervious area, Green area | Green area |
| PC 2 | Number of hospitals, Protected area | Green area, Protected area, Number of flood damaged building | Impervious area, Number of hospitals | Number of hospitals, Protected area | Impervious area, Number of hospitals |
| PC 3 | Number of the civil servants, Green area, Number of shelters | Number of the civil servants, Number of hospital beds | Number of the civil servants, Green area, Number of shelters | BLSR, HEAA | BLSR among elderly, Green area, Protected area |
| PC 4 | NDPA, HEAA | No. aging building, Number of the civil servants, Number of shelters | NDPA, HEAA | No. aging building, Number of the civil servants, Number of shelters | NDPA, HEAA |
| PC 5 | NDPA, HEAA | HEAA | NDPA, HEAA | BLSR, NDPA | NDPA, HEAA |
| Eigenvalue | 1.01934 | 1.01858 | 1.03076 | 1.11979 | 1.02507 |
| Cumulative (%) | 58.65 | 58.51 | 56.83 | 57.01 | 58.33 |

* Abbreviations: Elderly (aged 65 and older), Infant (aged 0-4 years), BLSR (Basic livelihood security recipients), SEC factor (Social and economic complex factor), HEAA (Housing environment amelioration area), NDPA (Natural disaster prone area), No. aging building (Number of aging building more than 35 years)

제2주성분(PC2)은 제1주성분 다음으로 큰 설명력이 있는 것으로 해석한다. PC2는 ‘적응자원1(Adaptation resources 1)’로 설명할 수 있으며, 병원수, 보호지역면적을 중요변수로 포함한다. 이밖에 불투수면적, 녹지, 홍수피해가 제2주성분에 포함된다. 제3주성분(PC3)은 제2주성분 다음으로 설명력이 있는 것으로 해석한다. PC3은 ‘적응자원2(Adaptation resources 2)’로 공무원 수와 녹지면적이 이에 속한다. 이밖에 피난처수, 병상수, 주거환경개선지구, 보호지역면적이 포함된다. 기후변화 취약계층 중 기초생활수급자, 기초생활수급자 중 65세 이상 노인이 제3주성분에 속한다. 제4주성분(PC4)은 ‘도시환경1(Urban environment 1)’로 재해위험지구 면적, 주거환경개선지구 면적이 중요변수이며, 이밖에 노후건축물수, 공무원 수, 피난처수를 포함한다. 제5주성분(PC5)은 ‘도시환경2(Urban environment 2)’로 표현할 수 있으며, 재해위험지구 면적, 주거환경개선지구면적으로 구성되었다. Model 4에서 취약계층 변수인 기초생활수급자수의 경우, 제5주성분으로 관측되었다.

결과적으로 5개 취약계층(65세 이상 노인, 0~4세 영유아, 장애인, 기초생활수급자수, 기초생활수급자수 중 65세 이상 노인)을 대상으로 주성분분석을 각각 시행결과, 제1주성분~제3주성분에 속하는 결정요인은 65세 이상 노인, 기초생활수급자수 중 65세 이상 노인, 0~4세 영유아, 기초생활수급자로 관측되었다. 65세 이상 노인, 기초생활수급자수 중 65세 이상 노인 변수는 도시홍수 피해이력과도 상관도를 보였던 취약요인이며 주성분분석에서도 주요 성분으로 도출되었다. 결과적으로 대상지는 여러 사회 인구학적 요인 중 특히 노인과 저소득 노인이 도시홍수 피해에 민감한 것으로 해석할 수 있다.

3.3 K-means 군집분석 결과해석

주성분분석을 통해 추출된 5개의 요인(PC1, PC2, PC3, PC4, PC5)을 고려하여 K-means 군집분석을 시행하고 도시홍수 취약요인에 대한 서울시 내 지역 분포를 분석하였다. 구체적으로 토지피복유형, 적응자원, 도시환경이 각 행정동에 미치는 영향을 5개 행정동 군집으로 분류하고, 그 특성을 주성분별 득점평균으로 나타내었다. 각 주성분별 득점평균은 주성분과 군집 간 상관관계를 나타내는 군집들의 평균적인 특성을 나타낸다.

군집분석은 기후변화 취약계층 중 홍수피해와 통계적으로 유의한 상관관계 있는 65세 이상 노인(계층 A)과 기초생활수급자 중 65세 이상 노인(계층 B)에 대한 군집분석을 실행

하였다. 2가지 군집분석의 취약요인은 각 기후변화 취약계층별 주성분분석 모델의 영향변수를 바탕으로 해석하였다.

기후변화 취약계층 중 2계층의 군집분석 결과 공통적으로 군집별 특성은 제1주성분(PC1_토지피복유형), 제2주성분(PC2_적응자원1), 제3주성분(PC3_적응자원2) 순서로 나타났다. 또한 65세 이상 노인에 대한 대응대책이 필요한 군집은 군집A_1로 나타났고, 기초생활수급자 중 65세 이상 노인에 대한 대응대책이 필요한 군집은 군집B_5로 나타났다(Table 5, 6 참고). 각 계층에 대한 대응대책이 필요한 군집도 별도로 도출되었다. 상세 결과해석은 다음과 같다.

3.3.1 65세 이상 노인(계층 A)에 대한 군집분석 결과 (Table 5, Fig. 2)

군집A_1은 제1주성분(PC1_토지피복유형)이 높은 양의 값을 나타냈다. 이 군집의 특성은 주성분분석 Model_1을 바탕으로 해석하였을 때, 다른 군집에 비해 65세 이상 노인이 많이 거주하며, 높은 불투수면적을 가지고 있는 지역이다. 불투수면적이 많은 지역은 급격한 홍수피해를 입을 위험이 다른 지역에 비해 높아 이에 대한 대비가 필요하다. 또한 65세 이상 노인이 많이 거주하는 특성이 있어 도시홍수로 인한 노인계층의 피해 대응도 필요하다.

군집A_2는 제1주성분(PC1_토지피복유형)이 음의 값을 가지고 있는 행정동 집단으로, 군집A_1과 반대로 65세 노인이 다른 군집에 비해 적게 거주하며, 낮은 불투수면적을 가지고 있는 특성이 있다.

군집A_3은 제2주성분(PC2_적응자원1)이 높은 양의 값을 가지고 있어, 이 군집은 다른 군집들에 비해 비교적 적응자원이 잘 갖춰진 행정동 집단이라 할 수 있다. 이 군집에 해당하는 적응자원의 특성은 보호지역면적이 부족하지 않으나, 병원수는 부족한 지역으로 해석할 수 있다. 두 번째로 큰 득점평균값을 갖는 제1주성분(PC1_토지피복유형)도 양의 값을 가지고 있어, 불투수면적이 넓은 지역 특성도 갖는다. 병원수 확보로 도시홍수에 대한 적응 능력을 키우고, 급격한 홍수재해에 대비할 필요가 있다.

군집A_4는 제2주성분(PC2_적응자원1)이 높은 음의 값을 가지고 있어, 다른 지역에 비해 적응자원이 부족한 행정동 집단이다. 이 군집에 해당하는 적응자원의 특성은 병원수는 부족하지 않으나, 보호지역면적이 부족한 지역으로 해석할 수 있다.

군집A_5는 제3주성분(PC3_적응자원2)이 양의 값을 가지고 있어, 공무원 수와 피난처수가 부족하지 않으나, 녹지면적이 부족한 특성을 가지고 있다.

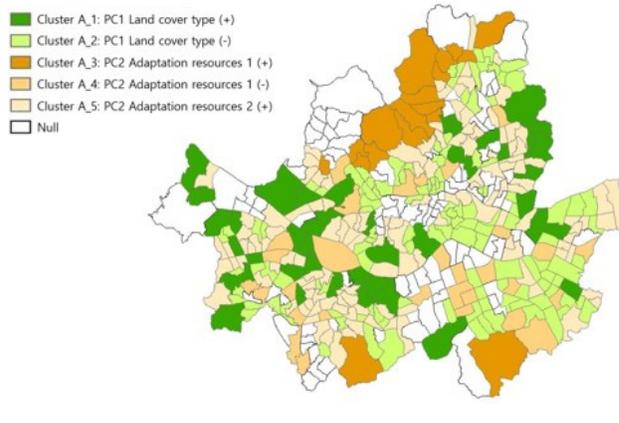


Fig. 2. Regional distribution by clusters for Elderly group (A)

Table 5. Regional classification by K-mean cluster and mean factors score of principal component for Elderly group (A)

| Cluster No. of group (A) | Gu in Seoul city (Number of Dong Administration) | N | PC1 _LCT | PC2 _AR1 | PC3 _AR2 | PC4 _UE1 | PC5 _UE2 |
|--------------------------------|---|-----|----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|
| 1 | Gangdong-gu (1), Gangbuk-gu (2), Gangseo-gu (5), Gwangjin-gu (2), Guro-gu (1), Nowon-gu (1), Dongdaemun-gu (1), Dongjak-gu (5), Mapo-gu (5), Seodaemun-gu (1), Seocho-gu (1), Seongbuk-gu (2), Songpa-gu (1), Yangcheon-gu (2), Yeongdeungpo-gu (5), Yongsan-gu (2), Jungnang-gu (4) | 41 | 2.1575 | -0.6881 | 1.1988 | 0.3006 | 0.2543 |
| 2 | Gangnam-gu (10), Gangdong-gu (5), Gangseo-gu (2), Gwanak-gu (7), Gwangjin-gu (3), Guro-gu (8), Nowon-gu (9), Dobong-gu (5), Dongdaemun-gu (4), Dongjak-gu (2), Seodaemun-gu (7), Seocho-gu (2), Seongdong-gu (13), Seongbuk-gu (5), Songpa-gu (17), Yangcheon-gu (5), Yeongdeungpo-gu (2), Yongsan-gu (6), Jongno-gu (12), Jung-gu (1) | 125 | -1.1792 | 0.0507 | -0.4552 | 0.1622 | -0.0433 |
| 3 | Gangbuk-gu (4), Gwanak-gu (1), Nowon-gu (1), Dobong-gu (4), Seodaemun-gu (2), Seocho-gu (1), Seongbuk-gu (2), Eunpyeong-gu (1), Jongno-gu (2) | 18 | 2.8772 | 3.0818 | -2.0302 | -0.9886 | 0.1418 |
| 4 | Gangnam-gu (8), Gangdong-gu (1), Gwangjin-gu (1), Guro-gu (4), Geumcheon-gu (2), Nowon-gu (1), Seodaemun-gu (2), Seocho-gu (1), Seongbuk-gu (1), Songpa-gu (3), Yangcheon-gu (2), Yeongdeungpo-gu (1), Jongno-gu (2) | 29 | 0.7401 | -2.1876 | -1.0683 | -0.8576 | -0.1746 |
| 5 | Gangdong-gu (10), Gangbuk-gu (5), Gangseo-gu (7), Gwanak-gu (10), Gwangjin-gu (4), Guro-gu (2), Nowon-gu (3), Dobong-gu (4), Dongdaemun-gu (6), Dongjak-gu (7), Mapo-gu (10), Seodaemun-gu (2), Seocho-gu (2), Seongdong-gu (4), Seongbuk-gu (8), Songpa-gu (5), Yangcheon-gu (9), Yeongdeungpo-gu (10), Yongsan-gu (7), Eunpyeong-gu (3), Jongno-gu (1), Jung-gu (1), Jungnang-gu (11) | 131 | -0.1092 | 0.2278 | 0.5746 | 0.0768 | -0.0191 |
| Null | Gangnam-gu (8), Gangdong-gu (1), Gangbuk-gu (2), Gangseo-gu (6), Gwanak-gu (3), Gwangjin-gu (5), Guro-gu (2), Geumcheon-gu (8), Nowon-gu (6), Dobong-gu (1), Dongdaemun-gu (11), Dongjak-gu (1), Mapo-gu (1), Seocho-gu (11), Seongbuk-gu (2), Yongsan-gu (2), Eunpyeong-gu (12), Jongno-gu (2), Jung-gu (13), Jungnang-gu (1) | 98 | - | - | - | - | - |

*N=442, 98 Dong administration that was not included in PCA has also been excluded from the cluster analysis.

**Abbreviations: LCT (Land cover type), AR (Adaptation resources), UE (Urban environment)

3.3.2 기초생활수급자 중 65세 이상 노인(계층 B)에 대한
군집분석 결과(Table 6, Fig. 3)

군집B_1은 제1주성분(PC1_토지피복유형)이 높은 양의 값을 나타냈다. 주성분분석 Model_5를 바탕으로 취약요인을 해석하면, 높은 녹지면적을 가지고 있는 지역이다.

군집B_2는 제1주성분(PC1_토지피복유형)이 낮은 음의 값을 가지고 있다. 이는 녹지면적이 작은 행정동 집단을

의미하며, 도시홍수 대비를 위해 녹지면적을 확충할 필요가 있는 지역을 의미한다.

군집B_3은 제2주성분(PC2_적응자원1)이 높은 양의 값을 가지고 있다. 이 군집에 해당하는 적응자원인 병원수는 부족하지 않으나, 불투수면적이 넓어, 급격한 도시홍수 발생에 대비할 필요가 있다.

군집B_4는 제2주성분(PC2_적응자원1)이 군집B_3보다 낮은 양의 값을 가지고 있으나, 유사한 특성이 있음을 알 수 있다.

Table 6. Regional classification by K-mean cluster and mean factors score of principal component for BLSR among Elderly group (B)

| Cluster No. of group (B) | Gu in Seoul city (Number of Dong Administration) | N | PC1 _LCT | PC2 _AR1 | PC3 _AR2 | PC4 _UE1 | PC5 _UE2 |
|--------------------------|--|-----|----------------|---------------|---------------|----------|----------|
| 1 | Gangbuk-gu (4), Gwanak-gu (1), Nowon-gu (1), Dobong-gu (4), Seodaemun-gu (2), Seocho-gu (1), Seongbuk-gu (2), Eunpyeong-gu (1), Jongno-gu (2) | 18 | 3.5316 | -1.2182 | -2.7421 | -1.1457 | -0.0901 |
| 2 | Gangnam-gu (11), Gangdong-gu (10), Gangseo-gu (4), Gwanak-gu (9), Gwangjin-gu (4), Guro-gu (9), Nowon-gu (7), Dobong-gu (8), Dongdaemun-gu (2), Dongjak-gu (5), Mapo-gu (6), Seodaemun-gu (8), Seocho-gu (3), Seongdong-gu (15), Seongbuk-gu (6), Songpa-gu (21), Yangcheon-gu (8), Yeongdeungpo-gu (4), Yongsan-gu (7), Eunpyeong-gu (1), Jongno-gu (13), Jungnang-gu (3) | 164 | -0.9211 | -0.1781 | -0.3938 | 0.1396 | 0.0627 |
| 3 | Gangnam-gu (2), Nowon-gu (1), Mapo-gu (1), Seodaemun-gu (1), Yeongdeungpo-gu (1) | 6 | 1.5730 | 5.5600 | -0.6820 | 0.4621 | -1.0804 |
| 4 | Gangnam-gu (4), Gangdong-gu (3), Gangseo-gu (2), Gwangjin-gu (2), Guro-gu (6), Geumcheon-gu (2), Nowon-gu (1), Dongdaemun-gu (1), Dongjak-gu (2), Mapo-gu (2), Seodaemun-gu (2), Seocho-gu (1), Seongdong-gu (1), Seongbuk-gu (2), Songpa-gu (4), Yangcheon-gu (3), Yeongdeungpo-gu (5), Yongsan-gu (4), Jongno-gu (2), Jung-gu (1), Jungnang-gu(1) | 51 | 0.4875 | 1.4974 | 0.4266 | -0.5166 | -0.1565 |
| 5 | Gangnam-gu (1), Gangdong-gu (4), Gangbuk-gu (7), Gangseo-gu (8), Gwanak-gu (8), Gwangjin-gu (4), Nowon-gu (5), Dobong-gu (1), Dongdaemun-gu (8), Dongjak-gu (7), Mapo-gu (6), Seodaemun-gu (1), Seocho-gu (2), Seongdong-gu (1), Seongbuk-gu (8), Songpa-gu (1), Yangcheon-gu (7), Yeongdeungpo-gu (8), Yongsan-gu (4), Eunpyeong-gu (2), Jung-gu (1), Jungnang-gu (11) | 105 | 0.5066 | -0.5580 | 0.9170 | 0.2029 | 0.0553 |
| Null | Gangnam-gu (8), Gangdong-gu (1), Gangbuk-gu (2), Gangseo-gu (6), Gwanak-gu (3), Gwangjin-gu (5), Guro-gu (2), Geumcheon-gu (8), Nowon-gu (6), Dobong-gu (1), Dongdaemun-gu (11), Dongjak-gu (1), Mapo-gu (1), Seocho-gu (11), Seongbuk-gu (2), Yongsan-gu (2), Eunpyeong-gu (12), Jongno-gu (2), Jung-gu (13), Jungnang-gu (1) | 98 | - | - | - | - | - |

*N=442, 98 Dong administration that was not included in PCA has also been excluded from the cluster analysis.

**Abbreviations: LCT (Land cover type), AR (Adaptation resources), UE (Urban environment)

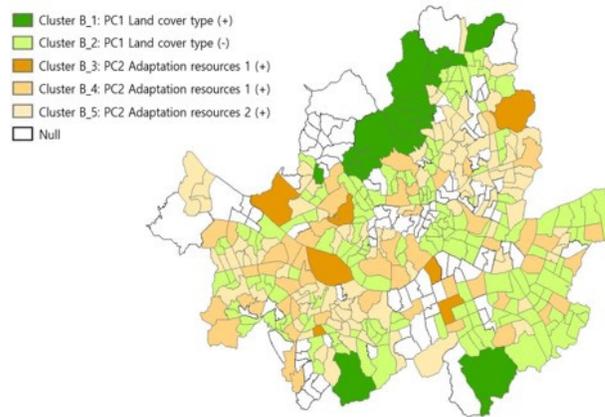


Fig. 3. Regional distribution by clusters for BLSR among Elderly group (B)

군집B_5는 제3주성분(PC3_적응자원2)이 양의 값을 가지고 있어, 다른 지역에 비해 기초생활수급자 중 65세 이상 노인수가 많으며, 녹지면적과 보호지역면적이 부족한 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 다른 군집에 비해 기초생활수급자 중 65세 이상 노인계층에 특히 취약하다고 해석할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 기후변화 취약계층 분포와 도시 및 주거환경 취약요인을 고려하여 도시홍수에 대한 주요 취약요인을 규명하고, 이에 대한 지역별 취약요인의 공간분포를 파악하기 위한 연구로, 행정동 단위에 취약계층별 도시홍수 재해에 대한 적응대책 수립에 필요한 취약요인을 도출하였다. 상관분석, 주성분분석, K-means 군집분석을 통해 사회적 취약성을 복합적으로 고려하여 서울시 내 우선적으로 고려해야 할 취약계층 집단, 관련 도시 및 주거환경을 행정동 단위의 지역 분포로 제시하였다. 이를 반영한 행정동 군집을 5개로 나누어 도시홍수 대응정책 수립 시 고려해야 하는 중요 우선순위를 제시하였다. 그 결과 도시홍수 대응을 위한 적응정책 수립과정에서 취약계층의 사회경제적 취약성을 세분화하여 계층별 대응정책을 마련해야 하며, 각 취약계층별 분포와 지역 내 도시환경과 적응자원에 대해 종합적으로 고려할 필요가 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 주요 시사점은 다음과 같다.

첫째, 노인계층, 특히 저소득 노인에 집중하여 도시홍수

수 대응대책을 수립할 필요가 있는 것으로 나타났다. 노인은 기초생활수급자의 비율이 다소 높은 것으로 나타나, 노인의 빈곤을 고려한 복합적인 정책 대응이 필요하며, 도시홍수 피해이력과 상관도를 보여, 도시홍수 대응 정책 수립 시 노인계층의 분포를 고려할 필요가 있다. 특히 노인계층에 주로 거주하는 지역의 토지피복유형, 적응자원을 고려한 복합적인 대응대책 마련이 필요한 것으로 판단된다.

둘째, 취약계층별 특성을 고려하여 도시홍수 대응정책을 수립할 필요가 있다. 노인에 대한 적극적 대응 외에도, 영유아는 노인이 많이 거주하는 지역에 거주하는 경향이 높아, 도시홍수 대비 정책 수립 시 노인과 영유아를 복합적으로 고려할 필요가 있다. 장애인은 도시의 생물·물리적 요인과 적응자원의 분포와 상관관계가 없어, 향후 장애인을 대상으로 한 대응정책 수립 시 장애인의 주거지 분포를 고려한 대안을 마련할 필요성이 있다고 판단된다.

셋째, 도시 및 주거환경 취약요인을 고려하여 취약계층의 적응능력 향상을 도모하기 위해 지역계획과 결부된 토지피복 유형의 개선이 필요하다. 토지피복 유형 중 ‘도시 녹지 면적’, ‘보호지역 면적’, ‘불투수면적’이 가장 주요한 도시 구조적 요인으로 선별되었다. 또한 취약계층의 분포와 연동하여 분포하지 않는 적응자원의 보강과 도시환경의 개선도 지역계획 차원에서 도모할 필요가 있다.

본 연구는 사회적 취약성 반영을 위한 방안을 제시하였으나 가용 데이터 확보 어려움으로 인한 한계점을 고려하여 활용할 필요가 있다. 사회적 취약성이 도시홍수에 미

치는 영향을 회귀분석 등 인과관계 분석 방법론을 통해 규명하고자 하였으나, 행정동 단위의 홍수피해액, 지역별 피해이력과 같은 주요자료의 부족으로 그 인과관계를 정량적으로 분석하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 각 변수간 상관관계를 살펴봄으로써 주요 연구결과를 도출 하였으나, 가용 데이터 범위의 확대가 가능하다면, 직접적 인과관계를 규명할 수 있는 정량적 통계방법론의 활용이 추후 가능할 것으로 생각된다.

기후변화 적응정책 수립과정에서 사회적 취약성의 반영은 필수적이나(Oppenheimer et al., 2014), 아직까지 취약계층의 분포현황과 도시환경, 적응자원, 도시홍수 피해이력을 포괄하는 도시 및 주거환경 등 도시 구조적 요인의 복합적인 고려는 미흡하다. 본 연구는 노인계층에 대한 고려 필요성, 취약계층별 세부 대응정책의 필요성, 토지피복 유형의 개선의 필요성에 대한 주요시사점과 적응정책 수립과정에서 기초자료로 활용 가능한 서울시 행정동 단위의 취약요인별 분포를 도출하였다. 가용자료의 한계 등으로 인해 보다 면밀한 격자단위 분석, 추가 도시 구조적 요인의 고려는 어려웠으나, 향후 기후변화 취약계층을 고려한 기후변화 취약성평가 후속연구와 성공적인 도시홍수 적응정책 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

- Anderberg MR. 2014. Cluster analysis for applications: probability and mathematical statistics: a series of monographs and textbooks (Vol. 19). Academic press.
- Armas I, Gavris A. 2013. Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model)—a case study for Bucharest, Romania. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13(6), 1481-1499.
- Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B. 2003. *At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters.* Routledge.
- Chakraborty L, Rus H, Henstra D, Thistlethwaite J, Scott D. 2020. A place-based socioeconomic status index: Measuring social vulnerability to flood hazards in the context of environmental justice. *International journal of disaster risk reduction*, 43, p.101394.
- Choi CI. 2004. A empirical study on the urban flood vulnerability by urbanization using panel data: In case of Kyonggi Province (in Korean). *Korea Spatial Plann. Rev.*, 42, 17-37.
- Diener E, Suh E. 1997. Measuring quality of life: Economic, social, and subjective indicators. *Social indicators research*, 40(1), 189-216.
- Fekete A. 2009. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 9(2).
- Ha G, Jung J. 2017. The impact of urbanization and precipitation on flood damages. *Journal of Korea Planning Association*, 52(4), 237-252.
- Jolliffe IT. 2002. *Principal component analysis* Second Edition. New York, Springer.
- Kim BK, Jang DW, Jang N, Yang DM. 2011. The deduction of urban flood risk factor considering climate change. *Journal of safety and crisis management*, 7(1), 125-142.
- Kim HM, Lee DG, Park C. 2013a. A study on selection for vulnerable area of urban flooding adaptable capacity using MaxEnt in Seoul. *Journal of Korea Planning Association*, 48(4), 205-217.
- Kim JS, Sung HH, Choi GY. 2013b. Spatial patterns of urban flood vulnerability in Seoul. *Journal of the Korean association of regional geographers*, 19(4), 615-626.
- Leimeister S. 2010. Theoretical and Methodological Foundations for Classifying Data. In *IT Outsourcing Governance* (pp. 81-109). Gabler.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). *Disaster Annual Reports 2018.*
- Niemeijer D. 2002. Developing indicators for environmental policy: data-driven and theory-driven approaches examined by example. *Environmental Science & Policy*, 5(2), 91-103.
- Oppenheimer M, Campos M, Warren R, Birkmann J, Luber G, O'Neil B, Takahashi K, Berkhout F, Dube P, Foden W, Greiving S, Hsiang S, Johnston M, Keller K, Kleypas J, Kopp R, Licker R, Peres C, Price J, Robock A, Schlenker W, Stepp JR, Tol R,

- van Vurren D. 2014. Emergent risks and key vulnerabilities. In: Field CB, Barros, VR, Dokken DJ et al. (eds) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UK, and New York
- Otto IM, Reckien D, Reyer CP, Marcus R, Le Masson V, Jones L, Norton A, Serdeczny O. 2017. Social vulnerability to climate change: A review of concepts and evidence. *Regional environmental change*, 17(6), pp.1651-1662.
- Research National Assembly Service (RNAS). 2020. Countermeasures against urban flooding in response to climate change.
- Schmidtlein MC, Deutsch RC, Piegorsch WW, Cutter SL. 2008. A sensitivity analysis of the social vulnerability index. *Risk Analysis: An International Journal*, 28(4), 1099-1114.
- Shin HJ, Choi YJ, Yi JE. 2019. Analysis of the Local Characteristics of Flood Damage Vulnerability in an Urban Area: The Han River Basin. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 19(5), 293-303.
- Shin HS, Kim DJ, Lee SH, Ko SJ, Seo SW. 2011. Assessment of Climate Change Vulnerability in Health. Korea Institute for Health and Social Welfare.
- Török I, 2018. Qualitative assessment of social vulnerability to flood hazards in Romania. *Sustainability*, 10(10), p.3780.
- Yeo CG, Seo GS, Song JW. 2011. Regional safety assesment due to urban flood using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 14(3), 68-77.
- Wang KI, Jung YH, Lee JH, Park GH. 2012. The Study on Urban Policy for the Vulnerable-Classes to Climate Change. Korea Research Institute for Human Settlements.
- Wisner, B., Blaikie, P., Blaikie, PM., Cannon, T., Davis, I. 2004. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. Psychology Press.

부록

Appendix 1. Factor loadings for each factor extracted by PCA for 5 vulnerable groups

| Category | Model_1. Elderly | | | | | Model_2. Infant | | | | | Model_3. Disabled | | | | | Model_4 BLSR | | | | | Model_5 BLSR among elderly | | | | | |
|--|--------------------|---------|--------|---------|---------|-----------------|-----|--------|--------|-----|-------------------|--------|---------|---------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | |
| Socioeconomic vulnerable groups | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Social factors | Elderly | 0.4717 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Infant | | | | | 0.4233 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Disabled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Economic factor | BLSR | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.5009 | | 0.5210 | | | | | | |
| | BLSR among elderly | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.4005 | | | |
| Urban and residential environment | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Urban environment factors | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NDPA (m ²) | | | | 0.4870 | -0.6496 | | | | | | | | 0.4881 | 0.5415 | | | | | | | | | -0.5921 | | 0.4876 | 0.6530 |
| Impervious area (m ²) | 0.4877 | | | | | 0.5935 | | | | | 0.4526 | 0.4408 | | | | 0.5340 | | | | | | 0.5239 | | | | |
| HEAA (m ²) | | | | 0.4416 | 0.6953 | | | | | | | | 0.4307 | -0.7159 | | | | 0.5394 | | | | | | 0.4420 | -0.6328 | |
| No. aging building | | | | | | | | | 0.4699 | | | | | | | | | | 0.4112 | | | | | | | |
| Adaptation resources | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Number of the civil servant | | | 0.5318 | | | | | | | | | | -0.4469 | 0.4330 | | | | | 0.4489 | | | | 0.5058 | | | |
| Number of hospitals | | -0.4865 | | | | | | | | | | | | | 0.5251 | | | | | | | | | 0.4972 | | |
| Number of hospital beds | | | | | | | | | | | | 0.4383 | | | | | | | | | | | | | | |
| Green area (m ²) | | | | -0.4310 | | | | 0.4112 | | | | 0.4670 | | -0.4219 | | | 0.4753 | | | | | 0.4214 | | -0.4776 | | |
| Number of shelters | | | | 0.4680 | | | | | | | | 0.5619 | | | 0.5566 | | | | | 0.5821 | | | | | | |
| Protected area (km ²) | | 0.4441 | | | | | | 0.5744 | | | | 0.4151 | | | | | 0.4291 | | | | | | | -0.4600 | | |
| Urban flood damage history | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Number of flood damaged building | | | | | | | | | 0.4030 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

*Abbreviations: Elderly (aged 65 and older), Infant (aged 0~4 years), BLSR (Basic livelihood security recipients), SEC factor (Social and economic complex factor), HEAA (Housing environment amelioration area), NDPA (Natural disaster prone area), No. aging building (Number of aging building more than 35 years)