풍수해방재

젠더 영향에 따른 홍수취약성 분석에 세부지표와 의사결정의 불확실성이 미치는 영향

Impact of Uncertainty on Detailed Indicators and Decision Making on Flood Vulnerability Analysis

황난희* · 정건희**

Hwang, Nanhee*, and Chung, Gunhui**

Abstract

In this study, the analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy AHP weighting methods are used to assess regional investment priorities. According to an annual disaster report, we confirmed that disasters such as floods were generally more severe and more detrimental to males than females. Many studies on flood vulnerability have been conducted to reduce damages caused by floods and natural disasters at home and abroad. However, research on vulnerability analyses that consider gender has been insufficient. This work selected 25 wards in Seoul, Korea, as the study area, for which the vulnerability index was calculated using the AHP and fuzzy AHP weighting methods. The flood-vulnerability index was calculated under two cases, i.e., with and without considering gender factors such as the female population ratio. As a result, we confirmed that the vulnerability ranking varies according to the index. Because the ranks of the vulnerability indexes are different, we need to consider methods that include gender factors in designing regional risk priorities in the future when implementing flood countermeasures at a regional level.

Key words: PSR, AHP, Fuzzy AHP, Flood Vulnerability, Gender Factors

요 지

본 연구에서는 서울시 지역의 홍수취약성을 평가하는 방법으로 평가에 사용되는 인자들을 PSR 로 나누어 AHP가중치방법과 Fuzzy AHP 가중치방법을 이용하였으며, 지역의 투자 우선순위를 파악하고자 한다. 더불어 재난 발생 시 남성보다 여성의 피해가 더 크다는 문제점이 보고되고 있음에도 불구하고 젠더특성을 고려한 취약성 분석은 부족한 실정이다. 이의 피해를 저감시키기 위해 연구대상 지역으로 서울시 25개구를 선정하였으며, AHP가중치방법과 Fuzzy AHP가중치방법을 이용하여 취약성지수를 계산하였다. 취약성지수는 여성인구비율과 같이 젠더 특성의 여성관련 인자들을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 나누어 계산되었다. 그 결과 지수별로 취약성 순위가 달라짐을 확인하였다. 지수별 취약성지수의 순위들이 각각 다르기 때문에 향후 젠더요소를 포함한 지역들의 홍수대책 사업 등을 실시할 경우 지역의 위험우선순위를 두는 방안들이 검토되어야 될 것으로 판단된다.

핵심용어: PSR, AHP, Fuzzy AHP, 홍수취약성, 젠더 특성

1. 서 론

최근 국내에서는 태풍을 동반한 비로인해 침수피해가 갈수록 증가하고 있다. 침수피해가 발생할수록 피해금액도 높아질 뿐만 아니라 이재민의 수도 증가하며, 침수의 원인으로 2차사고도 발생할 수 있다. 때문에 침수피해에 대한 관심이 높아지고 있으며, 대책마련이 시급한 상황이다. 과거에서 부터 홍수피해를 저감시키기 위해 많은 취약성연구들이

^{*}정회원, 호서대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: nanhee1995@naver.com)

Member, Master's course, Department of Civil Engineering, Hoseo University

^{**}교신저자, 정회원, 호서대학교 토목공학과 부교수(Tel: +82-41-540-5794, Fax: +82-41-540-5798, E-mail: gunhuic@gmail.com)

**Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hoseo University

진행되어왔다. Kim et al. (2013)은 사회, 경제, 인문 등의 측면을 고려하여 도시홍수와 관련 있는 항목들로 24개의 요소를 선정하여 도시홍수의 위험요인을 도출하였으며, Yoon and Koh (2017)은 WMO (2015)에서 제시한 복합재해 영향기반 예득보 서비스에 관한 세계기상기구(WMO) 가이 드라인의 핵심요소인 재해, 노출, 취약성 개념을 이용하여 지역의 호우 재해 위험도를 평가함으로서 지역의 위험도 평가 방법론을 제시하였다. Lee et al. (2016)는 호우침수 피해에 미치는 영향인자를 다중회귀분석을 통해 서울시 행정구역별 호우침수위험도를 분석하였으며, Cho and Kim (2015)은 인구 경제 등 사회적 특성을 반영하여 홍수위 험의 사회적 취약성을 평가하였다. Lee et al. (2013) 극한강우사상 과 유형별 홍수피해와의 관계분석을 통하여 홍수피해 특성 을 구분하였으며 이를 고려한 지역별 홍수피해 취약성을 평가할 수 있는 홍수피해 취약성 지수(Flood Damage Vulnerability, FDVI)를 제안하였다.

Lee and Choi (2018)은 국내 연안지역을 대상으로 홍수발생 의 원인과 지역의 잠재적 위험, 그리고 홍수재해 피해특성에 대한 관계분석을 통한 홍수취약성 분석체계를 새로이 구축하 여 홍수취약성 분석을 실시, 적용성을 평가하였다. Kim et al. (2014)는 지하수위 시계열 자료에 기반한 매질의 홍수취약 성 평가 기술의 개발 가능성을 검토하였으며, Jeong et al. (2014)은 시군구 행정구역의 단위별 호우 피해액을 누적강수 량으로 나누어 호우사례 당 강우강도로 호우재해 취약성을 분석하였다. Kang and Lee (2012)는 서울시지역을 대상으로 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시 한 기후변화 취약성개념을 적용시켜 홍수취약성을 평가하였 으며, 이에 대한 취약성도를 GIS를 통해 나타내었다. Hong et al. (2018)은 치수 분야 내에서의 취약성 평가 항목에 따라 우리나라 실정에 맞는 치수 평가 방안을 수립하기 위해 홍수 취약성 산정 기법을 분석하여 효율적인 홍수피해 평가 방안을 제시하였다. Hwang and Chung (2018)은 여성인자를 서울시 지역을 대상으로 여성인자에 포함시켜 홍수취약성 분석을 실시하였다. 이밖에 많은 연구원들이 국내에 발생하는 홍수피 해를 저감시키기 위해 홍수취약성 분석을 많이 진행하였으나, 재해와 외적의 힘으로 인한 지형변화로 인해 기존의 조건을 통한 홍수취약성 분석의 결과로만 가지고서는 제대로 된 대책이 마련되기는 힘들다. 이를 보완하기 위해서는 현재의 지형조건 및 최근의 피해분석 자료를 더 추가하여 새로운 조건의 홍수취약성 분석을 실시하여야 한다.

새로운 홍수취약성 분석도 매우 중요하지만 국내에서 홍수를 비롯한 자연재해가 발생하였을 때 피해를 가장 많이 입은 여성이란 것을 재해연보를 통해 확인할 수 있었다. (재해연보, 2016) 또한, Hwang (2015)은 국내의 각종 재난 관련 통계를 이용하여 재난취약자의 현황 및 특성을 파악하여, 재난대비 및 관리정책에서 재난취약자에 대한 성인지적 개선방안을 모색해야할 필요성을 제시하기도 하였다. Chung

(2017)은 과거의 재난 피해현황을 분석하여, 재난안전관리 정책에 성인지적 관점에 대한 필요성을 제시하였다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 재난이 발생하였을 때 물리적인 측면으로 보았을 경우 일반적으로 남성에 비해 힘이 약한 여성이 피해를 입을 가능성이 크다고 알려져 있기 때문에 여성들에 대한 재난 관리에 집중적으로 주의를 기울여야 한다는 의미로 매우 중요한 부분이기도 하다. 하지만 최근 들어, 선진국들을 중심으로 다른 측면에서는 재난 관리의 모든 과정에서 여성이 적극적으로 참여함으로써, 여성들의 재난 취약성을 스스로 줄일 수 있다고 믿는 움직임이 시작되 었다. 즉, 여성을 비롯하여 젠더적 관점을 고려하는 것이 다양한 관점에서 보는것은 매우 중요하며, 국내 실정에 이를 적용하는 것이 바람직하지만, 현재로서는 젠더적 관점을 고려하여 취약성을 분석한 연구가 매우 부족한 상태이다. 이에 본 연구에서는 젠더인자를 고려하지 않았을 경우와 젠더인자를 고려하였을 경우로 나누어 인자들을 PSR 구조 로 분류하였으며, 방법으로는 AHP가중치방법과 Fuzzy AHP가중치방법을 이용하였다. 그리고 두 방법의 결과를 비교분석하여 홍수취약성 분석을 실시하였다.

1.1 P-S-R 구조

OECD (1991)에서 개발된 PSR 구조는 지표 설정에 있어 국제기구나 각국에서 자주 활용되고 있는 방법이다. 환경변화 를 측정하고 환경문제가 사회정책에 고려될 수 있도록 인간관 계로 분석할 수 있으며 사회, 경제 및 여타 쟁점 사항간의 상호 연관된 관점에서의 파악이 가능하다. PSR 구조를 바탕으 로 한 압력지수(PI), 현상 또는 상태지수(SI), 대책지수(RI) 등 3개 지수의 평기를 위한 세부지표의 선정에 있어 홍수취약 성을 대표할 수 있는 지표를 선정하는 것은 중요하며, 단점으 로는 대상유역에 적용 가능한 자료를 모두 수집하기는 쉽지 않다는 부분이 존재한다. Kim et al. (2017)은 PSR 구조를 이용하여 평가지표를 선정한 후에 지표들을 Z-score 방법으로 표준화하여 경기도지역을 대상으로 지역별 호우 위험도를 평가하기도 하였으며, Song et al. (2013)은 PSR 구조를 통해 17개의 지수들을 통합하여 지역의 전반적인 홍수위험 상태를 파악할 수 있는 홍수위험지수(FRI)를 산정하고, 기중치 적용 유무에 따른 홍수위험지수 산정결과와 2010년에 고시된 자 연재해위험지구 중 침수위험지구를 비교하여 홍수위험지수 의 적용성을 검토하였다. 본 연구에서는 서울시 25개구별에서 자료의 수집이 가능하고 홍수취약성 산정에 중요 및 필요성이 높다고 판단되는 12개의 세부지표를 Table 1과 같이 선정하였 다. 선정된 세부지표 중 유역에 직접적으로 물리 • 환경적 압력을 가하는 수단인 압력지수(Pressure Index)로는 1일 최대 강수량(mm), 고령화 인구 비율(%), 장애인 비율(%), 여성인구 비율(%) 등 4개의 지표를 선정하였으며, 압력지표들의 값이 커질수록 해당 지역의 홍수피해 위험이 높다고 판단할 수 있다. 홍수 피해에 노출되어있는 수준을 판단 및 피해 현황파 악이 가능한 상태지수(State Index)는, 연 홍수 피해액(천원/ 인), 홍수피해 횟수(회), 공공시설 피해액(천원/인) 등 3개의 지표로 구성하였다. 압력지수와 같이 상태지수 또한 값이 클수록 홍수피해 위험에 노출이 크다고 할 수 있다. 홍수 발생 시 이에 대한 피해를 저감하거나 대응할 수 있는 능력을 판단 할 수 있는 지표인 대책지수(RI)는 대피시설 수(개), 여성공무원수 비율, 재정자립도(%), 홍수복구금액(천원/인), 여성고용률(%) 등 5개의 지표로 선정하였으며, 앞의 압력지 수와 상태지수와는 다르다. 대책지수의 값이 클수록 연구대상 지역이 홍수 및 각종재해에 대해 방어에 대한 수준이 높은 수준을 나타내고 있다는 것을 보여주기 때문에 홍수에 대한 취약성이 작아진다. 12개 세부지표들을 가능한 최근의 공적인 자료를 주로 구축하였으며, 공개된 자료들 중에서 가장 최근 연도까지 10년간의 자료를 평균화하여 세부지표를 산정하였 다. 그 중 여성 고용률에 관해서는 서울시에서 구별 성별로 나누어 조사-공개된 자료가 산업연맹별 노동조합의 2013년도 의 통계자료를 이용하였다. 여성 공무원 수 비율 또한 시군구 별로 조사한 시점이 2015년도부터 통계가 되어 있어 현재까지 공개된 2015, 2016년의 자료를 이용하였다. 선정된 홍수취약 성 분석에 대한 평가 세부지표들은 해당 관련된 정부기관과 지자체 등에서 제공하는 각종 통계 자료를 수집하여 정리하였 으며(Table 1과 Fig. 1), 토목 전문가 40여명에게 설문조사를 실시하였다.

1.2 대상유역 선정 및 자료수집

현재 서울은 급격한 도시화와 산업화로 인해 불투수면적은 급증가하면서, 배수능력이 부족해졌기 때문에 도시홍수의 피해가 적지 않은 실정이다. 따라서, 홍수의 피해위험성 및 취약성을 파악하여야 하며, 이를 활용하여 서울시 지역의

홍수 방어대책을 마련해야 한다. 나이가, 홍수발생 시 재난약자가 될 수 있는 노인, 여성이나 임산부 등 여성에 대한고려를 통해 현실적인 홍수취약성 분석을 수행할 필요가있다고 판단된다. 이중 젠더와 관련된 지표는 압력지수에여성인구비율과 대책지수에 여성공무원수 비율 및 여성고용률을 추가하여 분석 진행하였다. 압력지수에 고려된 여성인구비율은 여성이 많을수록 재난에 취약해질 수 있다는의미에서 고려한 것이며, 대책지수에 고려한 여성공무원비율과 여성고용률은 여성의 사회활동이 증가할수록 여성들의 재난 대응 능력이 증가하여 사회의 재난 취약성을 감소시킨다는의미에서 추가하였기 때문에 각각 다른의미로 해석이 가능하다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 여성인자를 포함하지 않았을 경우와 여성인자들을 포함한 경우로 나누었으며 AHP가중치방법과 Fuzzy AHP가중치방법을 이용하여홍수취약성 분석을 실시하였다.

2. 연구방법

2.1 AHP 가중치방법

계층적 분석 과정법(Analytic Hierarchy Process)이라 불리며 다기준 의사결정 기법의 하나인 AHP 가중치방법은 Saaty (1977)에 의해 개발되었다. 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험및 직관을 포착하고자 하는 의사결정방법론으로 현재 여러분야의 의사결정문제에 성공적으로 적용되고 있기도 하다. 홍수취약성과 관련된 AHP기법을 사용한 사례의 연구로쌍대비교를 이용한 설문조사 기법인 AHP 가중치방법을 적용하여 태국과 대한민국의 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 그 결과를 이용해 PSR 구성 체계를

Table 1. Indices of Flood Vulnerability Index

Sub-index	Category	Name	Data source	Data period	
	Hydrological characteristics	Maximum daily precipitation	KMA*	2007~2016	
Pressure Index	a : 1	Percentage of aging population	Statistics Korea	2007~2016	
(PI)	Social Characteristics	Percentage of female population	Statistics Korea	2007~2016	
		Percentage of disabled people	Statistics Korea	2007~2016	
		Flood damage amount	WAMIS**	2005~2014	
State Index (SI)	Flood damage Dangerous area	Number of historial flood damage	Disaster annual report	2012~2016	
(51)		Public facility damage amount	WAMIS**	2005~2014	
		Number of public officials	Ministry of the Interior and Safety	2012~2016	
		Ratio of female civil servants	Ministry of the Interior and Safety	2012~2016	
Resopnse Index (RI)	Measures of flood mitigation	Number of evacuation facilities	Safekorea	2017	
(141)	nood mitigation	Flood recovery amount	WAMIS**	2010~2011	
		Female employment rate		Statistics Korea	2013

^{*} KMA: Korea Meteorological Administration

^{**} WAMIS: Water Resources Management Information System

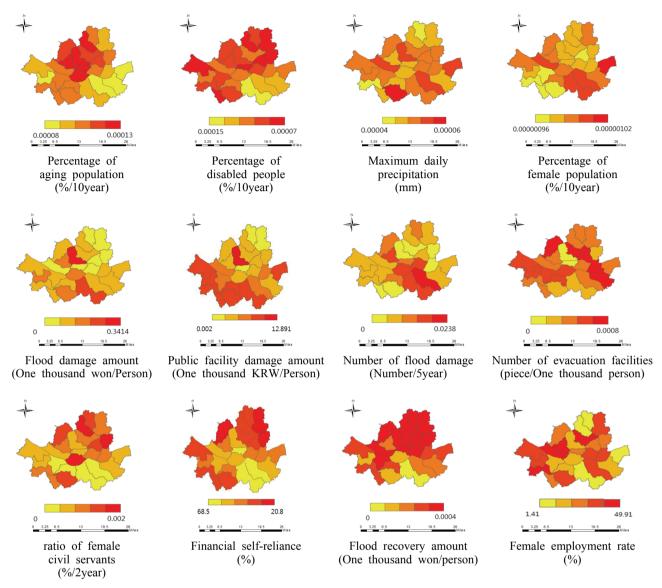


Fig. 1. Spatial Distribution of Indices for Flood Vulnerability Index

이용한 홍수취약성 분석 기법이 동아시아지역의 대표지역 으로 태국에 적용할 수 있는지에 대한 적용성을 검토한 선례연구가 있다(Chung, 2015).

Kim et al. (2015)는 안양천 유역을 대상으로 AHP 기법을 이용하여 다중인자들을 정량화한 결과 과거 주관적으로 결정한 가중치 값에 우수관 미설치율과 외수력을 더한 다중 인자들의 선호도를 산정하여 보다 합리적으로 객관화함으 로써 최적의 가중치 설정 및 PFD를 산정하였다. Kim et al. (2013)은 그룹의사결정기법을 사용하여 국내 공간적인 홍수 취약성을 정량화하는 접근법을 제시하였다. AHP 가중 치방법은 종합적 목표를 달성하기 위해 고려해야 할 기준들 의 상대적 가중치와 각 기준에 있어서 대안들의 상대적 가중치를 결정한 뒤, 이들을 곱한 평점의 합을 비교하여 대안들 간의 종합적 우선순위를 평가한다. 이는 수학적으로 도 이론이 증명되어 있으며, 간편하게 실제에 적용할 수

있고, 활용의 대상이 다양하다는 장점을 가지고 있다. 뿐만아 니라, AHP 가중치방법은 다수의 속성들을 계층적으로 분류 한 뒤 속성의 중요도를 파악함으로써 최적 대안을 선정할 수 있는 기법이다. AHP이론을 이용하여 문제를 해결할 때, "계층적 구조를 설정하고, 상대적 중요도를 설정하여, 논리 적 일관성을 유지한다"라는 원칙을 사용한다. 인간의 특성을 그대로 반영할 뿐만 아니라, 복잡한 의사결정 상황에서 수많 은 의사결정 요소들의 가중치 또는 중요도를 간단한 쌍대비 교를 통해 산출해 내는 장점을 가지고 있기도 하다.

2.1.1 쌍대비교표 개발을 통한 AHP분석

AHP 가중치방법을 이용하여 분석하기 위해 인자들의 의 사결정 요소들을 동시에 고려하고 인자 사이의 중요도를 산출하는 것은 사실상 거의 불가능한 부분이다. 하지만 인자 별로 1:1로 비교하는 것은 누구나 쉽게 할 수 있고, 모든 인자들 간의 쌍대비교 자료를 이용해 비교행렬을 구성하여 가중치를 계산할 수 있평가에 대해 고려할 세부지표 중 여성 인구비율을 비롯한 4개 항목의 쌍대비표의 예시는 Table 2와 같다. 대상 인자를 양쪽에 두 개씩 동시에 비교하여 인자들 간의 상대적인 중요도를 평가하고 이를 수치적인 자료로 변환한다. 선정된 토목 관련 종사자 40명을 대상으로 AHP분석을 위한 쌍대비교 설문조사를 실시하였으며, Fig. 2와 같은 절차로 분석을 진행하였다. 그 후 개인별로 응답한 평가항목별 쌍대비교수치에 대해 논리적인 일관성이 없다면 산출한 개인별 상대적인 중요도나 통합한 전체응답자의 상대적인 중 요도의 계산에 잘못된 영향을 미치기 때문에 개인별 응답들의 논리적 일관성을 판정하기 위해서 일관성 지수(Consistency Index, CI)를 산출하였다. Chung (2015)이 이용한 일관성지수(CI)의 공식을 이용하여 분석을 진행하였다.

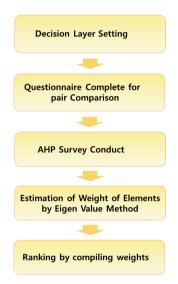


Fig. 2. AHP Process

Table 2. Example of Pair Comparison

Index	Percentage of aging population			Percentage of disabled people		Maximum daily precipitation			Percentage of female population	
Factor No.	Fa	ctor 1		Factor 2			Factor 3		Factor 4	
Question		Very significant (1/4)	significant (1/3)	slightly significant (1/2)	•	ual 1)	slightly significant (2)	significant (3)	Very significant (4)	
What is significant in 1 and 2?	Factor 1									Factor 2
What is significant in 1 and 3?	Factor 1									Factor 3
: :										
What is significant in 3 and 4?	Factor 3									Factor 4

2.2 Fuzzy AHP 가중치 결정 방법

Fuzzy AHP 가중치방법은 Zadeh (1965)가 제안한 이론으 로 의사결정과정에서 발생하는 애매모호한 자연언어와 인간 의 판단과정에서 발생하는 부정확성과 불확실성을 고려하기 위해 제시된 방법이다. 원소 x가 집합 A에 포함될 가능성에 대하여 일반집합에서는 0 아니면 1로 표현되지만, Fuzzy 집합에서는 Fuzzy 이론을 기반으로 하기 때문에 0에서 1사 이의 실수로 나타내는 것이 가능하다. 그 후 퍼지수를 가지고 쌍대비교 행렬을 작성하여 평가요인별 상대적 중요도와 각 대안별 평가점수를 산출한다. 즉 퍼지이론은 정성적인 퍼지 개념과 정량적인 수학 사이를 연결하는 중간적인 역할을 수행한다고 할 수 있다. AHP 기법에 Fuzzv 이론을 결합한 의사결정기법으로 이를 이용한 연구로는 Shin et al. (2014)은 Fuzzy AHP기법을 이용하여 내수침수 위험도 분석을 수행하 였다. Fuzzy AHP 방법은 기본적으로는 AHP 방법과 같지만, 연산과정에 사용되는 데이터가 보통의 수가 AHP 방법과는 다르게 퍼지수라는 것이다. Fuzzy AHP에서는 설문을 통한 자료수집에 있어 응답자들에 의한 데이터 자체를 Fuzzy 개념에 반영시켜 경계가 모호한 집합을 퍼지수로 정의할 수 있다. 퍼지수에는 정규 퍼지수, 삼각 퍼지수, 사다리꼴 퍼지수 등의 다양한 종류가 있으며, 이중 Buckley (1984)는 퍼지이론의 소속함수로써 사다리꼴 퍼지수를 이용하였고. Chang (1996)은 삼각퍼지수를 적용하여 연구를 진행하기도 하였다. 본 연구에서는 삼각 퍼지수를 이용하였다.

2.2.1 Fuzzy AHP 적용순서

Fuzzy AHP 기법의 적용절차는 크게 4단계로 구성되며, Chang (1996)이 제시한 방법을 이용하였다. 1단계는 복잡한 의사결정 문제를 단순화하기 위해 목표, 평가요소 등을 설정 하고 계층적 구분으로 구조화한다. Eq. (1)은 계층적으로 구분 하여 평균값을 나타낸 후 행렬로 나타낸 것이다. 퍼지행렬이 A와 같다고 가정하면 i=j 인 모든 a_{mn} =(1,1,1)이라고 할 수 있으며, $(l_{ij},m_{ij},u_{ij})^{-1}=(\frac{1}{l_i},\frac{1}{m_i},\frac{1}{u_i})$ 의 관계가 성립한다.

$$\mathbf{A} = [a_{ij}] = [(b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})], \ (\mathbf{i}, \mathbf{j} = 1, 2, \dots \mathbf{n})$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} a_{12} a_{13} & \bullet & a_{1n} \\ a_{21} a_{22} a_{23} & \bullet & a_{2n} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ a_{n1} a_{n2} a_{n3} & \bullet & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$(1)$$

2단계는 Eq. (2)를 이용하여 평가요소 간의 상대적 가중치를 도출한다. 이후 마지막 계층의 각 평가요소에 해당하는 대안들 간의 상대적 가중치를 구하는 것은 Eq. (3)으로 나타낼 수 있다. 여기서 height는 두 삼각 퍼지 수 교차점의 최대값(highest intersection point)으로 d는 μ_{M} 과 μ_{M} 의 교차점의 X축의 좌표 값이다.

$$E_{ij} = \sum_{j=1}^{m} a_{ij} \otimes \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_{ij} \right)^{-1}$$
 (2)

$$\begin{split} G(M_j \geq M_i) &= height \left(M_2 \cap M_1 \right) = \mu_{M_j}(d) \\ &= \begin{cases} If & m_j \geq m_i &, & 1 \\ If & l_i \leq u_j &, & 0 \\ \\ If & otherwise &, \frac{\left(l_i - u_i \right)}{\left(m_j - u_j \right) - \left(m_i - i_i \right)} \end{split} \end{split}$$

삼각퍼지수 M이 다른 k개의 퍼지수(i=1,2,…,k) 보다 클확률의 정도를 Eq. (4)를 이용하여 계산하고,

$$G(M \ge M_1, \dots M_k) = \min G(M \ge M_i), i = 1, 2, \dots, k$$
 (4)

Eq. (5)를 이용해 $i(i=1,2,\cdots n)$ 에 대해 가중치 벡터

 $w^{'} = \min G(E_i \geq E_j)$ 라고 가정으로 가중치를 계산한다. 여기서 각 요소의 가중치 벡터는 $W^{'}$ 로 나타낸다.

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$$
 (5)

도출된 상대적 가중치를 가중 평균화히여 인자들의 우선 순위를 도출하는 것이 마지막 4단계이다.

3. 결 과

본 연구에서는 PSR 구성체계를 이용하여 젠더인자를 고려 할 경우와 젠더인자를 고려하지 않은 경우로 나누어 세부지 료의 가중치를 AHP기법과 Fuzzy AHP기법을 이용하여 계산 한 서울시의 홍수취약성을 비교 및 분석하였다. 그리고 가중 치에 대한 값을 젠더인자를 고려하지 않았을 경우와 젠더인 자를 고려하였을 경우로 나누어 Tables 3, 4와 같이 표로 나타내었다. 또한 Figs. 3, 4는 지수 별 가중치를 방사형 그래프 로 나타낸 것이다. 그래프의 형태에서 알 수 있는 것과 같이, 세부지표 별 가중치가 균일하지 않고 특정 세부지표로 가중 치가 쏠려있는 것을 알 수 있다. Table 3과 Fig. 5를 살펴보면 젠더 인자 중 여성인구비율이 가장 가중치가 높게 산정되어 있으며, 그 다음으로 여성공무원수 비율, 여성고용률이 높게 산정되었다. 여성인자를 고려하지 않았을 경우의 압력지수 에서는 1일 최대 강수량이 고령화 인구 비율과 장애인 비율보다 가중치가 낮은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 즉, 홍수취약성은 단순히 비가 많이 오는 것 보다 홍수의 영향을 직접적으로 받을 수 있는 사람이나 재산이 더 큰 영향을 받는다고 판단할 수 있다. 대책지수의 경우 압력지수 와 마찬가지로 재정자립도의 가중치 값이 대피시설 수, 홍수복구금액인자보다 매우 높게 나왔다. 즉, 홍수가 발생하 였을 때 대처할 수 있는 재정상태가 잘 마련되어 있어야 홍수에 덜 취약하다고 판단할 수 있다.

여성인자를 포함하였을 경우에는 압력지수의 경우 여성 인구비율이 다른 세 인자들에 비해 가중치 값이 매우 높게

Table 3. Calculated Weights Without Gender Factors Using AHP and Fuzzy AHP

	I. J		Weight
	Index name	AHP	Fuzzy AHP
D 1.1	Percentage of aging population	0.399	(0.280,0.399,0.517)
Pressure Index	Percentage of disabled people	0.339	(0.23, 0.339, 0.459)
(PI)	Maximum daily precipitation	0.261	(0.19,0.261,0.355)
Cr. t. T. 1	Flood damage amount	0.299	(0.208, 0.299, 0.4)
State Index	Public facility damage amount	0.355	(0.269,0.355,0.456
(SI)	Number of flood damage	0.346	(0.252,0.346,0.444
D 7.1	Number of evacuation facilities	0.262	(0.183,0.262,0.365
Response Index	Financial self-reliance	0.422	(0.308,0.422,0.527
(RI)	Flood recovery amount	0.316	(0.222,0.316,0.427

Table 4. Calculated Weights with Gender Factors using AHP and Fuzzy AHP

	Index name		Weight
	index name	AHP	Fuzzy AHP
	Percentage of aging population	0.247	(0.165,0.247,0.351)
Pressure Index	Percentage of disabled people	0.206	(0.136,0.206,0.297)
(PI)	Maximum daily precipitation	0.174	(0.12,0.174,0.247)
	Percentage of female population	0.373	(0.271,0.373,0.466)
Ct. t. I. I.	Number of victims	0.299	(0.208, 0.299, 0.4)
State Index (SI)	Flood damage amount	0.355	(0.269, 0.355, 0.456)
(31)	Number of flood damage	0.346	(0.252,0.346,0.444)
	Number of evacuation facilities	0.110	(0.074,0.11,0.164)
D	ratio of female civil servants	0.305	(0.204,0.305,0.404)
Response Index	Financial self-reliance	0.171	(0.116,0.171,0.241)
(RI)	Flood recovery amount	0.119	(0.08,0.119,0.183)
	Female employment rate	0.295	(0.204,0.295,0.39)

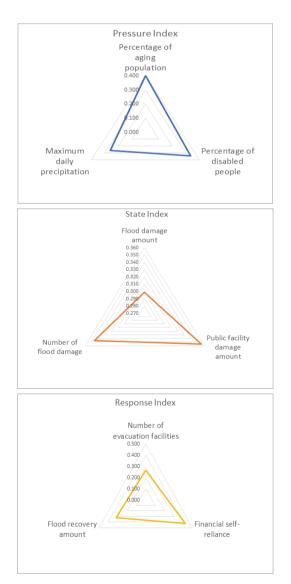


Fig. 3. Sub-index According to the Consideration of Without Gender Factors

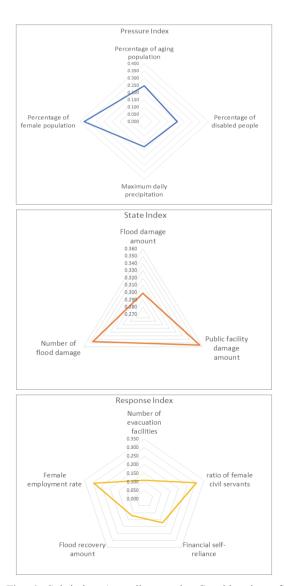


Fig. 4. Sub-index According to the Consideration of Gender Factors

나왔다. 대책지수의 경우 또한 마찬가지로 여성공무원수비율과 여성고용률의 가중치 값이 다른 인자들에 비해 월등히 높게 나타났다. Figs. 5, 6은 Fuzzy AHP기법을 이용하였을때 인자별 가중치를 나타낸 것이다. 인자별로 가중치 범위내에 있는 점은 AHP기법의 가중치 값을 나타낸다. Fuzzy AHP 가중치는 최소값, 중간값, 최대값인 3단계로 보여지며,모든 경우 Fuzzy AHP 가중치의 중간값이 AHP 결과와 같게나타난다.

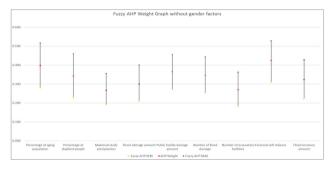


Fig. 5. Calculated Weights using Fuzzy AHP without Gender Factor

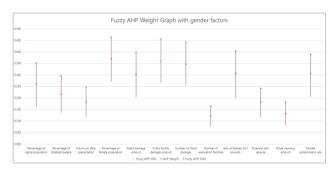


Fig. 6. Calculated Weights using Fuzzy AHP with Gender Factor

Tables 5~7은 계산된 가중치를 이용하여 여성인자를 고려하지 않은 경우와 여성인자를 고려한 경우로 나누어 산정한 압력지수, 상태지수, 대책지수를 나타내고 있다. Fuzzy AHP 방법의 지수는 100번 모의한 값의 평균값을 나타내며, Table 8, 9는 세 가지의 지수를 사용하여 압력지수 와 상태지수를 곱하고 대책지수로 나누어 계산한 홍수취약 성 지수를 나타낸다. 홍수취약성지수의 값이 크고 순위가 높을수록 해당지역이 홍수에 취약하다는 것을 나타내며, 지수 값이 작고 순위가 낮을수록 해당지역이 상대적으로 안전하다는 의미를 가진다. 압력지수를 살펴보면, 여성인자 를 고려하지 않은 AHP 방법과 여성인자를 고려한 경우의 AHP 가중치방법 모두 관악구가 가장 취약성을 나타냈으며, 도봉구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다. 여성인자 를 고려한경우의 Fuzzy AHP 가중치방법의 경우 관악구가 가장 큰 취약성을 나타내었으며, 도봉구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다.

상태지수의 경우 다른 두지수들과 다르게 여성인자가 포함되어 있지 않다. AHP 가중치방법과 Fuzzy AHP 가중치 방법 모두 종로구가 가장 취약한 지역으로 나타났으며 취약 성지수 값은 월등하게 높게 나왔다. 또한, 구로구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다. 상태지수에서만 종로구 가 가장 취약한 지역으로 나타났다.

대책지수는 다른 두 지수들과는 다르게 값이 클수록 홍수 발생 시 그에 대한 피해를 저감시키는 인자이기 때문에 지수 값이 클수록 취약성이 작다고 할 수 있다. 여성인자를 고려하 지 않은 AHP 가중치방법의 경우 노원구가 가장 취약한 지역 으로 나타났으며, 서초구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다. 하지만 여성인자를 고려한 AHP 가중치방법의 경우에는 도봉구가 가장 취약한 지역으로 나타났으며 서초 구가 가장 취약하지 않은 지역으로 다르게 나타났다.

여성인자를 고려하지 않은 경우의 Fuzzy AHP 가중치방법에서는 강서구 지역이 가장 취약성이 높게 나왔고, 도봉구지역이 가장취약성이 낮게 나왔으며, 여성인자를 고려한경우의 Fuzzy AHP 가중치방법에서는 구로구 지역이 가장취약성이 높은 것으로 나왔지만 도봉구 지역은 취약성지수가가장 낮게 나왔다.

최종적으로 계산된 홍수취약성 지수에서 AHP 가중치방법의 경우 여성인자를 고려하지 않았을 경우와 고려하였을 경우 모두 종로구가 가장 취약한 지역으로 나타났으며, 구로구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타난 것을 확인할수 있었다. Fuzzy AHP 가중치방법의 여성인자를 고려하지않았을 경우와 고려하였을 경우 또한 모두 종로구가 가장취약한 지역으로 나타났으며, 구로구가 가장취약성이 낮은 지역으로 나타났다.

Figs. 7~20은 지리정보체계인 GIS를 활용하여 본 연구의 대상지역인 서울시 25구의 홍수취약성을 나타낸 것이다. 압력지수와 대책지수의 경우 여성인자를 고려하였을 경우의 AHP가중치방법의 경우와 Fuzzy AHP 가중치방법의 경우를 한곳에 모아 나타내었다. Figs. 7, 9는 AHP가중치방법의 의 압력지수 취약성지수를 나타낸 것이며, Figs. 8, 10은 Fuzzy AHP가중치방법의 압력지수 취약성지수를 나타낸 것이다. Figs. 13, 15는 AHP가중치방법의 대책지수 취약성지수를 나타낸 것이다. Figs. 13, 15는 AHP가중치방법의 대책지수 취약성지수를 나타낸 것이며, Figs. 14, 16은 Fuzzy AHP가중치방법의 대책지수 취약성지수를 나타내었다.

Tables 5-9를 같이 보았을 때 순위가 높고 색깔이 빨간색으로 진해질수록 홍수에 대한 취약성이 높다는 것이며 반대로 홍수취약성 지수가 낮고, 색깔이 노란색으로 갈수록 홍수에 대한 취약성이 작다는 것을 보여준다. 앞에서 언급한 것과 같이 젠더를 고려하지 않았을 경우와 젠더를 고려하였을 경우에서 AHP 가중치방법과 Fuzzy AHP 가중치방법에서의 취약성지수(Flood Vulnerability Index, FVI)의 차이는 크지 않았지만, 젠더를 고려하였을 경우가 대체적으로 취약성지수가 더 작게 나왔다.

Table 5. Pressure Index in Seoul using AHP Method and Fuzzy AHP Method

Calculated weights without gender factors					Calculated weights with gender factors			
District	Flood vulner	rability index	Vulnerab	ility rank	Flood vulner	rability index	Vulnerability rank	
Method	AHP	Fuzzy AHP	AHP	Fuzzy AHP	AHP	Fuzzy AHP	AHP	Fuzzy AHP
Jongno-gu	0.0428	0.0450	5	5	0.0422	0.0437	5	5
Jung-gu	0.0379	0.0363	21	21	0.0387	0.0382	21	21
Yongsan-gu	0.0388	0.0380	18	18	0.0395	0.0395	17	15
Seongdong-gu	0.0410	0.0418	9	9	0.0406	0.0409	10	10
Gwangjin-gu	0.0398	0.0397	13	13	0.0397	0.0394	15	18
Dongdaemun-gu	0.0409	0.0417	10	10	0.0407	0.0411	9	9
Jungnang-gu	0.0426	0.0446	6	6	0.0418	0.0428	6	6
Seongbuk-gu	0.0404	0.0408	12	12	0.0404	0.0407	11	11
Gangbuk-gu	0.0388	0.0379	20	20	0.0394	0.0395	18	17
Dobong-gu	0.0289	0.0196	25	25	0.0322	0.0272	25	25
Nowon-gu	0.0390	0.0384	17	17	0.0394	0.0392	19	19
Eunpyeong-gu	0.0395	0.0393	15	15	0.0399	0.0400	13	12
Seodaemun-gu	0.0392	0.0386	16	16	0.0397	0.0399	14	13
Mapo-gu	0.0436	0.0464	4	4	0.0428	0.0445	4	3
Yangcheon-gu	0.0404	0.0409	11	11	0.0400	0.0398	12	14
Gangseo-gu	0.0414	0.0426	8	8	0.0410	0.0416	8	8
Guro-gu	0.0327	0.0267	24	24	0.0346	0.0310	24	24
Geumcheon-gu	0.0354	0.0318	23	23	0.0364	0.0341	23	23
Yeongdeungpo-gu	0.0424	0.0442	7	7	0.0416	0.0424	7	7
Dongjak-gu	0.0378	0.0362	22	22	0.0385	0.0378	22	22
Kwanak-gu	0.0491	0.0554	1	1	0.0462	0.0492	1	1
Seocho-gu	0.0396	0.0394	14	14	0.0397	0.0395	16	16
Gangnam-gu	0.0449	0.0486	2	2	0.0435	0.0454	2	2
Songpa-gu	0.0388	0.0380	19	19	0.0390	0.0382	20	20
Gangdong-gu	0.0444	0.0477	3	3	0.0429	0.0442	3	4
	Σ = 1.000					$\sum =$	1.000	

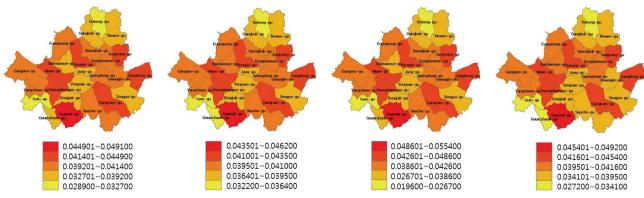


Fig. 7. Pressure Index by AHP Method without Gender Factors

Fig. 8. Pressure Index by AHP Method with Gender Factors

Fig. 9. Pressure Index by Fuzzy AHP without Gender Factors

Fig. 10. Pressure Index by Fuzzy AHP Method with Gender Factors

Table 6. State Index in Seoul using AHP and Fuzzy AHP Method

	AHP Method	Fuzzy AH	P Method		
District	Flood vulnerability	Vulnerability	Flood vulnerability	Vulnerability	
District	index	rank	index	rank	
Jongno-gu	0.5016	1	0.4571	1	
Jung-gu	0.0004	24	0.0004	24	
Yongsan-gu	0.0141	12	0.0154	12	
Seongdong-gu	0.0032	21	0.0035	21	
Gwangjin-gu	0.0129	13	0.0146	13	
Dongdaemun-gu	0.0029	22	0.0033	22	
Jungnang-gu	0.0047	20	0.0052	20	
Seongbuk-gu	0.0100	17	0.0110	17	
Gangbuk-gu	0.0068	19	0.0075	19	
Dobong-gu	0.0001	25	0.0000	25	
Nowon-gu	0.0005	23	0.0005	23	
Eunpyeong-gu	0.0119	14	0.0131	15	
Seodaemun-gu	0.0170	11	0.0185	11	
Mapo-gu	0.0085	18	0.0097	18	
Yangcheon-gu	0.0558	4	0.0607	4	
Gangseo-gu	0.0261	5	0.0295	5	
Guro-gu	0.0179	10	0.0204	10	
Geumcheon-gu	0.0117	15	0.0133	14	
Yeongdeungpo-gu	0.0113	16	0.0128	16	
Dongjak-gu	0.0225	7	0.0255	7	
Kwanak-gu	0.0598	3	0.0655	3	
Seocho-gu	0.1328	2	0.1371	2	
Gangnam-gu	0.0216	9	0.0242	9	
Songpa-gu	0.0238	6	0.0261	6	
Gangdong-gu	0.0221	8	0.0251	8	
	$\sum = 1$.000	$\sum = 1.000$		

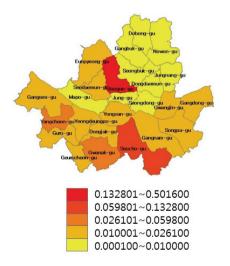


Fig. 11. State Index by AHP Method

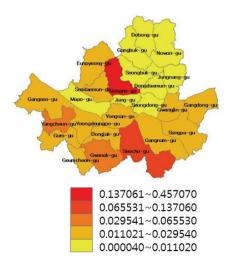


Fig. 12. State Index by Fuzzy AHP Method

Table 7. Response Index in Seoul using AHP Method and Fuzzy AHP Method

Calculated weights without gender factors					Calculated weights with gender factors			
District	Flood vulner	ability index	Vulnerab	ility rank	Flood vulner	rability index	Vulnerab	ility rank
Method	AHP	Fuzzy AHP	AHP	Fuzzy AHP	AHP	Fuzzy AHP	AHP	Fuzzy AHP
Jongno-gu	0.0533	0.0532	22	22	0.0407	0.0413	13	13
Jung-gu	0.0600	0.0601	23	23	0.0450	0.0471	19	19
Yongsan-gu	0.0512	0.0519	20	21	0.0371	0.0361	9	9
Seongdong-gu	0.0385	0.0378	17	17	0.0411	0.0419	16	16
Gwangjin-gu	0.0342	0.0336	12	12	0.0400	0.0405	12	12
Dongdaemun-gu	0.0281	0.0269	8	8	0.0343	0.0322	5	5
Jungnang-gu	0.0229	0.0214	2	2	0.0326	0.0296	4	4
Seongbuk-gu	0.0264	0.0252	6	6	0.0459	0.0486	20	20
Gangbuk-gu	0.0248	0.0234	4	4	0.0256	0.0187	2	2
Dobong-gu	0.0251	0.0237	5	5	0.0254	0.0184	1	1
Nowon-gu	0.0201	0.0183	1	1	0.0364	0.0353	8	8
Eunpyeong-gu	0.0234	0.0220	3	3	0.0355	0.0340	6	6
Seodaemun-gu	0.0350	0.0348	13	13	0.0467	0.0496	22	22
Mapo-gu	0.0407	0.0402	18	18	0.0509	0.0551	24	24
Yangcheon-gu	0.0370	0.0375	16	16	0.0412	0.0420	17	17
Gangseo-gu	0.0283	0.0275	9	9	0.0414	0.0423	18	18
Guro-gu	0.0277	0.0268	7	7	0.0460	0.0487	21	21
Geumcheon-gu	0.0314	0.0308	10	10	0.0382	0.0378	10	10
Yeongdeungpo-gu	0.0439	0.0437	19	19	0.0394	0.0395	11	11
Dongjak-gu	0.0356	0.0353	14	14	0.0357	0.0341	7	7
Kwanak-gu	0.0315	0.0317	11	11	0.0411	0.0419	15	15
Seocho-gu	0.1251	0.1371	25	25	0.0575	0.0621	25	25
Gangnam-gu	0.0687	0.0698	24	24	0.0500	0.0537	23	23
Songpa-gu	0.0512	0.0518	21	20	0.0410	0.0417	14	14
Gangdong-gu	0.0359	0.0355	15	15	0.0313	0.0276	3	3
		$\sum =$	1.000			$\sum =$	1.000	

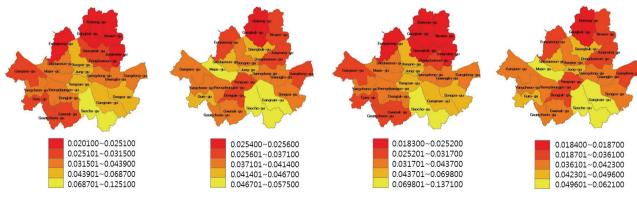


Fig. 13. Response Index by AHP Method without Gender Factors

Fig. 14. Response Index by AHP Method with Gender Factors

Fig. 15. Response Index by Fuzzy AHP Method without Gender Factors

Fig. 16. Response Index by Fuzzy AHP Method with Gender Factors

Table 8. Flood Vulnerability Index in Seoul using AHP Method

Calculate	ed weights without gender	Calculated weights	Calculated weights with gender factors		
District	Flood vulnerability	Vulnerability	Flood vulnerability	Vulnerability	
District	index	rank	index	rank	
Jongno-gu	0.4033	1	0.5202	1	
Jung-gu	0.0002	24	0.0003	24	
Yongsan-gu	0.0107	17	0.0150	10	
Seongdong-gu	0.0034	22	0.0031	22	
Gwangjin-gu	0.0150	13	0.0128	14	
Dongdaemun-gu	0.0043	21	0.0035	21	
Jungnang-gu	0.0087	20	0.0060	20	
Seongbuk-gu	0.0153	12	0.0088	18	
Gangbuk-gu	0.0107	18	0.0105	17	
Dobong-gu	0.0001	25	0.0001	25	
Nowon-gu	0.0009	23	0.0005	23	
Eunpyeong-gu	0.0201	9	0.0134	13	
Seodaemun-gu	0.0190	10	0.0145	11	
Mapo-gu	0.0091	19	0.0072	19	
Yangcheon-gu	0.0609	3	0.0542	4	
Gangseo-gu	0.0382	5	0.0259	6	
Guro-gu	0.0212	8	0.0135	12	
Geumcheon-gu	0.0131	15	0.0111	16	
Yeongdeungpo-gu	0.0109	16	0.0119	15	
Dongjak-gu	0.0238	7	0.0243	7	
Kwanak-gu	0.0930	2	0.0672	3	
Seocho-gu	0.0420	4	0.0915	2	
Gangnam-gu	0.0141	14	0.0188	9	
Songpa-gu	0.0180	11	0.0226	8	
Gangdong-gu	0.0274	6	0.0303	5	
	Σ=	1.000	∑= 1.000		

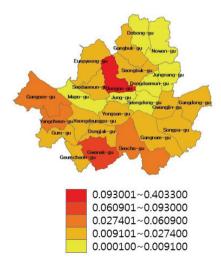


Fig. 17. Food Vulnerability Index using AHP Method without Gender Factors

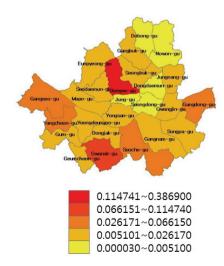
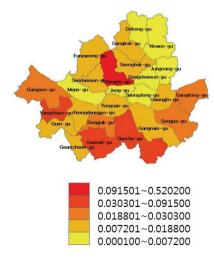
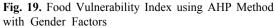


Fig. 18. Flood Vulnerability Index using Fuzzy AHP Method without Gender Factors

Table 9. Flood Vulnerability Index in Seoul using Fuzzy AHP Method

Calculate	ed weights without gender	Calculated weights	Calculated weights with gender factors		
District	Flood vulnerability	Vulnerability	Flood vulnerability	Vulnerability	
District	index	rank	index	rank	
Jongno-gu	0.38692	1	0.4846	1	
Jung-gu	0.00023	24	0.0003	24	
Yongsan-gu	0.01128	18	0.0169	10	
Seongdong-gu	0.00388	22	0.0034	22	
Gwangjin-gu	0.01730	13	0.0143	14	
Dongdaemun-gu	0.00513	21	0.0042	21	
Jungnang-gu	0.01080	20	0.0075	20	
Seongbuk-gu	0.01782	12	0.0092	18	
Gangbuk-gu	0.01220	17	0.0159	11	
Dobong-gu	0.00003	25	0.0001	25	
Nowon-gu	0.00100	23	0.0005	23	
Eunpyeong-gu	0.02337	8	0.0154	12	
Seodaemun-gu	0.02060	9	0.0149	13	
Mapo-gu	0.01122	19	0.0079	19	
Yangcheon-gu	0.06615	3	0.0575	4	
Gangseo-gu	0.04568	4	0.0290	6	
Guro-gu	0.02039	10	0.0130	16	
Geumcheon-gu	0.01379	15	0.0120	17	
Yeongdeungpo-gu	0.01291	16	0.0137	15	
Dongjak-gu	0.02617	7	0.0282	7	
Kwanak-gu	0.11474	2	0.0769	3	
Seocho-gu	0.03939	5	0.0871	2	
Gangnam-gu	0.01688	14	0.0205	9	
Songpa-gu	0.01911	11	0.0239	8	
Gangdong-gu	0.03366	6	0.0401	5	
	Σ=	1.000	$\Sigma = 1.000$		





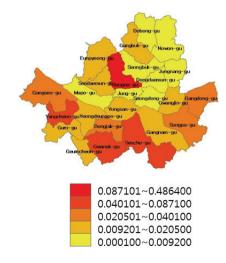


Fig. 20. Flood Vulnerability Index using Fuzzy AHP Method with Gender Factors

4. 결 론

현재 세계적으로 홍수를 비롯한 자연재해에 대한 피해가 커지고 있다. 그뿐만이 아니라 건축물 재건축으로 인해 지형 조건과 유역의 특성이 변형되기 때문에 수방에 대한 대비가 급변하고 있기도 하다. 재해가 발생할 경우 기존의 홍수취약 성 결과만으로는 대비할 수 없다. 이를 해결하기 위해서 새로운 지형조건과 유역의 특성조건에 맞춰 취약성 분석을 실시할 필요가 있다. 하지만 재해가 발생하였을 경우 남성에 비해 여성이 더 많은 피해를 입을 가능성이 있다는 연구들이 있었기 때문에 이러한 현상을 고려하기 위해 젠더를 고려하 지 않았을 경우와 젠더를 고려하였을 경우로 나누어 홍수취 약성 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 지역대상을 서울시 (25구)를 대상으로 이론을 활용하여 젠더인자를 고려하였을 때와 젠더인자를 고려하지 않았을 때의 경우를 나누었으며, 우리나라에 영향을 미치는 홍수 위험요인을 종합하여 이에 대해 P-S-R 구조로 분류, 3개의 평가지수인 압력지수(PI)-상 태지수(SI)-대책지수(RI)로 12개의 세부지표들을 선정하였 다. 선정된 지표들의 가중치를 AHP 가중치방법과 Fuzzv AHP 가중치방법으로 구한 홍수취약성지수를 계산하였다.

분석결과 여성인자를 고려하지 않았을 경우와 고려하였을 경우의 가중치를 비교하였을 때 여성인자들의 가중치 값이 제일 높게 산출되었다. 취약성 지수의 분석결과 지수 별로 결과를 보았을 때 여성인자를 고려하지 않고, AHP 가중치방법을 이용한 압력지수의 경우에는 관악구가 가장취약한 지역으로 도봉구가 가장취약하지 않은 지역으로나타났으며, 여성인자를 고려하고, AHP 가중치방법을 이용한 압력지수의 경우 또한 관악구가 가장취약한 지역으로, 도봉구가 가장취약하지 않은 지역으로 나타났지만 12개 지역의 순위가 바뀌었다.

압력인자 중 관악구의 1일 최대강수량의 해당기간을 평균화했을 경우 348.5 mm로 가장 컸고 고령화 인구비율과장애인 인구비율의 값이 큰 이유인 것으로 사료된다. 여성인자를 고려하지 않고, Fuzzy AHP 가중치방법을 이용한 압력지수의 경우와 여성인자를 고려하고, Fuzzy AHP 가중치방법을 이용한 압력지수의 경우와 여성인자를 고려하고, Fuzzy AHP 가중치방법을 이용한 압력지수 또한 관악구가 가장 취약한 지역으로 나타났으며, 도봉구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다. 또한, Fuzzy AHP가중치 방법의 경우에는 15개 지역의순위가 바뀌었다.

상태지수의 경우에는 여성인자가 없기 때문에 AHP 가중치 방법과 Fuzzy AHP 가중치방법의 경우로 비교하였을 때, 두 방법 모두 종로구가 가장 취약한 지역으로 나타났으며, 도봉구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다. 상태지수의 경우 불과 2개의 지역만이 순위가 바뀌었을 뿐이었다. 홍수취약성 지수 값과 구축된 자료를 비교해보았는데 상태지수의경우 해당인자인 홍수 피해액과 공공시설의 피해액이 종로구가 가장 높기 때문에 종로구의 취약성순위가 가장 높은 것으로보여진다. 종로구의 피해액 중 2010년 22,207,486원의 피해액

이 나타났으며, 2011년에는 31,316,701원의 피해액이 발생 하였다. 공공시설피해액의 경우에는 2010년 종로구에서 21.928.860원 2011년 10.892.437원의 피해액이 발생하였다. 상태지수에서 종로구가 가장 취약한 지역으로 나타난 이유 는 두 인자들의 피해액이 다른 구에 비해 너무 피해금액이 컸기 때문인 것으로 판단된다. 대책지수일 때 여성인자를 고려하지 않았을 때 AHP 가중치방법과 Fuzzy AHP 가중치 방법일 때 모두 노원구 지역이 가장 취약한 지역으로 나타났 으며, 서초구지역이 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다. 이는 노원구가 재정자립도와 홍수복구금액이 가장 적으며 서초구가 재정자립도와 홍수복구금액이 가장 높기 때문인 것으로 보인다. 여성인자를 고려하고, AHP 가중치방법과 Fuzzy AHP 가중치방법의 대책지수의 경우 모두 도봉구가 가장 취약한 지역으로 서초구가 가장 취약하지 않은 지역으 로 나타났으며, 22개의 지역의 순위가 바뀌었다. 도봉구는 홍수복구금액과 여성 고용률이 가장 적은 것으로 보이며, 서초구가 여성 공무원 수 비율이 높고 위와 같이 재정자립도 와 홍수복구금액이 높아 대책지수의 경우 가장 취약하지 않은 지역으로 나타난 것으로 사료된다. 또한, 도봉구는 여성인자를 고려하지 않았을 경우에는 5위의 취약순위에 머물렀지만 고려하였을 경우에는 가장 취약한 지역으로 나타났다. 이는 도봉구의 구축기간의 평균 여성 고용률이 1.415%로 나타났으며, 본 연구에서 여성 고용률이 가장 적고, 여성 공무원 수 비율도 43.102%로 19위로 대체로 적은비율이다. 이는 여성들의 사회참여가 적고 실제로 대응 력이 떨어진다는 것으로 가정하였기 때문에 여성인자를 포함한 경우에 더 취약하게 나타난 것으로 판단된다.

종합적 취약성지수를 보았을 때 여성인자를 고려하지 않았 을 경우와 고려하였을 경우의 AHP 기중치방법과 Fuzzy AHP 가중치방법 모두 종로구가 가장 취약한 지역으로 나타났으 며, 도봉구가 가장 취약하지 않은 지역으로 나타났다. 종합적 지수계산의 경우 종로구가 다른 지역들에 비해 값이 월등하 게 높게 나왔는데 이는 압력지수와 상태지수의 값이 크게 나와 해당지수를 곱한 값이 크고 대책지수의 값이 너무 작기 때문에 대책지수의 값을 나눴을 때의 값이 매우 크게 나온 것으로 판단된다. AHP 가중치방법과 Fuzzy AHP 가중치 방법모두 16개 지역의 순위가 바뀌었다. 현재 진행되었던 홍수취약성 연구들을 살펴보면 장애인 인구비율이나 고령화 인구비율과 같은 사회약자와 관련된 인자들을 포함한 취약성 분석은 나오지 않았으며, 두 인자들과 같이 재난에 취약한사 람들의 비율이나 그들이 얼마나 사회에 참여하는지에 대해 고려함으로써 보다 정확한 재난취약성을 제안할 수 있다. 객관적인 사회·경제적인 요소를 반영하려면 사회약자와 여 성인자를 포함한 인자들까지 고려를 해야 정확한 취약성을 분석할 수 있다고 판단된다. 따라서, 본 연구의 결과를 활용한 다면 홍수위험에 대해 지역별 위험우선순위를 결정하고 정부 및 관련 지자체에서 젠더 요소를 포함한 방재관련 정책수립 에 대해 효과적인 도움을 줄 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002950002).

References

- Buckley, J.J. (1984). The multiple-judge, multiple-criteria ranking problem. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 13, pp. 25-37.
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operations Research*, Vol. 95, No. 3, pp. 649-655.
- Cho, H.J., and Kim, K.B. (2015). Assessment of the social vulnerability in the climate change induced-flood risk: Focused on the City of Incheon. *Journal of Climate Research*, Vol. 10, No. 4, pp. 341-354.
- Chung, G.H. (2015). Comparison of selection methods for proxy variables on flood vulnerability analysis in South Korea and Thailand. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 1, pp. 297-304.
- Chung, G.H. (2017). Necessity of disaster and safety management policy considering gender sensitivity. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 4, pp. 265-269.
- Hong, S.J., Joo, H.J., Kim, K.T., and Kim, H.S. (2018). Sub-components evaluation method of potential flood damage considering yearly change and improved method. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 20, No. 4, pp. 370-382.
- Hwang, E.J. (2015). Analysis and plan for support of disaster vulnerable people from gender perspective. *Ewha Journal of Gender and Law*, Vol. 7, No. 2, pp. 171-199.
- Hwang, N.H., and Chung, G.H. (2018). Flood vulnerability analysis in Seoul considering gender factors. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 301-311.
- Jeong, J.H., Kim, H.U., Min, K.S., Han, S.O., Shim, J.K. (2014). Analysis of the distribution of heavy snow and heavy rain vulnerability based on damage and geographical information. *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*. pp. 165-167.
- Kang, J.E., and Lee, M.J. (2012). Assessment of flood vulnerability to climate change using fuzzy model and GIS in Seoul. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 15, No. 3, pp. 119-136.
- Kim, B.K., Jang, D.W., Zhang, N., and Yang, D.M. (2011). The deduction of urban flood risk factor considering climate change. *Crisisonomy*, Vol. 7, No. 1, pp. 125-142.
- Kim, G.B., Cha, E.J., and Shin, K.H. (2014). Development and applicability of flood vulnerability index using groundwater levels. *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol. 50, No. 2, pp. 257-268.
- Kim, I.D., Lee, C.Y., Ahn, J.H., and Ahn, W.S. (2015). Assessment

- of flood flow conveyance for the AnYang-Chon basin using modified potential flood damage estimation (AHP). *Proceedings of KSCE 2015 Convention*, The Korean Society of Civil Engineers, pp. 211-212.
- Kim, J.S., Chol, C.H., Lee, J.S., and Kim, H.S. (2017). Damage prediction using heavy rain risk assessment: (1) Estimation of heavy rain damage risk index. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 2, pp. 361-370.
- Kim, Y.K., Chung, E.S., Lee, K.S., and Kim, Y.J. (2013). Group decision making approach to flood vulnerability assessment. *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 2, pp. 99-109.
- Korea Fire Protection Agency. (2016). *Annual disaster report.*Ministry of the Interior and Safety.
- Lee, H.J., Ryu, S.H., Won, S.H., Jo, E.J., Kim, S.W., and Joe, G.H. (2016). A study on model of heavy rain prediction using influencing factors of flood damage. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 3, pp. 39-45.
- Lee, J.S., and Choi, H.I. (2018). Development and implementation of an assessment framework for coastal flood vulnerability. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 291-299.
- Lee, M.W., Kim, T.W., and Moon, G.W. (2013). Assessment of flood damage vulnerability considering regional flood damage characteristics in South Korea. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 4, pp. 245-256.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (1991). *Environmental indicators. A preliminary set.* Paris, France.
- Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281.
- Shin, J.Y., Park, Y.J., and Kim, T.W. (2014). Evaluation of inland inundation risk in urban area using fuzzy AHP. *Journal* of the Korea Water Resources Association, Vol. 47, No. 9, pp. 789-799.
- 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 Korea Water Resources Association, Vol. 46, No. 1, pp. 35-45.
- WMO. (2015). WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services. WMO. 1150.
- Yoon, J.S., and Koh, J.H. (2017). Analysis of heavy rain hazard risk based on local heavy rain characteristics and hazard impact. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 47, No. 1, pp. 37-51.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy set. *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-390.

ReceivedSeptember 30, 2019RevisedOctober 1, 2019AcceptedOctober 22, 2019