

시군별 홍수위험잠재능 유형화 및 특성분석

김수진 · 은상규 · 김성필 · 배승종*
서울대학교 그린바이오과학기술연구원

A Study on Potential Flood Damage Classification and characteristic analysis

Kim, Soo-Jin·Eun, Sang-Kyu·Kim, Seong-Pil·Bae, Seung-Jong
Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

ABSTRACT : Climate change is intensifying storms and floods around the world. Where nature has been destroyed by development, communities are at risk from these intensified climate patterns. This study was to suggest a methodology for estimating flood vulnerability using Potential Flood Damage(PFD) concept and classify city/county about Potential Flood Damage(PFD) using various typology techniques. To evaluate the PFD at a spatial resolutions of city/county units, the 20 representative evaluation indexing factors were carefully selected for the three categories such as damage target(FDT), damage potential(FDP) and prevention ability(FPA). The three flood vulnerability indices of FDT, FDP and FPA were applied for the 167 cities and counties in Korea for the pattern classification of potential flood damage. Potential Flood Damage(PFD) was classified by using grouping analysis, decision tree analysis, and cluster analysis, and characteristics of each type were analyzed. It is expected that the suggested PFD can be utilized as the useful flood vulnerability index for more rational and practical risk management plans against flood damage.

Key words : Potential Flood Damage; Flood Vulnerability; Disaster Protection; Flood Damage Cycle

1. 서론

전 세계적으로 이상기후, 도시화의 가속화 등으로 인하여 재해의 잠재성이 매우 커짐에 따라 재해의 메커니즘을 규명하고 이에 적절한 대책을 수립하는 것이 주요 관심사로 대두되고 있다. 재해의 유형은 다양하지만 이를 일반적인 용어로 위험이라고 한다면 위험관리(risk management)는 넓은 의미로 피해를 유발하는 위험 그 자체에 대한 관리와 피해를 입는 시설 및 대상에 대한 관리, 그리고 피해를 줄이기 위한 다양한 행동(action)에 대한 관리로 말할 수 있다. 1990년대까지는 피해를 유발하는 요인 자체에 대한 연구가 주를 이루었으나, 2000년대 이후에는 피해를 입는 요인 및 피해를 저감하기 위한 대책에 대한 연구가 같이 수행되고 있다(Jang, 2010).

치수 및 방재 선진국이라고 불리는 유럽 및 미국에서도 홍수 위험성에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 지역별 재해 취약성 분석 및 재해 저감능력 분석 등 다양한 홍수위험 관리기법들이 제시되고 있다. 국내의 경우에는 대부분 홍수 위험성 자체를 분석하고 모의하는데 초점이 맞추어져 있고, 사후복구(recovery) 또는 장기대응(mitigation)에 국한된 홍수대책으로 인해 여전히 홍수피해는 증가하고 있다. 홍수피해는 지역에 따라 발생빈도와 홍수피해 규모가 다양하기 때문에 합리적이고 효과적인 치수대책 마련을 위해서는 지역 간의 홍수피해원인과 위험성 정도를 나타내는 계량화된 지수를 이용하여 치수대책을 수립하여야 한다(Song, 2012). 이에 따라 수자원 장기종합계획 (MOCT, 2001)에서는 치수안전도 설정을 위해 국내에서 처음으로 홍수피해잠재능(PFD; Potential Flood Damage)이라는 개념을 도입·적용하여 공간단위별로 치수대책방향을 제시하였다. 이후 후속 연구들이 활발히 진행되면서 기존 PFD의 한계점이 수정·보완된 수

Corresponding author : Bae, Seung-Jong
Tel : +82-33-339-5811
E-mail : bsj5120@snu.ac.kr

정 PFD를 적용하고 치수단위구역별 3가지 주요 요소(피해대상, 피해가능성, 방어능력)를 대상으로 3차원 그룹화 기법을 통해 상대적인 홍수피해 위험성을 나타내고 있는 연구가 주를 이루고 있다(Kim and Kim, 2003; Kim, 2004; Lee et al., 2006; Ahn et al., 2006). 또한, 취약성이나 확률론적 개념의 도입하는 등 홍수피해 양상을 정량적인 수치로 나타내고 해석력을 높이기 위한 지표 개발에도 다각적인 노력을 기울이고 있는 상황이다(KRIHS, 2005; Park, 2006; Park et al., 2010; Lim et al., 2010; Song et al., 2013; Moon et al., 2014). 농업분야에서도 농어촌정비법 20조와 시행령 제27조에 의거 100만 톤 이상의 댐 및 저수지에 대한 비상대처계획(EAP; Emergency Action Plan)을 의무화하고 수리시설의 설계기준을 강화하여 수리시설 개선사업이 추진되고 있으며, 전국 시군구를 대상으로 기상재해 특성을 분석한 취약성 평가와 지표 개발 및 침수취약지도에 관한 연구들이 진행되고 있다(Kim et al., 2013a, Kim et al., 2013b, Kim et al., 2015).

기존의 홍수피해잠재능 및 홍수피해지표 관련 연구는 주로 치수단위구역을 근간으로 하여 그 값을 나타내고 있어 시군구를 중심으로 이루어지는 치수사업에 직접 적용하기 어렵고, 시군간의 홍수피해 정도를 상대적으로 비교하기도 곤란하다(Park et al., 2010). 이에 Park et al.(2010)은 시군구별 홍수피해의 잠재적 위험성을 손쉽게 파악할 수 있는 홍수피해지표(FDI; Flood Damage Index)를 제안하여 전국 229개 시군구에 적용하였으며, Kim et al.(2015)은 전국 162개 시군을 대상으로 3차원 홍수위험잠재능의 개념 도입을 통해 시군별 합리적 치수 대책방향 설정을 위한 기초연구를 수행한 바 있다. 한편, 각 지역별 치수대책방향 설정을 위해 유형화를 시도한 연구도 일부 진행되어 왔으며, 대부분의 관련 연구에서 (Kim and Kim, 2003; Kim, 2004; Lee et al., 2006; Kim et al, 2015)는 3차원 공간에서의 상대적 비교를 시도하는 3차원 그룹화 기법을 사용하여 유형화를 시도한 바 있다. 그러나 유형화(typology)는 지역을 일정한 기준에 따라 구분하여 특성을 파악하는 것으로 지역의 다채롭고 복잡다단한 양상을 공간적으로 일목요연하게 파악할 수 있는 준거틀로써 유형화를 위한 기법으로는 3차원 그룹화 기법 외에도 군집분석(cluster analysis), 데이터마이닝(data mining)의 한 기법인 의사결정나무(decision tree)기법 등이 활용되고 있다.

이에 본 연구에서는 방재적 측면의 홍수관리에서 홍수에 대한 능동적·선제적 대응(response)을 위해 지역별 홍수피해주기를 고려하여 전국 167개 시군을 대상으로 PFD 개념을 도입하여 홍수위험잠재능을 산정하고, PFD

개념의 핵심적인 사항인 3가지 요소(피해대상, 피해가능성, 방어능력)를 대상으로 유형화를 시도하여 시군별 치수대책방향 설정으로 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 유형화 기법으로는 기존의 3차원 그룹화기법(Kim et al., 2015)외에도 의사결정나무기법, 군집분석기법을 활용하였으며, 각 분석기법에 따른 각각 시군별 유형분류를 시도함으로써 유형별 치수대책방향 설정을 위한 객관적인 근거자료 제시와 함께 현장적용에 유연성일 가질 수 있도록 시도하였다.

II. 재료 및 방법

1. 홍수위험잠재능 산정

홍수위험잠재능(PFD)은 수문요소뿐만 아니라 사회·경제적 요소까지 포괄하여 특정 치수단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 취약도를 나타내는 지수로 단위구역별 치수 대책과 투자우선순위를 차별화하기 위한 필요성으로 개발되었다 (Jang and Kim, 2009). 피해대상, 피해가능성, 방어능력 3가지 요소로 구분된 수정 PFD는 Kim and Kim(2003)에 의해 제안되고 Lee et al.(2006)에 의해 이론적 타당성이 입증되었으며 산정식은 다음과 같다.

$$PFD = [F_{DT}, F_{DP}, F_{PA}] \quad (1)$$

$$F_{DT} = [\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_i F_i] \quad (2)$$

$$F_{DP} = [\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_j F_j] \quad (3)$$

$$F_{PA} = [\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_k F_k] \quad (4)$$

여기서, F_{DT} 는 피해대상(damage target), F_{DP} 는 피해가능성(damage potential), F_{PA} 는 방어능력(prevention ability)을 뜻하며, $\alpha_i, \alpha_j, \alpha_k$ 는 지표별 가중계수, F_i, F_j, F_k 는 각 세부지표를 뜻한다.

시군별 홍수위험잠재능 산정을 위해 관련 선행연구들과 Kim et al.(2015)의 연구결과를 기초로 하여 홍수피해에 미치는 영향 요인들을 도출하고 자료의 신뢰성, 구득성 등을 고려하여 주요 지표들을 수집하였으며, 이들 중 시군별 홍수피해주기(NEMA, 2013)와의 상관분석을 통해 상대적으로 상관성이 높은(상관계수 0.2 이상) 지표들을 최종지표로 선정하였다. 수집된 65개의 세부지표 중 20개 지표가 최종 선정되었으며, 피해대상(FDT)은 홍수피해 대상이 되는 인문·사회·자연환경 특성관련 지표로 인구밀도, 재해취약인구비율(고령인구(65세이상)비율), 농가

인구비율, 국민기초생활보장수급자비율, 경지면적, 산림면적 총 6개 지표를 선정하였다. 피해가능성(FDP)은 홍수 피해 발생이력과 관련된 지표로 하천면적, 불투수율, 자연재해위험지구수, 최근10년 우심피해발생수, 평년(30년) 100mm/day 이상인 날의 수, 10년빈도 확률강우량, 최근 10년 농경지 피해밀도 총 7개 지표, 마지막으로 방어능력(FPA)은 치수대책과 관련된 수리시설 수해면적이나 응급의료기관 등 홍수예방을 위한 대책을 나타내는 지표들로 하수도 설치율, 수리시설 수해면적, 저수지 개소수, 빗물이용시설 저류조용량, 유수지면적, 1인당 의료기관수, 재정자립도를 포함한 총 7개 지표들로 구성되었다(Table 1).

선정된 지표들은 서로 단위나 범위가 서로 달라 통합된 분석을 위해서는 지표의 표준화가 필요하다. 표준화 방법은 경제 분야 지표 및 환경, 의료분야 지표 등 거의 모든 영역에서 이용되는 방법으로 Nardo et al.(2005)은 지표의 조합에 관한 방법에서 복합 지표 개발을 위한 표준화 방법으로 10가지를 제안하였으며, 이 중 가장 많이 사용되는 방법인 Z-Score를 활용하여 표준화하였다.

Z-Score 방법은 모든 자료들을 평균은 0, 표준편차가 1이 되도록 만드는 방법으로 자료의 수치가 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z값으로 나타낸다. 평균치 이하의 점수는 음수값으로 산정되므로 별도의 처리가 필요하지만 본 연구에서는 평균값이 0을 기준으로 각 요소 간 대소 관계를 구분하여 그룹을 분류하고자 하였으므로 음수 값을 별도로 처리하지 않았으며, 각 지표별 가중계수도 별도로 고려하지 않았다.

공간적 범위의 경우 기존의 PFD 산정 연구에서는 (Kim and Kim, 2003; Lee et al., 2006) 대부분 치수단위 구역별 자료의 부재로 시군별 자료를 편입면적비로 변환하여 사용하였지만 홍수피해에 대한 방재계획 및 대책은 실질적으로 시군별로 이루어지고 있는 상황을 고려하여, 본 연구에서는 전국 총 167개 시군(광역시·특별자치시 8개, 77개 시, 82개 군 포함)을 대상으로 홍수위험잠재능 평가를 실시하였다.

Table 1. Classification of flood damage factors

Category	Index	Source	Reference year
Damage target (FDT)	Population density (FPD)	KOSIS	2015
	Ratio of elderly population (FEPR)		2015
	Ratio of farm population (FFPR)		2015
	Ratio of basic livelihood security population (FBSR)		2015
	Cultivated area (FCA)		2015
	Forest area (FFA)		2015
Damage possibility (FDP)	Stream area (FSA)	KOSIS	2015
	Impervious ratio (FIR)	KOSIS	2015
	Natural disaster hazardous areas (FNHA)	NDIC	2015
	Number of flood damage(10year) (FFD)	Annual Report on Disasters	2006-2015
	Number of days over precipitation 100 mm/day(30years) (FPR)	KMA	1981-2010
	Probability precipitation(10year) (FPP)	KPFDS	-
Prevention ability (FPA)	Storm and flood damage density of farmland(10year) (FDA)	Annual Report on Disasters	2006-2015
	Ratio of sewerage installation (FDR)	Statistics of Sewerage	2015
	Benefitted area by irrigation facilities (FBA)	Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture	2015
	Number of reservoir (FNR)		2015
	Storage capacity for rainwater recycling facility (FSR)	Statistics of Sewerage	2015
	Retarding basin area (FRBA)	Statistics of Sewerage	2015
	Number of medical institutions (FNMI)	KOSIS	2015
Financial independence rate (FFIR)	KOSIS	2015	

* Korean statistical information service (KOSIS), National disaster information center (NDIC), Korea meteorological administration (KMA), Korea precipitation frequency data server (KPFDS)

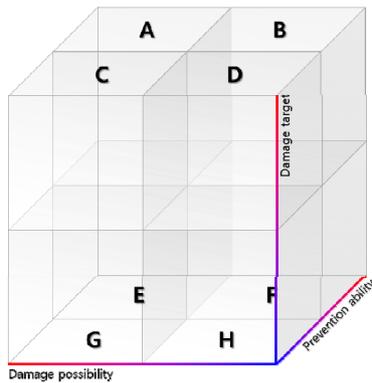
2. 홍수위험잠재능 유형화 기법

가. 3차원 그룹화 기법을 활용한 유형화

홍수위험잠재능 산정결과를 Figure 1과 같이 8개 그룹으로 분류하여 치수대책 방향을 판단할 수 있도록 하였다 (Kim and Kim, 2003; Kim, 2004; Park, 2006; Song, 2012). A지역은 피해대상, 피해가능성, 방어능력 모든 부분에서 잠재적 위험성이 높으므로 홍수방어시설의 강화가 필요하고 구조적 대책에 의한 치수사업을 집중화해야 할 지역이며, B지역은 피해가능성은 적으나 여전히 피해대상이 많고 방어능력이 낮아 홍수방어시설의 설치가 필요하지만 A지역에 비해 지역적 여건을 고려하여 구조적 대책을 모색해야 한다. H지역은 피해대상, 피해가능성, 방어능력 모든 부분에서 잠재적 위험성이 낮아 자연친화적인 사업과 병행될 수 있는 방향으로 치수대책을 수립해야 한다.

나. 의사결정나무기법을 활용한 유형화

데이터 마이닝은 KDD(knowledge discovery in database)라고 불리우듯 대용량의 자료, 혹은 데이터 웨어하우스로부터 쉽게 드러나지 않는 유용한 정보들을 찾아내는 과정을 말한다. 다양한 데이터 마이닝 기법 중 하나인 의사결정나무(decision tree)는 의사결정규칙을 도표화하여 관심대상이 되는 집단을 몇 개의 소집단으로 분류(classification)하거나 예측(prediction)을 수행하는 분석방법이다. 분석과정이 나무구조에 의해서 표현되기 때문에 판별분석, 회귀분석, 신경망 등과 같은 방법에 비해 분석과정을 쉽게 이해하고 설명할 수 있는 이점이 있다. 의사결정나무는 분석의 정확도보다는 분석과정의 설명이 필요한 경우에 더 유용하게 사용되며, 정지기준, 분리기준, 평가기준 등을 어떻게 지정하느냐에 따라서 서로 다른 의사결정나무가 형성된다. 의사결정나무분석의 대표적인 알고리즘으로는 CHAID(Kass, 1980), CART(Breiman



A:	damage target > 0 ,	damage possibility > 0 ,	prevention ability > 0
B:	damage target > 0 ,	damage possibility ≤ 0 ,	prevention ability > 0
C:	damage target > 0 ,	damage possibility > 0 ,	prevention ability ≤ 0
D:	damage target > 0 ,	damage possibility ≤ 0 ,	prevention ability ≤ 0
E:	damage target ≤ 0 ,	damage possibility > 0 ,	prevention ability > 0
F:	damage target ≤ 0 ,	damage possibility ≤ 0 ,	prevention ability > 0
G:	damage target ≤ 0 ,	damage possibility > 0 ,	prevention ability ≤ 0
H:	damage target ≤ 0 ,	damage possibility ≤ 0 ,	prevention ability ≤ 0

- A : This group requires the strengthening of the flood prevention facility and focus on the structural measures for flood prevention
- B : This group requires the strengthening of the flood prevention facility but to be considered the regional conditions compared to group 'A'
- C : This group requires the establishment of the flood prevention facility but non-structural measures and flood safety measures considering the regional conditions are needed rather than structural measures
- D : This group requires the flood safety measures considering the regional conditions
- E : This group requires the establishment of the flood prevention facility and increase of the flood control, but needs to be considered the structural and the non-structural measures in parallel
- F : This group requires the establishment of the flood prevention facility but non-structural measures should be prioritized
- G : This group requires the focus on non-structural measures for flood control
- H : This group requires the flood safety measures and the eco-friendly projects in parallel

Figure 1. Direction of flood control measures by group for potential flood damage(Kim et al., 2015)

et al., 1984), C4.5(Quinlan, 1993) 등이 있으며 많은 소프트웨어 회사들에 의해 다양한 제품으로 상용화되어 있다 (Choi and Seo., 1999; Byon, 2001).

우리가 관심 갖는 대상을 목표변수(target variable)라 하고 목표변수를 설명 및 분류하는데 이용되는 변수를 설명변수라 한다. 의사결정나무는 목표변수가 범주형 변수인 경우 분류나무라 하며 각 범주에 속하는 빈도(최빈값)에 기초하여 분리가 일어나며, 목표변수가 계량형 변수인 경우에 회귀나무라 하고 목표변수의 평균 및 중앙값에 기초하여 분리가 일어난다. 본 논문에서는 여러 가지 의사결정나무 알고리즘 중에서 CHAID 알고리즘을 이용하여 홍수위험잠재능의 유형화를 시도하였으며, CHAID 알고리즘은 카이제곱-검정(이산형 목표변수) 또는 F-검정(연속형 목표변수)을 이용하여 다지분리(multiway split)를 수행하는 알고리즘이다. 다지분리란 부모 마디에서 자식 마디들이 생성될 때, 2개 이상의 분리가 일어나는 것을 허용함을 의미한다. 의사결정나무기법의 적용을 위해 목표변수로 최근 10년(2006-2015)간 시군별 풍수해 피해액으로 설정하고, 설명변수로는 본 연구에서 산정한 홍수위험잠재능의 구성요소인 피해대상, 피해가능성, 방어능력 3개 변수를 선정하여 표준화하였다. 풍수해 피해액은 홍수피해 대상지역의 침수심과 피해액의 관계식 바탕으로 산정하나 많은 시간과 인력을 필요로 하기 때문에 국민안전처에서 매년 발간되는 재해연보자료의 기간별-시군구별 피해액 중 풍수해에 해당하는 피해액을 대상으로 최근 10년(2006~2015)간 자료를 수집하였다. 피해대상, 피해가능성은 양(+)의 상관관계, 방어능력은 음(-)의 상관관계를 고려하여 모든 변수값이 높아질수록 홍수피해액이 증가하는 것으로 설정하였다. 설명변수들간의 분리(splitting)와 병합(merging)기준은 0.05수준으로 설정하였으며 정지규칙으로 최대 나무깊이(maximum tree depth)는 3 수준으로 하였다.

다. 군집분석을 활용한 유형화

군집분석(cluster analysis)은 다변량기법의 하나로서 대상물들이 지니고 있는 특성을 토대로 이들을 분류하는 것이다. 흔히 사용되는 통계기법인 군집분석의 방법은 군집의 형성에 위계가 있어서 일단 한 군집에 속하게 되면 두 개체는 다시 분리되지 않으면서 군집화해가는 방법인 계층적 방법과 일정 기준에 따라 각 개체들이 다른 군집으로 분리되는 과정을 거치면서 분류하게 되며 더 이상의 분리가 일어나지 않을 때 최종 군집의 해로 제시하는 비계층적 방법이 있다. 이때 가장 대표적인 비계층적 군집분석 방법이 K-means이다. K-means를 이용한 군집분석은 연구자가 군집의 기준변수, 군집의 수를 미리

지정하는 것 외 계층적 군집분석 대비 다수 응답자의 데이터 처리가 상대적으로 용이하다는 특징을 가지고 있어 최근 많은 연구자들의 활용도가 높다. K-means는 사전에 지정된 군집의 수에 따라 그 결과가 달라지기 때문에 입력자료의 군집 구조에 적합한 군집의 개수(K)를 결정하는 것이 매우 중요하다(Ahn, 2009). 본 논문에서는 K-means 분석을 이용하였으며, 데이터 세트 간에 갖고 다름을 정의하는 거리 함수(distance measure)로 변수 변화의 방향성을 고려하는 코사인 거리함수(cosine distance measure)를 사용하여 각 군의 개체들 사이의 거리 합이 최소가 될 때까지(추가적인 반복으로 거리 합이 더 이상 감소하지 않을 때까지) 분류를 반복하였다. 군집 수를 늘려가면서 분석을 시행하여 가장 높은 분석 적중률을 보이는 군집의 수를 선택하여 최적화 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 홍수위험잠재능 산정 결과

최종 선정된 20개 지표를 이용하여 전국 167개 시군의 피해대상, 피해가능성, 그리고 방어능력을 산정한 결과 Figure 2와 같다. 홍수피해 대상은 홍수피해에 대한 환경적·사회적 노출정도를 평가하기 위한 수단으로 산정된 값이 높을수록 해당 지역이 홍수에 취약한 것으로 판단할 수 있다. Figure 2(a)를 살펴보면, 타 시군과 비교해서 비교적 인구밀도는 낮으나 재해취약인구비, 농가인구비, 기초생활 수급자비, 경지면적, 산림면적이 높은 경상북도 의성군, 영양군, 봉화군, 전라남도 고흥군, 신안군, 경상남도 합천군의 피해대상 지수가 높은 것으로 나타났다. 피해가능성 지수는 대체적으로 홍수에 직접적으로 노출되어 있는 정도를 파악할 수 있으며 피해대상과 마찬가지로 값이 높을수록 해당 지역이 홍수 위험성이 높다. 피해가능성 지수가 높은 지역으로는 부산광역시, 서울시, 강원 평창군, 인제군, 홍천군, 전남 고흥군, 전북 군산시와 완주군, 경남 창원군, 남해군, 제주도 서귀포시와 제주시 등으로 대체적으로 서해안과 남해안에 편중되었다(Figure 2(b)). 이는 집중호우나 태풍이 서남해안 지방을 관통하는 경우가 많고 홍수피해 발생빈도도 잦음에 따라 이를 반영한 지표들로 구성된 피해가능성 지수 또한 높은 것으로 사료된다. 타 시군에 비해 상대적으로 불투수율이 작고, 하천면적이 작은 경북 울릉군과 영양군, 강원도 태백시와 최근 10년(2006-2015)동안 우심피해 발생이 없고, 평년 100 mm/day 이상인 날이 1.4일로 가장 적은 경북 군위군과 청송군에서 피해가능성이 적은

지역에 해당되었다. 서울시와 부산시에서 피해가능성이 가장 크게 나타났는데, 이는 최근 10년 우심피해발생 횟수가 17회로 부산광역시에서 가장 많았고, 서울시는 불투수율과 하천면적이 타 시군에 비해 매우 높아 상대적으로 피해가능성이 크게 나타난 것으로 보인다. 마지막으로 방어능력은 풍수해 발생 시에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준으로 지역별 대응능력의 분포를 파악할 수 있다. 수집한 지표 값의 역수를 취하여 피해대상과 피해가능성 지수와 마찬가지로 지표 값들이 높을수록 홍수방어 능력이 미진한 것으로 보였다. 타 시군에 비해 울릉군의 홍수방어 능력이 매우 미비했는데 이는 전체적인 지표값이 모두 높고 하수도 설치율이 전국 평균인 72%보다 현저히 낮은 1.3 %로 현저히 낮아 홍수방어 능력이 매우 높게 산정된 것으로 판단된다(Figure 2(c)).

2. 시군별 홍수위험잠재능 유형화 적용 결과 및 고찰

가. 3차원 그룹화 기법을 활용한 홍수위험잠재능 유형화 결과

앞서 산정한 피해대상, 피해가능성, 방어능력 지수를 조합하여 최종적으로 홍수위험잠재능(PFD)을 8개 그룹으로 분류하여 치수대책 방향을 판단할 수 있도록 하였다(Figure 4, Table 2). 치수사업이 시급한 A지역은 14개 시군이 해당되었으며, 강원도 5개 시군(홍천군, 횡성군, 영월군, 평창군, 인제군)과 전남 4개 시군(고흥군, 보성군, 장흥군, 완도군)으로 가장 많은 비중을 차지하였다. 모든 면에서 홍수의 잠재적 위험성이 낮은 H지역은 20개 시

군이 해당되었으며 광역시와 세종시, 경기지역의 시군 8개를 제외하면 충북 2개 시군(진천군, 음성군), 충남 3개 시군(아산시, 계룡시, 홍성군), 전북 1개 시군(전주시), 전남 2개 시군(목포시, 무안군), 경북 3개 시군(포항시, 구미시, 경산시), 경남 1개 시군(양산시)이 해당되었다. 시도별로 살펴보면, 경기도의 경우 피해대상에서 인구밀도는 상대적으로 높지만 재해취약인구비나 농가인구비가 낮고, 경지면적과 산림면적도 적어 홍수 취약성이 적은 G와 H지역이 주를 이루었다. 반면, 강원도는 도내의 시지역은 인구밀도는 높지만 재해취약인구나 산림면적은 적었고, 군지역은 인구밀도는 작지만 재해취약인구나 산림면적이 많아 피해대상에서 시지역과 군지역의 차이가 크게 나타났으며, 하수도 설치율을 제외한 나머지 방어능력 지표들이 현저히 낮게 나타나 전체적으로 홍수의 잠재적 위험성이 높은 A와 B 그룹에 많이 분포하였다.

나. 의사결정나무기법을 활용한 홍수위험잠재능 유형화 결과

실제 홍수피해는 지역에 따라 발생빈도와 홍수피해 규모가 다양하기 때문에 보다 합리적이고 객관적인 지역별 비교가 이루어지기 위해서는 실제 홍수피해액과 홍수위험성의 관계를 통해 평가하는 것이 추가적으로 필요하다. 의사결정나무기법을 활용하여 최근 10년(2006-2015)간 시군별 풍수해 피해액에 따른 시군별 유형화 분류결과 총 3번의 분리과정을 거쳐 최종적으로 6개 그룹으로 분류되었다(Figure 4). 피해가능성이 높을수록 홍수피해액이 증가하는 것으로 파악되었으며 상대적으로 홍수 피해액이 낮은 시군 중에서는 ‘피해대상’ 변수에 의해 두

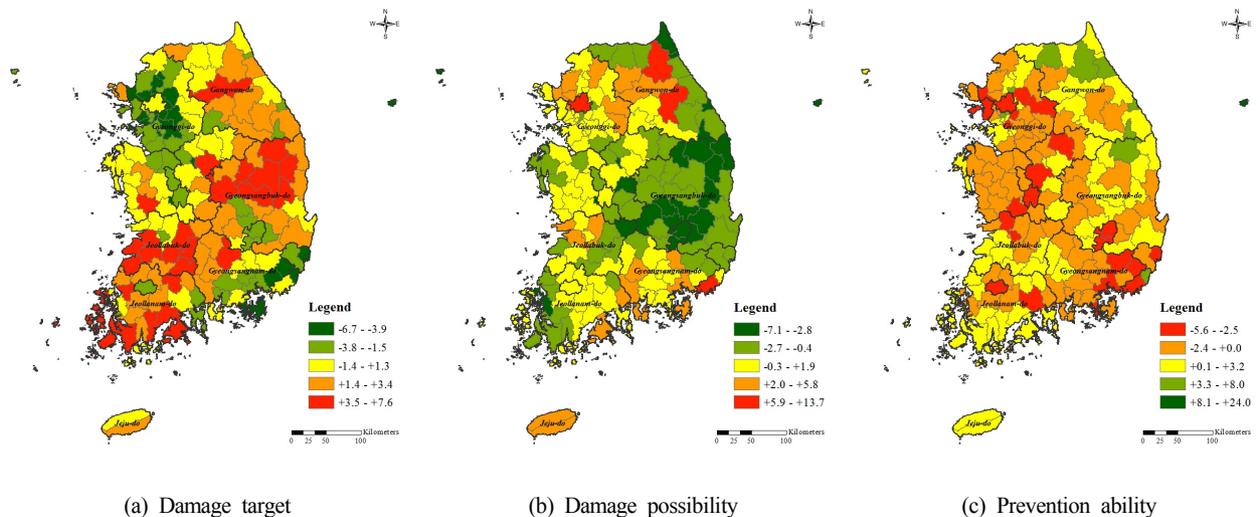


Figure 2. Regional pattern classification of damage target, damage possibility and prevention ability

번째 분리가 이루어지고, ‘방어능력’ 변수에 의해 세 번째 분리가 이루어졌다. 첫 번째 분리 변수는 ‘피해가능성’에 의해 3그룹으로 분류되었으며, 각 분리기준값은 -0.48, 0.51로 나타났다. 두 번째 분리 변수는 ‘피해대상’과 ‘방어능력’ 2가지에 의해 분리되었는데, 먼저 ‘피해가능성’에 의해 분리된 경우 분리기준값은 -0.86로 나타났으며, ‘방어능력’에 의해 분리된 경우의 분리기준값은 -0.11로 나타났다. 마지막 세 번째 분리변수는 ‘방어능력’에 의해 2개 그룹으로 분류되었으며, 분리기준값은 0.14로 나타났다.

I 그룹은 최근 10년 풍수해 피해액이 적고 피해가능성이 낮아 자연친화적인 사업과 병행될 수 있는 치수대

책을 수립해야 하며, II 그룹과 III 그룹은 모두 치수안전도의 상향조정 및 홍수방어시설의 확충이 필요할 것으로 예상되나 상대적으로 피해대상이 적거나 방어능력이 양호하므로 비구조적 대책을 중심으로 치수대책을 수립해야 한다. IV 그룹은 II 그룹과 III 그룹과 달리 방어능력이 부족하므로 구조적 대책과 비구조적 대책을 병행하여 모색하는 방향으로 사업을 추진해나가야 한다. V 그룹과 VI 그룹의 경우 풍수해 피해액이 크고 피해가능성이 큰 지역으로 홍수방어시설의 강화가 필요하지만 V 그룹의 경우 VI에 비해 지역적 여건을 고려하여 구조적 대책을 수립하고, VI 그룹은 구조적 대책에 의한 치수사업을 집중 강화해야 할 지역으로 강원 홍천군, 평창군, 인제군,

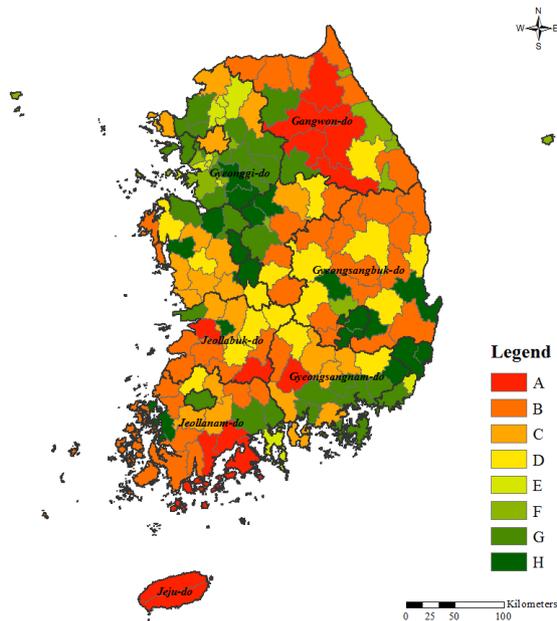


Figure 3. Regional pattern classification of 3D group for potential flood damage

Table 2. The results of 3D group for potential flood damage

Category	A	B	C	D	E	F	G	H	Sum
Metropolitan city			2		1	1	3	6	13
Gyeonggi-do			2		9	5	13	2	31
Gangwon-do	5	6		1		4	2		18
Chungcheongbuk-do		4	1	2		1	1	2	11
Chungcheongnam-do		1	6	3			2	3	15
Jeollabuk-do	2	5	2	3			1	1	14
Jeollanam-do	4	9	3	1	1		2	2	22
Gyeongsangbuk-do		13		5		2		3	23
Gyeongsangnam-do	1	1	6	2			7	1	18
Jeju-do	2								2
Sum	14	39	22	17	11	13	31	20	167

전북 김제시, 전남 고흥군, 경남 산청군, 경기 포천시, 제주도 제주시와 서귀포시가 해당되었다(Figure 5, Table 4).

다. 군집분석을 활용한 홍수위험잠재능 유형화 결과

최근 10년 풍수해 피해액과 홍수위험잠재능의 3개 구성요소인 피해대상, 피해가능성, 방어능력을 활용하여 군집분석한 결과 8개의 그룹(group)으로 유형화하였다. 유형화 결과를 세부적으로 살펴보면, I 그룹은 풍수해 피해액이 작고 피해대상과 피해가능성이 적지만 방어능력

이 현저히 부족한 그룹으로 홍수방어시설에 대한 확충이 필요한 지역으로 경북 울릉군이 해당되었다. II 그룹은 I 그룹에 비해 방어능력이 양호한 지역으로 상대적으로 풍수해 피해액도 작고, 피해대상과 가능성도 낮아 자연 친화적인 사업을 중심으로 치수사업을 수립하는 것이 좋을 것이다. III 그룹은 풍수해 피해액은 상대적으로 작고 피해가능성이 작으나 방어능력이 부족한 지역으로 홍수방어시설의 구조적 확충이 필요하지만 피해대상이 적으므로 비구조적 대책에 초점을 두고 치수대책을 마련하

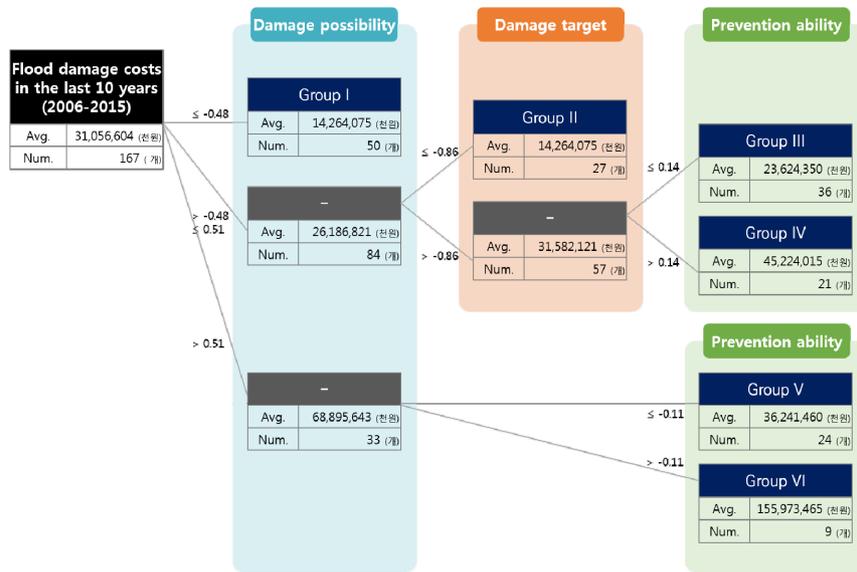


Figure 4. The results of decision tree analysis for potential flood damage

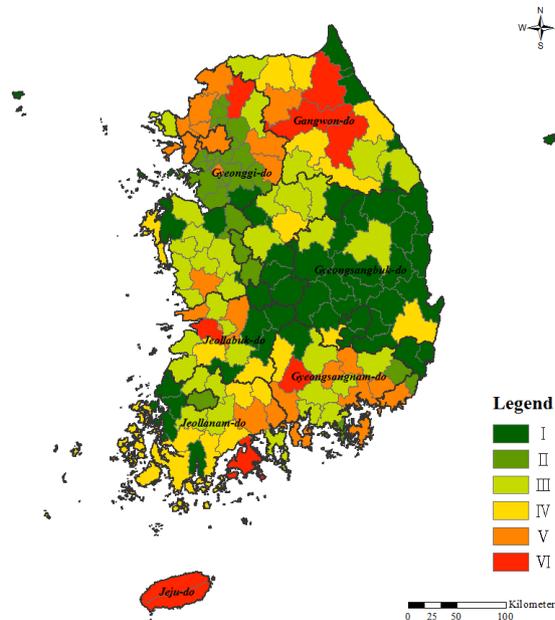


Figure 5. Regional pattern classification of decision tree analysis for potential flood damage

Table 3. The results of group decision tree analysis for potential flood damage

Category	I	II	III	IV	V	VI	Sum
Metropolitan city	5	4	1		3		13
Gyeonggi-do	1	20	1		8	1	31
Gangwon-do	5		4	5	1	3	18
Chungcheongbuk-do	6		4	1			11
Chungcheongnam-do	4	1	8	1	1		15
Jeollabuk-do	4		5	2	2	1	14
Jeollanam-do	5		5	9	2	1	22
Gyeongsangbuk-do	19		2	2			23
Gyeongsangnam-do	1	2	6	1	7	1	18
Jeju-do						2	2
Sum	50	27	36	21	24	9	167

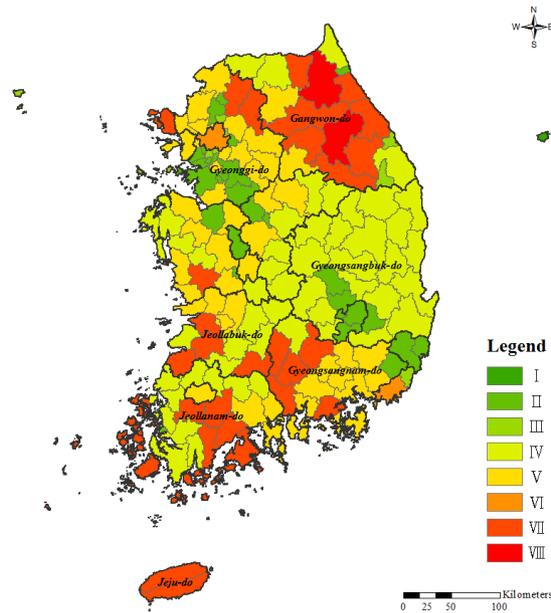


Figure 6. Regional pattern classification of K-means analysis for potential flood damage

Table 4. The results of K-means analysis for potential flood damage

Category	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Sum
Metropolitan city		5	2		3	2	1		13
Gyeonggi-do		12	6		13		2		33
Gangwon-do		1		4	2		7	2	16
Chungcheongbuk-do		2		6	3				11
Chungcheongnam-do		2		5	7		1		15
Jeollabuk-do				6	4		4		14
Jeollanam-do		1		10	3		8		22
Gyeongsangbuk-do	1	3		19					23
Gyeongsangnam-do		1		1	11		5		18
Jeju-do							2		2
Sum	1	27	8	51	46	2	30	2	167

며, IV그룹의 경우 III그룹에 비해 피해대상이 많은 그룹으로 비구조적 대책과 구조적 대책을 병행하여 치수대책을 마련해야 할 것이다. V그룹은 풍수해 피해액이 전국 평균 피해액과 유사하며 피해가능성은 VIII그룹보다 보다 높아 IV그룹과 마찬가지로 비구조적 대책과 구조적 대책을 병행하여 치수대책이 필요하다. VI그룹의 경우 VII와 VIII그룹에 비하여 방어능력이 준수하지만 풍수해 피해액은 크고, 피해가능성도 큰 지역으로 치수안전도 향상조정 등의 비구조적 대책 마련이 필요할 것으로 보인다. 풍수해 피해액이 크고 홍수위험잠재능이 높은 VII와 VIII 그룹은 피해대상, 피해가능성, 방어능력 모든 면에서 홍수의 잠재적 위험이 높은 지역으로 홍수방어를 위한 경감시설들의 지속적인 확충 및 관리가 중점적으로 필요한 지역이다. 특히 VII 그룹에 비해 VIII 그룹은 풍수해 피해액과 잠재적 위험성이 매우 높은 강원도 평창군과 인제군의 경우에는 홍수방어대책 마련이 시급한 지역으로 분류되었다.

라. 유형화 결과를 기반으로 한 시군별 치수대책방향 설정에의 함의

본 연구에서는 3차원 그룹화기법, 의사결정나무기법, 군집분석기법을 활용하여 각 시군별 홍수위험잠재능 유형화를 시도함으로써 각 시군별 치수대책방향 설정을 위한 객관적인 근거자료 제시와 함께 현장적용에 유연성일 가질 수 있도록 하였다. 첫 번째로 3차원 그룹화 기법을 통해 홍수위험잠재능을 8개의 그룹으로 유형화 한 결과, 홍수의 잠재적 위험성이 높아 치수대책마련이 시급한 A 그룹은 강원 홍천군, 횡성군, 영월군, 평창군, 인제군과 전남 고흥군, 보성군, 장흥군, 완도군이 해당되었으며, 해당시군은 현지조사를 통해 홍수위험의 구체적 원인을 분석하여 대책마련이 필수적일 것으로 판단되었다. 두 번째로 의사결정나무기법을 활용하여 최근 10년(2006-2015) 간 시군별 풍수해 피해액에 따른 홍수위험잠재능 유형화 결과 피해가능성, 피해대상, 방어능력 순서로 3번의 분리가 이루어지고 6개의 그룹으로 분류되었다. 시군별 풍수해 피해액이 높고 방어능력이 부족하여 구조적 대책에 의한 치수사업을 집중적으로 강화해야할 VI그룹의 경우 강원 홍천군, 평창군, 인제군, 전북 김제시, 전남 고흥군, 경남 산청군, 경기 포천시, 제주도 제주시와 서귀포시가 해당되었다. 마지막으로 군집분석을 활용하여 홍수위험잠재능을 8개 그룹으로 유형화 한 결과, 풍수해 피해액이 크고 홍수피해잠재능이 높은 VII와 VIII 그룹의 경우 피해대상, 피해가능성, 방어능력 모든 면에서 홍수의 잠재적 위험이 높은 지역으로 홍수방어를 위한 경감시설들의 지속적인 확충 및 관리가 중점적으로 필요할 것으로

판단되었으며, 강원 평창군과 인제군은 치수대책 마련이 매우 시급한 VIII 그룹으로 분류되었다.

3가지 유형화 결과를 종합적으로 살펴보면(Table A1) 강원 평창군, 인제군, 홍천군, 전북 김제시, 전남 고흥군, 경남 산청군, 제주시와 서귀포시는 3차원 그룹화와 의사결정나무 유형화에서 가장 상위그룹에 해당되고, 군집분석의 경우 VII그룹과 VIII에 해당되어 타 시군에 비해 가장 치수대책 마련이 시급한 시군으로 분류할 수 있었다. 반면, 대구광역시, 대구 달성군, 울산광역시, 울산 울주군, 경기 안성시, 충북 진천군, 충남 아산시와 계룡시, 전남 목포시, 경북 구미시와 경산시의 경우에는 모든 유형화 결과에서 홍수 피해액 및 홍수 잠재적 위험성이 낮은 지역으로 분류되어 자연친화적 사업과 병행하여 치수대책을 마련하는 것이 효율적인 시군으로 분류되었다. 대체적으로 3가지 유형화 결과는 서로 비슷한 결과를 보이는 것으로 나타났으나 일부 시군의 경우에는 서로 상반되는 결과가 도출되기도 하였다. 경기 가평군, 경남 고성군과 함천군, 인천 강화군, 전남 나주시와 화순군의 경우 3차원 그룹화 결과는 구조적 대책보다는 비구조적대책과 지역적 여건을 고려한 치수안전대책을 모색하는 C그룹에 해당되고, 의사결정나무 유형화 결과 모두 III그룹에 해당하면서 비구조적 대책에 중점을 두는 대책이 우선시 되어야 할 것으로 보였으나, 마지막 군집분석을 활용한 유형화 결과 모두 VII 그룹에 해당되며 구조적 대책에 중점을 두어야 할 지역으로 분류되었다. 이러한 결과는 방어능력이 미진하여 구조적 대책이 필요하나 피해대상과 피해가능성 값이 상당히 양호한 것으로 나타나 방어능력의 음(-)의 값이 상쇄되는 결과가 나타난 지역으로 이러한 지역의 경우, 다른 C그룹과는 달리 비구조적 대책보다 구조적 대책이 선행되어야 하는 지역이다. 반면, 3차원 그룹화 결과 G등급으로 홍수방어 시설은 어느정도 충분하므로 비구조적 대책에 비중을 두고 대책을 모색하는 방향의 치수대책을 설정하고자 했으나, 의사결정나무와 군집분석 유형화 결과 구조적 대책이 우선시 되어야 할 지역으로 나타난 지역이 있었다. 이 지역의 경우 피해대상과 방어능력이 미진한 것으로 나타났으나 상대적으로 피해가능성이 상대적으로 높아 양(+)의 값이 부각되는 경우로 나타났다. 이에 해당하는 지역은 부산광역시와 인천광역시, 강원 춘천시, 경기 김포시, 부천시, 고양시, 수원시, 양평군, 파주시, 여주시, 경남 거제시, 김해시, 창원시, 전남 순천시와 광양시, 전북 군산시로 해당 지역의 경우에는 피해대상이나 방어능력이 취약하므로 구조적 대책과 비구조적 대책을 함께 고려한 선택적 홍수방어 전략을 수립해야 할 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 수자원장기종합계획에서 도입한 홍수 위험잠재능(Potential Flood Damage)의 개념을 도입하여 홍수피해발생의 잠재적 위험성을 시군별로 제시하고, 다양한 기법을 활용하여 홍수위험잠재능 유형화를 통해 각 그룹별 특성을 고려한 치수대책방향을 제시하였다. 시군별 홍수위험잠재능 산정을 위해 관련 선행연구들로부터 홍수피해에 미치는 영향 요인들을 바탕으로 신뢰성, 구득성 등을 고려하여 자료를 수집하여 전국 총 167개 시군(광역·특별자치시 8개, 77개 시, 82개 군 포함)을 대상으로 홍수위험잠재능을 산정하고 시군별 치수대책 방향을 설정하기 위해 다양한 기법을 활용하여 홍수위험잠재능 유형화를 시도하였다. 3차원 그룹화 기법을 통해 8개 그룹으로 유형화를 시도하였으며, 홍수의 잠재적 위험성이 높아 치수대책마련이 시급한 그룹을 A그룹으로 나타내었다. 의사결정나무기법을 활용한 유형화 결과는 6개의 그룹으로 분류되고, 시군별 풍수해 피해액이 높고 방어능력이 부족하여 구조적 대책에 의한 치수사업을 집중적으로 강화해야할 지역은 VI 그룹으로 분류되었다. 마지막으로 군집분석을 활용한 유형화 결과 8개 그룹으로 분류되었으며, 풍수해 피해액이 크고 홍수피해잠재능이 높은 VII와 VIII 그룹에 해당하는 지역에서 홍수방어를 위한 경감시설의 확충 및 집중관리가 필요할 것으로 판단되었다. 3가지 유형화 결과를 종합적으로 고려해볼 때, 강원 평창군과 인제군의 경우 모든 결과에서 치수대책이 가장 시급한 상위그룹에 해당되었으며, 이 외에도 강원 인제군, 전북 김제시, 전남 고흥군, 경남 산청군, 경기 포천시, 제주도 제주시와 서귀포시는 홍수피해의 잠재적 위험성이 높은 곳으로 분류되었으므로 홍수 대응상황을 면밀히 점검하고 선제적 대응을 위한 대책 마련이 필수적일 것으로 판단된다.

홍수방어에 가장 중요한 것은 지역에 적합한 최선의 대안을 수립하는 것이다. 홍수위험성 분석에 대한 많은 학문적 연구가 이루어지고 있으나 급변하는 기후변화 속에 효율성과 형평성이 고려된 최적의 대안 수립은 현실적으로 불가능하다. 본 연구는 이러한 측면에서 홍수대책방향 설정에 접근하는 여러 방법을 제시한 것으로 홍수 안전과 예방에 관한 정책 결정자에게 합리적인 의사결정 수단을 제공하고, 궁극적으로 홍수위험관리 우선순위 및 홍수방어능력을 향상시키는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 다양한 기법을 활용하여 분석결과를 분류하는 방법은 연구자나 실무자의 주관적 편익, 자의적 판단에 따라 적용되고 있으므로 향후 홍수방어의 최적

대안 마련을 위해서는 이에 관한 지속적인 연구가 이루어질 필요가 있을 것이다.

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 기술사업화지원사업의 지원을 받아 연구되었음 (과제번호: 313018-3).

References

1. Ahn, H. K., 2009, A Comparative Study of Customer Segmentation by Using K-Means Cluster Analysis and Two-Step Cluster Analysis, M.S. thesis, Yonsei University. (in Korean)
2. Ahn, J. H., Kang, D. S. and Yoon, Y. N., 2006, An Improvement of Estimation Technique on Potential Flood Damage, Proceedings 2006 Annual Conference KSCE, 2040-2043. (in Korean)
3. Byeon, S. H., Kang, H. J., Han, J. W. and Kim, T. W., 2008, Flood Mitigation Planing for a Basin Using a Decision Tree Model, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 28(1B): 33-40. (in Korean)
4. Byon, L. N., 2001, Analysis of the Propensity to Consume for Urban Household Using Data Mining Technique, Journal of the Korean Official Statistics, 6(2): 85-111. (in Korean)
5. Jang, D. W., 2010, Development and Application of Risk Management Index for Flood Prevention Alternatives, Ph.D. diss., Inha University. (in Korean)
6. Kim, J. H. and Kim, Y. O., 2003, Improving Potential Flood Damage, Proceedings 2003 Annual Conference KSCE, 2373-2378. (in Korean)
7. Kim, J. H., 2004, Estimation of the Basin Flood Control Safety, M.S. thesis, Seoul University. (in Korean)
8. Kim, S. J., Bae, S. J., Kim, S. P. and Bae Y. J., 2015, Assessment of Potential Flood Damage Considering Regional Flood Damage Cycle, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 57(4): 143-151. (in Korean)
9. Kim, S. J., Kim, S. M. and Kim, S. M., 2013, A

- Study on the Vulnerability Assessment for Agricultural Infrastructure using Principal Component Analysis, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 55(1): 31-38. (in Korean)
10. Kim, S. J., Suh, K., Kim, S. M., Lee, K. D. and Jang, M. W., 2013, Mapping of Inundation Vulnerability Using Geomorphic Characteristics of Flood-damaged Farmlands - A Case Study of Jinju City -, *Journal of Korean Society of Rural Planning*, 19(3): 51-59. (in Korean)
 11. Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS), 2005, Analysis of Flood Damage Characteristics and Development of Flood Damage Index, Anyang, Korea. (in Korean)
 12. Lee, M. H., Jung, I. W. and Bae, D. H., 2011, Korean Flood Vulnerability Assessment on Climate Change, *Journal of Korea Water Resources Association*, 44(8): 653-666. (in Korean)
 13. Lee, S. J., Kim, Y. O., Lee, J. H. and Lee, Y. Y., 2006, Improving Potential Flood Damage for Basin Flood Mitigation Safety Level, 2006 Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 226-230. (in Korean)
 14. Lim, K. S., Choi, S. J., Lee, D. R. and Moon, H. W., 2010, Development of Flood Risk Index using causal relationships of Flood Indicators, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 30(1): 61-70. (in Korean)
 15. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2015, Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture, Sejong, Korea. (in Korean)
 16. Ministry of Construction and Transportation (MOCT), 2001, Long-term plans for water resources (2011-2020), Gwacheon, Korea. (in Korean)
 17. Ministry of Environment (ME), 2015, Statistics of Sewerage, Sejong, Korea. (in Korean)
 18. Ministry of Public Safety and Security (MPSS), 2006-2015, Annual Report on Disasters, Sejong, Korea. (in Korean)
 19. Moon, S. R., Yang, S. M. and Choi, S. H., 2014, Development and the Application of Flood Disaster Risk Reduction Index, *Journal of the Korean of Safety*, 29(1): 64-69. (in Korean)
 20. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A. and Taranta, S., 2005, Tools for Composite Indicators Building, European Commission, report EUR 21682 EN, Italy.
 21. National Emergency Management Agency (NEMA), 2013, Management guideline of Natural disaster hazardous areas. Seoul, Korea. (in Korean)
 22. Park, S. G., 2006, Estimation of Potential Risk for Flood Damage Occurrence, M.S. thesis, Inha University. (in Korean)
 23. Park, T. S., Yeo, C. G., Choi, M. H. and Lee, S. O., 2010, Flood Damage Index regarding Regional Flood Damage Characteristics, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 30(4): 361-366. (in Korean)
 24. Song, J. H., 2012, Study on Flood Risk Assessment in Medium and Small River Watersheds for Flood Protection Alternatives. M.S. thesis, Yeungnam University. (in Korean)
 25. 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*, 46(1): 35-45. (in Korean)
 26. Yeo, K. D., 2003, A study on Estimation Method of Expected Flood Damage Considering Local Characteristics, M.S. thesis, Inha University. (in Korean)
-
- Received 23 March 2017
 - First Revised 1 May 2017
 - Finally Revised 28 July 2017
 - Accepted 28 July 2017

시군별 홍수위험잠재능 유형화 및 특성분석

Appendix 1. The results of PFD (potential flood damage) calculation and three typology by si/gun unit

Metropolitan city/Do	Si/Gun	Damage target (FDT)	Damage possibility (FDP)	Prevention ability (FPA)	The results of typology		
					3D group	Decision tree	Custer analysis
Seoul		1.11	10.4	-2.91	C	V	VI
Busan		-1.16	13.74	-5.28	G	V	VI
Busan	Gijang-gun	-4.38	0.42	3.98	E	II	III
Daegu		-1.46	-2.9	-5.65	H	I	II
Daegu	Dalseong-gun	-3.19	-3.1	-3.23	H	I	II
Incheon		-3.12	1.78	-2.78	G	V	V
Incheon	Ganghwa-gun	2.05	1.14	-0.1	C	III	VII
Incheon	Ongjin-gun	-3.08	-3.37	3.06	F	I	III
Gwangju		-2.8	1.37	-4.86	G	II	V
Daejeon		-2.92	-0.35	-5.25	H	II	V
Ulsan		-5.03	-1.95	-4.79	H	I	II
Ulsan	Ulju-gun	-3.31	-1.6	-0.08	H	I	II
Sejong		-3.67	-0.49	-2.1	H	II	II
Gyeonggi-do	Suwon-si	-2.93	1.51	-3.64	G	V	V
Gyeonggi-do	Seongnam-si	-3.89	0.35	-4.94	G	II	V
Gyeonggi-do	Uijeongbu-si	-3.71	0.22	6.95	E	II	III
Gyeonggi-do	Anyang-si	-2.98	0.86	5.83	E	II	III
Gyeonggi-do	Bucheon-si	-0.54	3.19	-0.37	G	V	V
Gyeonggi-do	Gwangmyeong-si	-3.43	0.86	-0.78	G	II	II
Gyeonggi-do	Pyeongtaek-si	-2.98	0.26	-1.84	G	II	V
Gyeonggi-do	Dongducheon-si	-4.13	1.46	2.29	E	II	II
Gyeonggi-do	Ansan-si	-4.47	0.57	1.73	E	II	II
Gyeonggi-do	Goyang-si	-4.31	2.95	-0.98	G	V	V
Gyeonggi-do	Gwacheon-si	-6.07	-0.72	7.68	F	II	III
Gyeonggi-do	Guri-si	-4.44	0.55	3.22	E	II	III
Gyeonggi-do	Namyangju-si	-4.72	0.75	-2.73	G	II	V
Gyeonggi-do	Osan-si	-5.13	0.76	1.85	E	II	II
Gyeonggi-do	Siheung-si	-5.62	-0.04	0.05	F	II	II
Gyeonggi-do	Gunpo-si	-3.84	0.34	2.49	E	II	II
Gyeonggi-do	Uiwang-si	-5.94	-0.51	0.89	F	II	II
Gyeonggi-do	Hanam-si	-5.74	-0.49	2.2	F	II	II
Gyeonggi-do	Yongin-si	-4.4	-0.05	-1.18	H	II	II
Gyeonggi-do	Paju-si	-3.08	3.71	-2.4	G	V	V
Gyeonggi-do	Icheon-si	-2.9	1.39	-1.62	G	II	V
Gyeonggi-do	Anseong-si	-1.91	-1.42	-0.94	H	I	II
Gyeonggi-do	Gimpo-si	-4.73	4.49	-3.03	G	V	V
Gyeonggi-do	Hwaseong-si	-3.04	-0.21	1.41	F	II	II
Gyeonggi-do	Gwangju-si	-4.97	1.31	-1.23	G	II	V
Gyeonggi-do	Yangju-si	-4.41	1.04	1.51	E	II	II
Gyeonggi-do	Pocheon-si	-1.5	2.6	2.44	E	VI	VII
Gyeonggi-do	Yeoju-si	-0.89	4.06	-1	G	V	V
Gyeonggi-do	Yeoncheon-gun	0.25	1.59	-0.84	C	V	V
Gyeonggi-do	Gapyeong-gun	1.12	0.92	-0.03	C	III	VII

Metropolitan city/Do	Si/Gun	Damage target (FDI)	Damage possibility (FDP)	Prevention ability (FPA)	The results of typology		
					3D group	Decision tree	Custer analysis
Gyeonggi-do	Yangpyeong-gun	-0.08	2.75	-3.45	G	V	V
Gangwon-do	Chuncheon-si	-0.45	2.54	-1.72	G	V	V
Gangwon-do	Wonju-si	-1.47	0.74	-1.75	G	III	V
Gangwon-do	Gangneung-si	-0.24	-0.93	1.64	F	IV	VII
Gangwon-do	Donghae-si	-3.7	-3.04	4.68	F	I	III
Gangwon-do	Taebaek-si	-3.29	-5.19	7.98	F	I	III
Gangwon-do	Sokcho-si	-2.98	-4.43	0.63	F	I	II
Gangwon-do	Samcheok-si	1.84	-1.09	0.31	B	III	IV
Gangwon-do	Hongcheon-gun	4.3	5.01	1.01	A	VI	VII
Gangwon-do	Hoengseong-gun	2.52	0.19	1.35	A	IV	VII
Gangwon-do	Yeongwol-gun	1.92	0.65	1.71	A	IV	VII
Gangwon-do	Pyeongchang-gun	3.24	9.82	0.03	A	VI	VIII
Gangwon-do	Jeongseon-gun	2.16	-1.2	-0.43	D	III	VII
Gangwon-do	Cheorwon-gun	1.51	-0.42	0.3	B	III	IV
Gangwon-do	Hwacheon-gun	0.87	-0.57	4.21	B	IV	IV
Gangwon-do	Yanggu-gun	0.51	-0.66	2.29	B	IV	VII
Gangwon-do	Inje-gun	3.12	8.84	3.46	A	VI	VIII
Gangwon-do	Goseong-gun	0.44	-3.86	0.26	B	I	IV
Gangwon-do	Yangyang-gun	2.02	-2.06	4.06	B	I	VII
Chungcheongbuk-do	Cheongju-si	-1.23	0.71	-4.25	G	III	V
Chungcheongbuk-do	Chungju-si	0.37	0.26	-3.21	C	III	V
Chungcheongbuk-do	Jecheon-si	0.15	-1.07	-1.14	D	III	IV
Chungcheongbuk-do	Boeun-gun	2.34	-3.06	1.05	B	I	IV
Chungcheongbuk-do	Okcheon-gun	0.57	-2.02	-1.56	D	I	IV
Chungcheongbuk-do	Yeongdong-gun	2.42	-2.21	0.19	B	I	IV
Chungcheongbuk-do	Jincheon-gun	-2.63	-1.96	-0.88	H	I	II
Chungcheongbuk-do	Goesan-gun	3.49	-0.3	1.95	B	IV	IV
Chungcheongbuk-do	Eumseong-gun	-0.55	-0.87	-1.34	H	III	V
Chungcheongbuk-do	Danyang-gun	1.83	-2.27	0.68	B	I	IV
Chungcheongbuk-do	Jeungpyeong-gun	-4.1	-3.39	1.36	F	I	II
Chungcheongnam-do	Cheonan-si	-2.97	0.79	-1.78	G	II	V
Chungcheongnam-do	Gongju-si	1.19	0.38	-1.54	C	III	V
Chungcheongnam-do	Boryeong-si	0.74	0.61	-1.39	C	III	V
Chungcheongnam-do	Asan-si	-2.87	-1.49	-0.73	H	I	II
Chungcheongnam-do	Seosan-si	0.44	-1.39	-0.64	D	I	IV
Chungcheongnam-do	Nonsan-si	1.22	0.17	-3.95	C	III	V
Chungcheongnam-do	Gyeryong-si	-6.71	-3.01	-0.97	H	I	II
Chungcheongnam-do	Dangjin-si	-0.67	0.29	-1.58	G	III	V
Chungcheongnam-do	Geumsan-gun	0.55	-1.69	-1.71	D	I	IV
Chungcheongnam-do	Buyeo-gun	3.61	1.63	-2.01	C	V	VII
Chungcheongnam-do	Seocheon-gun	0.87	0.92	-1.12	C	III	V
Chungcheongnam-do	Cheongyang-gun	2.77	-0.04	-1.1	D	III	IV
Chungcheongnam-do	Hongseong-gun	-0.17	-1.17	-1.16	H	III	IV
Chungcheongnam-do	Yesan-gun	1.55	1.15	-1.47	C	III	V

시군별 홍수위험잠재능 유형화 및 특성분석

Metropolitan city/Do	Si/Gun	Damage target (FDT)	Damage possibility (FDP)	Prevention ability (FPA)	The results of typology		
					3D group	Decision tree	Custer analysis
Chungcheongnam-do	Taeon-gun	0.14	-1.32	1.37	B	IV	IV
Jeollabuk-do	Jeonju-si	-2.57	-0.08	-2.71	H	III	V
Jeollabuk-do	Gunsan-si	-1.28	4.66	-1.99	G	V	V
Jeollabuk-do	Iksan-si	1.01	0.69	-4.02	C	III	V
Jeollabuk-do	Jeongeup-si	3.63	-0.28	0.44	B	IV	VII
Jeollabuk-do	Namwon-si	3.81	0.17	0.99	A	IV	VII
Jeollabuk-do	Gimje-si	5.59	3.49	1.08	A	VI	VII
Jeollabuk-do	Wanju-gun	1.14	4.61	-1.71	C	V	V
Jeollabuk-do	Jinan-gun	3.84	-1.37	-0.23	D	I	IV
Jeollabuk-do	Muju-gun	2.38	-3.02	-0.38	D	I	IV
Jeollabuk-do	Jangsu-gun	3.54	-2.34	1.17	B	I	IV
Jeollabuk-do	Imsil-gun	4.2	-0.79	-0.41	D	III	IV
Jeollabuk-do	Sunchang-gun	3.21	-1.59	0.61	B	I	IV
Jeollabuk-do	Gochang-gun	4.42	-0.23	0.35	B	III	VII
Jeollabuk-do	Buan-gun	4.26	-1.08	0.43	B	III	IV
Jeollanam-do	Mokpo-si	-2.52	-2.39	-1.67	H	I	II
Jeollanam-do	Yeosu-si	-2.36	0.06	0.29	E	III	V
Jeollanam-do	Suncheon-si	-0.93	1.51	-3.59	G	V	V
Jeollanam-do	Naju-si	2.48	0.91	-1.87	C	III	VII
Jeollanam-do	Gwangyang-si	-3.58	2.48	-0.8	G	V	V
Jeollanam-do	Damyang-gun	1.47	0.11	-0.22	C	III	IV
Jeollanam-do	Gokseong-gun	3.56	-0.21	0.9	B	IV	IV
Jeollanam-do	Gurye-gun	2.63	-0.97	1.46	B	IV	IV
Jeollanam-do	Goheung-gun	6.15	5.8	0.98	A	VI	VII
Jeollanam-do	Boseong-gun	4.4	0.83	1.45	A	IV	VII
Jeollanam-do	Hwasun-gun	1.65	0.52	-0.34	C	III	VII
Jeollanam-do	Jangheung-gun	3.76	1.14	1.73	A	IV	VII
Jeollanam-do	Gangjin-gun	3.22	-1.38	1.71	B	I	IV
Jeollanam-do	Haenam-gun	6.47	-1.15	2.81	B	IV	IV
Jeollanam-do	Yeongam-gun	1.51	-0.45	1.32	B	IV	IV
Jeollanam-do	Muan-gun	-0.06	-2.77	-0.28	H	I	IV
Jeollanam-do	Hampyeong-gun	3.7	-2.64	1.23	B	I	IV
Jeollanam-do	Yeonggwang-gun	2.63	-1.54	1.11	B	I	IV
Jeollanam-do	Jangseong-gun	2.61	-0.23	-1.33	D	III	IV
Jeollanam-do	Wando-gun	0.12	0.82	1.24	A	IV	VII
Jeollanam-do	Jindo-gun	3.54	-1	2.68	B	IV	VII
Jeollanam-do	Sinan-gun	4.57	-0.23	1.05	B	IV	VII
Gyeongsangbuk-do	Pohang-si	-0.28	-1.89	-0.02	H	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Gyeongju-si	1.84	-0.67	0.72	B	IV	IV
Gyeongsangbuk-do	Gimcheon-si	2.37	-4	-0.66	D	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Andong-si	4.1	-0.61	-0.51	D	III	IV
Gyeongsangbuk-do	Gumi-si	-3.59	-3.21	-1.54	H	I	II
Gyeongsangbuk-do	Yeongju-si	1.64	-3.41	0.7	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Yeongcheon-si	2.9	-3.66	-2.16	D	I	IV

Metropolitan city/Do	Si/Gun	Damage target (FDT)	Damage possibility (FDP)	Prevention ability (FPA)	The results of typology		
					3D group	Decision tree	Custer analysis
Gyeongsangbuk-do	Sangju-si	5.27	-1.79	-0.75	D	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Mungyeong-si	2.67	-0.66	0.03	B	III	IV
Gyeongsangbuk-do	Gyeongsan-si	-2.98	-4.22	-1.09	H	I	II
Gyeongsangbuk-do	Gunwi-gun	3.38	-5.06	1.63	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Uiseong-gun	7.61	-1.75	0.5	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Cheongsong-gun	5.19	-4.48	1.19	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Yeongyang-gun	5.55	-5.73	2.97	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Yeongdeok-gun	3.36	-2.48	-1.44	D	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Cheongdo-gun	3.02	-2.54	0.99	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Goryeong-gun	0.27	-1.21	1.2	B	IV	IV
Gyeongsangbuk-do	Seongju-gun	1.57	-1.78	0.69	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Chilgok-gun	-3.12	-4.41	2.41	F	I	II
Gyeongsangbuk-do	Yecheon-gun	4.87	-2.39	2.22	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Bonghwa-gun	6.21	-4.05	3.61	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Uljin-gun	2.49	-4.27	1.38	B	I	IV
Gyeongsangbuk-do	Ulleung-gun	-4.27	-7.11	24.04	F	I	I
Gyeongsangnam-do	Jinju-si	-1.76	1.34	-1.65	G	III	V
Gyeongsangnam-do	Tongyeong-si	-4.52	0.54	-2.51	G	II	V
Gyeongsangnam-do	Sacheon-si	-2.31	0.47	-1.06	G	III	V
Gyeongsangnam-do	Gimhae-si	-4.51	1.63	-0.69	G	V	V
Gyeongsangnam-do	Miryang-si	0.57	-0.43	-3.14	D	III	V
Gyeongsangnam-do	Geoje-si	-5.62	3.13	-0.47	G	V	V
Gyeongsangnam-do	Yangsan-si	-4.86	-0.7	-3.42	H	II	II
Gyeongsangnam-do	Changwon-si	-3.49	3.48	-3.97	G	V	V
Gyeongsangnam-do	Uiryeong-gun	1.26	1.9	-1.73	C	V	V
Gyeongsangnam-do	Haman-gun	-2.14	0.85	-1.44	G	III	V
Gyeongsangnam-do	Changnyeong-gun	0.32	4.35	-1.1	C	V	V
Gyeongsangnam-do	Goseong-gun	0.66	0.83	-0.72	C	III	VII
Gyeongsangnam-do	Namhae-gun	0.72	4.3	-1.51	C	V	V
Gyeongsangnam-do	Hadong-gun	2.13	3.15	-2.18	C	V	VII
Gyeongsangnam-do	Sancheong-gun	3.15	2.64	1.1	A	VI	VII
Gyeongsangnam-do	Hamyang-gun	2.48	-0.12	0.55	B	IV	VII
Gyeongsangnam-do	Geochang-gun	1.35	-1.74	-1.36	D	I	IV
Gyeongsangnam-do	Hapcheon-gun	4.07	1.06	-0.89	C	III	VII
Jeju-do	Jeju-si	0.38	3.95	1.14	A	VI	VII
Jeju-do	Seogwipo-si	1.57	4.57	2.86	A	VI	VII