



## 홍수취약성을 고려한 치수 투자우선순위 결정 방안

# A Study on Determination of Investment Priority of Flood Control Considering Flood Vulnerability

주홍준\* · 김수전\*\* · 이명진\*\*\* · 김형수\*\*\*\*

Joo, Hongjun\*, Kim, Soojun\*\*, Lee, Myungjin\*\*\*, and Kim, Hungsoo\*\*\*\*

### Abstract

The purpose of this study is to suggest a way to determine effectively investment priority for flood control in a region. Potential flood damage(PFD) and flood risk indices were proposed from the national water resource plan. They have been used as the methods for assessing flood vulnerability. This study estimates the flood vulnerability index in each sub-basin after calculating weights on factors of the methods by using existing method, AHP(Analytic Hierarchy Process) and entropy theory. Based on the estimated index, investment priority of flood control in the basin was determined. The tendency of flood vulnerability and the expected effect of business was analyzed through the scenarios on applying flood mitigation projects. As a result, it was expected that the imbalance of the vulnerability was reduced in the watershed with the improvement of the vulnerability in the sub-basins which had the high flood vulnerability.

**Key words :** Investment Priority of Flood Control, Potential Flood Damage, Flood Risk Indices, AHP(Analytic Hierarchy Process), Entropy

### 요 지

본 연구의 목적은 유역내에서 치수 투자우선순위를 효과적으로 결정하기 위한 방안을 제시하는 것이다. 현재 수자원장기종합계획에서는 홍수취약성 평가 방법으로 홍수피해잠재능(PFD)과 홍수위험도 지표를 제시하고 있으며, 대상 지역의 홍수 취약 정도를 나타내는 척도로 사용되고 있다. 본 연구는 치수투자우선순위를 결정하기 위해 개선된 홍수 취약성 평가 방법을 이용하고자 기존을 비롯한 AHP(Analytic Hierarchy Process) 및 엔트로피 이론에 의한 요소별 가중치를 산정하고 대상 유역별 최종 홍수 취약성 지수를 산정하였다. 산정된 홍수 취약성 지수를 바탕으로 유역별 치수 투자우선순위를 결정할 수 있었으며, 치수 사업 시나리오를 적용하여 홍수 취약성의 변화 경향성과 사업의 기대 효과를 분석하였다. 그 결과, 기존의 홍수취약성이 높은 유역의 취약성 개선 효과와 함께 유역 전반에 걸쳐 취약성 불균형의 감소효과를 기대할 수 있었다.

**핵심용어 :** 치수 투자우선순위, 홍수피해잠재능, 홍수위험도 지표, AHP, 엔트로피

## 1. 서 론

최근 도래하고 있는 기후변화로 인해 전 세계적으로 집중 호우 및 태풍 등의 기상이변이 속출하고 있으며, 치수 피해를

경감시키기 위한 많은 노력이 대두되고 있다. 치수사업은 수해로 발생할 수 있는 인명과 재산 피해를 사전에 예방하고 보호하기 위한 목적으로 시행된다. 또한, 수해를 해결하는 중요한 요소이며, 국민생활과 직접 연결되어 있어 국가 경제

\*정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 박사과정(E-mail: engineer1026@nate.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*교신저자, 정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 조교수(Tel: +82-32-860-7563, Fax: +82-32-876-9787, E-mail: soojun78@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*\*인하대학교 사회인프라공학과 석사과정(E-mail: lmj3544@naver.com)

Master Course, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*\*\*정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수(E-mail: sookim@inha.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

적 측면에서 그 비중과 의미가 매우 크다고 할 수 있다. 우리나라의 치수 사업을 비롯한 재해예방사업은 1995년부터 규모가 지속적으로 증가하여 2017년까지 국비가 총 7조 6,015억원이 투입이 되었다(MOIS, 2017). 그 중에서도 치수 분야는 재해예방사업 내에서도 방대한 규모를 차지하고 있으며, 매년 막대한 예산이 투입되고 있다. 치수 계획 수립과정에는 다수의 이해당사자들이 비롯한 많은 기준과 목적들이 다양하게 연관되어 있기 때문에, 치수 대책 지역을 선정하고 투자우선순위를 결정함에 있어서 치수에 관한 모든 고려사항들을 그 비중과 역할에 맞게 반영한다는 것은 어려운 일이다. 또한, 예산이 사업 투자 지역에 체계적이고 효율적으로 이루어지지 않아 재정적 낭비를 비롯한 경제적인 문제가 뒤따르고 있는 실정이다. 따라서, 해당 지역을 고려한 치수 대책을 마련하고 그에 따른 적절한 투자우선순위가 이루어져야 한다.

치수를 비롯한 재해측면에서의 투자우선순위에 관한 최근 사업 및 연구를 살펴보면, 국내에서는 Lee et al.(2004)는 다속성 효용 이론(Multi-Attributr Utility Theory, MAUT)과 계층화분석과정(AHP)를 이용하여 치수사업 투자우선순위 결정 모형을 개발한 뒤, 금강 유역에 적용한 바 있다. NEMA(2006, 2008)에서는 재해사전예방사업의 효과적·효율적 추진을 위해 국내 재난예방정책 선진국의 사례에 대한 체계적 분석을 통해 국내 방재정책을 대대적으로 혁신하고 선진화의 필요성을 연구하였다. 또한, 방재사업의 경제성과 파급효과에 대한 구체적인 고려가 부족하여 예방사업이 다른 사업보다 후순위가 될 경우를 우려하여 예방정책의 Framework을 설정하였다. Yeo et al.(2011)은 수자원사업이 경제성 평가에만 주로 의존하여 의사결정이 내려지는데 대하여 사업의 필요성과 투자 타당성을 다양한 각도로 평가할 수 있는 투자우선순위 결정방법을 도출하고자 하였다. 한편, Heo(2013)는 자연재해위험지구 정비사업의 효과분석을 비용편익분석의 정량적 분석과 만족도 및 정비사업 전·후의 피해정감효과에 대한 설문조사로 정성적인 분석을 실시하였고, 이에 대한 타당성을 분석하였다. Roh(2016)는 미국 연방재난관리청의 풍수해 기준을 검토하고 국내의 풍수해 저감 종합계획 사례를 비교한 뒤 개선방안을 제시한 바 있다.

국외의 연구로는 Fell(1994)과 Bunce et al.(1997)은 재해 취약지역의 사전 위험도 평가의 중요성을 인지하여 각 기관에 적합한 위험도 평가 방법을 개발하여 사용하고 있다. FEMA(2005)에서는 미국의 경우 1불을 재해예방에 투자하면 사회 전체적으로 4불의 비용이 절감되는 효과가 있는 것으로 제시하였다. 또한, Venton and Venton(2004)은 인도 비하르 지방의 수해 예방을 위해 실시한 여러 사업의 복합적인 효과는 투자 금액 1단위당 3.76의 효과를 나타내는 것으로 제시하였다.

이와 같이, 국·내외 적으로 치수를 비롯한 재해 투자우선

순위에 대한 연구가 이루어지고 있지만 그 내용이 다소 주관적이며 단편적인 의사결정만을 통해 이루어지고 있다. 또한, 정책적인 측면의 사업이 대부분으로 보다 확실한 구조적인 방안은 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 실정을 고려한 치수 투자 우선순위 결정 방안을 마련하고자 수자원장기종합계획(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2001, 2010)에서 제시했던 홍수 취약성 산정 기법인 홍수피해잠재능(PFD)와 홍수 위험도 지표를 이용하였다. 각각의 홍수 취약성 산정 과정에서 항목별 가중치는 기존의 방법을 포함한 AHP 및 엔트로피에 의한 방법을 이용하여, 객관적이고 전문적인 면을 동시에 고려하였다. 그런 뒤, 모든 가중치를 고려한 최종 홍수 취약성 지수를 제시하였으며, 이를 바탕으로 치수 투자 우선순위를 결정하였다. 또한, 우선순위가 높은 지역을 대상으로 치수 사업 시나리오를 적용하여 경향성 및 사업의 기대효과에 대해서 고찰하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 투자우선순위 결정을 위한 홍수취약성 산정 방법

#### 2.1.1 홍수피해잠재능 (Potential Flood Damage, PFD)

홍수피해잠재능은 홍수피해의 특성을 파악하기 위해 개발된 방법이며 치수단위구역의 잠재적인 홍수피해 취약 정도를 나타내는 지수다. 홍수방어계획 수립에 있어 중요한 기준이 되는 항목은 그 지역의 잠재 피해 정도 및 발생확률과 이에 대한 방어능력으로 구분할 수 있을 것이다. 홍수피해잠재능은 이에 입각한 홍수취약성 평가 방법이며 크게 잠재성 요소와 위험성 요소로 나누어 항목을 산정하게 된다(Table 1).

Table 1. Components of Potential Flood Damage

Components	Sub-Components	
Potential, $F_{PO}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Population Density, <math>F_{PD}</math></li> <li>• Property, <math>F_{PF}</math></li> <li>• Urbanization, <math>F_{RUB}</math></li> <li>• Social Overhead Capital(Railroad, Bridge, Road), <math>F_{SOC}</math></li> </ul>	
Risk, $F_{RI}$	Likelihood	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flood Damage Cost, <math>F_{FD}</math></li> <li>• Probability Rainfall(100year), <math>F_{PR}</math></li> </ul>
	Protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• River improvements, <math>F_{CI}</math></li> <li>• Dam and Reservoir, <math>F_{DAM}</math></li> <li>• Pumping Station, <math>F_{PUMP}</math></li> </ul>

잠재성 요소는 동일조건(위치, 표고, 강우량 등)하에서 홍수가 발생하였을 때 발생할 수 있는 잠재적인 피해 정도를 나타내는 요소로 인구밀도, 자산, 도시화율, 사회기반시설

등의 세부항목을 가지고 산정된다. 그리고, 위험성 요소는 어떤 지역에 대해 홍수피해가 발생할 가능성 및 홍수피해 발생시 이를 저지할 수 있는 방어능력 정도를 나타내는 요소로 가능성 요소(+ 개념, 2개 지수)와 방어능력 요소(- 개념, 3개 지수)로 구성된다. 또한, 홍수피해밀도와 홍수피해의 가장 중요한 변수인 강우량을 대표할 수 있는 확률강우지수, 외수 대비에 해당하는 하천 개수율, 그 지역의 홍수조절 능력을 나타내는 댐 및 저수지 현황, 및 내수처리 능력을 평가할 수 있는 배수펌프장 현황 등의 세부항목으로 하여 산정된다. 이러한 세부항목을 이용한 홍수피해 산정식은 Eq. (1)과 같다(MOCT, 2001).

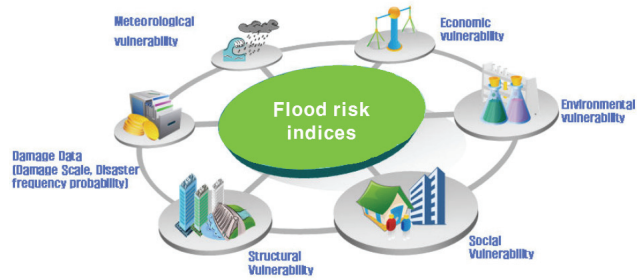
$$\begin{aligned}
 PFD &= F_{PO}^{\alpha_1} \times F_{RI}^{\alpha_2} \\
 &= [\beta_1 F_{PD} + \beta_2 F_{PF} + \beta_3 F_{RUB} + \beta_4 F_{SOC}]^{\alpha_1} \\
 &\quad \times [\beta_5 F_{FD} + \beta_6 F_{PR} + \beta_7 F_{CI} + \beta_8 F_{DAM} + \beta_9 F_{PUMP}]^{\alpha_2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

### 2.1.2 홍수위험도 지표(Flood Risk Indices)

홍수위험도 지표의 각 항목별 자료는 Table 2와 Fig. 1에 나타난 항목들을 DEM 자료와 시군별 자료를 단위구역별로 환산하여 정리한 후, 단위구역으로의 환산은 시군별 단위구역 편입면적비를 이용한다. 과거피해자료는 재해연보상의 과거 홍수로 인한 피해액 및 발생확률 등을 이용하는 것으로 과거의 홍수에 대한 위험성을 대표한다고 할 수 있다. 기상학적 취약성은 이상홍수에 대응할 수 있는 지표를 의미하는 것으로 극한강우사상 빈도(시간당 50 mm 이상인 횟수)와 일강우사상의 빈도(일당 150 mm 이상인 횟수)를 이용한다. 사회적 취약성은 인구밀도, 의존인구비율 등이며, 경제적 취약성은 재정자립도, 사회기반시설, 시설물적(홍수방어) 취약성은 배수펌프장과 같은 치수관련 시설물을 의미한다. 수문-지형학적 취약성은 기존의 홍수피해잠재능의 위험성 부분과 유사한 부분들이 있으며, 이는 기본적으로 홍수위험도 산정의 기본 이론이 위험(Risk) = 위험성(Hazard) × 취약성(Vulnerability)에 기초하여 제시되고 있기 때문이다.

**Table 2.** Components of Flood Risk Indices

Components	Sub-Components
Hydro-geological	• Flood risk area
	• Flood damage cost
	• Imperviousness
	• Slope of watershed
Socio-economic	• Population density
	• Financial independence rate
	• Dependence population
Flood protection	• Levee maintenance ratio
	• Pumping station
Climatic	• Frequency of hourly rainfall (P>=50mm)
	• Frequency of daily rainfall (P>=150mm)



**Fig. 1.** Components of Flood Risk Indices

이러한 분류를 기초로 하여 홍수위험도를 앞서 제시한 기상학적 취약성, 수문-지형학적 취약성, 사회-경제적 취약성, 홍수방어 취약성으로 구분되며 Eq. (2)와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{Flood Risk Indices} = C + G + S - P \tag{2}$$

여기서 C는 기상학적 취약성, S는 사회-경제적 취약성, G는 수문-지형학적 취약성, P는 홍수 방어 능력을 의미하며, 각각의 지표를 산정하여 홍수위험도를 산정하게 된다 (MOLIT, 2010).

## 2.2 홍수취약성 항목별 가중치 결정 방법

### 2.2.1 AHP(Analytic Hierachy Process) 가중치 방법

AHP는 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)의 대표적인 방법으로써 평가항목별 계층구조를 형성하고 쌍대비교를 통하여 대안을 평가하는 방식이다. AHP는 계층구조를 단계별로 분석 및 해결함으로써 합리적인 의사결정에 이를 수 있도록 지원해 주는 방법으로 현존하는 의사결정방법 중 가장 과학적인 방법이라 할 수 있다. 또한, 정량적 자료와 정성적 자료들을 비율척도(ratio scale)의 형태로 가공이 가능하기 때문에 자료의 2차 가공의 과정을 통해서 객관성 여부를 검증하는데 유용하다. AHP에서의 가중치 결정은 쌍대비교를 통한 두 요소간 상대적 중요도의 측정결과를 종합하여 모든 수준을 구성하는 요소들의 상대적 가중치를 추정한다. 의사 결정자가 한 수준에게  $n$ 개의 평가항목에 대해  $nC_2$  회의 쌍대비교를 수행하면 상대적 가중치를 알 수 있고, 이를 이용하여 Eq. (3)과 같이 쌍대비교행렬  $A_{n \times n}$ 를 구성할 수 있다(KDI, 2000).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \tag{3}$$

여기서  $w_n$ 은 AHP 가중치 방법을 결정하기 위한 항목에

해당되며, 행렬  $A$ 를 구성하는  $a_{ij}$ 는 요소  $j$ 에 대한  $I$ 의 상대적 가중치  $\frac{w_i}{w_j}$ 의 추정치이다. 행렬  $A$ 는  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ , 주대각선의 원(element)의 값이 모두 1이 되는 성질을 가진 역수행렬(reciprocal matrix)이다.

### 2.2.2 엔트로피(Entropy) 가중치 방법

엔트로피는 일반적으로 무질서도 또는 불확실성의 척도로 알려져 있으나, 정보이론에서는 신호가 가지고 있는 정보용량으로 정의되고 있다. 즉, 정보교환의 과정으로 신호가 보내질 때, 이 신호의 불확실성은 신호에 대한 정보가 불확실성을 제거할 정도로 많아지면 감소하게 되고, 따라서 불확실성의 감소정도로 신호에 대한 정보를 간접적으로 측정할 수 있는 것이다. 이러한 의미에서 정보와 불확실성은 이원적인 용어이며 서로 바뀌어서 사용되기도 한다(Ozkul et al., 2000). 최대엔트로피는 이산무작위변량  $X=x_n$ 의 확률  $p(x_n)$ 분포가 가지는 엔트로피의 양으로 정의되며, 이산무작위변량(discrete random variable)  $X$ 에 대한 한계 엔트로피  $H(X)$ 는 다음과 같이 정의될 수 있다(Shannon et al., 1963)(Eq. (4)).

$$H(X) = - \sum_{n=1}^N P(x_n) \ln P(x_n), \quad n = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

일반적으로 이산확률 변수  $X$ 가 균일 분포를 따르는 경우 그 엔트로피는 최대가 된다. 따라서 최대 엔트로피 모델이 미지의 사실에 대해서 균일 분포를 갖는 것은 미지의 내용에 대해서는 모델의 엔트로피가 최대가 된다는 것을 의미한다. 이는 주어진 여러 사건에 대해 명확하게 구분할 정보가 없을 때는 두 사건이 똑같은 확률로 발생한다고 간주하는 것이며 이는 불확실성 감소의 최대화, 즉 엔트로피의 최대화를 의미한다(Jang, 2010).

예를 들어 어느 한 하천의 소유역 홍수피해액 집합  $x_n$ 에 대해, 유출계수  $y_m (m=1, 2, \dots, N)$ 이 있다면  $H(X|Y)$ 는  $Y$ 의 정보로 나타낼 수 없는  $X$ 의 정보량을 나타내게 된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다(Eq. (5)).

$$H(X|Y) = - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N P(x_n, y_m) \ln P(x_n|y_m) \quad (5)$$

여기서  $P(x_n, y_m)$ 은  $X=(x_n)$ 와  $Y=(y_m)$ 의 결합확률,  $P(x_n|y_m)$ 은 주어진  $Y$ 에 대한  $X$ 의 조건 엔트로피이며, 이는  $X$ 와  $Y$ 간의 정보전달 사이에 손실되는 정보량을 나타내기도 한다(Yang and Bum, 1994). 엔트로피 이론에 기반하여 가중치를 구하기 위한 산정 절차는 홍수취약성 항목별 행렬을 구성하고 구성된 지표별 속성정보를 정규화 한 뒤 각 속성별 엔트로피를 산정 한 후 최종적으로 지표간의 다양성 정도를 고려하여 가중치를 결정하게 된다(Jang, 2010). 이러한 다양성 정도와 평가항목간의 가중치는 다음식과 같이 표현할 수 있다(Eqs. (6) & (7)).

$$\text{Degree of diversity: } d_j = 1 - E_j \quad (6)$$

$$\text{Weight: } w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} (j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

## 3. 홍수취약성 산정 및 치수 투자우선순위 결정

### 3.1 대상 지역 선정

우리나라의 치수에 대한 방재계획 및 대책은 시군구별로 이루어지고 있으나, 본 연구에서는 수자원장기종합계획에서 제시하는 홍수취약성 평가의 고우성을 유지하기 위해 유역 단위별로 분석을 실시하였다. 대상 유역은 한강 유역내의 일부 유역이며 중권역 코드로는 1005(충주댐 하류), 1006(섬강소), 1007(남한강 하류)에 해당되는 구간으로 총 34개의 표준유역과 11개의 행정구역이 포함되어 있다. 해당유역은 원주시, 여주시, 용인시가 포함된 도시지역과 홍천군, 횡성군 등이 포함된 산지 및 농지 지역이 고루 분포되어 있어 홍수 취약성 분석시 다양한 환경 조건을 고려할 수 있다. 다만, 홍수취약성 평가 특성상 소규모 단위의 유역이 좀 더 정확한 결과가 도출되므로 중권역 이하 표준유역을 대상으로 하였으며, Table 3과 Fig. 2는 각각 유역의 현황 및 위치도를 나타낸다.

Table 3. Watershed Status

Basin	Mid & Standard watershed Code	Number of standard watershed	Total Area (km <sup>2</sup> )	Administrative district
Chungju-Dam Downstream	1005 (100501~100505)	5	524.42	Wonju-Si, Yeosu-Si, Chungju-Si
Sum River	1006 (100601~100610)	10	1,491.01	Wonju-Si, Hongcheon-Gun, Hoengseong-Gun, Yangpyung-Gun, Yeosu-Si
Namhan River Downstream	1007 (100601~100619)	19	2,072.72	Gwangju-Si, Ansong-Si, Yangpyung-Gun, Yeosu-Si, Youngin-Si, Icheon-Si, Eunseong-Gun



**Table 4.** Computation of Weights (Potential Flood Damage)

Components	Weight 1 (Existing)	Weight 2 (AHP)	Weight 3 (Entropy)	Sub-Components	Weight 1 (Existing)	Weight 2 (AHP)	Weight 3 (Entropy)
Potential	0.5	0.72	0.52	• Population density	0.4	0.27	0.28
				• Property	0.3	0.20	0.44
				• Urbanization	0.2	0.20	0.06
				• Social overhead capital	0.1	0.33	0.23
Risk	0.5	0.28	0.48	• Flood damage cost	0.3	0.41	0.30
				• Probability rainfall (100year)	0.2	0.34	0.20
				• River improvements	0.3	0.13	0.15
				• Dam and reservoir	0.1	0.05	0.24
				• Pumping station	0.1	0.07	0.11

**Table 5.** Computation of Weights (Flood Risk Indices)

Components	Weight 1 (Existing)	Weight 2 (AHP)	Weight 3 (Entropy)	Sub-Components	Weight 1 (Existing)	Weight 2 (AHP)	Weight 3 (Entropy)
Hydro-geological	0.25	0.33	0.34	• Flood risk area	0.25	0.40	0.15
				• Flood damage cost	0.25	0.23	0.47
				• Imperviousness	0.25	0.27	0.18
				• Slope of watershed	0.25	0.10	0.20
Socio-economic	0.25	0.28	0.31	• Population density	1/3	0.50	0.41
				• Financial independence rate	1/3	0.17	0.30
				• Dependence population	1/3	0.33	0.29
Flood protection	0.25	0.17	0.16	• Levee maintenance ratio	0.5	0.58	0.43
				• Pumping station	0.5	0.42	0.57
Climatic	0.25	0.22	0.19	• Frequency of hourly rainfall (P>=50mm)	0.5	0.56	0.47
				• Frequency of daily rainfall (P>=150mm)	0.5	0.44	0.53

는 홍수취약성 부분에서 잠재성이 중요하다고 평가를 내린 것에 기인한다. 엔트로피에 의한 가중치 결과에서는 홍수피해잠재능의 댐 및 저수지와 배수펌프장은 미미하게 증가하는 경향을 보였다. 이는, 구역별로 홍수 시설물의 영향을 받지 않는 곳이 0의 값을 갖게 되므로 값의 유무에 의한 변별력이 커지기 때문에 전반적으로 가중치가 증가한 것으로 판단된다.

홍수위험도 지표에서의 AHP 및 엔트로피 방법에 대한 상위 항목별 가중치 우선순위는 수문-지형학적, 사회경제적, 기상학적, 홍수방어 순으로 이어짐으로써 동일한 결과를 보였다. 홍수방어는 홍수피해잠재능과 마찬가지로 낮은 가중치를 보였으며, 홍수피해액 등 홍수에 직접적인 영향을 미치는 항목이 비교적 높게 도출되는 결과를 보였다. 사회경제적 항목에서는 인구밀도는 재정자립도 및 의존인구비율에 비해 가중치가 높게 도출 되었으며, 홍수방어 및 기상학적

인 취약성의 하위 항목은 고려 항목이 각각 2개에 지나지 않아 자세한 가중치 분석은 다소 어려울 수 있다. 하지만, 상위 항목의 중요도가 다른 항목에 비해 낮게 도출되었기 때문에 결국, 홍수 방어 및 기상학적인 취약성의 최종 가중치에 의한 기대값은 낮게 책정될 거라 판단된다.

### 3.2.2 가중치를 고려한 홍수취약성 산정

본 절에서는 홍수취약성 평가 방법에 해당하는 홍수피해잠재능 및 홍수위험도 지표를 산정하였으며, 2개의 홍수취약성 평가 방법을 구하는 순서를 간략히 설명하면 다음과 같다.

- (1) 각 홍수취약성의 항목별(현재 기준) 자료를 수집한다.
- (2) 수집된 자료를 바탕으로 정규 분포를 통한 일련의 정규화 과정을 거친다.

- (3) 앞서 제시한 가중치별로 홍수취약성 평가 산정식을 적용한다.
- (4) 최종적인 가중치별 결과값을 도출한다.

6과 같다. 홍수취약성의 평가에 의한 값은 0~1 사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 홍수취약성이 높다. 따라서, 이러한 유역들은 타 유역에 비해 치수사업대책이 보다 더 적극적으로 시행되어야 하는 유역이라 할 수 있다.

이러한 과정을 거쳐 산정된 각 홍수취약성의 값은 Table

**Table 6.** Comparison of Potential Flood Damage and Flood Risk Indices by Weights

Standard watershed	Potential flood damage			Flood risk indices		
	Weight 1 (Existing)	Weight 2 (AHP)	Weight 3 (Entropy)	Weight 1 (Existing)	Weight 2 (AHP)	Weight 3 (Entropy)
100501	0.193875	0.338032	0.226503	0.441291	0.400729	0.36759
100502	0.303117	0.395144	0.310584	0.437595	0.404345	0.412464
100503	0.353205	0.491486	0.370203	0.38308	0.370344	0.375463
100504	0.349974	0.468175	0.443472	0.479503	0.447716	0.419072
100505	0.354056	0.49251	0.382355	0.420628	0.4042	0.392682
100601	0.225463	0.150011	0.220109	0.563557	0.55792	0.574411
100602	0.167685	0.122874	0.165902	0.527114	0.48756	0.466631
100603	0.18495	0.126354	0.185651	0.537408	0.518682	0.515386
100604	0.289647	0.247308	0.299413	0.489598	0.459022	0.461815
100605	0.355947	0.447563	0.385325	0.490403	0.454337	0.429523
100606	0.444581	0.555116	0.456458	0.554187	0.524525	0.520991
100607	0.358487	0.341359	0.382831	0.377829	0.376324	0.383
100608	0.375067	0.352872	0.387887	0.560586	0.543223	0.54948
100609	0.408423	0.538732	0.433884	0.504474	0.467066	0.450595
100610	0.550799	0.622767	0.536722	0.469532	0.472912	0.495842
100701	0.543453	0.624727	0.496395	0.43942	0.419666	0.395872
100702	0.392754	0.523078	0.384488	0.416237	0.385767	0.363633
100703	0.726222	0.723415	0.67355	0.350115	0.387671	0.408678
100704	0.425981	0.503074	0.381128	0.363129	0.356528	0.360969
100705	0.656347	0.677566	0.60529	0.338585	0.380923	0.409426
100706	0.543473	0.583902	0.53197	0.304011	0.327623	0.349931
100707	0.479861	0.493722	0.464193	0.326719	0.350958	0.372087
100708	0.567091	0.599317	0.544289	0.29647	0.329096	0.376395
100709	0.533757	0.578762	0.512858	0.309285	0.329628	0.370208
100710	0.808554	0.759017	0.811314	0.337968	0.407081	0.486888
100711	0.392594	0.397111	0.415534	0.406851	0.380066	0.393982
100712	0.857143	0.803444	0.778381	0.395778	0.45506	0.511003
100713	0.763139	0.710327	0.691196	0.336554	0.385586	0.437831
100714	0.696678	0.667878	0.658379	0.347333	0.384633	0.432107
100715	0.590404	0.572732	0.574381	0.317762	0.360182	0.435283
100716	0.362113	0.303152	0.385013	0.449877	0.471107	0.489344
100717	0.363829	0.298441	0.406729	0.420593	0.424435	0.451265
100718	0.317368	0.269656	0.336458	0.419952	0.400888	0.431258
100719	0.480142	0.46082	0.479061	0.317174	0.34434	0.374813

#### 4. 치수 투자우선순위 결정 및 사업 시나리오에 따른 기대효과

##### 4.1 치수 투자우선순위 결정

본 연구에서는 치수 분야에서의 투자우선순위 결정을 위해 앞서 산정된 홍수취약성을 바탕으로 평균 개념을 도입

하여 최종 홍수취약성을 도출한 뒤, 총 34개의 표준유역에 대하여 우선순위를 도출하였다. 홍수취약성과 우선순위는 비례 관계로 지표가 증가할수록 우선순위 또한 상승하고 지표가 감소할수록 우선순위는 하락하게 되며 표준유역별 치수 투자우선순위는 Table 7과 같다.

산정된 결과를 보면, 중권역 1005이하의 표준유역에 비해

**Table 7.** Definitive Flood Vulnerability and Investment Priority

Standard watershed	Flood vulnerability (Combination of Potential Flood Damage & Flood Risk Indices by Ensemble)	Investment priority of flood control
100712	0.633	1
100710	0.602	2
100713	0.554	3
100703	0.545	4
100714	0.531	5
100610	0.525	6
100705	0.511	7
100606	0.509	8
100701	0.487	9
100715	0.475	10
100609	0.467	11
100608	0.462	12
100708	0.452	13
100706	0.44	14
100709	0.439	15
100504	0.435	16
100605	0.427	17
100707	0.415	18
100702	0.411	19
100716	0.410	20
100719	0.409	21
100505	0.408	22
100704	0.398	23
100711	0.398	24
100717	0.394	25
100503	0.391	26
100601	0.382	27
100502	0.377	28
100604	0.374	29
100607	0.370	30
100718	0.363	31
100603	0.345	32
100501	0.328	33
100602	0.323	34



1006 및 1007의 이하의 표준구역이 우선순위가 비교적 높게 산정되었다. 특히, 100710 유역을 제외한 100710~100715의 유역은 우선순위가 10위권 내에 많이 분포됨으로써 홍수취약성이 다른 유역에 비해 비교적 높은 지역임을 확인할 수 있었다. 이 일대는 음성군, 광주시, 양평군, 여주시, 용인시, 이천시 일대에 해당되며 제 1우선순위인 100712 유역은 광주시가 대부분 편입되어 있는 지역으로 이 일대의 대규모 홍수피해(2011) 및 최근 홍수 피해를 고려하면 일리가 있는 결과라 사료된다.

또한, 100718는 양평군 및 가평군의 일부분이 속해있는 유역으로 인근 유역에 비해 우선순위가 낮게 책정이 된 것은 이 일대에 자연휴양림을 비롯한 리조트, 공원 등의 시민 편의 시설이 주로 구성되어 있는걸로 미루어 보아, 도시계획 및 관리에 따른 치수대책이 잘 이루어진 결과라 판단된다. 한편, 각 표준구역별 홍수 취약성의 분포도는 Fig. 3이며, 우선순위 결과를 참고하여 4분위(1~10순위, 11~20순위, 21~30순위, 31이상 순위)로 배분한 분포도는 Fig. 4와 같다.

#### 4.2 치수사업 시나리오에 따른 투자우선순위 기대 효과

본 연구에서는 치수 사업에 따른 투자우선순위 기대효과를 예측하기 위해 치수 사업 시나리오를 구성하였으며, 투자우선순위가 시급하다고 판단되는 우선순위 1~10위에 해당되는 표준유역을 대상으로 하였다. 치수 사업 시나리오는 현실적인 측면을 고려하여 홍수피해잠재능의 개수율과 홍수위험도 지표의 제방정비율이 시행됐다는 조건으로 하였으며, 시나리오 1(개수율 및 제방정비율 10% 증가)과 시나리오 2(개수율 및 제방정비율 30% 증가)로 구성하였다 (Table 8). 다만, 우선순위 측면에서 접근시, 어느 한 유역의 우선순위가 하락하면 다른 유역은 상승하게 되는 상대적인 측면이 발생하여 정확한 비교가 어렵기 때문에, 본 연구에서는 산정된 홍수취약성 지표를 이용하여 비교하였다(Table 9 and Fig. 5).

홍수 취약성 지수를 산정한 결과, 치수 사업을 시작하기 전에 홍수 취약성이 높게 산정된 우선순위 1~10위권에 속해 있던 유역들은 치수 사업 시나리오가 진행됨에 따라 점차

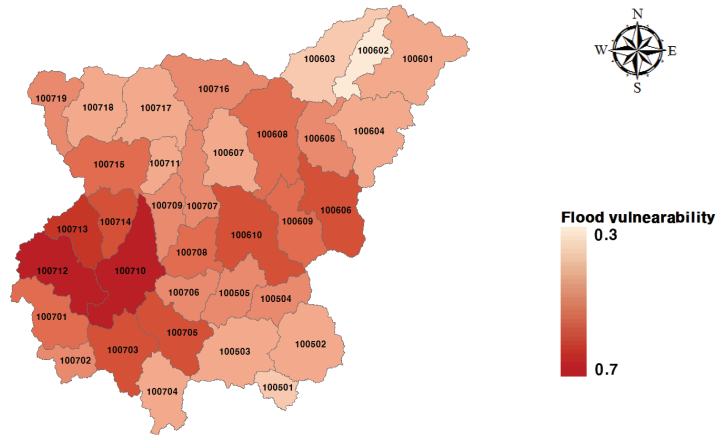


Fig. 3. Distribution Map of Flood Vulnerability

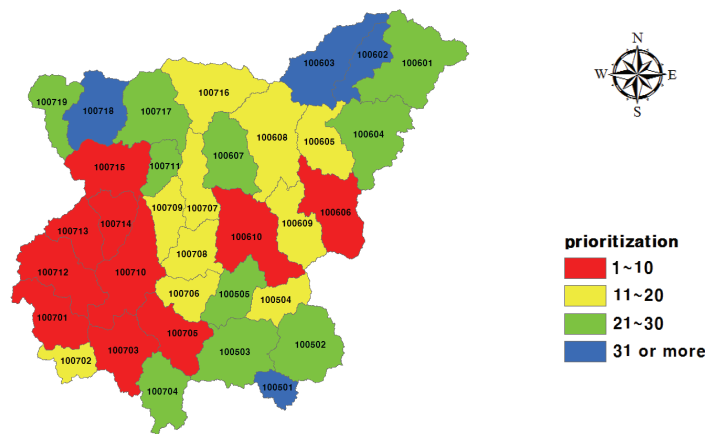


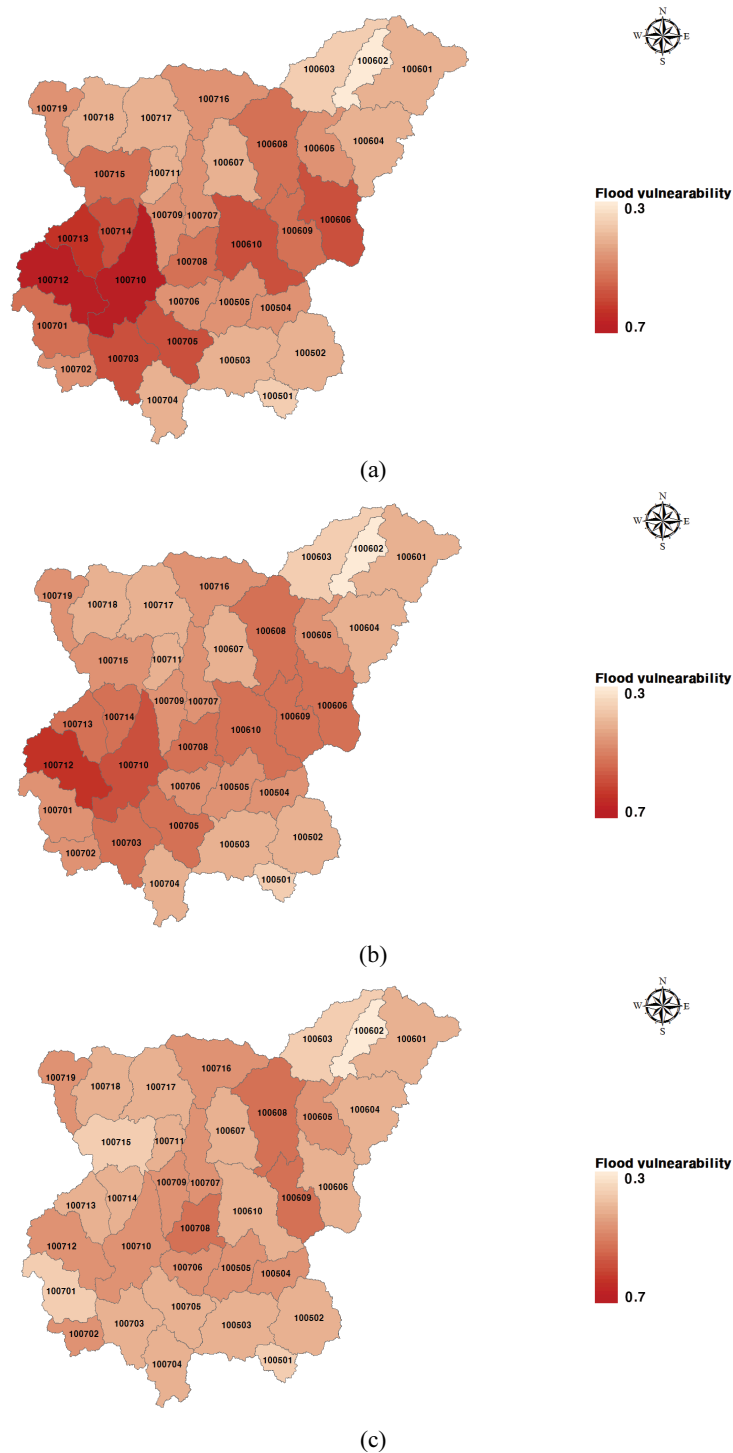
Fig. 4. Investment Priority for Flood Control by Group

**Table 8.** Project Scenario of Flood Control and Application Watershed

Mid-watershed	investment priority	Present	Scenario 1	Scenario 2
100712	1	-	10% improvement in River improvements & Levee maintenance ratio	30% improvement in River improvements & Levee maintenance ratio
100710	2			
100713	3			
100703	4			
100714	5			
100610	6			
100705	7			
100606	8			
100701	9			
100715	10			

**Table 9.** Comparison of Estimated Flood Vulnerability Present and Scenario

Mid-watershed	Flood vulnerability (Present)	Flood vulnerability (scenario1)	Flood vulnerability (scenario2)
100501	0.328	0.328	0.328
100502	0.377	0.377	0.377
100503	0.391	0.391	0.391
100504	0.435	0.435	0.435
100505	0.408	0.408	0.408
100601	0.382	0.382	0.382
100602	0.323	0.323	0.323
100603	0.345	0.345	0.345
100604	0.374	0.374	0.374
100605	0.427	0.427	0.427
100606	0.509	0.458	0.357
100607	0.370	0.370	0.370
100608	0.462	0.462	0.462
100609	0.467	0.467	0.467
100610	0.525	0.472	0.367
100701	0.487	0.438	0.341
100702	0.411	0.411	0.411
100703	0.545	0.490	0.381
100704	0.398	0.398	0.398
100705	0.511	0.460	0.358
100706	0.440	0.440	0.440
100707	0.415	0.415	0.415
100708	0.452	0.452	0.452
100709	0.439	0.439	0.439
100710	0.602	0.542	0.421
100711	0.398	0.398	0.398
100712	0.633	0.570	0.443
100713	0.554	0.499	0.388
100714	0.531	0.478	0.372
100715	0.475	0.428	0.333
100716	0.410	0.410	0.410
100717	0.394	0.394	0.394
100718	0.363	0.363	0.363
100719	0.409	0.409	0.409



**Fig. 5.** Investment Priority for Flood Control by Group (a) present, (b) 10% improvement, (c) 30% improvement

감소하는 경향을 보였다. 우선순위 1지역이었던 100712 유역은 치수 사업 시나리오가 10%였을 시, 홍수 취약성이 0.063으로 미미하게 감소하였으나, 30%에 도달했을 때는 사업 시행 전보다 0.19가량 감소하였다. 이는, 사업 시행전의 100706과 비슷한 수치로, 현재 우선순위 측면에서는 약 14위에 해당된다.

우선순위 11위로 치수 사업 시나리오에서 제외됐던 100609 유역은 최종 시나리오에서 홍수 취약성이 가장 높게 산정되었으며, 사업 시나리오에 의해 현재의 홍수 취약성 지수가 높았던 유역이 낮아짐에 따라 전반적으로 홍수 취약성이 평이해졌다. 그로 인해, 기존의 홍수취약성이 높은 유역의 취약성 개선 효과와 함께 유역 전반에 걸쳐 취약성

불균형의 감소효과가 나타났다. 다만, 본 연구는 기존의 홍수 취약성 산정 방법을 고려하여 일정 구역 내의 투자우선순위를 고려했다는 점에서 고무적이긴 하나, 홍수취약성 지수의 일정한 기준이 없는 문제점이 있을 수 있다. 따라서, 향후에는 최종 산정된 홍수 취약성의 기준점(치수 사업이 필요한 홍수 취약성 수치)을 정하여 사업이 필요치 않는 유역을 제외한 후 우선순위를 재산정하는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 홍수 취약성 지수를 고려하여 치수 투자우선순위를 결정 하고자 하였다. 우선순위를 결정하기 위해 기존의 수자원장기종합계획에서 수행한 홍수피해잠재능과 홍수 위험도 지표를 이용하였으며, 중권역 1005~1007에 해당 되는 표준유역을 대상으로 가중치(기존 가중치 방법, AHP 가중치 방법, 엔트로피 가중치 방법)별로 홍수 취약성 지수를 산정하였다. 산정된 홍수 취약성 지수는 평균 개념을 도입하여 최종 취약성 지수를 도출하였으며, 표준유역 내의 치수 투자우선순위를 정할 수 있었다. 또한, 우선순위 1~10위권에 속해있는 유역을 대상으로 2개의(개수율, 제방정비율의 개선을 10%, 30% 증가) 치수사업 시나리오를 도입한 결과, 시나리오가 진행됨에 따라 점차적으로 홍수취약성이 감소하는 경향을 보였다. 본 연구의 결과를 요약 및 고찰하면 아래와 같다.

- (1) 현재 치수 투자 우선순위는 중권역 1006 및 1007 이하의 표준유역이 우선순위가 비교적 높게 산정되었다. 특히, 100701~100715의 유역에 우선순위의 상위 등급이 편중돼 있었으며, 최근 이 일대의 대규모 홍수 피해를 고려하면 일리가 있는 결과라 사료된다. 하지만, 인근에 존재하는 100718 유역은 우선순위가 낮게 책정이 되었으며 이는 유역내에 자연휴양림을 비롯한 여러 시설이 존재하는 바, 이 일대의 도시계획 및 관리에 따른 결과라 판단된다.
- (2) 우선순위 1~10위권에 속해 있는 유역들은 치수 사업 시나리오가 진행됨에 따라 기존의 홍수취약성이 높은 유역의 취약성 개선 효과와 함께 유역 전반에 걸쳐 취약성 불균형의 감소효과를 보였다. 한 예로, 기존에 우선순위 1위였던 100712 유역은 개수율과 제방정비율이 30% 개선됐을 때, 홍수 취약성 지수가 0.19감소하였으며, 이는 현재의 우선순위 기준으로 약 14위에 해당되는 수치이다. 다만, 향후에는 치수 사업이 필요한 홍수 취약성 지수의 기준점을 마련하여 치수 사업이 필요 없는 유역을 제외한 후, 우선순위를 재산정하는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 기존의 투자우선순위의 방법과는 다르게 객관

적이고 전문적인 면을 동시에 고려했다는 점에서 활용 가치가 높으며 치수 투자우선순위의 가이드 라인을 제시하는데 있어서 중요한 지침서가 될 것으로 판단된다. 다만, 본 연구에서는 수자원장기종합계획에서 제시하는 홍수 취약성 지수의 고유성을 유지하기 위해 유역 단위의 치수 투자우선순위를 제시하였으나, 유역 내의 편입 도시에 따른 투자 예산 배분 등의 어려움이 발생할 수 있는바, 향후에는 행정구역 단위의 치수 투자우선순위에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MOIS-재난-2015-05].

## References

- Bunce, C.M., Cruden, D.M., and Morgenstern, N.R. (1997) Assessment of the Hazard from Rock Fall on a Highway. *Can. Geotech. J.*, Vol. 34, No. 3, pp. 344-356.
- Fell, R. (1994) Landslide Risk Assessment and Acceptable Risk. *Can. Geotech. J.*, Vol. 31, No. 2, pp. 261-272.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) *A Nation Prepared: FEMA Strategic Plan (Fiscal Years 2003-2008)*.
- Heo, B. (2013) Effect Analysis for Maintenance Project on Natural Disaster Prone Areas using Quantitative and Qualitative Analysis. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 3, pp. 97-105.
- Jang, D.W. (2010) *Development and Application of Risk Management Index for Flood Prevention Alternative*. Ph.D. dissertation, Inha University.
- Korea Development Institute (KDI) (2000) *A Study on Multi-Standard Analysis for Preliminary Feasibility Study*.
- Lee, S.C., Yi, C.S., Choi, S.Y., Shim, M.P., and Kim, H.S. (2004) *An Application of Multi-Attribute Utility Function for Priority Decision in Flood Control Projects. Proceedings of 2004 Korea Society of Civil Engineers CIVIL EXPO*, Korea Society of Civil Engineers, pp. 4995-5000.
- Ministry of Construction and Transportation (2001) *National Water Resource Plan*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) *National Water Resource Plan (2010-2020)*.
- Ministry of the Interior and safety (2017) *Disaster Risk Improvement Districts Manual*.

- National Emergency Management Agency (2006) *A Study on the Research for the Method to Strengthen the Disaster Mitigation Activities and to Increase the Investment.*
- National Emergency Management Agency (2008) *A Study of Economic Analysis for Prevention of Disaster and Effect on Extension of National Economic.*
- Ozkul, S., Harmancioglu, N.B., and Singh, V.P. (2000) Entropy-based Assessment of Water Quality Monitoring Networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 90-100.
- Roh, S. (2016) An Improvement of Investment Priority for Prevention Measures against Storm and Flood Damage. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 2, pp. 407-412.
- Shannon, C.E., and Weaver, W. (1963) *The Mathematical Theory of Communication.* The University of Illinois Press, Urbana, Illinois, USA.
- Venton, C., and Venton, P. (2004) *Disaster Preparedness Programmes in India: A Cost Benefit Analysis.* Humanitarian Practice Network (HPN) Paper No. 49, Overseas Development Institute, London.
- Yang, Y., and Burn, D.H. (1994) An Entropy Approach to Data Collection Network Design. *Journal of Hydrology*, Vol. 157, pp. 307-324.
- Yeo, K.D., Kim, G.H., Lee, S.W., and Choi, S.A. (2011) Development of MCDM for the Selection of Preferable Alternative and Determination of Investment Priority in Water Resource Projects. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 6B, pp. 551-563.

---

<b>Received</b>	December 4, 2017
<b>Revised</b>	December 6, 2017
<b>Accepted</b>	December 20, 2017

