홍수 위험도와 경제성 평가를 이용한 치수 투자우선순위 결정

Determination of Investment Priority for Flood Control Using Flood Risk and Economic Assessments

주홍준* · 이태우** · 유영훈*** · 왕원준**** · 김수전***** · 김형수*****

Joo, Hongjun*, Lee, Taewoo**, You, Younghoon***, Wang, Wonjoon****, Kim, Soojun****, and Kim, Hung Soo*****

Abstract

This study aims to determine the optimal investment priority in flood control projects. Flood risk assessments result in priorities for flood protection. In addition, economic assessment involves a rational analysis of the feasibility of a project and the benefits of disaster prevention in prioritization. Therefore, effective flood risk and economic assessment methods need to be established to prioritize flood control projects. To this end, this study used the integrated index for Flood Risk Assessment (InFRA) and Net Present Value (NPV) to determine the priority investment in 28 cities and counties in Chungcheong Province. Sejong City was ranked first in the final investment priority list. In addition, on the basis of the scale of investment in the flood control project and river maintenance by nationwide trials, it was found that the investment priorities of Sejong City and other regions are consistent with the results of this study.

Key words : Flood Risk Assessment, Net Present Value, Priority of Flood Control

요 지

본 연구는 치수 사업에서의 최적의 투자우선순위를 결정하고자 한다. 홍수 위험도 평가는 홍수 방어를 위한 우선순위 요소로 귀결되며 경제성 평가는 우선순위 결정에서 사업의 타당성과 재해 방지를 통한 편익을 합리적으로 분석해주는 방법이다. 따라서, 효과적인 홍수 위험도 평가와 경제성 평가 방법을 도출하여 치수 사업의 우선순위를 정립할 필요가 있다. 이를 위해, 본 연구에서는 충청도 28개 시·군을 대상으로 통합홍수위험평가지수(Integrated index for Flood Risk Assessment, InFRA)와 순현재 가치(Net Present Value, NPV)를 이용하여 치수 투자우선순위를 결정하였다. 그 결과, 최종 투자우선순위는 세종시가 1순위로 나타났다. 또한, 실제 전국 시도별 치수 사업 투자 규모와 하천 정비 현황을 참고하였을 때, 세종시를 비롯한 다른 지역의 투자우선순위는 본 연구 결과와 부합함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 홍수 위험도 평가, 순현재가치, 치수 투자우선순위

*정회원, 인하대학교 수자원시스템연구소 박사 후 과정(E-mail: engineer1026@nate.com)

Member, Post-Doctoral Researcher, Institute of Water Resources System, Inha University

**정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: dfd0d7cf@nate.com)

Member, Master Course, Department of Civil Engineering, Inha University

***인하대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: dudgns5971@naver.com)

Master Course, Department of Civil Engineering, Inha University

****정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail: makelest@naver.com)

Member, Master Course, Department of Civil Engineering, Inha University

*****교신저자, 정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 조교수(Tel: +82-32-860-7563, Fax: +82-32-876-9787, E-mail: sk325@inha.ac.kr)

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

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

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

1. 서론

치수 사업은 수해로 발생할 수 있는 인명과 재산 피해를 사전에 예방하고 보호하기 위한 목적으로 수립한다. 우리나라의 재해예방사업은 2017년까지 49조 7,144억 원의 국비와 지방비가 투자되었으며 그 중에서도 대부분의 재해예방사업은 치수 분야에 투자되고 있다(MOIS, 2017b). 하지만, 예산이 사업 투자 지역에 체계적이고 효율적으로 이루어지지 않기 때문에 재정적 낭비를 비롯한 경제적인 문제가 뛰어나고 있으며, 국가 경제적인 측면을 제고하기 위해서는 효율적인 치수 투자우선순위가 이루어져야 한다(Joo et al., 2018a; Joo, 2019).

투자우선순위에 있어서 선행적으로 홍수 위험도가 평가되어야 하고 사업의 타당성과 재해방지를 통한 편익을 합리적으로 분석해주는 경제성 평가 또한 고려되어야 한다. 따라서, 산재해 있는 홍수 위험도와 경제성 평가 중 적절한 대안을 선정하여 투자우선순위가 결정되어야 한다. 국외에서는

치수 사업에서 대상 지역들에 대한 투자우선순위는 중요한만큼 많은 연구가 진행되어져 왔다. 특히, 수자원 개발 역사가 오래된 구미 선진국들은 이러한 의사결정모형을 이미 치수사업에 적용하고 있다. 미국은 하구 복원 및 기능향상을 통한 치수 및 환경관리를 목적으로 1987년부터 국가연안계획(National Estuary Program)을 수행하고있다. 이 계획에서는 다속성 효율이론을 이용한 의사결정모형을 사용하고 있으며, 인문·사회·경제적 요소가 의사결정 과정의 주된 요소가 되고 있다. 영국환경부(Department for Environment Food and Rural Affairs, DEFRA)에서는 다속성의사결정(Multi-Attribute Decision Making, MADM)의 하나인 평점 모형(scoring method)을 홍수와 해안방어 정책을 위해 필요한 사업의 우선순위평가에 활용하고 있다. 즉, 경제성(economics), 환경성(environment), 인명성(people)을 주요 평가기준으로 이용하고 있다(DEFRA, 2002). Morss et al. (2005)은 기후학, 수문학적 정보 및 불확실성, 사회적 의사 결정 간 복합 상호작용에 대하여 고찰하였으며, 사회적으로 관련이 있는 과학연구를 수행하는 'End to end' 접근법에 대한 수정안을 통해 사회적 측면 또한 고려하여 투자우선순위를 결정하고자 하였다. Levy et al. (2007)은 홍수 피해에 대한 사업 투자우선순위를 결정하기 위하여 체계적인 의사 결정 시스템내에서 가치 판단과 기술 정보를 결합하여 의사 결정을 관리할 수 있는 다기준 의사결정 지원시스템(Multi-Criteria Decision Support System, MCDSS)을 제시하였다. Woodward et al. (2011)은 Real Option 방법론을 통해 미래의 불확실성을 고려하는 홍수 시스템에서 투자우선순위를 평가할 수 있는 있도록 하였다. Porter and Demeritt (2012)은 범람 위험 지역에 개발 규제를 결정하기 위하여 홍수 지도를 이용하는 것의 어려움을 극복하고자 '전략적 홍수 위험 평가'라는 새로운 의사결정 지원 기술을 제안하였다. Hsu et al. (2012)은 효율적인 확률론적 접근법을 개발하기 위하여 위험 및 불확실성

분석에 일반적으로 사용되는 방법에 대하여 검토하였으며, 우선순위 결정 방법의 장단점을 평가한바 있다. Loos and Rogers (2016)은 이해관계자가 참여하고 제안한 방법론을 통하여 특정 지역의 홍수 취약성 해결을 위한 대안을 평가할 수 있도록 대화형 투자 의사 결정 모형을 설계하였다.

국내의 경우 수자원장기종합계획(MOCT, 2001)에서는 유역단위사업의 투자우선순위 결정시 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)을 활용할 것을 제시하기도 하였다. 또한, 하천시설기준(MOC, 1985, 1993)에 제시된 치수사업 경제성분석방법을 이용해 사업별로 경제성을 분석하여 그 결과를 곧바로 투자우선순위를 결정하는데 사용하였다. 그러나 하천이나 수계 전체의 입장을 고려하지 못한다는 문제점이 제기되어 MOCT (2001)에서는 효율성, 형평성, 일관성을 평가하여 통합지표를 도출하고, 이에 의해 치수사업의 투자우선순위를 결정하도록 하였다. 그러나 지나치게 하천(제방)사업 위주여서 치수사업 전반에 적용하기에는 논리적으로 부합되지 않는 측면이 존재하였다(Lee et al., 2004). Kim et al. (2006)은 사회, 경제 환경 및 사업 실현성 측면에서 댐 사업 평가지표를 개발하고 실제 재개발을 위하여 조사중인 기존 댐에 적용하여 제시하였다. Chung et al. (2007)은 치수, 이수, 수질관리 등의 측면에서 지속가능한 유역통합관리 계획을 수립하기 위한 우선순위 결정의 절차와 적용방법을 개발하여 제시하였다. Cheong et al. (2011)은 위험도가 큰 소하천을 우선지원하고 상대적으로 정비효과가 낮은 소하천에는 정비사업 대상에 제외하기 위하여 하천 중요도를 고려한 소하천정비사업 선정기준을 개발하였다. Heo and Choi (2012)은 붕괴위험지구의 투자대비 예방효과에 대한 정량적인 분석을 통해 붕괴위험지구에 대한 투자우선순위 결정 개선안을 제시하였다.

기존의 대부분의 연구는 지표 선정 방법은 홍수에 영향이 있을거라는 막연한 예상으로 이루어지고 있으며, 타 연구에서의 지표 활용 빈도와 주관적인 중요함을 내세워 구성된 사례가 대부분이다. 또한, 지표간의 가중치의 산정 방식은 주로 쓰이고 있는 방법을 반복적으로 적용하고 있기 때문에 유사한 홍수 위험도 산정 방식으로 귀결됨에 따라 평가방법이 차별화되지 못하는 경우가 많다. 무엇보다도 경제성 평가는 분석 도구 내에서 단일적인 방법만을 고려하고 있으며, 국내의 풍수해적마중합계획 등에서 쓰이고 있는 편익/비용(Benefit-Cost, B/C)이 그 대표적인 예이다.

따라서, 본 연구에서는 문제점을 개선할 수 있는 홍수 위험도 평가 방법과 효과적인 경제성 평가를 수행하여 최적화된 치수 투자우선순위를 도출하고자 한다. 이를 위해, 과학적인 방법으로 대표 지표를 선정하고 기존의 가중치 기법을 통합하는 통합홍수위험평가지수(Integrated index for Flood Risk Assessment, InFRA)를 적용하고 다양한 경제성 평가 방법을 검토하여 지역 홍수 방어를 위한 최적화된 투자우선순위를 도출하고자 한다.

2. 홍수 위험도 평가 및 경제성 평가 방법의 결정

2.1 홍수 위험도 평가 방법

본 연구에서는 홍수 위험도 평가 방법으로 Joo et al. (2019)에서 제시한 통합홍수위험평가지수(Integrated index for Flood Risk Assessment, InFRA)를 이용하였다. InFRA는 6개의 기존 평가 방법(FRI, PFD, FDRRI, FVA, FDI, RSA)에서 제시하는 총 28개의 지표를 구성하였으며 특징에 맞게 수문-지형, 사회-경제, 홍수 방어, 기상 요소로 구분하였다. 시범 지역으로는 대전광역시, 세종특별자치시를 포함하는 충청도 28개 시군을 대상으로 하였으며(Fig. 1), 통계 기법인 요인 분석(factor analysis) 및 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 수행하여 대표 지표 11개를 선정하였다. 선정된 지표는 베이저안 네트워크(Bayesian network)를 통해 기존 가중치(AHP, CSS, Entropy)를 통합하였다. InFRA는 기존에 자주 쓰이는 방법(PFD, FDI, RSA)보다 과거 홍수 피해액을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났기 때문에 본 연구에 적용하였으며 연구의 연속성을 위하여 충청도를 대상지역으로 하였다. Fig. 2는 InFRA의 결과를 나타낸다.

2.2 경제성 평가 도구 및 방법 선정

2.2.1 경제성 평가 방법의 종류

경제성 평가는 대표적으로 편익/비용(B/C), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR)을 고려하고 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

편익/비용 비율(Benefit-cost ratio, B/C)은 투자단위당 투자수익의 현재와 투자원금의 현재로 나타난 비율을 말한다. 즉, 편익/비용 비율을 비교하여 크기가 상대적으로 큰 투자안부터 투자우선순위를 부여하는 경제성 평가방법으로써, 주어진 자원의 범위 안에서 사업의 효율을 높일 수 있는 방안을 모색할 수 있다. B/C 비율을 수식으로 정의하면 Eq. (1)과 같다(Joo et al., 2018b).

$$\frac{B}{C} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

여기에서, B_t 는 t 시점 편익, C_t 는 t 시점 비용, r 은 사회적 할인율을 의미한다.

순현재가치(Net Present Value, NPV)는 투자로부터 기대

Fig. 1. Map of Demonstration Area

Fig. 2. Final Determination of Flood Vulnerability (InFRA) (Joo et al., 2019)

되는 미래의 현금 유출입액을 자본비용으로 할인한 순현금 유입의 현재가치에서 순현금유출의 현재가치를 공제한 값이다. 즉, 각 연도에 발생하는 투자비용과 현금흐름을 적절한 할인율(보통 시장이자율)로 할인하여 환산을 통해 현재 가치(사업 개시년도의 가치)를 구하는 것을 말하며, Eq. (2)와 같이 표현할 수 있다(Joo et al., 2018b).

$$NPV = \left[\frac{R_1}{(1+r)^1} + \frac{R_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+r)^n} \right] - C = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} - C \quad (2)$$

여기에서, R_t 는 t 시점의 순현금유입, C 는 $t=0$ 시점의 순현금유출, r 은 사회적 할인율을 의미한다. 본 연구에서의 순현금유입 및 순현금유출은 각각 편익의 흐름과 비용을 일컫는다.

또한, 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR)은 투자로부터 기대되는 현금유입의 현재가치와 현금유출의 현재가치를 같게 하는 할인율을 의미한다. 즉, 순현재가치를 0으로 만드는 할인율을 말하며, 사회적 할인율보다 내부수익률이 높으면 경제성이 있는 것으로 판단한다. 내부수익률은 Eq. (3)와 같이 표현할 수 있다(Joo et al., 2018b).

$$\frac{R_1}{(1+IRR)^1} + \frac{R_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+IRR)^n} = C \quad \therefore \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+IRR)^t} - C = 0 \quad (3)$$

경제성 평가를 위한 분석기간은 구조물의 내수년수를 고려하여 일반적으로 50년을 적용하고 있으며, 년수에 따른 할인율(이자율)은 5.5%를 적용하고 있다(KDI, 2008). 따라서, 본 연구에서는 경제성 평가를 하기 위한 비용 및 편익의 각 세부 요소는 미래 50년과 할인율 5.5%를 기준으로 설정하였으며, 비용 요소의 잔존 가치는 자연재해위험개선지구 관리지침(MOIS, 2017c)에서 제시하는 요율을 적용하여 50년 이후의 잔존가치로 가정하여 각각 산정하였다.

2.2.2 적정 경제성 평가 방법의 선정

기본적으로 내부수익률은 다수의 결측값이 많이 존재하는 방법이다. 이와는 별도로, 투자의 우선순위를 정하는 경우나 상호배타적인 투자안인 경우 순현재가치와 내부수익률에 의한 결과가 달라질 수 있다. 이런 경우에는 아래와 같은 이유로 순현재가치가 더 우수한 방법으로 평가된다.

2.2.2.1 재투자수익률

순현재가치는 투자자의 요구수익률을, 내부수익률은 대

상 투자안의 내부수익률로 재투자한다고 가정하는데 순현재가치의 가정이 더 합리적이다.

2.2.2.2 가치가산성의 원리

$NPV(A) + NPV(B) = NPV(A+B)$ 가 성립하지만, $IRR(A) + IRR(B) = IRR(A+B)$ 는 성립하지 않는다. 즉, 순현재가치는 가치가산성의 원리가 성립하지만 내부수익률법에는 가치가산성의 원리가 성립하지 않는다.

2.2.2.3 다수해 or 무해의 존재

본 연구에서 제기된 문제와 같이, 내부수익률은 비전통적 사업일 경우 다수해나 무(無)해가 나올 수 있다. 이 같은 경우 어느 대안을 요구수익률과 비교해야 하는지 판단할 수가 없다.

2.2.2.4 순이익의 극대화

순이익(순혜택)의 극대화는 현금(순현재가치)로 결정해야 하며, 수익률(내부수익률)로 결정하는 것이 아니다. 즉, 내부수익률이 100%이고 100원의 순편익이 발생하는 투자안보다는 내부수익률이 10%이고, 1,000원을 순편익이 발생하는 투자안이 경제성을 극대화하는 투자안이다. 이러한 평가 방식은 순현재가치법으로 판단할 수 있다. 이러한 이유로 인하여, 내부수익률은 순현재가치를 산정한 다음 부가적으로 산정하여 참고하고 있으며 순현재가치를 주로 이용하고 있다(Joo, 2019).

한편, Table 1에서 볼 수 있듯이 현행 규정상 경제성 평가에 의한 투자우선순위는 B/C에 의해 결정하는 방식을 고수하고 있다. ‘우선순위’란 사전적인 의미로 어떤 것을 먼저 차지하거나 사용할 수 있는 차례나 위치를 나타낸다. 따라서, 상대의 차례나 위치에 따라 기준이 되는 자신의 우선 순위도 변경될 수 있다는 것이다. 투자우선순위의 결정에 있어서 여러 지역이라는 대안을 고려할 경우 상대적인 측면을 고려해야 하기 때문에 기존의 B/C에 의한 우선순위 책정 방식은 문제점이 될 수 있다. 즉, B/C의 값의 다소에 의해 투자우선순위를 결정짓는 것은 해당 지역만을 고려하는 것이며, 앞서 제시한 ‘편익의 극대화’에 반하는 이론인 것이다.

이를 위해 가중평균수익성지수 및 B/C 증분법에 의한 결과를 주목할 필요가 있다. 2가지 방법은 어느 한 지역을 기준으로 한 후, 다른 지역간의 상대적인 현금흐름을 추정하는 방식이며 동일한 알고리즘(Algorithm)을 기반으로 하고 있다. 이는 곧 ‘어느 지역의 순이익이 규모적으로 더 큰가’를 비교하는 순현재가치와의 이론과 부합한다.

Table 1. Investment Priority of Existing Methods Through Economic Evaluation (MOIS, 2017c)

Classification	B/C				
	More than 3	2 to 3	1 to 2	0.5 to 1	Less than 0.5
Score	20	16	12	8	4

그 동안의 B/C 방식은 이해가 용이하고 접근성이 좋다는 이유로 사용되고 있으나, 대안 선택의 명확한 기준에 있어서는 그 한계성을 보이고 있다. 따라서, 본 연구에서는 지역간의 상대성을 고려하는 투자우선순위 측면에서 기존의 B/C에 의한 평가 방식의 문제점을 인지하고 순현재가치(또는 가중 평균수익성지수, B/C 증분)에 의한 결과를 이용하였다.

3. 투자우선순위 모형 제시

치수사업에서의 투자우선순위를 결정하기 위해서는 해당 지역의 홍수에 대한 위험 측면(형평성 및 긴급성)과 사업 효과를 의미하는 경제성(효율성)이 동반되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 치수사업에서의 투자우선순위 결정하기 위해서 홍수 위험지역을 반영한 통합홍수위험평가지수(InFRA)와 가중평균수익성지수와 B/C 증분법과 동일한 결과인 순현재가치(NPV)를 적용하여 치수사업의 투자우선순위 모형을 제안하였다. 다만, 다소 주관적이고 정성적인 분야에 해당하는 정책적인 요소에 대해서는 투자우선순위의 정량적인 결과에 있어서 저해 요소라고 판단하여 제외하였다.

치수사업의 투자우선순위 모형에서 홍수 위험지역이 반영된 InFRA는 기존 연구에서 제시하는 형평성 긴급성을 모두 고려할 수 있고 단점을 보완할 수 있는 통합적인 지표이며, 순현재가치 또한 지역간의 순편익의 흐름을 고려하는

경제성 극대화 평가 방법이다. 따라서, Table 2와 같이 치수사업의 기존 투자우선순위 평가 방법의 모든 내용을 고려할 수 있을뿐만 아니라, 보다 더 개선된 내용을 제시할 수 있다. 경제성의 중요도는 홍수 위험이라는 선행적인 요소가 수반된 후에 고려되어야 할 사항이므로, 기존의 사항을 고려하여 순현재가치에 의한 경제성 평가는 15점, InFRA에 의한 요소는 85점을 각각 책정하였으며, 이는 곧 가중치가 0.15, 0.85임을 의미한다.

또한, 앞서 제시한 평가 점수의 문제점을 개선하기 위해 본 연구의 투자우선순위 모형에서는 Fig. 3과 같이 점수 방식을 삭제하고 정규화 본연의 값을 통해 점수를 재산정하였다.

홍수 위험지역을 반영한 InFRA는 NPV와 더불어 평가하게 됨으로써, 최적의 투자우선순위를 결정할 수 있을 것이며, Fig. 4는 본 연구에서의 치수사업 투자우선순위를 결정하기 위한 계층도를 나타낸다.

4. 치수 투자우선순위 결정

4.1 통합홍수위험평가지수에 따른 투자우선순위

통합홍수위험평가지수(InFRA)에 의한 홍수 위험도에 따른 투자우선순위는 내림차순(swing method)에 의해 정리하였으며 그 내용은 Table 3과 같다.

Table 2. Evaluation of Investment Priorities with InFRA and NPV

Investment priorities in the comprehensive plan for flood damage reduction			Investment priority with InFRA and NPV		
Classification	Evaluation factor	Score	Classification	Evaluation factor	Score
Total	5	100 (1)	Total	2	100 (1)
Efficiency (Economic)	B/C	15 (0.15)	Efficiency (Economic)	NPV	15 (0.15)
Equity	Damage history index	25 (0.25)	Equity and Urgency	InFRA	85 (0.85)
Urgency	Disaster risk	30 (0.30)			
	Resident discomfort	20 (0.20)			
	District selection years	10 (0.10)

Fig. 3. Example of Scoring Method of Investment Priority Model

Fig. 4. Hierarchy Diagram for Determining Investment Priority in Flood Control Project

Table 3. Investment Priorities by InFRA

District	InFRA	Investment priority	District	InFRA	Investment priority
1. Daejeon	0.455	15	15. Boryeong	0.530	7
2. Cheongju	0.402	20	16. Asan	0.558	5
3. Chungju	0.502	12	17. Seosan	0.629	2
4. Jecheon	0.348	25	18. Nonsan	0.379	22
5. Boeun	0.409	18	19. Gyeryong	0.359	24
6. Okcheon	0.336	26	20. Dangjin	0.660	1
7. Yeongdong	0.404	19	21. Geumsan	0.359	23
8. Jeungpyeong	0.205	28	22. Buyeo	0.460	14
9. Jincheon	0.471	13	23. Seoecheon	0.541	6
10. Goesan	0.395	21	24. Cheongyang	0.439	16
11. Eumseong	0.511	10	25. Hongseong	0.580	4
12. Danyang	0.323	27	26. Yesan	0.504	11
13. Cheonan	0.530	8	27. Taean	0.421	17
14. Gongju	0.520	9	28. Sejong	0.604	3

InFRA에 의한 투자우선순위는 당진시가 0.660으로 1순 위였으며, 그 뒤로 서산, 세종 등으로 이어지는 결과를 보였 다. 증평군은 0.404로 28순위를 차지함으로써 홍수 위험도에 투자우선순위가 가장 낮게 나왔다. 이러한 투자우선순위의 결과는 앞에서 언급한 것처럼 대도시에 무조건적으로 우선 순위가 집중되는 것이 아닌 InFRA에 따라 적절하게 우선순 위가 책정되어졌다고 사료된다.

4.2 경제성 평가에 따른 투자우선순위

경제성 평가에 따른 투자우선순위는 앞서 언급한 것처럼 순현재가치를 활용하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 본 연구에서 비용-편익을 도출하기 위한 도구 중 다차원법은 최근에 개발되어 보다 더 우수하다고 알려져 있다. 하지만

본 연구에서의 시범 지역과 같은 광범위한 지역에 다차원법 을 적용하기에는 물리적인 시간과 비용이 많이 발생하기 때문에 현실적으로 어렵다. 따라서, 본 연구의 시범지역의 범위를 감안하여 개선법을 이용하였다(Joo et al., 2018b). 개선법은 자연재해위험개선지구 관리지침(MOIS, 2017c) 및 시군 등 풍수해저감종합계획 세부수립기준(MOIS, 2017a) 에서 권고하고 있는 방법이기도 하다.

4.3 최종 투자우선순위 결정

본 연구에서는 앞서 제시한 InFRA 및 NPV의 정량적인 결과를 고려하여 각각의 투자우선순위를 도출하고 2항목을 동시에 고려한 최적 투자우선순위를 결정하였으며, 그 결과 는 Table 5와 같다.

Table 4. Determining Quantitative Values and Investment Priorities Using NPV

Ranking	NPV	Estimated value	Normalization	Ranking	NPV	Estimated value	Normalization
1	Goesan	673,452	0.997	15	Cheongyang	-271,375	0.317
2	Yeongdong	298,516	0.987	16	Yesan	257,010	0.316
3	Nonsan	105,939	0.936	17	Boeun	-149,320	0.294
4	Daejeon	-4,770	0.919	18	Jeungpyeong	715,921	0.286
5	Gongju	13,620	0.847	19	Okcheon	-4,165	0.284
6	Geumsan	3,391	0.782	20	Eumseong	-43,995	0.277
7	Danyang	956,899	0.747	21	Gyeryong	463,081	0.276
8	Cheongju	5,662	0.616	22	Jecheon	82,639	0.275
9	Cheonan	-203,394	0.604	23	Hongseong	52,938	0.261
10	Asan	1,135,463	0.569	24	Dangjin	35,854	0.238
11	Sejong	-2,931	0.568	25	Taeon	-20,139	0.188
12	Chungju	424,794	0.393	26	Seosan	34,954	0.154
13	Buyeo	288,111	0.367	27	Jincheon	-103,011	0.119
14	Seocheon	546,706	0.335	28	Boryeong	256,843	0.084

Table 5. Determination of Final Investment Priority

District	InFRA (0.85)		NPV (0.15)		Final investment priority (InFRA+NPV)	
	Value	Ranking	Value	Ranking	Value	Ranking
Daejeon	0.455	15	0.919	4	0.5074	8
Cheongju	0.402	20	0.616	8	0.4388	17
Chungju	0.502	12	0.393	12	0.4950	10
Jecheon	0.348	25	0.275	22	0.3106	26
Boeun	0.409	18	0.294	17	0.3851	21
Okcheon	0.336	26	0.284	19	0.3142	27
Yeongdong	0.404	19	0.987	2	0.4582	13
Jeungpyeong	0.205	28	0.286	18	0.2541	28
Jincheon	0.471	13	0.119	27	0.3701	22
Goesan	0.395	21	0.997	1	0.4503	14
Eumseong	0.511	10	0.277	20	0.4375	12
Danyang	0.323	27	0.747	7	0.3716	24
Cheonan	0.530	8	0.604	9	0.5521	5
Gongju	0.520	9	0.847	5	0.5625	4
Boryeong	0.530	7	0.084	28	0.4053	20
Asan	0.558	5	0.569	10	0.5675	3
Seosan	0.629	2	0.154	26	0.4792	7
Nonsan	0.379	22	0.936	3	0.4328	16
Gyeryong	0.359	24	0.276	21	0.3168	25
Dangjin	0.660	1	0.238	24	0.5170	2
Geumsan	0.359	23	0.782	6	0.4085	19
Buyeo	0.460	14	0.367	13	0.4490	15
Seocheon	0.541	6	0.335	14	0.5514	9
Cheongyang	0.439	16	0.317	15	0.4290	18
Hongseong	0.580	4	0.261	23	0.4699	6
Yesan	0.504	11	0.316	16	0.5165	11
Taeon	0.421	17	0.188	25	0.3298	23
Sejong	0.604	3	0.568	11	0.6105	1

InfRA와 NPV를 동시에 고려한 결과값은 약 0.22-0.60에 분포되는 것으로 나타났으며 전반적으로 InfRA와 NPV 각각의 투자우선순위와는 다른 결과를 보였다. 예를 들어, 충주시는 InfRA의 순위와 NPV에 의한 순위가 각각 12위로 도출되었으나 최종 투자우선순위는 9위로 결정되었다. 이는, 타 지역의 각 요소 순위의 큰 편차로 인한 결과이며 이러한 현상은 충청도 전역에 걸쳐 불규칙적으로 발생하였다.

InfRA의 순위가 1순위였던 당진은 NPV가 24위로 책정됨에 따라 최종 순위는 6위로 책정되었으며 NPV에 의한 순위가 1위였던 괴산군은 InfRA가 낮음에 따라 최종적으로 13위로 책정되었다. 또한, 세종시는 InfRA와 NPV가 각각 3위와 11위에 책정되었으나 InfRA가 높은 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 NPV가 책정됨으로써 최종적인 순위는 1순위로 책정되었다. Table 6에서 제시하는 ‘재난안전통계연보(MOIS, 2017d)’에서는 2016년의 세종시 치수 사업비 현황이 시부분에서 12,682백만 원으로 책정됨으로써 부산, 서울에 이어 3위를 기록하였다. 이는 세종시가 치수 사업을 위한 사업비가 우선적으로 많이 투자된 것을 의미하며 본 연구의 결과는 이와 어느정도 부합하는 결과를 보여줬다고 할 수 있다.

또한, Table 7에서 제시하는 소하천정비현황(2016년 기준)의 미정비연장이 시 부분에서 높은 수치를 보임에 따라 세종시의 치수 사업의 시급함을 어느 정도 뒷받침 한다고 할 수 있으며, 대전시 같은 경우는 후순위에 있음을 알 수 있다.

중평균은 경제성 평가가 6위로 비교적 높음에도 불구하고

InfRA에 의한 결과가 28위를 기록함에 따라 최종순위는 28위로 책정되었다. 이는 경제성의 중요도는 홍수 위험이라는 선행적인 요소가 수반된 후에 고려되는 사항이기 때문에 경제성 평가가 0.15로 낮은 가중치에 의한 결과인 것으로 판단된다. Fig. 5는 지역별의 최종 결과값과 투자우선순위를 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 충청도 28개 시군을 대상으로 기존의 홍수 위험도 평가 중 우수한 결과를 나타낸 통합홍수위험평가지수(InfRA)와 순현재가치를 통해 치수 투자우선순위를 결정하였다. 경제성의 중요도는 홍수 위험이라는 선행적인 요소가 수반된 후에 고려되어야 할 사항이므로, 기존 연구의 배점을 고려하여 NPV에 의한 경제성 평가는 15점, InfRA에 의한 요소는 85점을 각각 책정하였다. 정성적인 항목은 투자우선순위의 정량적인 결과에 있어서 저해 요소라고 판단하여 배제하였다. 또한, 기존 투자우선순위 모형의 각 항목에서는 등급에 따라 일괄적인 점수를 적용하여 왔으며, 이에 대한 문제점이 많이 제기되어오고 있기 때문에 본 연구의 투자우선순위 모형에서는 점수 방식을 삭제하고 정규화 본연의 점수를 이용하였다. InfRA와 NPV를 동시에 고려한 결과값은 약 0.22-0.60에 분포되는 것으로 나타났으며 전반적으로 각각의 투자우선순위와는 다른 결과를 보였다. 이는 타 지역의 각 요소 순위의 큰 편차로 인한 결과이며 이러한 현상은 충청도 전역에 걸쳐 불규칙적으로 발생하였다.

Table 6. Project Costs by City Project for Flood Control (2016) (MOIS, 2017d)

Classification	2016 budget (million won)	비고
Total	265,533	
Seoul	7,770	
Busan	11,105	
Daegu	1,237	
Gwangju	1,914	
Ulsan	1,509	
Sejong	6,341	
Gyeonggi	16,148	
Gangwon	24,019	
Chungbuk	16,669	
Chungnam	22,772	
Jeonbuk	27,767	
Jeonnam	36,185	
Gyeongbuk	46,997	
Gyeongnam	31,473	
JeJu	13,627	

Note: Daejeon is not counted due to internal problems

Table 7. Small River Maintenance by City (2016) (MOIS, 2017d)

지역별	Maintenance target (number)	Total extension (A) (km)	Maintenance extension (B) (km)	Non-maintenance extension (km)	maintenance ratio (B/A) (%)
Seoul	18	37	20	17	54.10%
Busan	32	52	21	31	40.60%
Daegu	126	381	266	115	69.70%
Incheon	116	324	166	158	51.40%
Gwangju	23	95	57	38	60.00%
Deajeon	87	153	92	61	60.10%
Ulsan	136	305	91	214	30.00%
Sejong	172	399	170	229	42.60%
Gyeonggi	2110	4570	1887	2683	41.30%
Gangwon	2550	6191	3040	3151	49.10%
Chungbuk	2075	6262	3083	3179	49.20%
Chungnam	2162	4865	1975	2890	40.60%
Jeonbuk	2690	5315	2680	2635	50.40%
Jeonnam	3819	7631	3458	4173	45.30%
Gyeongbuk	3674	11734	4741	6993	40.40%
Gyeongnam	2946	5604	2543	3061	45.40%
JeJu	87	459	116	343	25.20%

Fig. 5. Final Investment Priority Based on Final Result

InFRA의 순위가 1순위였던 당진은 NPV가 24위로 책정됨에 따라 최종 순위는 2위로 책정되었으며 NPV에 의한 순위가 1위였던 괴산군은 InFRA가 낮음에 따라 최종적으로 14위로 책정되었다. 또한, 세종시는 InFRA와 NPV가 높은 군에 속함에 따라 최종적인 순위는 1순위로 책정되었다. 기존 문헌을 통해 2016년의 세종시 치수 사업비 현황이 높게 책정된 것을 확인하였으며 이는 세종시가 치수 사업을 위한 사업비가 우선적으로 많이 투자된 것을 의미하며 본 연구의 결과는 이와 어느정도 부합하는 결과를 보여줬다고 판단된다. 또한, 세종시는 시 부분에서 미정비연장 및 정비율이 낮은 수치를 보임에 따라 치수 사업의 시급함을 알 수 있었다.

중평균은 경제성 평가가 6위로 비교적 높음에도 불구하고 InFRA에 의한 결과가 28위를 기록함에 따라 최종순위는 28위로 책정되었다. 이는 경제성의 중요도는 홍수 위험이라는 선행적인 요소가 수반된 후에 고려되어야 할 사항이기 때문에 경제성 평가가 0.15로 낮은 가중치에 의한 결과인 것으로 판단된다.

투자우선순위의 결정에 있어서 모든 고려사항들을 그 비중과 역할에 맞게 반영한다는 것은 어려운 일이기 때문에 본 연구에서는 다양한 환경과 연구 방법을 고려하였다. 다만, 이러한 투자우선순위 방법론은 관리 부처의 주관적인 의사에 따라 새로운 부가적 또는 정책적인 항목이 추가될 수 있으며, 그에 따라 결과가 바뀔 수도 있을 것이다. 또한, 모든 사항을 고려해서 투자우선순위를 결정해야 하기 때문에 정량적인 검증 방법이 존재하지는 않는다. 추후, 이러한 문제점을 최소화할 수 있고, 보다 더 개선하여 범용적으로 통용되는 투자우선순위 결정에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05).

이 논문은 2018년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음(INHA-57822).

References

Cheong, T.S., Kang, B.H., and Jeong, S.M. (2011). Study on guideline for the selection of small stream implementation projects. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 11, No. 2, pp. 163-170.

Chung, E.S., and Lee, K.S. (2007). Identifying spatial hazard ranking using multicriteria decision making techniques. *Journal of Water Resource Association*, Vol. 40, No. 12, pp. 969-983.

Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA). (2002). *Grant aid for flood and coastal defence capital projects*.

Heo, B.Y., and Choi, W.J. (2012). Improvement in the determination of the investment priority for collapse hazard areas. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 115-119.

Hsu, W.K., Tseng, C.P., Chiang, W.L., and Chen, C.W. (2012). Risk and uncertainty analysis in the planning stages of a risk decision-making process. *Natural Hazards*, Vol. 61, No. 3, pp. 1355-1365.

Joo, H.J. (2019). *Determination of investment priority for flood prevention of local regions using integrated index for flood risk assessment and economic evaluation*. Ph.D. dissertation, Inha University.

Joo, H.J., Choi, C.H., Kim, J.W., Kim, D.H., Kim, S.J., and Kim, H.S. (2019). A bayesian network-based integrated for flood risk assessment (InFRA). *Sustainability*, Vol. 11, No. 13, 3733. doi:10.3390/su11133733

Joo, H.J., Kim, S.J., Lee, M.J., and Kim, H.S. (2018a). A study on determination of investment priority of flood control considering flood vulnerability. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 2, pp. 417-429.

Joo, H.J., Lee, T.W., Kim, J.W., Kim, D.H., Kim, S.J., and Kim, H.S. (2018b). Study on optimum priority of flood control projects using the maximized economic curve. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 7, pp. 403-415.

Kim, W.G., Lee, G.M., and Park, D.H. (2006). Investment ranking decision using MCDA in dam projects. *Journal of Water Resource Association*, Vol. 39, No. 12, pp. 1067-1080.

Korea Development Institute. (2008). *Revised and supplemented standard guidelines for preliminary feasibility study of water resources sector project*.

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 Annual Conference*, Korea Society of Civil Engineers, pp. 4995-5000.

Levy, J.K., Hartmann, J., Li, K.W., An, Y., and Asgary, A. (2007). Multi-criteria decision support systems for flood hazard mitigation and emergency response in urban watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 43, No. 2, pp. 346-358.

- Loos, J., and Rogers, S. (2016). Understanding stakeholder preferences for flood adaptation alternatives with natural capital implications. *Ecology and Society*, Vol. 21, No. 3, Article No. 32. doi:10.5751/ES-08680-210332
- Ministry of Construction (MOC). (1985). *River facility standards*.
- Ministry of Construction (MOC). (1993). *River facility standards*.
- Ministry of Construction & Transportation (MOCT). (2001). *A study on improving economy of flood control project*.
- Ministry of the Interior and safety (MOIS). (2017a). *Criteria for establishing details of the comprehensive plan for flood damage reduction*.
- Ministry of the Interior and safety (MOIS). (2017b). *Disaster risk improvement districts manual*.
- Ministry of the Interior and safety (MOIS). (2017c). *Guidelines for improving natural disaster risk management*.
- Ministry of the Interior and safety (MOIS). (2017d). *Statistics yearbook of disaster safety 2016*.
- Morss, R.E., Wilhelmi, O.V., Downton, M.W., and Grunfest, E. (2005). Flood risk, uncertainty, and scientific information for decision making: Lessons from an Interdisciplinary project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 88, No. 11, pp. 1593-1592.
- Porter, J., and Demeritt, D. (2012). Flood-risk management, mapping, and planning: The institutional politics of decision support in England. *Environment and Planning A: Economy and Space*. Vol. 44, No. 10, pp. 2359-2378.
- Woodward, M., Gouldby, B., Kapelan, Z., Khu, S.-T., and Townend, I. (2011). Real option in flood risk management decision making. *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 4, No. 4, pp. 339-349.

Received	October 16, 2019
Revised	October 16, 2019
Accepted	November 14, 2019