경제성 최대화 곡선을 활용한 치수 사업의 최적 우선 순위 연구

Study on Optimum Priority of Flood Control Projects Using the Maximized Economic Curve

주홍준* · 이태우** · 김정욱*** · 김덕환**** · 김수진***** · 김형수*****

Joo, Hongjun*, Lee, Taewoo**, Kim, Jeongwook***, Kim, Deockhwan****, Kim, Soojun*****,
and Kim, Hung Soo*****

Abstract

This study compares and considers various economic evaluation methods for flood control and determines flood control priority. Economic evaluation is an essential factor to be considered in the establishment of flood control steps. It is also a way of reasonably analyzing the feasibility of a flood control project and the benefits for disaster prevention while determining the investment priorities of such projects. Therefore, it is necessary to project priority by selecting the economic evaluation method that meets the current condition and budget. For this purpose, this study constructed a database for twenty-eight cities and counties in Chungcheong province, using an improvement method. The characteristics were then examined and compared on the basis of three economic evaluations: Benefit/Cost (B/C), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Weight Average Profit Index (WAPI). In addition, it was possible to arrive at a result that reflected each evaluation method well through the proposal of a Maximized Economy Curve (MEC), which accounts for both economic efficiency and the priority of flood control projects according to evaluation methods. The MEC is meaningful in that it presents the selection aspect of the economic evaluation method and the optimal business priority.

Key words : Priority of Flood Control Project, Benefit/cost, Net Present Value, Internal Rate of Return, Maximized Economic Curve

요 지

본 연구는 치수 사업에서의 다양한 경제성 평가 방법을 비교 및 고려하여 방안을 도출하고 그에 따른 최적 사업 우선순위를 결정하고자 한다. 경제성 평가는 치수 수립 단계에서 고려되어야 하는 필수적인 요소이며 치수 사업의 우선순위 결정에서 사업의 타당성과 재해 방지를 통한 편익을 합리적으로 분석해주는 방법이다. 따라서, 현재 치수 상황 및 예산과 부합하는 경제성 평가 방법을 도출하여 효율적인 사업 우선순위를 정립할 필요가 있다. 이를 위해, 본 연구에서는 충청도 28개 시·군을 대상으로 개선법을 이용하여 DB를 구축한 뒤, 편익/비용(B/C), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR)의 3가지 경제성 평가를 비교하였으며, 가중평균수익성지수(WAPI)의 적용을 통해 특징을 검토하였다. 또한, 평가 방법별의 경제적 효율과 사업 우선순위를 동시에 고려한 경제성 최대화 곡선(Maximized Economy Curve, MEC)의 제안을 통해 각각의 평가방법을 잘 반영하는 결과를 구성할 수 있었다. 경제성 최대화 곡선은 경제성 평가 방법의 선정적인 측면과 최적 사업 우선 순위를 제시하였다는 점에서 의미가 있다고 판단된다.

핵심용어 : 치수 사업 우선순위, B/C, 순현재가치, 내부수익률, 가중평균수익성지수, 경제성 최대화 곡선

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

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

**인하대학교 사회인프라공학과 석사과정(E-mail: love10406@nate.com)

Master's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

***정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 박사과정(E-mail: love10406@nate.com)

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

****정회원, 인하대학교 수자원시스템연구소 박사후연구원(E-mail: kingthekhan@naver.com)

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

*****정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 조교수(E-mail: sk325@inha.ac.kr)

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

*****교신저자, 정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수(Tel: +82-32-874-0069, Fax: +82-32-876-9787, E-mail: sookim@inha.ac.kr)

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

1. 서 론

전 세계적으로 해마다 증가하고 있는 집중호우 및 태풍 등의 기상이변을 대비하기 위한 치수 사업은 그 중요성을 강조해도 부족함이 없다. 우리나라의 재해예방사업은 1995년부터 규모가 지속적으로 증가하여 2017년까지 총 7조 6,015억원이 투입이 되었다(MOIS, 2017b). 그 중에서도 치수 분야는 재해예방사업 내에서도 방대한 규모를 차지하고 있으며, 매년 막대한 예산이 투입되고 있다. 하지만, 예산이 사업 투자 지역에 체계적이고 효율적으로 이루어지지 않기 때문에 재정적 낭비를 비롯한 경제적인 문제가 뒤따르고 있는 실정이다(Joo, Kim, et al., 2018).

경제성 평가는 치수 사업의 우선순위 결정 측면에서 사업의 타당성과 재해 방지를 통한 편익을 합리적으로 분석해 주기 때문에 치수 수립 단계에서 필히 고려되어야 하는 중요한 요소임을 부인할 수 없다. 따라서, 치수 상황 및 예산과 부합하는 경제성 평가를 선정 또는 개발하고 그에 따른 최적 우선 순위를 정립하여 사업의 효율을 극대화 할 필요가 있다.

치수 사업에서의 경제성 평가 방법은 중요한만큼 많은 연구가 진행되어져 왔다. 국외에서의 BTRE (2002)에서는 과거 오스트리아에서 발생한 홍수피해 사례를 통해 편익항목의 측정 방법을 제시하고 있으며 피해를 회피함으로써 얻어지는 부분을 편익으로 간주하여 현재의 위험(existing risk), 미래 위험(future risk), 잔여 또는 계속적인 위험(residual or continuing risk) 등으로 제시한 바 있다. Venton and Venton (2004)은 수해 예방을 위한 인도 비하르 지방의 여러 사업의 복합적인 효과는 투자 금액 1단위당 3.76의 효과를 나타내는 것으로 분석하였다. FEMA (2005)에서는 미국의 경우 1 달러를 재해예방에 투자하면 사회 전체적으로 4 달러의 비용이 절감되는 효과가 있는 것으로 분석하였다. 또한, MMC (2005)에서는 재해경감에 대한 비용과 편익의 피해저감을 구체적으로 정의하였으며, 경제성 분석을 위해 HAZUS 프로 그램과 편익 전환 방법을 제시한 바 있다.

국내의 MOCT (2001)에서는 하천개수사업의 투자특성을 분석하고 경제성 평가 도구인 간편법의 문제를 해결하기 위해 편익추정, 비용추정등의 개선안을 제시하였다. Lee et al. (2006)은 다차원 홍수피해 산정법(Multi-Dimensional Flood damage Analysis, MDFA)을 보정하여 도립천의 지하 방수로 사업에 적용한 결과 비용-편익을 6.75로 추정한 바 있다. Heo (2013)는 자연재해위험지구 정비사업의 효과분석을 비용편익분석의 정량적 분석과 만족도 및 정비사업 전·후의 피해경감효과에 대한 설문조사로 정성적인 분석을 실시하였고, 이에 대한 타당성을 분석하였다.

우선 순위를 설정하는 주요 이유는 합리적이고 효율적인 자원 배분에 있다. 자원이라는 것은 주로 투자에 대한 물적 자원을 말하는 것이며 예산, 즉 투자 비용이라고 할 수 있다.

하지만 투자 비용은 무한한 요소가 아닌 한정된 요소이기 때문에 이를 고려하여 적절한 경제성 평가가 이루어져야 한다. 하지만, 치수 사업에서의 경제성 평가는 분석 도구 내에서의 단일적인 방법만을 고려하고 있으며, 국내의 풍수해저감종합계획에서 쓰이고 있는 편익/비용(Benefit-cost, B/C)이 그 대표적인 예이다. 이를 극복하기 위해 현재 예비타당성조사에서는 여러 평가 방법을 제안하고 있으나 단순히 비교하는 것에 그치고 있으며, 평가 방법의 채택적인 측면은 여전히 기술자의 몫으로 돌리고 있다.

본 연구에서는 시범지역을 대상으로 경제성 평가 도구를 이용하여 DB를 구축한 후, B/C를 비롯한 순현재가치, 내부수익률, 가중평균수익성지수 등의 다양한 경제성 평가 환경을 적용하여 특징을 비교 및 검토하였다. 이를 통해 방법 간의 특징을 고찰하고 경제성 최대화 곡선의 제안을 통해 평가 방법을 개선하고 최적화된 치수 사업 우선순위를 제시하였다.

2. 경제성 평가를 위한 이론적 배경

2.1 경제성 평가 방법

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. 또한, 각종 공공지출의 경제성 분석으로 사회적 비용과 사회적 편익의 비교결과에 의해 최소한 자원의 최적 이용을 도모하는 이론적 기법인 동시에 현실적인 수단이라고 할 수 있다. B/C 비율을 수식으로 정의하면 다음과 같다(Eq. 1).

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

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

투자의사결정에 있어서 1보다 크면 사업성이 있다고 판단할 수 있으며, 복수의 투자안일 경우 BC 값이 클수록 사업에 대한 경제성이 있는 것으로 판단한다.

순현재가치(Net Present Value, NPV)는 투자로부터 기대되는 미래의 현금 유출입액을 자본비용으로 할인한 순현재금유입의 현재가치에서 순현재금유출의 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. 2와 같이 표현할 수 있다.

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

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.

투자의사결정기준은 투자안의 NPV가 0보다 크면 그 안을 채택하며, 복수의 투자안일 경우 NPV값인 가장 큰 투자안을 우선적으로 채택한다.

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. 3와 같이 표현할 수 있다.

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

내부수익률은 기회비용의 측면에서 평가한 사업의 수익성 지표로써, 사업의 규모에 의존하지 않는다는 장점이 있으나, 수익성이 극히 낮거나 높은 경우 계산되지 않을 수도 있다.

순현재가치와 내부수익률의 관계는 할인율(K)이 내부수익률보다 작으면 순현재가치는 양(+)의 값을 가지고, 할인율이 내부수익률보다 클 경우 순현재가치는 음(-)의 값을 가지게 되기 때문에 상호간의 의사결정이 같은 것임을 알 수 있다(Fig. 1).

Fig. 1. Relationship Between NPV and IRR

2.2 가중평균수익성지수(Weighted Average Profitability Index, WAPI)

가중평균수익성지수(Weighted Average Profitability Index, WAPI)는 투자안에 투자하고 남은 유효자금의 기회비용까지 고려하여 가중평균한 수정 수익수 지수를 일컫는다. 예를 들어, A와 B라는 지역이 있다면 두 지역에 대한 투자 규모와 B/C를 고려하여 두 지역간의 투자우선순위를 정하는 방식이다. 가중평균수익성지수는 B/C, 순현재가치, IRR 등의 경제성 평가 결과가 상이할 때 효과적인 평가 방법으로 알려져 있으며 이를 수식으로 표현하면 Eqs. 4, 5와 같다.

$$WAPI_A = B_A / C_A \quad (4)$$

$$WAPI_B = C_B / C_A \times B_B / C_B + (C_A - C_B) / C_A \times 1 \quad (5)$$

여기에서, B_A / C_A 및 B_B / C_B 는 A와 B지역의 B/C, C_A 및 C_B 는 A와 B지역의 비용을 말한다.

2.3 경제성 최대화 곡선(Maximized Economy Curve, MEC) 제안

경제성 평가에서 B/C는 사업 경제성의 타당성을 증명하고 순현재가치는 사업 경제성의 규모를 결정하는데 이용되고 있으며, 내부수익률은 투자 계획의 기회비용을 측정할 때 이용되고 있다. 경제성을 평가할 때 이들의 장·단점은 각각 존재하며, 어느 평가 방법에 우선순위를 책정할지는 많은 의견이 분분한 실정이다.

이를 위해, 본 연구에서는 평가 방법별 간의 경제적인 효율성과 그에 따른 사업 우선순위를 동시에 고려하는 경제성 최대화 곡선(Maximized Economic Curve, MEC)을 제안하였다. 경제성 최대화 곡선은 경제성 평가별 결과에 따라 우선순위가 높은 지역순으로 배열한 후, 그에 따른 경제성 효율의 관계를 표현한 곡선이며 우선순위 및 경제적 효율은 0~1사이로 정규화하여 표현한다. 경제성 최대화 곡선은 다음과 같은 개념식으로 정의할 수 있다(Eq. 6).

$$\text{Maximized Economy Curve} = \text{Max}(B/C, BNPV, BIRR) \quad (6)$$

예를 들어, A-E라는 5개의 사업 지역 중에 B/C, 순현재가치, 내부수익률에 따른 경제성 효율과 사업 우선순위가 상이하다면, Fig. 2(a)와 같이 경제성 효율을 y축으로 하고 그에 따른 우선순위를 x축으로 하는 2차원의 그래프로 표현할 수 있다. 또한, 이들 방법간의 관계를 통해 Fig. 2(b)와 같은 최적의 경제성 곡선을 제시할 수 있다.

Fig. 2. Example of MEC

3. 경제성 평가별 분석

3.1 대상지역 선정

국내의 치수를 비롯한 방재에 대한 계획 및 투자 대책은 행정구역별로 이루어지고 있기 때문에 이를 고려할 필요가 있다(Joo Lee, et al., 2018). 따라서, 본 연구에서는 시범지역으로 대전광역시, 세종특별자치시를 포함하는 충청도의 시·군을 대상으로 하였다(Fig. 3). 해당 지역은 해당 지역은 2개의 광역자치단체 및 11개의 시와 15개의 군을 포함한 총 28개의 시군으로 구성되어 있으며 대도시, 중소도시, 해안도시, 산지지역, 촌락지역 등이 분포해 있기 때문에 다양한 입지 유형에 따른 경제성 평가 결과를 고려할 수 있을 것이다.

3.2 경제성 평가 도구 선정

경제성 평가를 위한 대표적인 도구로는 간편법(원단위

법), 개선법(회귀분석법), 다차원법이 존재한다. 간편법은 산정 방식이 용이하나 다른 평가 도구에 비해 정확하게 산정되지 못하기 때문에 최근에는 자주 쓰이고 있지 않으며, 다차원법은 침수면적과 피해와의 관계를 도출하기 위해서는 많은 전문인력과 비용이 필요함에 따라 본 연구와 같은 광범위한 지역에 적용하기에는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 자연재해위험개선지구 관리지침(MOIS, 2017c) 및 시·군 등 풍수해저감종합계획 세부수립기준(MOIS, 2017a)에서 권고하고 있는 개선법을 이용하였다(Fig. 4 & Table 1).

개선법의 편익 요소는 해당 지역을 대도시, 중소도시, 전원도시, 농촌, 산간으로 구분한 후 인명피해, 이재민 피해, 농작물 피해에 대하여는 간편법을 이용하고, 건물피해액, 농경지 피해액, 공공시설물 피해액, 기타 피해액은 재해연보에 의거하여 도시유형별 침수면적·피해액 관계식(Table 2)

Fig. 3. Location Map of Area

Fig. 4. Composition of Improvement Method

Table 1. Summary of Improvement Method (MOIS, 2017c)

Cost	Benefit
<ul style="list-style-type: none"> Construction cost (embanking, shore protection, structure, compensation) Residual value Maintenance cost 	<ul style="list-style-type: none"> Person & Victim damage Crop damage Public facility damage Other damage (Building & Agricultural land damage etc.)
<ul style="list-style-type: none"> Total cost 	<ul style="list-style-type: none"> Total benefit
<p>① Person damage: number of person damage per flooded area (person/ha) × damage unit (won/person) × flooded area (ha)</p> <p>② Victim damage: number of victim damage per flooded area (person/ha) × days to evacuate (daily) × daily average national income (won/person · daily) × flooded area (ha)</p> <p>③ Crop damage: Flooded area of agricultural land(ha) × amount of harvest(amount/ha) × crop damage rate(%) × crop price (won/amount)</p> <p>④ Public facility damage: using the flooded area - damage relational formula</p> <p>⑤ Building & Agricultural land damage: using the flooded area - damage relational formula</p> <p>⑥ Other damage: using the flooded area - damage relational formula</p>	

Table 2. Flooded Area - Damage Relational Formula (MOIS, 2017c)

Target area	City type	Constant term	Flooded area	Goodness of fit
Metropolitan city	Building	0.23294	0.245	0.63
	Agricultural land	0.09896	0.288	0.91
	Public facility	0.53365	0.149	0.55
	Other	0.38350	1.741	0.44
Small & Medium city	Building	0.55283	0.182	0.52
	Agricultural land	0.63246	0.15	0.50
	Public facility	0.85311	0.06	0.45
	Other	0.12471	0.356	0.54
Garden city	Building	0.13849	0.302	0.78
	Agricultural land	0.00528	0.353	0.80
	Public facility	0.38754	0.215	0.51
	Other	0.11562	0.31	0.64
Rural region	Building	0.01164	0.286	0.95
	Agricultural land	0.11744	0.226	0.84
	Public facility	0.38670	0.157	0.63
	Other	0.49185	0.13	0.62
Mountainous region	Building	0.41041	0.271	0.72
	Agricultural land	0.64000	0.165	0.65
	Public facility	0.67713	0.148	0.50
	Other	0.27659	0.332	0.72

을 설정한 후 피해액을 산정할 수 있다.

비용 요소는 실시설계가 완료된 지역에 대하여는 실시설계에서 계상된 공사비, 잔존가치, 유지관리비 등으로 산출하고, 실시설계가 완료되지 않은 지역은 개략 공사비에 의거하여 산정하도록 제시되어 있다. 앞선 각 편익과 비용을 합산하여 연평균 총 비용과 총 편익을 도출할 수 있으며, 비용과 편익에 따라 경제성 평가 방법을 달리하여 여러 가지 경제성 대안을 세울 수 있을 것이다.

3.3 경제성 평가를 위한 DB 구축

본 연구에서는 시범 지역인 충청도 28개 시·군을 대상으로 경제성 평가를 위한 DB를 구축하였으며, 재해연보를 비롯한 기타 자료는 자료의 보유 상태가 온전한 2016년을 기준으로 하였다. 비용 요소의 공사비 및 사업비 같은 경우 해당 시군내에 수립된 실시설계를 모두 고려하기에는 현실적으로 어렵다. 따라서, 공사비에 영향을 미치는 인자와의 상관 관계를 이용하여 공사 종류별 단가를 제시한 바 있는 Shin (2008)의 연구를 인용하였으며, 해당 연구에서 제시하는 개략공사비를 참고하여 2016년 기준으로 환산한 후 본 연구에 적용하였다(Table 3).

편익 요소는 Table 1에 제시된 산정 방식에 의거하여 인명(사망, 부상) 및 이재민 피해액, 농작물 피해액, 기타(건물, 농경지, 공공시설 등) 피해액으로 구분하여 산정하였다.

경제성 평가를 위한 분석기간은 구조물의 내수년수를 고려하여 일반적으로 50년을 적용하고 있으며, 년수에 따른 할인율(이자율)은 5.5%를 적용하고 있다(KDI, 2008). 따라서, 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.

경제성 평가에 있어서 핵심 요소인 총 비용과 총 편익의 산정 근거는 총 비용은 공사비와 유지관리비를 합산한 값에 잔존가치를 공제한 값으로 표현할 수 있으며, 총 편익은 인명 및 이재민 피해액, 농작물 피해액, 기타 피해액을 합산한 값으로 표현할 수 있다(Table 4). 편익 요소의 인명 피해와 기타 피해액처럼 세부 요소간에 경제성에서 차이를 보이는

것은 중요도의 인식에 따라 세부 요소의 산정 요율을 달리 책정함으로써 나타난 것에 기인한다.

3.4 경제성 평가별 결과

앞서 산정된 DB 구축을 통해 시범지역을 대상으로 B/C, 순현재가치, 내부수익률을 각각 산정하였다. 각 경제성 평가의 산정 근거는 앞서 제시한 Eqs. 1~3을 적용하였으며, 각 경제성 평가의 산정값에 의한 사업 우선 순위는 Table 5와 Fig. 5에 제시하였다.

그 결과, 충청도 일대의 경제성은 전반적으로 지역간에 편차를 보이는 것으로 나타났다. 괴산군은 B/C와 NPV의 값이 1순위의 값을 보였으며, 이는 해당 지역의 과거 인명피해를 비롯한 침수로 인한 건물 피해가 많음에 따라 그에 대한 저감 효과의 편익이 큰 것에 기인한다. 대전은 도시계획 등의 정비로 인해 투자 비용이 다소 적게 책정됨에 따라 B/C가 순현재가에 비해 크게 도출되어졌다고 판단된다.

내부수익률은 총 28개의 지역 중 19개 지역이 기준 할인율인 5.5%보다 낮게 도출되었거나 산정되지 않음으로써 경제성이 없는 것으로 나타났다. 이는, 내부수익률의 수익이 발생구조에 따라서 계산되지 않는다는 점과 근사값을 찾지 못하거나 많은 내부수익률이 도출되었던 경우에 신뢰적인 값을 측정할 수 없는 구조에 따른 결과와 부합한다. 따라서, 본 연구에서의 내부수익률은 다수의 결측값으로 인하여 경제성 평가 방법으로는 부적합한 것으로 분석되었다.

B/C는 제천, 진천 등을 포함한 9개의 지역에서 1보다 작은 값을 보임으로써 경제성이 없는 것으로 나타났다. 또한, 순현재가치도 9개의 동일한 지역에서 음(-)의 값을 보임으로써 B/C와 동일한 결과를 보였다. 즉, B/C와 순현재가치를 고려한 결과는 총 28개의 지역 중 19개의 지역이 치수 사업 수립시에 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

상대적인 측면을 고려한 치수 사업의 우선순위를 결정하기 위해서는 지역간의 경제성 평가별에 따른 수치적인 경향이 완벽하게 동일해야 한다. 하지만, 충청도 28개 시군의 B/C와 순현재가치는 그 경향이 일정치 않기 때문에 우선순위에 있어서 상이한 결과를 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 경제성 평가 방법에 따른 사업 우선순위를 선정함에 있어서 혼란을 야기할 수 있을 것이다.

Table 3. Standard Price by Major Construction Type (Shin, 2008)

Type of construction	Unit price (won) - 2008	Unit price (won) - 2016	Remarks.
■ Embanking	426,672	500,486	Standard unit price/m(won)
■ Shore protection	373,925	438,614	Standard unit price/m(won)
■ Structure	Unit cost per facility	Unit cost per facility	-
■ Secondary	23.21	27.22	Standard rate(%)
■ Etc.	8.10	9.50	Standard rate(%)

Table 4. Database Structure for Economic Evaluation

District	Cost (million won)				Benefit (million won)			
	①	②	③	(①+②-③)	④	⑤	⑥	(④+⑤+⑥)
	Construction cost	Maintenance cost	Residual value	Total cost	Person & Victim damage	Crop damage	etc.	Total Benefit
Daejeon	64,542	5,464	23,252	46,754	720,129	76	1	720,206
Cheongju	236,741	20,042	85,289	171,494	469,968	39	4	470,011
Chungju	491,647	41,622	177,122	356,147	461,520	563	4	462,086
Jecheon	63,230	5,353	22,779	45,803	40,692	340	1	41,034
Boeun	36,124	3,058	13,014	26,168	39,327	456	5	39,788
Okcheon	16,414	1,390	5,913	11,890	15,168	112	1	15,280
Yeongdong	242,239	20,507	87,270	175,477	1,131,097	536	742	1,132,376
Jeungpyeong	1,268	107	457	919	6,558	22	0	6,581
Jincheon	344,049	29,126	123,947	249,227	45,795	32	7	45,834
Goesan	67,586	5,722	24,349	48,959	1,183,025	584	812	1,184,422
Eumseong	60,448	5,117	21,777	43,788	40,489	363	5	40,857
Danyang	191,063	16,175	68,833	138,405	562,749	266	184	563,199
Cheonan	268,303	22,714	96,659	194,358	479,540	2,925	4	482,469
Gongju	240,215	20,336	86,540	174,011	708,501	12,207	9	720,717
Boryeong	446,801	37,825	160,965	323,661	51,079	1,204	2	52,285
Asan	163,314	13,826	58,836	118,304	373,542	1,769	2	375,314
Seosan	318,258	26,943	114,656	230,545	69,845	11,376	4	81,225
Nonsan	168,671	14,279	60,766	122,184	835,682	2,411	12	838,105
Gyeryong	10,146	859	3,655	7,350	3,181	4	0	3,185
Dangjin	207,730	17,586	74,837	150,479	103,951	2,523	9	106,483
Geumsan	347,761	29,441	125,285	251,917	714,619	82	296	714,997
Buyeo	76,532	6,479	27,572	55,440	116,397	21,638	43	138,078
Seocheon	27,223	2,305	9,807	19,720	68,559	4,085	15	72,658
Cheongyang	25,044	2,120	9,022	18,142	43,682	10,308	6	53,996
Hongseong	104,425	8,840	37,620	75,645	53,110	2,387	9	55,506
Yesan	17,883	1,514	6,442	12,954	44,184	3,719	6	47,908
Taeon	168,450	14,261	60,686	122,025	3,780	15,233	0	19,014
Sejong	243,279	20,595	87,644	176,230	431,713	1,357	3	433,074

Table 5. Results by Economic Evaluation

District	B/C		NPV (million won)		IRR (%)	
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank
(1) Daejeon	15.40	2	673,452	4	38%	
(2) Cheongju	2.74	13	298,516	8	-	
(3) Chungju	1.30	18	105,939	12	-	
(4) Jecheon	0.90	21	-4,770	22	-	
(5) Boeun	1.52	17	13,620	17	0%	
(6) Okcheon	1.29	19	3,391	19	-1%	
(7) Yeongdong	6.45	5	956,899	2	-	
(8) Jeungpyeong	7.16	3	5,662	18	19%	
(9) Jincheon	0.18	26	-203,394	27	-	
(10) Goesan	24.19	1	1,135,463	1	54%	
(11) Eumseong	0.93	20	-2,931	20	-3%	
(12) Danyang	4.07	7	424,794	7	9%	
(13) Cheonan	2.48	15	288,111	9	4%	
(14) Gongju	4.14	6	546,706	5	-	
(15) Boryeong	0.16	27	-271,375	28	-	
(16) Asan	3.17	10	257,010	10	6%	
(17) Seosan	0.35	25	-149,320	26	-	
(18) Nonsan	6.86	4	715,921	3	18%	
(19) Gyeryong	0.43	24	-4,165	21	-6%	
(20) Dangjin	0.71	23	-43,995	24	-	
(21) Geumsan	2.84	12	463,081	6	-	
(22) Buyeo	2.49	14	82,639	13	4%	
(23) Seocheon	3.68	9	52,938	14	8%	
(24) Cheongyang	2.98	11	35,854	15	6%	
(25) Hongseong	0.73	22	-20,139	23	-	
(26) Yesan	3.70	8	34,954	16	8%	
(27) Taean	0.16	28	-103,011	25	-	
(28) Sejong	2.46	16	256,843	11	-	
Economy / Non-economy	19 / 9		19 / 9		9 / 19

Fig. 5. District Ranking based on Economic Evaluation (B/C, NPV)

3.5 가중평균수익성지수를 활용한 경제성 평가 검토

경제성 평가 결과에 따른 사업 우선 순위의 상이한 문제를 해결하기 위해 Eqs. 4 & 5를 이용하여 가중평균수익성지수를 산정하였다. 본 연구에서는 대전시를 기준으로 하여 가중평균수익성지수를 산정하였으며, 여타 지역을 기준으로 하여도 결과에 따른 사업 우선 순위는 동일하다. 산정을 통한 B/C와 순현재가치의 비교 결과는 Table 6과 같다.

그 결과, 가중평균수익성지수는 9개의 지역에서 1보다 작은 값을 보임으로써 경제성이 없는 것으로 나타났으며 B/C와 순현재가치와 동일한 결과를 보였다. 하지만, 치수사업의 우선 순위에서는 순현재가치와 동일한 결과를 보였으며, 이는 가중평균수익성지수의 기준이 되는 지역의 가중평균이 동일함에 따라 상대적인 현금흐름 차이의 평가로 인한 결과라 판단된다. 즉, 기준이 되는 지역의 가중치(B/C)가 1로 책정되고 상대 지역의 투자 차이를 고려하였기 때문에 투자 흐름에 전적으로

영향을 받을 수 밖에 없는 구조인 것이다. 따라서, 가중평균수익성지수는 현금 흐름을 고려한 순현재가치와의 치수 사업 우선순위의 동일함으로 인하여 차별화가 되지 않으므로 본 연구에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.

4. 경제성 최대화 곡선을 활용한 치수 사업 우선순위 결정

4.1 기존 평가 방법 구축

경제성 최대화 곡선을 활용하기 위해 B/C 및 순현재가치에 따른 지역별 사업 우선순위를 구축하였다. 구축 방식은 앞서 언급한 바와 같이, 치수 사업에 대한 경제성 효율과 우선 순위가 높은 지역을 차례대로 나열한 후 BC 및 순현재가치의 비교를 통하여 경제성을 비교하는 방식으로 진행하였으며, 2개 평가 방법의 부합을 위해 0~1사이의 정규화로 표현하여 구성하였다(Table 7 & Fig. 6).

Table 6. Comparison of B/C, NPV and WAPI

District	B/C		NPV (million won)		WAPI	
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank
(1) Daejeon	15.40	2	673,452	4	15.40	4
(2) Cheongju	2.74	13	298,516	8	7.38	8
(3) Chungju	1.30	18	105,939	12	3.25	12
(4) Jecheon	0.90	21	-4,770	22	0.89	22
(5) Boeun	1.52	17	13,620	17	1.28	17
(6) Okcheon	1.29	19	3,391	19	1.07	19
(7) Yeongdong	6.45	5	956,899	2	21.46	2
(8) Jeungpyeong	7.16	3	5,662	18	1.12	18
(9) Jincheon	0.18	26	-203,394	27	-3.35	27
(10) Goesan	24.19	1	1,135,463	1	25.27	1
(11) Eumseong	0.93	20	-2,931	20	0.93	20
(12) Danyang	4.07	7	424,794	7	10.08	7
(13) Cheonan	2.48	15	288,111	9	7.10	9
(14) Gongju	4.14	6	546,706	5	12.43	5
(15) Boryeong	0.16	27	-271,375	28	-4.83	28
(16) Asan	3.17	10	257,010	10	6.46	10
(17) Seosan	0.35	25	-149,320	26	-2.44	26
(18) Nonsan	6.86	4	715,921	3	16.26	3
(19) Gyeryong	0.43	24	-4,165	21	0.91	21
(20) Dangjin	0.71	23	-43,995	24	0.01	24
(21) Geumsan	2.84	12	463,081	6	10.90	6
(22) Buyeo	2.49	14	82,639	13	2.30	13
(23) Seocheon	3.68	9	52,938	14	2.04	14
(24) Cheongyang	2.98	11	35,854	15	1.55	15
(25) Hongseong	0.73	22	-20,139	23	0.52	23
(26) Yesan	3.70	8	34,954	16	1.67	16
(27) Taean	0.16	28	-103,011	25	-1.53	25
(28) Sejong	2.46	16	256,843	11	6.46	11
Economy / Non-economy	19 / 9		19 / 9		19 / 9	

Table 7. Establishment of Existing Evaluation Method to Utilize MEC

Economic ranking		District ranking by economic evaluation		Economic efficiency (normalization)	
Num.	Normalization	B/C	NPV	B/C	NPV
1	0.05	Goesan	Goesan	1.00	1.00
2	0.06	Daejeon	Yeongdong	0.99	0.99
3	0.08	Jeungpyeong	Nonsan	0.76	0.94
4	0.10	Nonsan	Daejeon	0.74	0.92
5	0.12	Yeongdong	Gongju	0.71	0.84
6	0.15	Gongju	Geumsan	0.54	0.78
7	0.18	Danyang	Danyang	0.53	0.75
8	0.21	Yesan	Cheongju	0.49	0.62
9	0.25	Seocheon	Cheonan	0.48	0.60
10	0.29	Asan	Asan	0.46	0.57
11	0.33	Cheongyang	Sejong	0.44	0.57
12	0.38	Geumsan	Chungju	0.43	0.40
13	0.43	Cheongju	Buyeo	0.41	0.35
14	0.48	Buyeo	Seocheon	0.41	0.33
15	0.52	Cheonan	Cheongyang	0.40	0.32
16	0.57	Sejong	Yesan	0.38	0.31
17	0.62	Boeun	Boeun	0.34	0.30
18	0.67	Chungju	Jeungpyeong	0.32	0.29
19	0.71	Okcheon	Okcheon	0.32	0.29
20	0.75	Eumseong	Eumseong	0.30	0.28
21	0.79	Jecheon	Gyeryong	0.29	0.28
22	0.82	Hongseong	Jecheon	0.28	0.28
23	0.85	Dangjin	Hongseong	0.28	0.26
24	0.88	Gyeryong	Dangjin	0.26	0.24
25	0.90	Seosan	Taeon	0.25	0.18
26	0.92	Jincheon	Seosan	0.25	0.15
27	0.94	Boryeong	Jincheon	0.24	0.12
28	0.95	Taeon	Boryeong	0.24	0.09

Fig. 6. Economic Efficiency Evaluation Considering Economy and Priority

검토 결과, 충청도 28개 시·군에서는 경제성에 따른 사업 우선순위에 따라 선택되는 방법이 상이한 것으로 나타났다. 예를 들어, 정규화된 수치의 약 0.38의 미만에서는 순현재가치의 결과가 상대적으로 경제적인 측면에서 우수한 것으로 나타났으며, 0.38~1의 구간에서는 B/C가 우세한 것으로 나타났다.

이러한 평가 방법의 역전 현상은 우선 순위가 높을수록 순현재가치의 편익 흐름이 상승하고, 우선순위가 낮을수록 현금흐름의 편차가 커져 오히려 B/C보다 낮게 책정이 되어 생긴 결과라 판단된다. 즉, 우선 순위가 진행될수록 비용 및 편익의 편차가 커짐에 따른 결과인 것이다.

B/C는 우선 순위가 진행될수록 순현재가치에 비해 비용 및 편익의 편차가 크지 않기 때문에 12위 이후부터는 효율적인 측면에서 B/C가 경제적으로 타당함을 보여준다. 다만, 이러한 결과는 단순한 경제성 효율 즉, 경제성의 수치적인 결과(y축)에만 의존한 것으로 사업의 경제적 우선순위(x축)를 동시에 고려하는 경제성 최대화 곡선을 도식화하여 최적 사업 우선순위를 제시할 필요가 있다.

4.2 치수 사업 우선순위 결정

본 연구에서는 치수 사업의 우선순위를 결정하기 위한 방안으로 경제성 최대화 곡선을 활용하였다. 경제성 최대화 곡선은 Fig. 2(b)에서와 같은 경로를 통해 사업 우선순위를 선정할 수 있다. 이를 용이하게 고려하기 위한 방안은 사업 우선순위가 0일 때 경제성 효율이 1이 되는 최적의 경제성을 가상의 점으로 설정하여 각 평가 결과와의 거리를 측정하는 방법이 있을 것이다. 즉, B/C와 순현재가치의 경제적 효율

및 사업 우선순위의 평가 결과가 (0,1)이라는 점에 가까울수록 최종적인 사업의 우선순위가 높음을 의미한다.

거리 측정 기법에는 유클리디안 거리(Euclidean Distance, EU), 시가 맨하튼(City Block), 체비셰프(Chebyshev) 등이 있으며 본 연구에서는 x와 y축이라는 2차원에서 가장 보편적으로 쓰이고 있는 유클리디안 거리 방법을 사용하였다. 유클리디안 거리는 Eq. 7와 같이 표현할 수 있다(Joo, 2012).

$$Euclidean\ Distance(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (7)$$

유클리디안 거리 기법을 이용하여 최적 경제성 경로를 추적하였으며, B/C 및 순현재가치와의 비교를 비롯한 최종 사업 우선순위는 Fig. 7 & Table 8과 같다.

경제성 최대화 곡선을 도식화한 결과, B/C와 NPV의 경제적 효율과 사업 우선 순위에 의해 적절하게 선정되어 구성되었다. 전반적인 특성은 4.2.1절에서 제시한 경제적인 효율을 잘 구현하였으나, 일부 구간에서는 사업의 우선순위로 인해 경제적 효율이 높음에도 불구하고, 최종 우선순위가 감소하는 현상을 보였다. 예를 들어, B/C에서 우선순위가 3위인 중평군은 경제적 효율이 좋은 순현재가치의 군(1~12위)에 속해있음에도 불구하고 6위로 책정됨에 따라 비교적 높은 순위에 위치하는 결과를 보였다. 또한, 2개의 평가 방법에 10위로 책정된 아산시 앞서는 우선 순위가 높은 지역에 밀려 12위로 책정됨을 알 수 있었다. 이러한 역전 현상들은 반복적으로 지속되다가 우선 순위가 진행되어 낮아지는 경우 경제적 효율성이 좋은 B/C로 수렴하는 결과를 보였다.

Fig. 7. Deriving MEC

Table 8. Optimum Flood Control Project Priority by MEC

Priority of flood project				
Ranking	B/C	NPV	Project control priority by MEC (Considering B/C & NPV)	Euclidean distance of MEC
1	Goesan	Goesan	Goesan	0.0473
2	Daejeon	Yeongdong	Daejeon	0.0616
3	Jeungpyeong	Nonsan	Yeongdong	0.0622
4	Nonsan	Daejeon	Nonsan	0.1005
5	Yeongdong	Gongju	Gongju	0.1997
6	Gongju	Geumsan	Jeungpyeong	0.2542
7	Danyang	Danyang	Geumsan	0.2608
8	Yesan	Cheongju	Danyang	0.3064
9	Seocheon	Cheonan	Cheongju	0.4349
10	Asan	Asan	Cheonan	0.4668
11	Cheongyang	Sejong	Sejong	0.5174
12	Geumsan	Chungju	Asan	0.5432
13	Cheongju	Buyeo	Seocheon	0.5536
14	Buyeo	Seocheon	Yesan	0.5736
15	Cheonan	Cheongyang	Chungju	0.7121
16	Sejong	Yesan	Buyeo	0.7793
17	Boeun	Boeun	Cheongyang	0.7940
18	Chungju	Jeungpyeong	Boeun	0.9095
19	Okcheon	Okcheon	Okcheon	0.9842
20	Eumseong	Eumseong	Eumseong	1.0307
21	Jecheon	Gyeryong	Jecheon	1.0600
22	Hongseong	Jecheon	Gyeryong	1.0685
23	Dangjin	Hongseong	Hongseong	1.0938
24	Gyeryong	Dangjin	Dangjin	1.1172
25	Seosan	Taeon	Seosan	1.1715
26	Jincheon	Seosan	Jincheon	1.1914
27	Boryeong	Jincheon	Boryeong	1.2052
28	Taeon	Boryeong	Taeon	1.2202

따라서, 경제성은 평가 방법에 따른 경제적 효율성과 사업 우선순위에 따라 최종 우선순위는 상이한 결과를 보이기 때문에 이를 고려한 사업 수립 계획이 이루어져야 할 것이다. 또한, 본 연구에서 제시하는 경제성 최대화 곡선은 경제성 평가 방법의 선정적인 측면과 최적 사업 우선 순위를 제시하였다는 점에서 의미가 있다고 판단된다. 다만, 본 연구에서의 최종 치수 사업 우선순위는 경제성만을 고려하여 이루어졌기 때문에, 향후에 홍수 취약성 지수 등을 고려하여 치수 사업의 우선순위를 결정하는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 충청도 28개 시·군을 대상으로 개선법을 이용하여 DB를 구축한 후, 편익/비용을 비롯한 순현재가치,

내부수익률, 가중평균수익성지수와의 경제성 결과의 비교를 통하여 다양한 경제성 평가 환경을 고려하였다. 이를 통해 방법간의 특징을 고찰하고 기존의 평가 방법들을 모두 고려하는 경제성 최대화 곡선의 제시를 통해 최종 사업 우선순위를 제시하였다. 본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 경제성 분석을 위한 DB 구축시 개선법을 적용하였으며, 비용 요소는 기존 연구의 개략공사비를 참고하여 구축하였다. 경제성 분석을 위한 분석기간은 구조물의 내수년수를 고려하여 50년을, 할인율은 5.5%를 적용하였으며, 잔존 가치는 50년 이후의 잔존가치로 가정하여 도출하였다.
- (2) 경제성 분석 결과, 충청도 28개 시·군의 경제성은 전반적으로 낮게 도출되었으며, 특히 내부 수익률은 19개 지역의 할인율이 5.5%보다 낮게 도출되거나 산정

되지 않음으로써 경제성이 없는 것으로 나타났다.

- (3) B/C 및 순현재가치의 경제성 평가 결과는 19개의 지역이 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 하지만, 상대적인 측면을 고려한 경제성 평가 방법의 결정에서는 지역간의 평가 결과에 따른 수치의 경향이 완벽하게 동일해야 하나, 경향이 일정치 않기 때문에 사업 우선순위가 상이하게 도출되었다. 사업 우선순위 도출을 위하여 가중평균수익성지수를 적용한 결과 순현재가치와 동일하게 결정되어 적용하는데 무리가 있을 수 있었다.
- (4) 지역간의 B/C 및 순현재가치의 경제적 효율과 사업 우선 순위를 고려하여 본 연구에서 제안한 경제성 최대화 곡선을 유클리디안 거리 기법을 통해 도식한 결과, 2개의 경제성 평가 방법을 잘 반영하는 결과를 구성할 수 있었다. 경제성 최대화 곡선은 경제성 평가 방법의 선정적인 측면과 최적 사업 우선 순위를 제시하였다는 점에서 의미가 있다고 판단된다.

감사의 글

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

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B121088-03).

References

BTRE (Bureau of Transport and Regional Economics). (2002). *Benefits of flood mitigation in Australia*.
 FEMA. (2005). Strategic plan: A nation prepared.
 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.
 Joo, H.J. (2012). *A study on optimal stage gauge network considering hydrologic similarity and importance of individual stage gauge station*. Master's thesis, Inha

University, Incheon, Korea.
 Joo, H.J., Lee, M.J., Choi, C.H., Kim, S.J., and Kim, H.S. (2018). A study on the selection of representative indicators of flood vulnerability assessment. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 335-346.
 Joo, H.J., Kim, S.J., Lee, M.J., and Kim, H.S. (2018). 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.
 Lee, K.H., Lim, W.S., Lee, D.Y., and Kim, H.S. (2006). Investigation on influence of the adjusted damage items of MD-FDA. *Proceedings of 2006 Annual Conference*, Korea Society of Civil Engineers, pp. 409-412.
 MOCT (Ministry of Construction and Transportation). (2001). *A study on improving economy of flood control project*.
 MOIS (Ministry of the Interior and safety). (2017a). *Criteria for establishing details of the comprehensive plan for flood damage reduction*.
 MOIS. (2017b). *Disaster risk improvement districts manual*.
 MOIS. (2017c). *Guidelines for improving natural disaster risk management*.
 MMC (Multihazard Mitigation Council). (2005). *Natural hazard mitigation saves: An independent study to assess the future savings from mitigation activities* (Vol. 2).
 Shin, J. (2008). *Development of framework for estimating approximate cost of river facility construction*. Master's thesis, Inha University, Incheon, Korea.
 Venton, C.C., and Venton, P. (2004). *Disaster preparedness programmes in India: A cost benefit analysis*. Humanitarian Practice Network, Network Paper No. 49, Overseas Development Institute.

Received	October 13, 2018
Revised	October 16, 2018
Accepted	October 29, 2018