大 韓 土 木 學 會 論 文 集
第32卷 第1B號 · 2012年 1月
pp. 41 ~ 51

PROMETHEE 기법을 이용한 댐 직하류 하천정비사업 투자우선순위 결정

Determination of Investment Priority for River Improvement Project at Downstream of Dams Using PROMETHEE

김길호* · 선승표** · 여규동*** · 김형수****
Kim, Gil Ho · Sun, Seung Pyo · Yeo, Kyu Dong · Kim, Hung Soo

Abstract

Sometimes, there exist many alternatives for doing a SOC project. However, the limitation of the fund requires the determination of investment priority for the alternatives. This may be performed according to the degree of importance of individual alternatives. Especially, the river improvement project at the downstream of dams has complex and various values and this characteristics make it difficult decision-maker to do reasonable determination. This study aims to determine an investment priority of 33 alternatives in the river improvement project at the downstream of dams using PROMETHEE method which has advantages in determining the priority. In this study, we determined evaluation criteria and attributes by considering the functions and objectives of the river improvement project at the downstream of dams. The eigenvector method in AHP was used to estimate the relative importance of evaluation criterion. Based on the estimation, we determined investment priority of 33 alternatives by PROMETHEE method and the priority of alternatives was derived in the order of Juam regulation dam, Unmun dam, Yongdam dam and so on. The results of this study could provide a reasonable standard to the decision-maker for the determination of investment priority of alternatives.

Keywords : *river improvement project, PROMETHEE, MCDM, AHP*

요 지

다양한 대안이 고려되는 SOC사업을 종합적으로 진행할 시 투입가능한 재원의 한계는 개별사업의 중요도를 바탕으로 한 투자우선순위를 필요로 한다. 특히, 댐 직하류 하천정비사업과 같이 내재된 가치가 복합적이고 판단기준이 다양한 경우 의사결정의 어려움에 직면할 수 있는데, 이는 다기준의사결정 기법을 활용함으로써 해결할 수 있다. 본 연구에서는 다기준의사결정 기법 가운데 다양한 대안을 고려할 수 있고, 투자우선순위 결정에서 장점이 있는 PROMETHEE을 활용하여 댐 직하류 하천정비사업 33개 대안에 대한 투자우선순위를 결정하였다. 이를 위해 댐 직하류 하천정비사업의 목적과 기능에 입각하여 7가지 세부 평가기준과 평가속성을 결정하였고, 평가기준별 가중치는 AHP 기법에서 제안하는 고유벡터법에 의해 산출하였다. 이를 바탕으로 PROMETHEE를 수행한 결과, 총 33개 대안 가운데 주암조절지댐, 운문댐, 용담댐 순으로 투자우선순위가 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시한 댐 직하류 하천정비사업의 투자우선순위는 향후 우선순위가 높은 대안을 대상으로 동시투자 혹은 단계적으로 투자하기 위한 의사결정자의 정책결정에 도움을 줄 것으로 판단된다.

핵심용어 : 댐 직하류 하천정비사업, PROMETHEE, 다기준의사결정, AHP

1. 서 론

하천은 지속적인 유지보수 및 관리가 부족할 시 하천 고유의 기능을 수행하지 못하거나 시대요구에 부합하는 새로운 하천역할을 담당하지 못하게 된다. 특히, 댐 직하류 하천구간은 댐 운영 제약요인의 해소, 댐 기능 회복, 치수적 안정성 확보, 댐운영 효율성 재고 등을 위하여 정비사업이 필수적으로 시행되어야 한다. 이러한 댐 직하류 하천정비사업은 최근 치수측면 만을 강조하던 사업에서 확장하여 하천유지유량 확보, 하천수질개선, 하천생태계 조성, 하천경관 및 공간조성, 지역 고유의 하천환경 어메니티(amenity) 개발 등과 같이 새로운 패러다임을 반영할 수 있도록 모색하고 있다. 개개의 댐 직하류 하천정비사업을 세부적으로 계획하기에 앞서 국내 산재된 대상구간에 대하여 이수, 치수, 환경생

*정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : kgh0518@gmail.com)
**인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : sunsp1105@gmail.com)
***정회원 · 인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원 · 공학박사 (E-mail : yeokd94@gmail.com)
****정회원 · 교신저자 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수 (E-mail : sookim@inha.ac.kr)

태 측면에서 다양한 조사가 수반되어야 한다. 또한, 조달가능한 재원에 한계가 있기 때문에 개별사업의 중요도를 평가, 투자우선순위(investment priority)를 결정하여야 하며 이로부터 단계적으로 사업을 실시할 필요가 있다. 이처럼 댐 직하류 하천정비사업은 내재된 가치가 복합적이고, 상대적인 중요도를 도출해 내는 과정에서 고려해야 할 판단기준이 다양하기 때문에 의사결정(decision-making)의 어려움에 직면할 수 있는데, 이는 다기준의사결정 기법을 활용함으로써 해결할 수 있다.

국내외 수자원 분야에서 다기준의사결정 기법은 다목적댐 사업, 이수·치수사업, 상하수도 개량 등 다양한 영역에서 활발히 사용되어 왔다. 국외의 경우 Ridgley(1992)가 AHP를 적용하여 가뭄이 물 수요량 및 공급량에 미치는 파급효과를 연구하였고, 가뭄 시 AHP에 의한 용수배분 방법론을 제시하기도 하였다(Ridgley, 1993). Bruen(2002)은 수자원계획과 유역관리를 위한 의사결정시스템에 AHP와 MAUT의 적용성을 비교, 연구하였으며, Jandric과 Srdjevic(2000)는 유고슬라비아의 NoviSad시에 최적의 지하수 저장공간을 찾는데에, Jaber와 Mohsen(2001)은 수자원 공급의 최적화 연구를 위하여 AHP를 적용한 바 있다. 치수분야에서는 Akter와 Simonovic(2002)이 AHP와 MAUT를 치수관리를 위한 홍수방어대안 분석과 집단의사결정에 활용하였다. 그리고 Jason 등(2007)은 도시유역의 홍수위험 경감과 비상대책 수립과정에서 ANP를 사용한 바 있다. 유럽지역에서는 순위선호기법(outranking method)의 활용사례가 많았는데, Raju 등(2000)은 스페인의 Flumen Monegros 관개지역 개발 가능성을 평가하기 위해 경제, 환경, 사회적 요인을 평가기준으로 구성하여 PROMETHEE와 ELECTRE를 이용하였고, Hyde 등(2004), Maragoudaki와 Tsakiris(2005), Hermans 등(2007)은 용수배분, 최적 홍수경감계획 수립, 하천관리 대안 결정과정에 각각 PROMETHEE를 활용한 바 있다.

국내의 경우 다양한 분야에서 여러 가지 목적을 위해 다기준의사결정 기법을 활용하고 있으며, 수자원 분야의 실무에서는 AHP 기법이 가장 활발히 적용되고 있다. PROMETHEE를 비롯한 AHP 외 기법은 실무에서 미미하게 사용되고 있긴 하나 대부분 연구수준에서 활용되는 실정이다. 적용사례를 살펴보면, 고석구 등(1992)은 AHP와 가중치법 등을 이용하여 다목적 저수지의 운영률을 평가하였고, 박태선(2002)은 하천관리의 효율성을 제고하고 현재의 하천등급 조정방안으로서 하천중요도 산정에 AHP를 적용한 바 있다. 이수부문에서는 가뭄관리 의사결정을 위해 의사결정나무를 활용한 연구(강인주와 윤용남, 2001, 2002; 김치영, 2001)가 있었으며, AHP를 이용하여 용수배분의 가중치 및 우선순위를 결정하기도 하였다(한국수자원공사, 2002; 이현재와 심명필, 2002; 이충성 등, 2004). 또한, 김길호 등(2009)은 AHP를 이용하여 금강유역 내 개발적지를 대상으로 소수력 투자우선순위를 결정한 바 있다. AHP와 관련된 연구가 대다수를 차지하고 있는 상황에서 최근에는 홍성준 등(2006)이 PROMETHEE와 ANP를 이용한 상수관망 위험도 평가를 연구하였고, 김우구(2006)는 AHP를 이용하여 산정한 가중치에 순위선호기법인 ELECTREE와 절충법을 적용하여 댐건설 사업 우선순위 결정방법을 제시하였다. 그리고 PROMETHEE를 활용하여 최성욱(2009)은 침수위험도 분석을, 남동성(2007)은 다목적댐 치수능력 증대방안을 모색하였고, 민완기(2009)는 소양호 상류유역 비점오염원 관리 우선순위 결정에 사용한 바 있다. 수자원 분야 외에서도 PROMETHEE를 활용하여 우선순위를 결정한 몇몇 사례가 있다(이정헌, 2007; 김홍석, 2008; 김정화, 2009; 이장영, 2010).

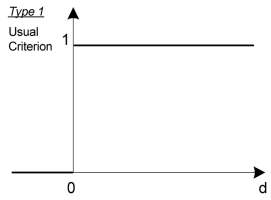
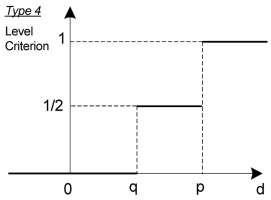
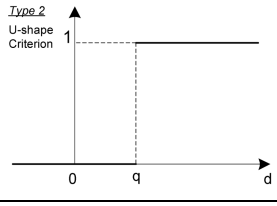
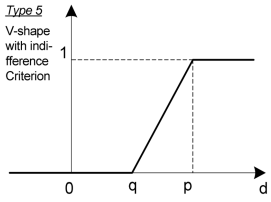
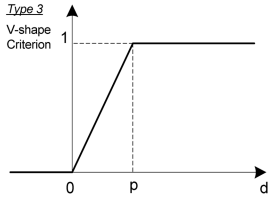
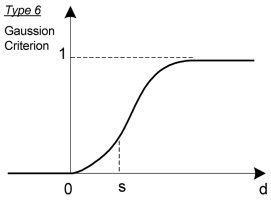
언급한 바와 같이 댐 직하류 하천정비사업 투자우선순위 결정과 같은 의사결정 문제는 단일기준이 아닌 다기준, 의사결정자의 주관적 판단이 아닌 보다 객관적이고 과학적인 방법이 요구된다. 즉, 의사결정자의 직관이나 주관적 상황에 의존한 의사결정이 아닌 다기준의사결정 문제의 현실을 이해하여 결정을 이끌어 낼 수 있는 방법이 필요하다. 특히, 비교대안의 수가 많거나 새로운 대안이 추가, 삭제의 여지가 있는 경우 PROMETHEE는 AHP 기법에 비해 보다 효율적인 비교가 가능하다(민재형과 송영민, 2003; 박석영, 2005). 또한, 본 연구와 같이 쌍대비교의 대상이 4개 이상인 경우 AHP기법에서는 순위 역전현상이 발생할 여지가 있음을 많은 연구에서 제기되고 있다(정은성, 2011). 따라서 본 연구는 댐 직하류 하천정비사업 투자우선순위 결정에서 AHP 기법의 적용상의 문제점을 극복하고 다양한 대안이 고려되는 투자우선순위 결정 상황에서 장점이 있는 PROMETHEE의 적용성을 검토해 보고자 한다.

2. PROMETHEE 기법

Brans와 Vincke(1985)에 의해 구체적으로 제시된 PROMETHEE(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)는 선호유출량(positive outranking flow)과 선호유입량(negative outranking flow) 개념을 이용하여 대안들의 순위선호를 도출하는 기법이다. 여기서, 순위선호란 대안 a가 대안 b보다 미흡하지 않은 대안이라고 판단되면 두 대안 a와 b의 수학적 지배관계가 존재하지 않더라도 대안 a를 선택하려는 의사결정자의 주관적 선호성향을 의미한다(Roy, 1991; Pirlot, 1997). PROMETHEE는 크게 평가기준(criteria)별 선호함수(preference function)의 결정, 선호지수(preference index) 계산, 선호유출량과 선호유입량 계산, 선호관계를 파악하여 대안별 순위를 결정하는 과정으로 구분된다. PROMETHEE에서는 선호도의 증감을 용이하게 판별하기 위하여 Table 1과 같이 이분형(usual criterion), U형(u-shape criterion), V형(v-shape criterion), 계단형(level criterion), 선형(v-shape with indifference criterion), 가우스형(gaussian criterion)의 6가지 선호함수와 그때의 관계식과 선호임계치(parameter)를 각각 정의하고 있다. 이때, 각각의 평가기준에 대한 선호함수의 종류와 선호임계치를 결정하는 문제는 의사결정자의 충분한 근거와 경험을 바탕으로 한 주관적인 결정에 의존한다.

2개 이상의 평가기준에 대한 사전 가중치(w_j)를 고려하는 경우, 식 (1)에 의해 선호지수를 구할 수 있다. 여기서, $P_j(a,b)$는 평가기준 j에 대한 대안 a와 대안 b의 평가점수 차이에 대한 평가자의 선호성향(0~1)을 의미하며, 선호지수인 $\pi(a,b)$가 0일 때 두 개 대안은 같은 선호도, 0에 가까울수록 a를 b에 비해 약간 선호, 1에 가까울수록 a를 b에 비해 많이 선호, 1인 경우는 a를 b에 비해 절대적인 선호를

Table 1. Types of Generalized Criteria for Preference Determination

Generalized criteria	Definition	Para-meter	Generalized criterion	Definition	Para-meter
	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ 1 & d>0\end{cases}$	-		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{1}{2} & q<d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$	$p,\ q$
	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ 1 & d>q\end{cases}$	q		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{d-q}{p-q} & q<d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$	$p,\ q$
	$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ \frac{d}{p} & 0\le d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$	p		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ 1-e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d>0\end{cases}$	s

의미한다.

$$\pi(a,b)=\frac{\sum_{j=1}^{k} w_j P_j(a,b)}{\sum_{j=1}^{k} w_j} \tag{1}$$

앞서 구한 선호지수를 바탕으로 식 (2a), (2b)에 의해 선호유입량(Φ^+)과 선호유출량(Φ^-)을 계산할 수 있다. 대안 a의 선호유입량인 $\Phi^+(a)$는 대안 a가 나머지 대안들 $x(x\in A)$를 지배하는 정도를 나타내며, 값이 클수록 대안 a가 우월하다는 것을 의미한다. 반면, 대안 a의 선호유출량인 $\Phi^-(a)$은 대안 a가 나머지 대안들에 지배받는 정도를 나타내며, 값이 클수록 대안 a가 열등함을 나타낸다.

$$\Phi^+(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(a,x) \tag{2a}$$

$$\Phi^-(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \tag{2b}$$

한편, PROMETHEE에는 대안들의 평가순위를 결정하기 위해 선호유출량과 선호유입량을 이용하는 PROMETHEE I과 선호의 순흐름량을 이용하는 PROMETHEE II가 있다. 우선, PROMETHEE I에서는 선호유출량과 선호유입량을 이용하되 대안간의 선호비교는 식 (3a)와 같은 선호관계(preference), 식 (3b)의 무차별한 관계(indifference), 식 (3c)의 비교 불가능한 관계(incomparability)로 구분된다.

$$aP^I b \ \text{ iff } \begin{cases}\phi^+(a)>\phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a)<\phi^-(b), \text{ or}\\ \phi^+(a)=\phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a)<\phi^-(b), \text{ or}\\ \phi^+(a)>\phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a)<\phi^-(b);\end{cases} \tag{3a}$$

$$aI^+ b \text{ iff } \phi^+=\phi^+ \text{ and } \phi^-(a)=\phi^-(b) \tag{3b}$$

$$aR^I b \ \text{ iff } \begin{cases}\phi^+(a)>\phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a)>\phi^-(b), \text{ or}\\ \phi^+(a)<\phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a)<\phi^-(b);\end{cases} \tag{3c}$$

PROMETHEE II에서는 PROMETHEE I에서 나타날 수 있는 비교 불가능한 경우를 배제하기 위해 식 (4)과 같은 순흐름량(net outranking flow, ϕ)을 정의하여 사용하며, 선호비교 조건은 선호관계인 식 (5a)와 무차별한 관계인 식 (5b)와 같이 구분된다.

$$\phi(a)=\phi^+(a)-\phi^-(a) \tag{4}$$

$$aP^I b \ \text{ iff } \ \phi(a)>\phi(b), \tag{5a}$$

$$aI^I b \ \text{ iff } \ \phi(a)=\phi(b) \tag{5b}$$

3. PROMETHEE 기법의 적용을 위한 기본 설계

3.1 분석절차

앞 장에서 설명한 바와 같이 PROMETHEE에서는 선호지수 계산 시 사전 결정된 가중치(weighting value)를 필요로 하므로 평가기준별 상대적 중요도를 합리적으로 결정해야 한다(Eckenrode, 1965). 이는 계층구조화 및 가중치 산정에 대한 구체적인 방법을 PROMETHEE가 제시하지 못하기 때문이다. 그렇기 때문에 과거의 충분한 경험 및 지식을 바탕으로 한 의사결정자들의 의견수렴을 통하여 평가기준의 가중치를 결정하는 것이 필요하며, 되도록 객관적이고 합리적인 방법에 의해 결정하는 것이 바람직하다. 이를 위해 본 연구는 PROMETHEE와 AHP, 두 가지 기법을 결합한 통합 의사결정모형을 활용한 Anagnostopoulos 등(2005)의 연구와 같이 가중치 산정 시 계층구조화 및 가중치 산정에 대한 이론적 근거를 제시하는 AHP 기법의 고유벡터법(eigenvector method)을 부분 활용하였다. 한편, 우선순위 결정과정에서는 대안 간 비교 불가능한 관계를 해결하여 절대적 순위 도출이 가능한 PROMETHEE II를 바탕으로 하였다. 본 연구에서의 전반적인 연구과정을 요약하면 Fig. 1과 같다.

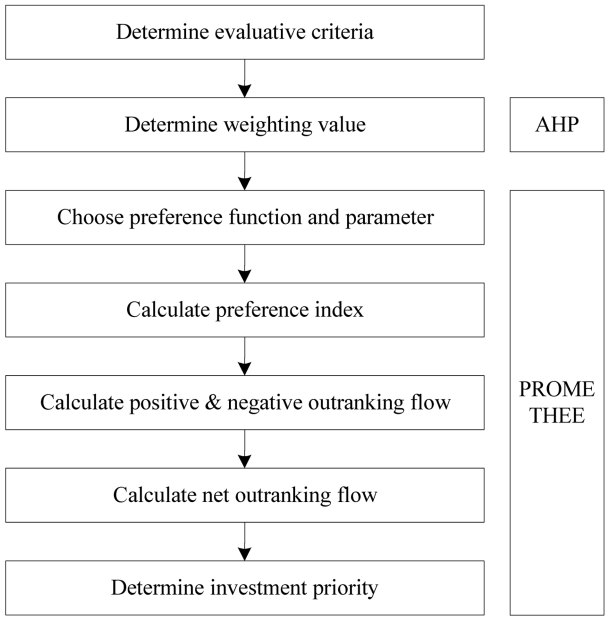


Fig. 1 Flowchart of Analysis Procedure

3.2 평가기준 선정

본 연구는 댐 직하류 하천정비사업의 필요성, 목적, 그리고 효과를 정확히 이해하고 있는 관련 전문가와의 브레인스토밍(brainstorming)을 통해 댐 직하류 하천정비사업 투자우선순위 결정시 고려되어야 할 중요요인들을 나열하고, 이들 요인 간의 공통성과 중복성을 확인하였다. 다음에는 해결하고자 하는 문제의 요소를 동질적인 집합으로 군집화하고 이 집합을 상이한 계층에 배열하기 위하여 의사결정 계층구조(hierarchical structure)를 Fig. 2와 같이 설계하였다. 우선, 상위계층(dimension)에는 댐 자체와 관련된 요소인지 하류하천과 관계된 요소인지에 따라 댐의 주요기능 회복(D1)과 하류하천 개선(D2)으로 구분하였다.

상위계층을 결정하였으면 상류계층의 하위 요인으로써 고려되어야 할 중요한 평가기준을 선정하여야 한다. 한편, 댐 직하류 하천정비사업에는 크게 하천 홍수소통능력 확보 및 댐 본연 홍수조절기능 회복을 위한 치수계획, 건천화 방지를 위한 하천유지용수 공급 계획, 하천공간 조성으로 인한 환경생태 개선 계획, 수리생태용량과 생물서식처를 고려한 사주 및 식생관리 계획이 포함되며, 이 가운데 댐의 주요기능 회복(D1)과 관계되는 요인으로써 공급량 회복(C1), 발전수량 회복(C2), 여수로 설계방류량 회복(C3)을 결정하였다. 여기서 공급량 회복은 본댐과 발전방류구 사이의 거리가 상당거리 떨어져 있는 다목적댐이나 용수전용 댐의 경우 별도의 하천유지용수 방류를 의미하므로 발전수량 인자와는 중복의 여지가 없을 것으로 판단된다.

하류하천 개선(D2)의 경우 기존 연구사례를 참고하여 결정하였는데 건설교통부(2004) 연구의 경우 홍수피해잠재능, 장기간위험도, 경제성분석, 생태자연도, 지역낙후도를 평가기준으로 하였고, 건설교통부(2007) 연구는 피해잠재성, 피해취약성, 경제성분석, 국토환경성, 지역간형평성을 평가기준으로 한 바 있다. 최근의 국토해양부(2010) 연구에서 유역종합치수계획의 의사결정모형으로써 경제성분석, 정책적분석, 취약성분석(치수취약도, 홍수방어능력) 평가기준을 제시한 바 있다. 이처럼 치수사업과 관련된 다기준의사결정 모형은 대부분 경제적 효율성을 계량적인 수치로 판단하는 경제성분석과 더불어 비계량적 지표를 통해 제시되는 잠재적 홍수위험

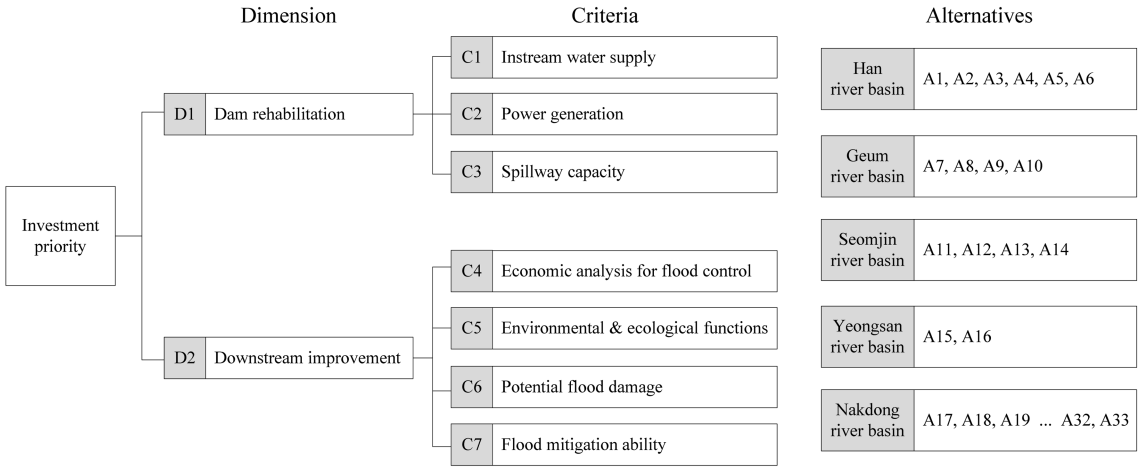


Fig. 2 Hierarchical Structure for Determination of Investment Priority

Table 2. Evaluation Criteria and Contents

Dimension	Criteria	Contents
Dam rehabilitation	Instream water supply	Increase of instream water supply by recovery of dam release
	Power generation	Increase of hydropower generation by recovery of dam release
	Spillway capacity	Improvement of dam release
Downstream improvement	Economic analysis for flood control	Benefit-cost ratio analysis by relation between flood damage reduction benefit and cost
	Environmental & ecological functions	Improvement of environmental and ecological functions by the increased instream flow
	Potential flood damage	Degree of potential flood damage under specific conditions
	Flood mitigation ability	Degree of flood vulnerability

Table 3. Alternatives Considered

Basin	Alternatives		Basin	Alternatives	
Han River	A1	Soyanggang dam	Nakdong River	A17	Pyeonglim dam
	A2	Chungju dam		A18	Imha dam
	A3	Hoengseong dam		A19	Hapcheon dam
	A4	Gwangdong dam		A20	Namgang dam(nam river)
	A5	Dalbang dam		A21	Namgang dam(gahwa river)
	A6	Dam of peace		A22	Miryang dam
Geum River	A7	Daecheong dam		A23	Hwabuk dam
	A8	Yongdam dam		A24	Youngcheon dam
	A9	Boryeong dam		A25	Unmun dam
	A10	Buan dam		A26	Sayeon dam
Seomjin River	A11	Seumjingang dam		A27	Daeam dam
	A12	Juam dam		A28	Daegok dam
	A13	Juam regulation dam		A29	Angye dam
	A14	Sueo dam		A30	Seonam dam
Yeongsan River	A15	Jangheung dam		A31	Gampo dam
	A16	Pyeonglim dam		A32	Yeoncho dam
				A33	Gucheon dam

Table 4. Equations for Defining Attribute of Evaluation Criteria

Evaluation criteria		Attribute	Equation
D1	C1	Recovery index of instream water supply	$RI_W = (\Delta S / S_D) \times 100$
	C2	Recovery index of power generation	$RI_P = (\Delta P / P_D) \times 100$
	C3	Recovery index of discharge	$RI_D = (\Delta D / D_D) \times 100$
D2	C4	Benefit-cost ratio	$B/C = \sum_{t=0}^{n} B_t/(1+r)^t / \sum_{t=0}^{T} C_t/(1+r)^t$
	C5	Environmental & ecological improvement index	$EI = (\Delta IF / IF_C) \times 50 + EPS$
	C6	Potential risk of flood damage by exposure	$R_E = f_p(E)$
	C7	Potential risks of flood damage by vulnerability	$R_V = f_p(V)$

도를 함께 고려하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이를 참고하여 댐 하류지역의 여건과 관계하는 하류하천 개선(D2)의 평가기준으로써 치수경제성(C4), 환경・생태기능 개선(C5), 그리고 홍수 잠재위험도의 하위항목인 홍수피해도(C6), 홍수방어능력 취약도(C7)를 구성하였다. 이렇게 결정된 댐 하류 하천정비사업 투자우선순위를 결정하기 위한 7가지 평가기준(C1, C2...C7)을 Table 2에 정리하였고, 댐 하류 하천정비사업의 대안(alternatives)은 Table 3과 같이 한강유역을 비롯한 5개 유역 내 위치한 33개 댐 직하류 구간(A1, A2 ...A33)이다.

3.3 평가기준의 속성 정의

평가기준을 평가, 산출하기 위해서는 평가기준을 직접적으로 반영하는 속성(attributes)에 대해 정의할 필요가 있다. 각각의 평가기준을 지표(index)와 같이 수치적인 값으로 평가하는 것이 어려운 경우 정성적인 결과를 활용하는 방법도 있으나, 본 연구는 의사결정 과정에서의 주관적인 요소를 최대한 배제하기 위하여 수치적인 값으로 제시되는 평가방법을 채택하였다. 이를 위해 본 연구는 평가기준을 평가하기 위한 지표를 직접 제시하거나 기존의 연구에서 제시된 지표들을 토대로 Table 4와 같이 세부 평가기준의 속성을 정의하였다.

Table 4에서 ΔS는 용수공급증가량, S_D는 계획용수공급량, ΔP는 발전증가량, P_D는 계획발전량, ΔD는 방류증가량, D_D는 계획방류량, ΔIF는 하천유지유량증가량, IF_C는 현재 하천유지유량을 의미하며, EPS는 환경정비사업의 등급에 따른 평점(50점: 휴식공간, 교육・학습공간, 생태・환경 복원, 역사・문화공간 등 주제별로 다양한 환경정비사업이 높은 비중으로 계획되어 있어 사업 추진에 가장 중요한 동기부여가 되고 있음, 40점: 휴식공간, 교육・학습공간, 생태환경 복원, 역사・문화공간 등의 조성이 중점 사업은 아니나 사업추진에 대한 홍보효과가 있음, 30점: 정비사업 중에서 하나 또는 두 개의 주제가 해당사항이 없음, 20점: 환경정비사업 중에서 세 개의 주제가 해당사항이 없음, 10점: 환경정비사업 계획이 없음)을 뜻한다. 마지막으로 R_E(노출성)과 R_V(취약성)은 홍수 잠재위험도 산정과정에서 포함되는 항목으로써 세부내

용은 도시홍수재해관리기술연구사업단(2004)을 참고바란다.

3.4 평가기준별 가중치 도출

PROMETHEE에서는 사전 가중치를 결정해야 하는 문제가 있으며, 가중치를 결정하는 방법에는 서수치 비교을 기본으로하는 매트릭스법, 3등급평가법, 서열평가법, 그리고 기수치 비교를 기본으로 하는 고유벡터법, 가중최소자승법, 엔트로피법, 로터리비교법 등이 있다(김양렬, 2008). 이 가운데, 본 연구에서는 AHP 기법에서 제시하는 쌍대비교를 바탕으로 한 고유벡터법(eigenvector method)을 활용하였다. 이때, 각 계층의 중요도는 평가항목 간 쌍대비교 질문에 대한 응답결과로 결정되며, 설문조사는 응답자에게 설문의 목적과 평가에 사용되는 각 기준들의 의미를 제시한 뒤 쌍대비교의 방식으로 실시하였다.

쌍대비교 시 Saaty(1977, 1980)가 제안한 1에서 9까지의 9단위의 척도로 나누어 그 값을 정의하는 9점척도로 중요도를 부여하였다. 그리고 개인별 비교행렬은 가중치를 도출하기 전에 일관성지수(CI: Consistency Index)와 일관성비율(CR: Consistency Ratio)로부터 일관성을 검증할 수 있는데, 본 연구에서 또한 전체 응답자(respondent) 8명 가운데 일관성이 떨어지는 설문지는 환류(feedback)하여 재설문하였다. 이때, 설문대상자 8인은 본 사업의 목적과 의미에 대해 정확히 이해하고 있는 수자원전문가(설계회사 2인, 교수 4인, 한국수자원공사 2인)를 대상으로 하였다. 마지막으로 각 계층의 가중치 벡터를 합성함으로써 최종적으로 종합 가중치를 산출할 수 있는데, Table 5와 같이 개별 구성원 각자가 제시한 값들의 기하평균(geometric mean)을 구해 그 값을 전체의 대표 값으로 사용하였다.

한편, AHP에서는 집단의사결정의 경우 개인별 쌍대비교 행렬의 기하평균을 이용하여 집단의 쌍대비교행렬을 구성한 다음 집단의 우선순위벡터를 산정할 것인지, 혹은 개인별 응답결과로 나온 우선순위벡터를 가중산술평균(weighted arithmetic mean)하여 집단의 우선순위벡터를 산정할 것인지에 따라 AIJ(aggregate individual judgements) 방식과 AIP(aggregate individual priorities) 방식으로 구분된다. 본 연구는 응답자들의 판단행렬을 기하평균하는 AIJ 방식을 사용하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다. 이는 설문대상자들이 비록 수자원 전문가라고 할지라도 AHP 기법에 대해 생소하기 때문에 많은 수의 쌍대비교 시 일관성을 유지하기가 쉽지 않은 점 때문이다. 또한, AIP 기법을 사용하면 최종 우선순위벡터만을 활용하기 때문에 가중치 부여단계에서 발생하는 개인별 편차를 중간단계에서 중화시키는 역할을 수행하기 어렵게 된다. Saaty(1980)는 AIJ 방식이 의사결정에 참여하는 개인들의 지식들이 합쳐져서(pooling) 좀 더 정교한 집단의사결정을 수행하는 것이 가능하다고 하였지만 아직까지는 체계적으로 논증되지 않은 실정이며, 실제 어느 방법이 적절한가에 대해서는 의견이 분분한 실정이다.

Table 6. Weights by AIJ

Dimension and criteria		AIJ	Weight
D1	Dam rehabilitation	0.63	
C1	Water supply	0.20	0.126
C2	Power generation	0.11	0.069
C3	Spillway capacity	0.69	0.435
D2	Downstream improvement	0.37	
C4	Economic analysis of flood control	0.24	0.089
C5	Environment & ecological functions	0.09	0.033
C6	Potential flood damage	0.30	0.111
C7	Flood mitigation ability	0.37	0.137
Sum			1.000

Table 5. Aggregation of Individual Weighting value by Geometric Mean Method

	Survey 1	Survey 2-1	Survey 2-2	Survey 2-3	Survey 3-1	Survey 3-2	Survey 3-3	Survey 3-4	Survey 3-5	Survey 3-6
Respondent 1	0.333	3.000	0.200	0.143	1.000	0.333	0.333	0.200	0.333	1.000
Respondent 2	0.200	3.000	0.167	0.143	5.000	0.200	0.200	0.167	0.167	1.000
Respondent 3	6.000	3.000	0.200	0.143	2.000	1.000	0.250	0.500	0.200	0.167
Respondent 4	0.200	1.000	0.143	0.143	2.000	1.000	1.000	0.200	0.143	0.333
Respondent 5	7.000	5.000	0.333	0.125	7.000	5.000	3.000	0.333	0.200	0.333
Respondent 6	6.000	1.000	1.000	1.000	2.000	0.500	2.000	0.333	1.000	4.000
Respondent 7	8.000	1.000	0.167	0.167	5.000	5.000	5.000	0.250	0.250	1.000
Respondent 8	3.000	3.000	0.250	0.200	0.333	0.250	0.200	0.167	0.167	1.000
Geometric mean	1.731	2.118	0.246	0.191	2.156	0.822	0.750	0.250	0.246	0.722

Survey 1: Dam rehabilitation / Downstream improvement
Survey 2-1: Water supply / Power generation
Survey 2-2: Water supply / Spillway capacity
Survey 2-3: Power generation / Spillway capacity
Survey 3-1: Economic analysis for flood control / Environmental & ecological Functions
Survey 3-2: Economic analysis for flood control / Potential flood Damage
Survey 3-3: Economic analysis for flood control / Flood mitigation ability
Survey 3-4: Environmental & Ecological Functions / Potential flood damage
Survey 3-5: Environmental & Ecological Functions / Flood mitigation ability
Survey 3-6: Potential flood damage / Flood mitigation ability

4. PROMETHEE에 의한 댐 직하류 하천정비사업 투자우선순위 결정

4.1 평가기준의 특성 정의 및 속성분석

평가기준별 선호함수는 개별 평가기준의 선호특성을 반영하여 결정하여야 한다. 본 연구에서 정의한 평가기준별 속성이 지표로 구성되어 있으며, 이는 선호도가 선형으로 증가하다가 선호임계치(parameter) 이상에서는 절대선호를 보인다고 볼 수 있기 때문에 Table 1에서의 Type III에 해당하는 V-shape형 선호함수를 선택하였다. 그리고 해당 선호함수에서의 선호임계치는 마땅한 규정 혹은 근거가 없을 때 가장 일반적으로 사용되는 최대값과 최소값의 차이(속성값의 범위)를 기준으로 결정하였다. 이때, 몇몇 대안에서 구체적인 사업안이 없거나 정상기능을 하고 있어 평가기준의 속성값이 없는 부분은 선호임계치 결정시 고려하지 않았다. Table 7은 각각의 평가기준별 선호방향, 채택한 선호함수, 그리고 최소/최대값으로부터 결정한 선호임계치를 나타내며, Table 8은 대안별 각각의 평가기준을 평가한 속성값을 보여주고 있다.

4.2 PROMETHEE II에 의한 우선순위 결정

앞서 결정된 평가기준별 가중치와 선호함수, 그리고 선호임계치로부터 식 (1)에 의해 결정한 선호지수는 Table 9와 같다. 33개 대안의 투자우선순위를 결정하는 과정에서 비교불가능한 관계를 제거하기 위하여 본 연구는 PROMETHEE를 채택하였고, 앞서 결정된 선호지수와 식 (2a), (2b)를 이용해 결정한 대안별 선호유출량(ϕ^+)과 선호유입량(ϕ^-), 순흐름량(ϕ)은 Table 10과 같다. 여기서, 선호유출량은 Table 9에서 행(row)의 합으로써 나머지 대안을 지배하는(dominating) 정도를 나타내며, 반대로 Table 9에서 열(column)의 합인 선호유입량은 나머지 대안에 지배되는(dominated) 정도를 의미한다. 최종 투자우선순위의 기준이 되는 순흐름량은 식 (4)와 같이 선호유출량에서 선호유입량을 차감하여 산정하였다.

4.3 결과분석

PROMETHEE 적용 시 필요한 사전 가중치는 7개 평가기준 가운데 여수로 설계방류량 회복(C3) 기준이 0.435의 가장 큰 중요도를 갖는 것으로 나타났고, 그 다음으로 홍수취약성(C7), 용수공급량 회복(C1) 순으로 나타났다. 그리고 PROMETHEE 로부터 투자우선순위 결과는 33개 전체 대안 가운데 순흐름량이 0.393으로 가장 높은 값을 나타낸 섬진

Table 8. Evaluatioin Results of Each Attribute

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	-	-	-	-	-	33.49	18.89
A2	-	-	-	-	-	24.11	29.16
A3	0.38	20.66	24.03	-	80.00	12.27	27.96
A4	-	-	62.86	-	30.00	15.70	31.12
A5	-	-	-	-	-	45.98	13.12
A6	-	-	-	-	-	6.68	26.54
A7	17.00	5.84	45.27	-	90.00	48.16	19.99
A8	5.51	3.42	62.63	5.89	90.00	8.11	46.78
A9	26.99	9.77	20.80	5.85	70.00	31.04	12.90
A10	-	-	-	-	-	27.72	36.64
A11	6.17	4.13	41.70	4.84	80.00	14.53	48.31
A12	-	-	-	-	-	23.70	33.57
A13	-	-	93.87	14.73	60.00	35.99	17.78
A14	-	-	-	-	-	38.31	12.66
A15	-	-	-	-	-	18.25	41.10
A16	-	-	21.29	6.84	10.00	22.20	22.74
A17	9.13	0.46	-	3.27	80.00	56.44	16.63
A18	12.67	0.91	24.09	0.46	56.18	56.44	16.63
A19	11.38	0.26	15.82	-	80.00	14.48	35.04
A20	-	-	40.38	0.69	70.00	41.27	21.42
A21	-	-	-	-	40.00	37.56	22.86
A22	6.42	0.37	41.36	1.20	80.00	30.72	25.16
A23	-	-	-	1.25	30.00	42.64	38.65
A24	14.96	-	56.67	0.46	69.19	46.03	34.46
A25	22.58	-	61.05	0.64	90.00	42.36	39.07
A26	-	-	9.72	-	40.00	34.20	60.76
A27	-	-	-	-	-	34.20	29.43
A28	-	-	-	-	-	34.20	29.43
A29	-	-	-	-	-	54.31	24.74
A30	-	-	-	-	-	74.31	19.36
A31	-	-	-	-	-	54.31	24.74
A32	-	-	-	-	-	46.16	27.49
A33	-	-	57.64	-	78.04	46.16	27.49

주) -로 표기된 부분은 해당 댐에서 해당 평가기준과 관련한 기능이 정상적이어서 이것과 관련된 구체적인 사업안이 없는 것을 의미함.

Table 7. Determination of Preference Direction, Function, and Parameter

Criteria		Preference direction (+/–)	Preference function	Attribute			Parameter
				Indicator	Min.	Max.	
D1	C1	+	Type III	R_{IW}	0.38	26.99	26.61
	C2	+	Type III	RI_P	0.26	20.66	20.40
	C3	+	Type III	RI_D	9.72	93.87	84.15
D2	C4	+	Type III	B/C	0.46	14.73	14.27
	C5	+	Type III	EI	10.00	90.00	80.00
	C6	+	Type III	R_E	6.68	74.31	67.63
	C7	+	Type III	R_V	12.66	60.76	48.10

Table 9. Preference Index to Evaluate Priority

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33
A1	-	0.015	0.035	0.029	0.016	0.044	0.000	0.042	0.021	0.009	0.031	0.016	0.003	0.018	0.025	0.019	0.006	0.006	0.031	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A2	0.029	-	0.023	0.014	0.046	0.036	0.026	0.026	0.046	0.000	0.016	0.001	0.032	0.047	0.010	0.021	0.036	0.036	0.016	0.022	0.018	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.028	0.013	0.005	0.005
A3	0.221	0.195	-	0.071	0.237	0.208	0.073	0.065	0.097	0.195	0.056	0.195	0.100	0.239	0.195	0.100	0.225	0.099	0.112	0.090	0.210	0.077	0.195	0.069	0.069	0.145	0.195	0.195	0.204	0.220	0.204	0.197	0.072
A4	0.360	0.330	0.215	-	0.376	0.353	0.123	0.014	0.269	0.325	0.111	0.325	0.038	0.377	0.325	0.239	0.366	0.242	0.245	0.144	0.348	0.128	0.325	0.032	0.009	0.275	0.330	0.330	0.343	0.358	0.343	0.335	0.037
A5	0.020	0.036	0.055	0.050	-	0.065	0.000	0.062	0.025	0.030	0.052	0.037	0.016	0.014	0.046	0.039	0.000	0.000	0.052	0.008	0.014	0.025	0.005	0.000	0.006	0.019	0.019	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A6	0.022	0.000	0.000	0.000	0.038	-	0.019	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000	0.025	0.040	0.000	0.011	0.028	0.028	0.000	0.015	0.010	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.020	0.005	0.000	0.000
A7	0.395	0.407	0.281	0.187	0.391	0.436	-	0.162	0.208	0.401	0.159	0.408	0.160	0.405	0.417	0.300	0.332	0.190	0.286	0.170	0.385	0.151	0.377	0.066	0.063	0.340	0.390	0.390	0.367	0.369	0.367	0.371	0.137
A8	0.477	0.448	0.314	0.119	0.494	0.458	0.203	-	0.313	0.427	0.115	0.435	0.120	0.495	0.414	0.320	0.436	0.327	0.323	0.257	0.466	0.211	0.413	0.111	0.074	0.348	0.447	0.447	0.461	0.476	0.461	0.453	0.155
A9	0.303	0.314	0.193	0.221	0.303	0.343	0.097	0.161	-	0.308	0.151	0.315	0.159	0.304	0.324	0.174	0.240	0.131	0.196	0.191	0.303	0.159	0.295	0.124	0.086	0.253	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.196
A10	0.051	0.027	0.050	0.035	0.067	0.063	0.047	0.032	0.068	-	0.022	0.015	0.054	0.068	0.016	0.049	0.057	0.057	0.026	0.043	0.039	0.033	0.000	0.006	0.000	0.000	0.021	0.021	0.034	0.049	0.034	0.026	0.026
A11	0.377	0.348	0.215	0.127	0.394	0.368	0.111	0.025	0.213	0.327	-	0.335	0.135	0.395	0.314	0.226	0.332	0.224	0.219	0.157	0.366	0.108	0.313	0.085	0.071	0.243	0.347	0.347	0.361	0.376	0.361	0.353	0.137
A12	0.042	0.013	0.035	0.020	0.058	0.048	0.039	0.026	0.059	0.000	0.015	-	0.045	0.060	0.009	0.033	0.048	0.048	0.015	0.035	0.030	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.025	0.040	0.025	0.017	0.017
A13	0.528	0.543	0.489	0.282	0.537	0.572	0.340	0.262	0.455	0.537	0.366	0.544	-	0.538	0.553	0.447	0.509	0.453	0.527	0.364	0.524	0.364	0.519	0.281	0.257	0.526	0.526	0.526	0.524	0.524	0.524	0.524	0.276
A14	0.008	0.023	0.043	0.037	0.000	0.052	0.000	0.050	0.012	0.017	0.039	0.024	0.004	-	0.033	0.026	0.000	0.000	0.039	0.000	0.001	0.012	0.000	0.000	0.000	0.007	0.007	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A15	0.063	0.034	0.047	0.033	0.080	0.060	0.060	0.017	0.080	0.013	0.006	0.021	0.066	0.081	-	0.052	0.070	0.070	0.023	0.056	0.052	0.045	0.007	0.019	0.006	0.000	0.033	0.033	0.047	0.062	0.047	0.039	0.039
A16	0.164	0.153	0.059	0.053	0.180	0.178	0.050	0.029	0.037	0.153	0.025	0.153	0.014	0.181	0.159	-	0.150	0.057	0.083	0.042	0.153	0.035	0.145	0.040	0.039	0.102	0.153	0.153	0.153	0.162	0.153	0.153	0.043
A17	0.103	0.118	0.134	0.132	0.092	0.147	0.034	0.096	0.052	0.112	0.083	0.119	0.078	0.106	0.128	0.101	-	0.017	0.090	0.086	0.096	0.068	0.080	0.036	0.041	0.102	0.102	0.102	0.069	0.065	0.069	0.082	0.082
A18	0.228	0.243	0.134	0.133	0.218	0.272	0.016	0.113	0.069	0.238	0.100	0.244	0.097	0.231	0.253	0.134	0.143	-	0.123	0.088	0.221	0.074	0.210	0.020	0.026	0.177	0.227	0.227	0.194	0.190	0.194	0.207	0.083
A19	0.182	0.153	0.076	0.066	0.199	0.173	0.043	0.038	0.063	0.136	0.025	0.141	0.104	0.200	0.136	0.090	0.145	0.052	-	0.094	0.171	0.052	0.136	0.003	0.001	0.086	0.152	0.152	0.166	0.181	0.166	0.158	0.076
A20	0.233	0.241	0.136	0.046	0.237	0.270	0.008	0.054	0.142	0.235	0.044	0.242	0.019	0.243	0.251	0.130	0.222	0.099	0.175	-	0.219	0.017	0.209	0.001	0.000	0.174	0.224	0.224	0.213	0.219	0.213	0.213	0.004
A21	0.018	0.022	0.042	0.036	0.028	0.051	0.008	0.048	0.039	0.016	0.038	0.023	0.017	0.029	0.032	0.026	0.018	0.018	0.038	0.004	-	0.011	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000
A22	0.271	0.264	0.156	0.064	0.287	0.292	0.022	0.041	0.141	0.258	0.028	0.264	0.053	0.288	0.273	0.156	0.238	0.118	0.166	0.051	0.259	-	0.245	0.006	0.005	0.203	0.253	0.253	0.254	0.269	0.254	0.253	0.039
A23	0.079	0.065	0.088	0.073	0.080	0.101	0.061	0.057	0.092	0.038	0.046	0.053	0.070	0.089	0.048	0.079	0.063	0.068	0.064	0.055	0.061	0.058	-	0.017	0.004	0.022	0.048	0.048	0.047	0.063	0.047	0.040	0.040
A24	0.431	0.418	0.314	0.133	0.427	0.454	0.103	0.107	0.271	0.396	0.171	0.406	0.135	0.441	0.412	0.326	0.371	0.230	0.283	0.200	0.413	0.171	0.369	-	0.006	0.336	0.400	0.400	0.394	0.409	0.394	0.386	0.094
A25	0.498	0.484	0.381	0.177	0.500	0.520	0.166	0.137	0.301	0.457	0.223	0.473	0.178	0.508	0.466	0.392	0.443	0.303	0.348	0.266	0.480	0.237	0.423	0.073	-	0.389	0.467	0.467	0.467	0.482	0.467	0.459	0.161
A26	0.171	0.157	0.129	0.115	0.186	0.193	0.116	0.083	0.141	0.129	0.068	0.145	0.122	0.187	0.132	0.128	0.176	0.126	0.106	0.112	0.158	0.107	0.113	0.075	0.062	-	0.139	0.139	0.153	0.168	0.153	0.145	0.095
A27	0.031	0.017	0.040	0.030	0.046	0.053	0.027	0.043	0.052	0.011	0.032	0.017	0.033	0.048	0.026	0.039	0.036	0.036	0.032	0.023	0.019	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.013	0.029	0.013	0.006	0.006
A28	0.031	0.017	0.040	0.030	0.046	0.053	0.027	0.043	0.052	0.011	0.032	0.017	0.033	0.048	0.026	0.039	0.036	0.036	0.032	0.023	0.019	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.013	0.029	0.013	0.006	0.006
A29	0.051	0.050	0.069	0.063	0.047	0.078	0.024	0.076	0.072	0.044	0.065	0.050	0.050	0.061	0.059	0.058	0.023	0.023	0.065	0.031	0.033	0.039	0.019	0.014	0.020	0.033	0.033	0.033	-	0.015	0.000	0.013	0.013
A30	0.068	0.082	0.102	0.096	0.064	0.111	0.043	0.109	0.089	0.076	0.098	0.083	0.067	0.078	0.092	0.086	0.037	0.037	0.098	0.054	0.060	0.072	0.052	0.046	0.052	0.066	0.066	0.066	0.033	-	0.033	0.046	0.046
A31	0.051	0.050	0.069	0.063	0.047	0.078	0.024	0.076	0.072	0.044	0.065	0.050	0.050	0.061	0.059	0.058	0.023	0.023	0.065	0.031	0.033	0.039	0.019	0.014	0.020	0.033	0.033	0.033	0.000	0.015	-	0.013	0.013
A32	0.045	0.036	0.056	0.050	0.041	0.068	0.021	0.062	0.066	0.030	0.052	0.037	0.044	0.055	0.046	0.053	0.031	0.031	0.052	0.025	0.027	0.032	0.006	0.000	0.006	0.020	0.020	0.020	0.008	0.023	0.008	-	0.000
A33	0.343	0.334	0.229	0.050	0.339	0.365	0.085	0.062	0.257	0.328	0.134	0.335	0.044	0.353	0.344	0.241	0.329	0.204	0.268	0.114	0.325	0.116	0.304	0.005	0.006	0.267	0.317	0.317	0.306	0.321	0.306	0.298	-

Table 10. Investment Priority

Basin	Alter-natives				Rank	Basin	Alter-natives				Rank
Han river	A1	0.012	0.184	-0.173	31	Nakdong river	A17	0.088	0.162	-0.073	17
	A2	0.018	0.176	-0.158	29		A18	0.160	0.106	0.054	12
	A3	0.151	0.133	0.018	13		A19	0.113	0.131	-0.018	15
	A4	0.249	0.082	0.167	8		A20	0.155	0.089	0.066	11
	A5	0.022	0.191	-0.168	30		A21	0.018	0.172	-0.154	28
	A6	0.010	0.205	-0.195	33		A22	0.179	0.079	0.100	10
Geum river	A7	0.296	0.063	0.233	5		A23	0.058	0.149	-0.091	18
	A8	0.344	0.069	0.275	3		A24	0.306	0.036	0.271	4
	A9	0.239	0.122	0.117	9		A25	0.369	0.029	0.340	2
	A10	0.035	0.166	-0.130	23		A26	0.132	0.130	0.002	14
Seomjin river	A11	0.260	0.077	0.183	6		A27	0.024	0.165	-0.140	25
	A12	0.027	0.173	-0.146	27		A28	0.024	0.165	-0.140	25
	A13	0.461	0.068	0.393	1		A29	0.041	0.161	-0.120	20
	A14	0.014	0.196	-0.183	32		A30	0.069	0.171	-0.102	19
Yeongsan river	A15	0.043	0.176	-0.133	24		A31	0.041	0.161	-0.120	20
	A16	0.106	0.131	-0.025	16		A32	0.033	0.159	-0.126	22
							A33	0.239	0.059	0.180	7

Table 11. Categorization of Alternatives

Group	Net outranking flow	Alternatives
Upper rank	Positive(+)	A13, A25, A8, A24, A7
Middle rank	Positive(+)	A11, A33, A4, A9, A22, A20, A18, A3, A26
Lower rank	Negative(−)	A19, A16, A17, A23, A30, A29, A31, A32, A10, A15, A27, A28, A12, A21, A2, A5, A1, A14, A6

Table 12. Pearson Correlation Coefficient between Net Outranking Flow and Attribute of Criteria

Group	Pearson correlation coefficient(r)						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Upper rank	-0.411	-0.733	0.905	0.740	-0.568	-0.038	-0.212
Middle rank	0.087	-0.304	0.797	0.384	0.143	-0.177	-0.100
Lower rank	0.611	0.515	0.757	0.619	0.613	-0.177	0.227

주) $0.7 \le r$: strong positive association, $0.3 \le r \le 0.7$: weak positive association, $0 \le r \le 0.3$: little or no association

강유역의 A13(주암조절지댐) 대안이 가장 시급하게 투자되어야 하는 사업으로 나타났다. 그 다음은 낙동강유역의 A25(운문댐), 금강유역의 A8(용담댐), 낙동강유역의 A24(영천댐) 순으로 나타났다. 반면, 가장 낮은 투자우선순위를 나타낸 대안은 -0.195의 순흐름량을 갖는 한강유역의 A6(평화의댐)이었다. 전체 대안 가운데 양(positive)의 순흐름량을 갖는 대안은 총 14개이며, 이 가운데 낙동강유역에 위치한 대안이 7개, 금강유역이 3개, 그리고 한강, 섬진강유역에 2개 대안이다. 권역별로 살펴보면, 낙동강유역의 경우 최우선순위가 A25(운문댐), 그 다음이 A24(영천댐), A33(영천댐) 순이고, 금강유역은 A8(용담댐), A7(대청댐) 순으로 나타났다. 그리고 한강유역에서는 A4(광동댐), A3(횡성댐) 순이고, 섬진강유역은 A13(주암조절지댐), A11(섬진강댐) 순으로 나타났다.

각 평가기준의 가중치는 앞에서 확인했으나, 각 대안의 평가기준별 속성값과 우선순위의 척도의 순흐름량과의 관계를 확인해 볼 필요가 있다. 이를 위해 순흐름량의 정도와 부호에 따라 Table 11과 같이 3가지 대안그룹으로 상위(0.233~0.393), 중위(0.002~0.183), 하위(-0.195 ~ -0.018)로 구분하여 우선순위 결과에 대한 영향요인에 대해 살펴보았다. 이를 위해 순흐름값과 그룹 내 대안의 평가기준의 속성값 간의 상관분석(correlation analysis)을 통해 해당 그룹에서 우선순위에 결정적인 평가기준을 선별하였다. 2개 변수 사이에 상관관계의 여부를 수치적으로 판단하기 위한 척도로써 Pearson 상관계수를 도출하였고, 이를 바탕으로 Table 12와 같이 그룹별 우선순위에 대한 절대적 평가기준을 살펴보았다. 그 결과, 상위그룹과 중위그룹의 경우 여수로 방류량 회복(C3)과 치수경제성분석(C4) 기준이, 하위그룹은 용수공급량 회복(C1), 발전량 회복(C2), 여수로 설계방류량 회복(C3), 치수경제성 분석(C4), 환경생태기능 개선(C5)이 우선순위 결정에 높은 양의 상관관계를 나타냈다.

5. 결 론

댐 직하류 하천구간은 댐 운영 제약요인의 해소, 댐 기능 회복, 치수적 안정성 확보, 댐운영 효율성 재고 등을 위하여 정비사업이 필수적으로 시행되어야 한다. 이러한 댐 직하류 하천정비사업을 계획 시 투입가능한 제원은 한정되어 있기 때문에 사업별 투자우선순위를 평가할 필요가 있고, 특히 비교해야 하는 대안 및 평가기준의 양이 많은 경우 의사결정 시 어려움이 따를 수 있다. 이러한 의사결정의 어려움을 해결하고, 보다 수치적이고 객관적인 정보를 의사결정자에게 지원하기 위해 본 연구는 대표적인 다기준 의사결정기법 가운데 하나인 PROMETHEE을 활용하여 33개 댐 직하류 하천구간(대안)을 대상으로 투자우선순위를 결정하였다.

투자우선순위 결정에 앞서 결정한 7개 세부 평가기준 및 계층구조도로부터 상대적 중요도를 측정한 결과, 상위계층에서는 댐기능 회복(0.63)이 하류하천 개선(0.37)에 비해 높은 가중치를 나타냈다. 즉, 하류하천 관련 평가기준에 비해 댐 관련 평가기준을 보다 중요하다고 평가했다. 세부적인 7개의 평가기준에서는 여수로 설계방류량 회복(0.435), 홍수취약성(0.137)의 기준이 상대적으로 높게 나타났다. 이는 제방설치 및 증고, 하도개선을 통해 홍수통수능 향상을 일반적으로 주목적으로 하는 하천정비사업의 특성상 이러한 치수측면의 기능 회복에 보다 높은 중요도를 부여한 것으로 판단된다. 특히, 여수로 설계방류량 회복(0.435) 기준에 가장 높은 가중치를 부여한 것은 그동안 문제점으로 지적된 제방보강 위주의 선중심 홍수방어로부터 댐 방류 가능량을 충분히 확보하여 향후 극치사상을 대비한 탄력적인 홍수조절에 매우 긍정적인 반응으로 해석된다. 반면, 전체적으로 볼 때 본 사업의 주목적이 아니고 부수적인 기능인 하천유지용수 공급(0.126), 발전량회복(0.069), 환경생태적 기능 개선(0.033)은 상대적으로 낮은 가중치를 나타냈다. 이는 해당 사업이 본연의 치수측면 만을 고려한 것이 아닌 이수(하천유지용수)/환경생태까지 포함하고 있지만, 치수관련 사업이 많은 비중을 차지하는 만큼 기타요소에 비해 치수요소가 상대적으로 높은 가중치가 부여된 것으로 판단된다.

이처럼 본 연구는 평가기준별 상대적 중요도를 측정할 수 있는 내부 알고리즘이 없는 단점을 AHP 기법에 의해 부분 보완을 하였고, 결정된 가중치를 바탕으로 PROMETHEE를 수행한 결과 총 33개 대안 가운데 주암조절지댐, 운문댐, 용담댐 순으로 투자우선순위가 높은 것으로 나타났다. 이는 향후 댐 직하류 하천정비사업 투자 시 위의 우선순위 산출결과를 기본으로 재원여부에 따라 동시투자 혹은 단계적으로

투자하는 방안을 고려할 수 있겠다. 반면, 순흐름량이 음수로 나타나거나 상대적으로 값이 작은 대안은 반드시 투자를 하지 말아야 한다고 보기는 어렵지만, 타당성이 확보될 때까지 신중히 유보하는 쪽으로 해석하는 것이 바람직하다. 이처럼 PROMETHEE를 수행하여 결정된 대안별 투자우선순위는 순흐름량에 따라 대안간의 우월 혹은 열등을 나타내는 상대적인 결과이자 의사결정 지원을 위한 도구일 뿐 시행/미시행에 대한 절대적 해답을 제시하는 데는 한계가 있다.

본 연구에서 결정된 댐 직하류 하천정비사업 투자우선순위는 향후 관련 사업계획 시 의사결정자의 정책결정에 도움을 줄 것으로 판단되며, 본 사업과 유사한 다양한 대안이 고려되는 수자원사업을 계획 시 본 연구절차는 해당 사업의 투자우선순위를 합리적으로 결정하는데 활용가능할 것으로 판단된다. 그러나 이 같은 다기준의사결정 과정에서 필요한 평가기준을 수립하고 가중치를 결정하며 평가하는 모든 분석단계에서는 되도록 주관적 판단의 개입을 최소화하는 것이 바람직하며, 어쩔 수 없이 주관적 판단이 필요한 부분은 기존 연구사례를 참고하거나 전문가와의 협의과정을 거침으로써 결과에 대한 수용성을 증대시키는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

강인주, 윤용남(2001) 가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구, **2001년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**(I), 한국수자원학회, pp. 489-494.

강인주, 윤용남(2002) 가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구: 2. 가뭄관리를 위한 의사결정 방법, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권 제5호, pp. 597-609.

건설교통부(2005) **댐설계기준**.

고석구, 이광만, 고익환(1992) 다기준 의사 분석 기법에 의한 다목적 저수지의 운영률 평가, **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제25권 제1호, pp. 83-92.

김길호, 이충성, 여규동, 심명필(2009) 공간 다기준의사결정을 활용한 소수력 개발의 우선순위 결정, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제42권 제12호, pp. 1029-1038.

김양렬(2008) **의사결정론**, 명경사.

김우구(2006) **다기준의사결정해석을 이용한 댐사업 우선순위 결정**, 박사학위논문, 충남대학교.

김정화(2009) **PROMETHEE를 적용한 도로망 투자우선순위 평가방안에 관한 연구**, 석사학위논문, 아주대학교.

김치영(2001) **가뭄지수에 의한 가뭄관리 의사결정 연구**, 석사학위논문, 인하대학교.

김홍석(2008) **다기준의사결정분석 방법을 이용한 수도권 대기환경 개선대책의 우선순위 평가**, 석사학위논문, 서울대학교.

남동성(2007) **다기준 의사결정기법을 이용한 다목적 댐 치수능력 증대방안 선정**, 석사학위논문, 아주대학교.

도시홍수재해관리기술연구사업단(2004) **도시홍수피해 잠재위험도 및 피해액 산정기법**, 도시홍수재해관리기술 기술보고서, FFC 04-18.

민재형, 손영민(2003) PROMETHEE를 이용한 다기준의사결정, **서강경영논총**, 제14집 제2호, pp. 107-127.

박석영, 김재희, 김승권(2005) ELECTRE IS의 구현 시 일치판정 기준비율 도출과 핵심대안 선정을 위한 혼합정수계획 모형, **대한산업공학회지**, 대한산업공학회, 제31권 제4호, pp. 265-276.

이장영(2010) **건설관리에서의 PROMETHEE 기법을 활용한 공정리스크 중요도 분석**, 박사학위논문, 경원대학교.

이정헌(2007) **다기준의사결정기법에 의한 제주도 골프장건설의 타당성 평가 : 수자원과 경제적 편익을 중심으로**, 석사학위논문, 서울대학교.

이충성(2002) **댐 재개발을 위한 의사결정모형: 다속성효용분석을 중심으로**, 석사학위논문, 인하대학교.

이현재, 심명필(2002) 계층분석과정(AHP)에 의한 가뭄 시 용수배분 우선순위 의사 결정, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권 제6호, pp. 703-714.

정은성(2011) AHP기법의 적용시 발생하는 순위의 불일치성, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제44권 제10호, pp. 72-79.

한국수자원공사(2002) **기존댐 합리적 용수배분을 통한 수리권 조정 방안 연구**.

한국수자원학회(2009) **하천설계기준**.

홍성준, 이용대, 김승권, 김중훈(2006) 상수도관망의 이상징후 판정을 위한 위험요소 평가 - PROMETHEE와 ANP 기법 중심으로, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권 제1호, pp. 35-46.

Anagnostopoulos, K.P., Petalas, C., and Pisinaras V. (2005) Water resources planning using the ahp and promethee multicriteria methods: The case of nestos river-Greece, *The 7th Balkan Conference on Operational Research*.

Brans, J.P. and Vincke, P.H. (1985) A preference ranking organisation method, *Management Science*, Vol. 2, No. 6, pp. 647-656.

Bruen, M. (2002) Multiple criteria and decision support systems in water resources planning and river basin management, *Proceedings of Irish National Hydrology Seminar 2002*, Irish National Committees, pp. 25-35.

Hermans, C., Erickson, J., Noordewier, T., Sheldon, A., and Kline, M. (2007) Collaborative environmental planning in river management: An application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont, *Journal of Environmental Management*, Vol. 84, No. 4, pp. 534-546.

Hyde, K.M., Maier, H.R., and Colby, C.B. (2004) Reliability-based approach to multicriteria decision analysis for water resources, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, No. 6, pp. 429-438.

Jaber, J.S. and Mohsen, M.S. (2001) Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan, *Desalination*, Vol. 136, No. 1-3, pp. 83-92.

Jandric, Z. and Srdjevic, B. (2000) Analytic hierarchy process in selecting best groundwater pond, *31st International Geological Congress*, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 6-17.

Jason, K.L, 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 American Water Resources Association*, AWRA, Vol. 43, No. 2, pp. 346-358.

Maragoudaki, R. and Tsakiris, G. (2005) Flood mitigation planning using Promethee, *European Water 2005*, EWRA, pp. 51-58.

Pirlot, M. (1997) A Common framework for describing some outranking methods, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 6, pp. 86-92.

Raju, K.S., Ducjstein, L., and Arondel, C. (2000) Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: A case study in Spain, *Water Resources Management*, Vol. 14, No. 6, pp. 435-456.

Ridgley, M.A. (1992) Selection of water-supply projects under drought, *Journal of Environmental Systems*, Baywood Publish-

ing, Vol. 21, No. 3, pp. 207-221.
Ridgley, M.A. (1993) A multicriteria approach to allocating water during drought, *Resource Management and Optimization*, Harwood Academic Publishers Gmbll, Vol. 9, No. 2, pp. 135-149.
Roy, B. (1991) The outranking approach and the foundation of ELECTRE Method, *Theory and Decision*, Vol. 31, pp, 49-73.
Saaty, T.L. (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281.
Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

(접수일: 2011.9.19/심사일: 2011.10.20/심사완료일: 2011.11.8)