

PROMETHEE를 이용한 댐 하류하천 투자우선순위 결정

Investment Priorities of Downstream River of Dam using PROMETHEE

선승표*, 김길호**, 이충성***, 심명필****

Seung Pyo Sun, Gil Ho Kim, Chung Sung Yi, Myung Pil Shim

요 지

댐 하류하천 정비사업을 계획함에 있어 사업의 투자우선순위 결정시 의사결정의 어려움에 직면할 수 있다. 본 연구는 이러한 어려움을 지원하고자 다기준의사결정기법 가운데 하나인 PROMETHEE를 활용하여 투자우선순위를 제시하였다. 댐 하류하천 19개에 대한 투자우선순위를 검토하기 위한 평가기준으로서 홍수공급량 회복, 발전량 회복, 계획방류량 회복, 치수경제성 분석, 환경생태기능 개선, 잠재적 홍수피해도, 홍수방어능력 취약도를 고려하였고, PROMETHEE 시행 결과 평립댐 하류하천에 대한 정비사업이 가장 시급한 것으로 분석되었다. 본 연구에서 제시한 19개 댐 하류하천에 대한 투자우선순위 결과는 향후 댐 하류하천 정비사업 계획의 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : PROMETHEE, 댐 하류하천, 다기준의사결정, 투자우선순위

1. 서론

댐이 건설된 이후의 댐 직하류 하천구간은 지속적인 유지관리가 부족할 시 다양한 원인에 의해 하천 고유기능의 역기능을 초래할 수 있다. 특히, 댐 운영 제약요인의 해소, 댐 기능 회복, 치수적 안정성 확보, 댐 운영 효율성 제고 등을 위하여 댐 하류에 대한 하천정비사업은 필수적이라 할 수 있다. 아울러 일부 홍수댐의 건전방지를 위한 하천유지유량 확보, 하천수질개선, 하천생태계 조성, 하천경관 및 공간조성 등 이수 및 환경·생태측면 및 역사와 문화, 하천이 갖는 고유의 어메니티(amenity) 개발로 새로운 친수·여가공간 조성 등 시대요구에 부합하는 하천정비사업이 필요하게 되었다(건설교통부·한국수자원공사, 2007).

이러한 댐 하류 하천정비사업을 계획시 최종적으로 여러 사업에 대한 투자우선순위 결정과정에서 의사결정의 어려움에 직면할 수 있다. 이는 근본적으로 각 사업의 가치를 효과적으로 평가하고 이를 통해 상대적인 중요도를 도출해 내는 과정에서 고려해야 할 판단기준이 다양하다는 문제에 기인한다. 또한 개개의 기준은 불확실성을 내포하고 있으며, 정성적인 가치와 정량적인 가치가 혼재되어 통합에 어려움이 있고, 의사결정자 개인별 가치판단의 차이로 인한 조정에도 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 최근 국내 수자원분야에서 적용사례(홍성준 외, 2006; 이재응과 남동성, 2007)가 있으며, 복잡한 의사결정 문제를 다루기 쉽게 정의하고 내재적 불확실성을 가진 다양한 기준 및 속성들을 통합평가하는데 용이한 PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)를 활용하여 댐 하류하천 정비사업의 투자우선순위를 결정하고자 하였다.

* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: sunsp1105@paran.com

** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: kims@inha.ac.kr

*** 정회원 · 인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원 · E-mail: sung@inha.ac.kr

**** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수 · E-mail: shim@inha.ac.kr

2. PROMETHEE 개요

Brans와 Vincke(1985)가 제안한 기법인 PROMETHEE는 순위선호(outranking) 개념을 기반으로 하는 유럽의 대표적인 다기준 의사결정기법으로서 비교적 계산과정이 단순하고 의사결정자가 쉽게 이해할 수 있으며 대안들의 선호 강도도 쉬운 개념으로 나타난다. 또한, 최대 2개까지의 파라미터(선호임계치)를 결정해 주면 되기 때문에 더욱 선호되는 방법론이다. PROMETHEE에서는 6가지 선호함수에 대한 각각의 매개변수를 Fig. 1과 같이 정의하고 있으며, 이러한 선호함수와 매개변수를 결정시에는 선호도를 차별화 할 수 있는 근거나 경험에 의해 결정하여야 한다.

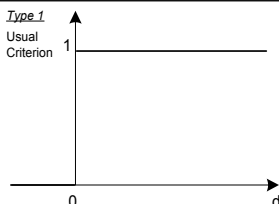
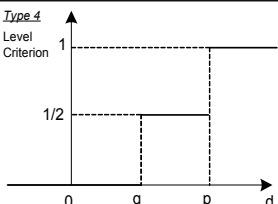
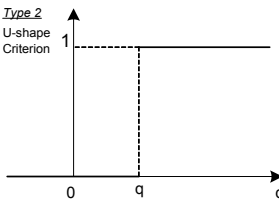
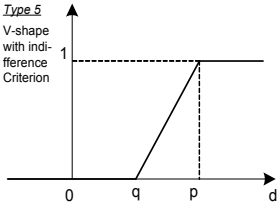
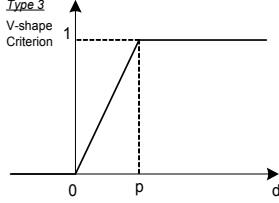
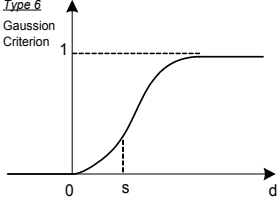
Generalized criterion	Definition	Parameter	Generalized criterion	Definition	Parameter
<p><i>Type 1</i> Usual Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	-	<p><i>Type 4</i> Level Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 2</i> U-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q	<p><i>Type 5</i> V-shape with indifference Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 3</i> V-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p	<p><i>Type 6</i> Gaussian Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Fig. 1. Types of generalized criteria ($P(d)$: Preference function)

결정한 선호함수와 파라미터, 그리고 Eq. 1에 의해 선호지수(preferance index)를 산정하며, 여기서 $\pi(a,b)$ 와 $\pi(b,a)$ 는 a대안과 b대안 중 어느 대안이 다른 대안에 비하여 더 선호되는 지를 나타낸다. 그리고 선호지수와 Eq. 2로부터 선호유출량(leaving flow, $\phi^+(a)$)과 선호유입량(entering flow, $\phi^-(a)$)을 구할 수 있으며, 이때, 선호유출량은 a대안이 다른 대안들보다 얼마나 선호되는지를 나타낸다. 선호유출량의 값은 클수록 선호도가 높으며, 선호유입량의 경우는 이와 반대이다.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^k P_j(a,b)w_j \quad (\text{Eq. 1})$$

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

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

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (\text{Eq. 2})$$

Eq. 3은 선호유출량과 선호유입량을 이용하여 산정한 순흐름량(net flow, $\phi(a)$)을 나타낸다. 여기서 순흐름량은 선호유출량과 마찬가지로 값이 클수록 선호도가 높다는 것을 의미한다.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (\text{Eq. 3})$$

앞서 설명한 선호유출량, 선호유입량 그리고 순흐름량에 의해 PROMETHEE I 과 PROMETHEE II를 시행할 수 있다. PROMETHEE I은 각각의 선호유출량과 선호유입량을 독립적으로 이용하며, 일반적으로 두 흐름은 결과상으로 정확히 일치하지 않는다. 반면, PROMETHEE II는 순흐름량을 이용하여 구하기 때문에 비교 불가능한 대안들이 남지 않는 장점이 있으나 축약된 정보로부터 순위를 결정하는 것에는 논란의 여지가 있을 수 있다.

3. 댐하류 하천정비사업 투자우선순위 결정

3.1 평가기준 및 가중치 산정

댐하류 하천정비사업 투자우선순위 결정을 위해 본 연구에서 고려한 평가기준은 ①용수공급량 회복, ②발전수량 회복, ③계획방류량 회복, ④치수경제성 분석, ⑤환경생태기능 개선, ⑥잠재적 홍수피해도, ⑦홍수방어능력 취약도, 이렇게 총 7가지이다. 각 평가기준별 상대적 가중치를 도출하고자 Saaty가 제안한 쌍대용 비교에 의해 설문을 실시하였다. 설문을 실시하여 종합한 결과, Table 1과 같이 계획방류량 회복(0.435)의 가중치가 가장 높게 나타났으며, 하류하천 개선의 하부평가기준에 속한 환경생태기능 개선이 0.033으로서 가장 낮게 나타났다.

Table 1. Determination of Criteria Weights

Level	Criteria	평가자1	평가자2	평가자3	평가자4	평가자5	평가자6	평가자7	평가자8	종합	가중치
Level 1	댐의 주요 기능회복	0.25	0.17	0.86	0.17	0.88	0.86	0.89	0.75	0.63	-
Level 2	용수공급량 회복	0.19	0.17	0.19	0.11	0.27	0.33	0.13	0.23	0.20	0.126
	발전수량 회복	0.08	0.08	0.08	0.11	0.07	0.33	0.13	0.10	0.11	0.069
	계획방류량 회복	0.73	0.75	0.73	0.78	0.66	0.33	0.75	0.67	0.69	0.435
Level 1	하류하천 개선	0.75	0.83	0.14	0.83	0.13	0.14	0.11	0.25	0.37	-
Level 2	치수경제성 분석	0.12	0.13	0.15	0.25	0.57	0.26	0.61	0.07	0.24	0.089
	환경생태기능 개선	0.11	0.05	0.09	0.07	0.06	0.14	0.06	0.10	0.09	0.033
	잠재적 홍수피해도	0.41	0.41	0.14	0.23	0.12	0.48	0.17	0.41	0.30	0.111
	홍수방어능력 취약도	0.36	0.41	0.62	0.44	0.26	0.13	0.17	0.42	0.37	0.137

3.2 대안별 속성값 산정 및 선호지수 도출

각 평가기준에 부합하는 선호함수를 선정하고 선호함수에서 요구되는 매개변수를 결정하였다. 본 연구에서는 댐 하류하천 투자우선순위 결정에 사용되는 7가지 평가기준 모두 선호방향이 양이고, 속성값의 크기와 선호도가 비례관계가 있다고 판단되어 선호함수를 Type III(V-Shape)로 결정하였고, 각각의 매개변수는 속성값(attribute)의 최대값과 최소값의 차이로부터 결정하였다. 각각의 대안에 대한 평가기준별 속성값을 Table 2와 같이 산정하였고, 이를 바탕으로 Eq. 1과 선호함수, 매개변수, 설문에 의해 도출한 가중치를 이용하여 도출한 선호지수는 Table 3과 같다. 횡성댐의 광동댐 대비 선호지수 산정과정을 예를 들면, Table 2에서 횡성댐과 광동댐의 속성값의 차이가 용수공급량 회복의 경우 $0.4(=0.4-0)$, 발전량 회복은 $20.7(=20.7-0)$, 계획방류량 회복은 $-33(=62.7-95.7)$, 치수경제성 분석은 $0(=0-0)$, 환경생태기능 개선은 $134(=164-30)$, 잠재적 홍수피해도는 $-3.4(=12.3-15.7)$, 홍수방어능력 취약도는 $-3.1(=28-31.1)$ 이 된다. 따라서 선호함수와 매개변수에 의한 선호지수는 각각 0.014, 1, 0, 0, 0, 0, 0이 되고 각각의 선호지수를 각 기준별 가중치에 곱해주면 광동댐 대비 횡성댐의 선호지수의 합은 0.071이 된다.

Table 2. Attribute of Criteria according to Alternatives

평가기준 대안	용수공급량 회복	발전량 회복	계획방류량 회복	치수경제성 분석	환경생태 기능 개선	잠재적 홍수 피해도	홍수방어능 력 취약도
횡성댐	0.4	20.7	62.7	0.0	164.0	12.3	28.0
광동댐	0.0	0.0	95.7	0.0	30.0	15.7	31.1
대청댐	17.0	5.8	46.9	0.0	1,855,040.0	48.2	20.0
용담댐	5.5	3.4	77.6	5.9	185.0	8.1	46.8
보령댐	27.0	9.8	39.3	5.9	289.4	31.0	12.9
섬진강댐	6.2	4.1	44.8	4.8	260,030.0	14.5	48.3
주암조댐	0.0	0.0	94.0	6.6	1,626.7	36.0	17.8
평림댐	0.0	0.0	100.0	6.8	10.0	22.2	22.7
안동댐	9.1	0.5	0.0	3.3	167.5	56.4	16.6
임하댐	12.7	0.9	49.9	0.5	56.2	56.4	16.6
합천댐	11.4	0.3	77.6	0.0	480.0	14.5	35.0
남강댐A	0.0	0.0	40.4	0.7	136.7	41.3	21.4
남강댐B	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	37.6	22.9
밀양댐	6.4	0.4	68.0	1.2	158.3	30.7	25.2
화북댐	0.0	0.0	0.0	1.3	30.0	42.6	38.7
영천댐	15.0	0.0	69.0	0.5	69.2	46.0	34.5
운문댐	22.6	0.0	71.6	0.6	235.8	42.4	39.1
사연댐	0.0	0.0	22.2	0.0	40.0	34.2	60.8
구천댐	0.0	0.0	57.6	0.0	78.0	46.2	27.5

주) 남강댐 A: 남강댐 하류 남강, 남강댐 B: 남강댐 하류 가화천

Table 3. Preference Index to Evaluate the Investment Priority of Downstream of Dam

	횡성 댐	광동 댐	대청 댐	용담 댐	보령 댐	섬진강 댐	주암조 댐	평림 댐	안동 댐	임하 댐	합천 댐	남강 댐 A	남강 댐 B	밀양 댐	화북 댐	영천 댐	운문 댐	사연 댐	구천 댐
횡성댐	0.00	0.07	0.14	0.07	0.18	0.13	0.10	0.09	0.37	0.15	0.07	0.19	0.36	0.08	0.34	0.07	0.07	0.25	0.09
광동댐	0.16	0.00	0.24	0.10	0.30	0.22	0.05	0.02	0.46	0.24	0.08	0.27	0.44	0.14	0.42	0.12	0.10	0.32	0.18
대청댐	0.19	0.21	0.00	0.19	0.13	0.17	0.17	0.19	0.30	0.08	0.16	0.18	0.36	0.14	0.35	0.07	0.07	0.27	0.14
용담댐	0.22	0.16	0.29	0.00	0.26	0.16	0.12	0.11	0.47	0.29	0.12	0.34	0.52	0.17	0.46	0.15	0.13	0.35	0.26
보령댐	0.24	0.27	0.14	0.17	0.00	0.17	0.16	0.18	0.32	0.17	0.22	0.23	0.41	0.19	0.39	0.16	0.12	0.31	0.23
섬진강댐	0.16	0.16	0.14	0.03	0.13	0.00	0.13	0.12	0.32	0.16	0.12	0.20	0.38	0.13	0.32	0.11	0.10	0.21	0.17
주암조댐	0.28	0.13	0.29	0.14	0.27	0.29	0.00	0.03	0.45	0.27	0.21	0.31	0.49	0.19	0.48	0.19	0.17	0.40	0.24
평림댐	0.27	0.12	0.33	0.14	0.30	0.28	0.04	0.00	0.50	0.32	0.20	0.34	0.52	0.21	0.51	0.22	0.20	0.43	0.27
안동댐	0.18	0.18	0.06	0.13	0.07	0.11	0.09	0.12	0.00	0.04	0.14	0.11	0.13	0.10	0.10	0.06	0.07	0.14	0.11
임하댐	0.16	0.16	0.04	0.14	0.11	0.15	0.11	0.14	0.23	0.00	0.11	0.14	0.33	0.09	0.31	0.03	0.04	0.24	0.09
합천댐	0.14	0.07	0.18	0.04	0.23	0.17	0.10	0.09	0.40	0.17	0.00	0.25	0.43	0.09	0.39	0.04	0.03	0.29	0.16
남강댐A	0.08	0.07	0.01	0.08	0.05	0.06	0.02	0.04	0.19	0.02	0.07	0.00	0.19	0.02	0.18	0.00	0.00	0.10	0.01
남강댐B	0.06	0.05	0.01	0.07	0.04	0.05	0.02	0.04	0.02	0.02	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
밀양댐	0.11	0.08	0.12	0.06	0.16	0.14	0.05	0.06	0.32	0.11	0.05	0.17	0.35	0.00	0.33	0.01	0.01	0.25	0.09
화북댐	0.12	0.10	0.07	0.08	0.10	0.06	0.07	0.09	0.06	0.07	0.09	0.06	0.07	0.07	0.00	0.02	0.01	0.04	0.05
영천댐	0.20	0.16	0.14	0.13	0.23	0.22	0.14	0.16	0.38	0.14	0.10	0.24	0.43	0.11	0.38	0.00	0.01	0.31	0.15
운문댐	0.25	0.20	0.20	0.16	0.24	0.26	0.18	0.20	0.44	0.21	0.14	0.29	0.48	0.16	0.42	0.06	0.00	0.35	0.21
사연댐	0.14	0.13	0.12	0.10	0.14	0.08	0.12	0.14	0.22	0.13	0.12	0.11	0.21	0.11	0.16	0.08	0.06	0.00	0.10
구천댐	0.08	0.07	0.07	0.09	0.16	0.13	0.05	0.07	0.28	0.06	0.07	0.10	0.28	0.04	0.26	0.00	0.01	0.18	0.00

3.3 투자우선순위 도출

Table 3과 같이 도출한 선호지수와 Eq. 2, Eq. 3을 이용하여 선호유출량, 선호유입량, 순흐름량, 그리고 투자우선순위를 PROMETHEE II 시행하여 Table 4와 같이 도출하였다. 선호의 순흐름량에 의해 PROMETHEE II를 시행하여 순위를 결정한 결과, 평림댐의 순흐름량이 0.18로서 가장 높은 투자우선순위를 나타내었고 남강댐 하류 가화천에 위치한 남강댐B 하류하천이 순흐름량 -0.31로서 가장 낮은 순위를 나타내었다.

Table 4. Leaving Flow and Entering Flow according to Alternatives

	평성댐	광동댐	대청댐	용담댐	보령댐	섬진강댐	주암조댐	평림댐	안동댐	임하댐	함천댐	남강댐 A	남강댐 B	밀양댐	화북댐	영천댐	운문댐	사연댐	구천댐
선호 유출량	0.15	0.20	0.18	0.24	0.21	0.16	0.26	0.27	0.10	0.14	0.17	0.06	0.02	0.13	0.07	0.19	0.23	0.12	0.11
선호 유입량	0.16	0.13	0.14	0.10	0.16	0.15	0.09	0.10	0.30	0.14	0.11	0.19	0.34	0.11	0.30	0.07	0.06	0.23	0.13
순흐름량	-0.01	0.08	0.04	0.14	0.05	0.01	0.16	0.18	-0.20	0.00	0.06	-0.12	-0.31	0.02	-0.24	0.12	0.17	-0.11	-0.03
순위	13	6	9	4	8	11	3	1	17	12	7	16	19	10	18	5	2	15	14

4. 결론

사업을 계획 혹은 추진과정에서 최적의 대안을 선택하거나 각각의 대안에 대한 우선순위를 결정하는 문제에 자주 직면하게 되며, 이러한 문제를 시대적 요구에 맞게 해결하고자 다기준의사결정 기법이 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 댐 하류하천 정비사업에 대한 투자우선순위를 결정하기 위하여 PROMETHEE를 이용하였으며, 시행 결과 평림댐 하류하천이 가장 시급한 사업으로 분석되었다. 이처럼 PROMETHEE는 복잡한 구조를 가진 의사결정 문제에서 활용가능한 장점이 있으므로, 다양한 이해관계와 평가요소를 고려하여야 하는 수자원 분야의 의사결정 과정에서 활용가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 건설교통부·한국수자원공사(2007). 댐 직하류 하천정비사업 기본계획
2. 이재웅, 남동성 (2007). "다기준의사결정기법을 이용한 안동다목적댐의 수문학적 안정성 증대방안 결정" 국토연구, 제53권, pp. 93-110.
3. 홍성준, 이용대, 김승권, 김중훈 (2006). "PROMETHEE와 ANP기법을 활용한 상수도관망의 위험요소평가" 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제39권 제1호, pp. 35-46.
4. Brans, J.P. and Vincke, P.H (1985). "A Preference Ranking Organisation Method" *Management Science*, Vol. 2, No. 6, pp.647-656.