

수자원사업 투자우선순위결정을 위한 다기준의사결정모형 개발

Development of Multi-Criteria Decision Making Model for the Determination of Investment Priority in Water Resources Projects

여규동*·최승안**·김길호***·이상원****

Kyu Dong Yeo, Seung An Choi, Gil Ho Kim, Sang Won Lee

요 지

수자원사업은 합리적이고 신뢰성 있는 의사결정이 필요한데 그동안 주로 경제성분석에 의존하여 왔다. 본 연구는 경제성분석위주의 기존 방법을 탈피하여 사업 필요성과 투자 타당성을 다양한 각도로 평가할 수 있는 합리적이고 객관적인 수자원사업 대안선정과 투자우선순위결정 방법을 도출하고자 하였다. 이를 위해, 대안 간에 동일한 기준으로 종합평가점수를 산정하여 우선순위를 결정할 수 있도록 다기준의사결정모형을 개발하였다. 적용결과는 취약성 기준에 큰 영향을 받으며, 정책적 기준, 경제성 기준의 순으로 분석되었다. 이는 전문가 설문에 의한 평가기준별 가중치의 영향으로, 수자원사업은 단순히 경제성 분석만으로 평가를 해서는 안 됨을 의미한다. 본 연구는 대규모의 예산이 투입되는 수자원사업에 대한 효율성과 취약지역에 대한 형평성을 제고하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수자원사업, 대안선정, 다기준의사결정, 계층화분석과정(AHP), 등간척도법, 효용함수

1. 서 론

2006년부터 2009년까지 국가에서 수행한 주요 수자원사업은 국가하천정비사업, 하천재해예방사업, 댐건설사업, 댐치수능력증대사업, 용수공급사업 등이 있으며, 이들 사업비는 연평균 2조 원이다. 지방정부에서 수행한 수자원관련 사업을 더한다면, 전체 예산에서 적지 않은 규모를 차지한다.

기존의 수자원사업 의사결정은 공학적 분석과 이에 따른 경제성 분석에 주로 의존하였다. 그러나 사회·경제·환경적으로 여건이 변하고, 수리·수문학적으로 분석기술이 개발됨에 따라 의사결정시 고려해야 할 사항은 크게 증가하고 더욱 복잡해지고 있다. 따라서 점차 다차원화 되어가는 수자원사업 계획의 의사결정문제는 다수의 의사결정자가 다양한 기준에 의해 대안을 평가할 수 있는 다기준의사결정을 필요로 한다. 본 연구의 목적은 기존 수자원사업의 의사결정체계 및 절차를 조사하여 문제점을 분석하고, 사업의 필요성과 투자의 타당성을 다양한 각도로 평가할 수 있는 합리적이고 객관적인 의사결정 분석방안을 도출하는 것이다. 즉, 수자원사업 시행 주체가 사업을 개별 실행계획부터 최종 투자우선순위까지 일관성 있는 하나의 통합된 기준으로 사업을 평가하고, 투자우선순위를 결정할 수 있는 의사결정모형을 개발하는 것이다.

2. 다기준의사결정모형 개발을 위한 방법론

수자원사업과 같은 공공사업의 대안선정과 투자우선순위결정을 위한 다기준의사결정모형을 개발하기 위해서는 몇가지 중요한 점을 고려해야 한다. 첫째, 대안들을 평가하는 기준을 어떻게 구성할 것인가?, 둘째, 평가기준 항목에 가장 적합한 속성은 어떻게 부여할 것인가?, 셋째, 평가기준별 상대적 가중치는 어떻게 산

* 정희원 · 인하대학교 수자원시스템연구소 Post Doctor · E-mail: yeokd94@gmail.com

** 정희원 · 한국개발연구원 공공투자관리센터 전문연구위원 · E-mail: sachoi@kdi.re.kr

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

**** 정희원 · 인하대학교 경제학부 교수 · E-mail: swlee@inha.ac.kr

정할 것인가?, 넷째, 평가기준 속성별 효용점수를 어떻게 부여할 것인가?, 다섯 번째, 각각의 평가기준 및 속성을 대안선정 또는 투자우선순위결정에 어떻게 종합화하여 적용할 것인가? 이다.

2.1 평가기준 선정

본 연구에서 평가하고자 하는 목적은 수자원사업의 대안선정과 투자우선순위를 위해서는 결정하기 위한 것이며, 이를 위해 “수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)(한국개발연구원, 2008)”을 참고로 하여 수자원사업 간에 우선순위결정에 적합하게 평가할 수 있는 항목으로 구성하였다. 평가기준 선정의 근본적인 배경은 첫째, 국민의 세금으로 투입되는 사업이 경제적으로 효율성을 가지는지?, 둘째, 사업시행에 따른 금전적 또는 복지적 혜택의 이동이 전반적으로 형평성에 위배되지 않고 여러 집단에 합리적으로 배분되었는지?, 셋째, 수자원사업은 특성상 다른 분야 또는 상·하위 계획과 연계가 많이 되는 사업이므로 관련 계획과의 연계성은 잘 이루어지는지?, 넷째, 사업에 의한 긍정적 또는 부정적 효과는 공간적인 범위를 가지기 때문에 그 범위에 해당하는 지방자치단체 또는 집단이 사업을 반대하지는 않는지?, 다섯째, 이수 또는 치수와 관련하여 특별히 취약하여 시급히 사업을 시행해야 할 지역은 없는지? 등이다. 평가기준의 하위항목은 상위항목을 대변하여 속성값으로 제시가 된다. 따라서 상호중복 없이 정량적 평가가 가능하고, 신뢰성 있는 자료 취득이 가능하며, 수자원사업에 초점을 두어 사업간 비교가 되도록 항목을 선정하였다. 이러한 점들을 고려하여 수자원사업 의사결정에 적합한 평가기준을 구성하였으며, 그림 1은 선정된 평가기준의 계층이다.

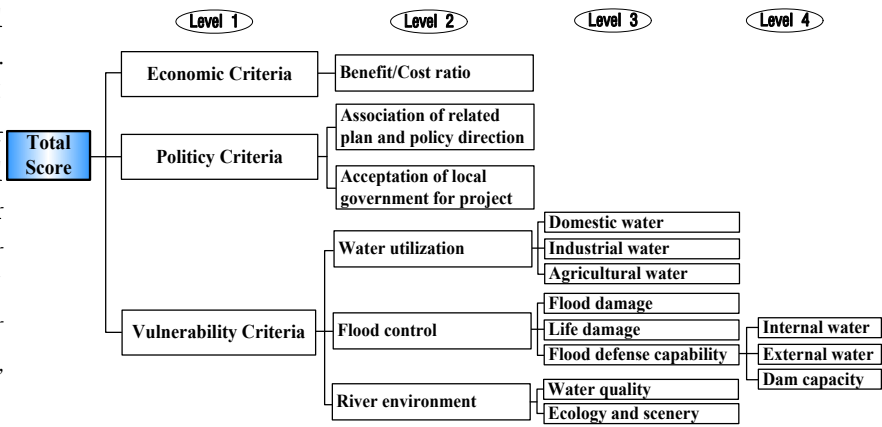


그림 1. 수자원사업 의사결정을 위한 평가기준 구성

2.2 대안선정 및 투자우선순위결정을 위한 다기준의사결정모형 개발

2.2.1 평가기준별 가중치 산정

대안에 대한 가치점수를 산정하여 다기준의사결정모형에 적용할 경우, 종합점수 과정에서 어떤 기준은 다른 기준에 비해 더 중요하거나 덜 중요할 수 있으므로, 이를 고려하기 위해 가중치를 설정하는 단계는 매우 중요하다. 즉, 가중치에 대한 설문할 때 최대한 집단을 대표하는 전문가가 인지하고 있는 정확한 가중치를 도출하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 본 논문에서는 가중치 산정시 기본이 되는 쌍대용비교에서 척도구간별로 설문응답자가 인지하는 값을 직접점수부여법을 통해 묻고, 이를 AHP에 의한 가중치 산정방법과 비교하였으며, 설문응답자가 인지하는 값을 최대한 정확히 도출하기 위한 등간척도법을 개발하였다.

의사결정모형의 대상인 수자원사업을 평가하는 것은 매우 전문적인 지식을 요하기 때문에 해당 분야의 전문가를 엄선하여 설문을 실시하였다. 설문응답자는 수자원사업 의사결정분야의 전문가로 총 71명이며, 국토해양부 수자원정책관 공무원(13명), 수자원공사(6명)와 같이 수자원사업을 추진하는 그룹, 한국건설기술연구원(9명), 한국개발연구원(5명), 대학교(7명), 하천정보센터

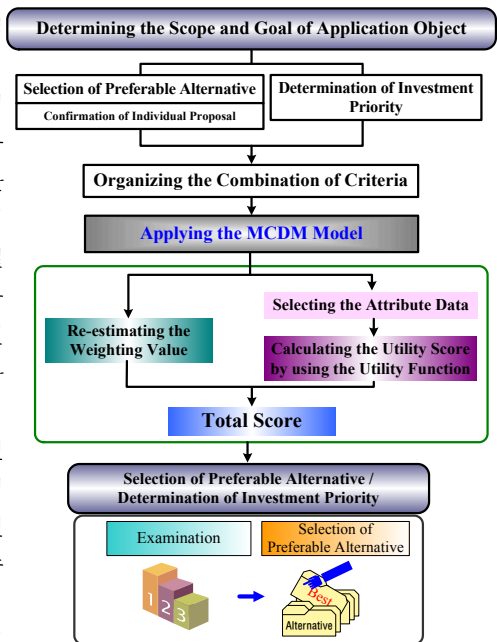


그림 2. 의사결정모형 적용절차

(6명)와 같이 연구분야에 속한 그룹, 설계회사를 그룹이 끌고루 포함되도록 선정하였다.

표 1. 다기준의사결정모형에 적용될 평가기준별 가중치와 효용함수

구분	가중치		효용함수	
	AHP	등간척도법		
대분류	경제성 기준	0.193	0.267	$U_{economic}(x) = \frac{100}{2.769498} \left(\frac{1 - e^{-0.357658x}}{1 - e^{-0.357658}} \right)$
	정책적 기준	0.246	0.295	$U_{policy}(x) = x$
	취약성 기준	0.561	0.438	$U_{weak}(x) = x$
정책적 기준	관련계획 및 정책연관성	0.709	0.599	$U_{p-relation}(x) = x$
	지자체 사업선호도	0.291	0.401	$U_{p-acceptation}(x) = 100 - \left[\frac{100}{61.174813} \left(\frac{1 - e^{-0.010922x}}{1 - e^{-0.010922}} \right) \right]$
취약성 기준	이수취약도	0.294	0.325	$U_{w-water}(x) = \frac{100}{30.03333} \left(\frac{1 - e^{-0.0325331x}}{1 - e^{-0.0325331}} \right)$
	치수취약도	0.556	0.430	$U_{w-flood}(x) = \frac{100}{28.278748} \left(\frac{1 - e^{-0.034883x}}{1 - e^{-0.034883}} \right)$
	하천환경취약도	0.15	0.245	$U_{w-environment}(x) = \frac{100}{38.743194} \left(\frac{1 - e^{-0.023668x}}{1 - e^{-0.023668}} \right)$
이수 취약도	생활용수 보급정도	0.626	0.456	$U_{ww1}(x) = -\frac{100}{70}x + \frac{10,000}{70}$
	공업용수 보급정도	0.202	0.286	$U_{ww2}(x) = -\frac{100}{85}x + \frac{10,000}{85}$
	농업용수 보급정도	0.171	0.258	$U_{ww3}(x) = -\frac{100}{60}x + \frac{10,000}{60}$
치수 취약도	과거자산피해	0.161	0.260	$U_{wf1}(x) = \frac{100}{5,700}x$
	과거인명피해	0.475	0.391	$U_{wf2}(x) = \frac{100}{40}x$
	홍수방어취약	0.364	0.349	$U_{wf3}(x) = x$
하천 환경 취약도	하천수질	0.717	0.604	$U_{we1}(x) = \frac{100}{5.3}(x - 0.7)$
	생태및경관	0.283	0.396	$U_{we2}(x) = -\frac{100}{76}x + \frac{93,000}{76}$
홍수 방어 취약	외수방어	1/3		$U_{wf1-a}(x) = -\frac{100}{70}x + \frac{10,000}{70}$
	내수방어	1/3		$U_{wf1-b}(x) = 100 - \frac{100}{85,000}x$
	홍수조절	1/3		$U_{wf1-a}(x) = 100 - \frac{100}{90}x$

2.2.2 평가기준 속성별 효용함수 도출

효용이론에서 가장 중요한 것은 의사결정자의 ‘위험에 대한 성향(risk attitude)’을 정확히 반영하는 효용함수를 찾는 것이다. 불확실성 하에서는 기대치가 아무리 높더라도 장래의 불확실성으로 인한 위험의 수준이 의사결정자가 감수할 수 없을 만큼 큰 대안이라면 선호될 수 없기 때문이다. 따라서 위험에 대한 의사결정자의 태도가 효용함수를 결정하는 기준이 된다.

효용함수이론을 토대로 하여 각 평가기준별 효용함수를 산정하기 위해 확실등가확실등가(CE, Certainty Equivalent)를 설문으로 조사하였다. 여기서 확실등가는 의사결정자가 어떠한 불확실한 사건과 무차별(indifference)하다고 느끼는 확실한 값이며, 의사결정자의 위험에 대한 주관적인 성향을 포함한다. 따라서 확실등가는 불확실한 사건들로 이루어진 의사결정문제에서 의사결정자의 위험성향을 고려하여 의사결정기준이 될 수 있다. 예를 들어, 동전을 던져서 앞면이 나오면 5,000원을 받는 게임을 생각해 보자. 이 게임에 참여할 권리를 가지고 있는 사람이 이 로터리의 가치가 확실하게 받을 수 있는 1,500원과 같다고 본다면 1,500원이 이 로터리의 확실등가이다. 효용함수를 결정하기 위해서는 위험회피계수 만 결정하면 된다. 위험회피계수는

CE값을 구한 후, 관계식을 이용하여 x와 CE의 비율을 세로축에서 찾아 이에 대응하는 가로축 값으로부터 을 계산한다.

2.2.3 다기준의사결정모형 개발

그림2는 수자원사업의 대안선정 및 투자우선순위 결정을 위한 다기준의사결정모형을 개발하는 절차를 나타내고 있다. 이를 위해 수자원사업 의사결정에 적절한 평가기준을 마련하고, 평가기준을 대표할 수 있는 속성을 부여하였으며, 각 속성별로 시군구별 현재의 수준을 비교함으로써 속성별로 최대·최소값을 설정하였다. 또한 전문가 설문문을 통해 수자원사업의 대안선정과 투자우선순위결정에 적합하도록 설정된 평가기준에 대한 가중치를 산정하고, 효용함수를 개발하였다. 표1은 다기준의사결정모형에 적용될 평가기준별 가중치와 효용함수를 정리한 것이다.

3. 적용 및 결과

본 연구에서 개발된 다기준의사결정모형은 유역종합치수계획의 대안선정과 투자우선순위결정, 댐건설장기계획의 투자우선순위결정, 광역상수도 및 공업상수도 수도정비기본계획의 대안선정 및 투자우선순위결정에 적용이 가능하다. 그리고 예산승인 전에 수자원사업 전체를 평가하여 투자우선순위를 결정하는데 적용이 가능하다.

3.1 유역종합치수계획 대안선정

항목별 속성점수합수와 효용함수를 통해 하위항목별로 속성값을 이용하여 속성별 점수를 산정하고, 가중치를 이용하여 치수취약도에 대한 속성점수를 산정하며, 최종적으로 취수취약도 속성점수를 효용함수식에 대입하여 효용점수를 산정하였다. 표2는 의사결정모형을 통해 대안별로 산정한 종합점수이다. AHP 가중치와 등간척법에 의한 가중치를 적용한 결과 모두에서 대안-3이 최선안으로 선정되었으나, 2위와 3위의 순서는 바뀌었다. 대안-3의 경우 경제성 분석과 정책적 분석이 가장 높지는 않으나 정책적 점수에서 상대적으로 점수가 크게 산정되었다. 단순히 경제성 분석만으로 대안을 선정하였다면 대안-2가 선정되었을 것이다.

표 2. 유역종합치수계획 대안별 종합점수와 순위

구분		대안-1	대안-2	대안-3	대안-4	대안-5
속성값	경제성 분석	1.181	1.333	1.316	1.299	1.247
	정책적 분석	85.0	90.0	95.0	85.0	85.0
	취약성 분석 (AHP/등간척도법)	89.2/88.6	85.3/85.3	87.0/86.9	86.8/86.5	86.9/87.2
속성별점수	경제성 분석	41.4	45.5	45.1	44.6	43.2
	정책적 분석	85.0	90.0	95.0	85.0	85.0
	취약성 분석 (AHP/등간척도법)	89.2/88.6	85.3/85.3	87.0/86.9	86.8/86.5	86.9/87.2
가중치 (AHP/등간척도법)	경제성 분석	0.193 / 0.267				
	정책적 분석	0.246 / 0.295				
	취약성 분석	0.561 / 0.438				
가중치 적용 속성별 점수 (AHP)	경제성 분석	7.98	8.79	8.70	8.61	8.34
	정책적 분석	20.91	22.14	23.37	20.91	20.91
	취약성 분석	50.03	47.87	48.79	48.68	48.73
종합점수		78.92	78.79	80.86	78.20	77.98
우선순위		2	3	1	4	5
가중치 적용 속성별 점수 (등간척도법)	경제성 분석	11.05	12.16	12.04	11.91	11.54
	정책적 분석	25.08	26.55	28.03	25.08	25.08
	취약성 분석	38.81	37.35	38.06	37.88	38.20
종합점수		74.93	76.06	78.12	74.87	74.81
우선순위		3	2	1	4	5

3.2 수자원사업 투자우선순위결정

본 연구에서 개발된 다기준의사결정모형을 투자우선순위결정에 적용하기 위해 생활 및 공업용수 공급목적의 WW권역 광역상수도사업, 환경개선용수·생활용수·홍수조절목적의 XX다목적댐건설사업, YY지하방수로 축조사업을 대상으로 분석하였다. 표3은 사업별로 산정한 종합점수와 우선순위이다. AHP 가중치와 등간척도법에 의한 가중치를 적용한 결과, 방법에 따라 점수의 차이는 있으나, 두가지 방법에서 'YY지하방수로 사업'의 종합점수가 가장 높았으며, 다음으로 'XX다목적댐 사업', 'WW권역 광역상수도 사업'의 순으로 산정되었다.

AHP 가중치와 등간척도법에 의한 가중치를 적용한 결과, 방법에 따라 점수의 차이는 있으나, 두가지 방법에서 YY지하방수로의 종합점수가 가장 높았다. 투자우선순위결정에 있어서 경제성 기준, 정책적 기준, 취약성 기준의 하위 항목에 대한 속성값을 산정하는데 어려움이 없을 것으로 판단된다. 또한, 실제로 예비타당성조사 단계까지 진행된 사업으로서 만약에 재원의 제약 등으로 투자우선순위를 결정해야 할 상황에 놓인다면 기존의 경제성분석 위주에 비해 본 모형을 통해 다양한 평가기준을 고려하여 의사결정자가 최종 의사결정을 하는데 용이한 판단을 할 수 있을 것으로 사료된다.

표 3. 사업별 종합점수와 순위

종합점수		경제성 기준	정책적 기준	취약성 기준	종합점수	우선순위
WW권역광역상수도	AHP	4.61	22.61	44.21	71.43	3
	등간척도법	6.38	26.77	31.04	64.19	3
XX다목적댐	AHP	10.10	20.28	44.59	74.97	2
	등간척도법	13.97	23.48	33.96	71.41	2
YY지하방수로	AHP	18.11	19.04	44.01	81.16	1
	등간척도법	25.05	21.43	35.18	81.66	1

4. 결론

본 연구는 수자원사업과 관련한 다양한 기본계획 내에서의 대안선정과 개별 기본계획에서 도출된 사업안을 사업시행자의 입장에서 투자우선순위를 결정하는 것에 주안점을 두고 평가기준을 설정하였다. 평가기준을 가장 잘 나타낼 수 있는 속성을 설정하기 위해 각종 통계자료와 운영자료 등을 조사하였다. 또한, 평가기준 항목별로 효용함수에 적용될 최대·최소값에 대한 적절한 범위를 선정하기 위해 설정된 속성자료들을 통계 분석하였다.

수자원사업과 같은 공공사업은 계획수립과정을 거치면서 다수의 전문가의 의견이 자연스럽게 취합된 집단 의사결정이므로 평가기준의 속성별로 집단의 효용에 대한 함수를 적용하여 정확한 평가가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구는 전문가 설문 등을 통해 평가기준 속성별로 확실등가를 도출하고, 이를 이용하여 효용함수를 개발하여 최대한 집단의 의견이 의사결정에 반영되도록 하였다.

개발된 의사결정모형에 대한 적용성을 평가하기 위해 유역종합치수계획의 대안선정과 수자원사업 투자우선순위결정에 적용하였다. 모형을 적용한 결과, 선정된 최선안은 기존의 방법에서 주요 평가기준인 경제성 기준보다는 취약성 기준에 큰 영향을 받으며, 다음으로 정책적 기준, 경제성 기준의 순으로 분석되었다. 이는 전문가 설문에 의한 평가기준별 가중치 산정 결과에 영향을 받은 것으로, 수자원사업은 단순히 기존의 경제성 분석만으로 평가를 해서는 제대로 된 평가가 아님을 의미한다.

본 연구결과에서는 경제성 기준에 비해 취약성 기준이 중요한 것으로 분석되었으나, 실제 수자원사업 예비타당성조사에 적용되는 의사결정모형에서는 수자원사업과 관련한 취약성은 고려되지 않고 있다. 따라서 예비타당성평가 단계에서도 이를 반영할 수 있도록 해당 기관과 협의하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한국개발연구원(2008). 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판).