

수자원사업 의사결정 지원을 위한 환경성 평가 방안

김길호* / 김우찬** / 여규동*** / 이충성****

Environmental Assessment for Decision Making in Water Resources Projects

Kim, Gil Ho* / Kim, Woo Chan** / Yeo, Gyu Dong*** / Yi, Choong Sung****

요약 : 본 연구의 목적은 수자원사업과 관련된 대표적 환경지표를 제시하고 더불어 사업전후 정량, 정성적 예측을 통합, 반영하는 일련의 방법을 제시하는 것이다. 구체적으로 수질, 경관, 생태계의 3가지 환경성 평가기준과 각각의 평가지표를 제시하였고, MAUT 기법을 이용하여 3가지 평가기준에 대한 효용함수를 전문가 설문을 통해 각각 도출하였다. 사업에 따른 영향정도는 정량적으로 예측된 결과를 사용하거나 이것이 어려울 경우 각 기준별 영향정도를 설문을 통하여 정성적으로 예측하는 방안을 제시하였다. 한편, 평가기준별 가중치는 해당 사업의 특수성을 고려하고자 사업별로 결정하는 것이 바람직하다고 제시하였으며, 이러한 일련의 과정은 사례연구로부터 적용성을 검토하였다. 본 연구의 결과물은 향후 사업에 따른 환경변화에 민감한 수자원사업에서 의사결정 지원수단으로 사용가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 환경성 평가, 평가기준, 다속성 효용함수, 계층분석법, 다기준의사결정, 수자원사업

Abstract : It is important to evaluate the environmental effect before performing the project and it should be tried to minimize the negative effects through the project planning based on the evaluation. This study aimed to determine environmental criteria and suggest the procedure for evaluating and scoring the environmental change through water resources projects. In evaluation criteria it was involved in water quality, landscape and ecosystem. And we suggested a valuation indicator and utility functions using MAUT in each criteria determined. In assessment procedure, it is involved in quantitative or qualitative estimation at before and after of project. Meanwhile, we suggested that it is desirable to determine the relative weighting of criteria whenever individual project's assessment performed for considering characteristics of the project. To this end, we verified the applicability of the procedure suggested on case. From this study, it will be used in decision making process of water resource project involved in environmental attributes.

Keywords : Environmental Evaluation, Criteria, MAUT, AHP, MCDM, Water Resource Project

1. 서 론

수자원사업과 같은 대규모 공공사업은 그 주변 지역에 미치는 영향이 매우 광범위하고 다양한 입장의 개인과 단체들의 의견을 수렴하여야 하기 때문에 많은 전문가들은 의사결정 과정의 중요성

을 강조하고 있다. 특히, 수자원사업과 같이 이해 당사자가 다수이고 공학적 기준 외의 다양한 가치체계를 포함하고 있는 다기준(multi-criteria), 다속성(multi-attribute) 문제를 해결하기 위해서는 다기준의사결정 분석이 필수적이다. 한편, 20세기 후반부터 본격화된 환경적으로 건전하고 지

+ Corresponding author: yeokd94@gmail.com

* 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정 · E-mail: kgh0518@gmail.com

** 삼안엔지니어링 상하수도부 사원 · E-mail: wchan7674@paran.com

*** 인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원 · E-mail: yeokd94@gmail.com

**** 한국수자원공사 4대강사업처 기술지원센터 선임위원 · E-mail: sung@kwater.or.kr

속가능한 개발(ESSD: Environmental Sound, Sustainable Development)의 목표와 같이, 사업 추진에 따른 수자원 여건 변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 사업계획 단계에서부터 경제성을 비롯한 다양한 가치들을 고려할 필요가 있으며, 특히 환경성은 지속가능한 개발을 위해서 필수적으로 검토되어야 할 항목이다.

예비타당성조사를 비롯한 공공사업의 타당성분석 시 가장 기본적으로 포함되는 경제성은 계량화가 가능한 편익항목에 대한 가치를 직접 반영함으로써 보다 직관적인 의사결정에 도움을 준다. 이렇게 사업으로 인해 과급되는 긍정적 혹은 부정적 영향을 계량화하여 반영하는 것이 의사결정과정에서의 주관적 판단의 최소화 측면에서 바람직할 수 있다. 하지만 환경영향정도의 계량화는 환경인자가 갖는 구조적 복잡성에 따라 쉽지 않지만, 사업의 주목적이 환경개선과 관계되는 경우 많은 연구에서 대체시설법, CVM 혹은 선택실험법 등과 같은 가치추정법을 활용하여 계량화한 사례가 있다(조용성 외, 2001; Han 외, 2008; 손민수, 2009; 강기래 외, 2011). 반면, 계량화까지는 아니더라도 정성적으로나마 사업에 따른 환경영향정도를 고려할 경우 사업과 관련된 환경항목의 지수 혹은 지표를 바탕으로 간접적으로 추정하되 되도록 실제적인 데이터를 바탕으로 사업전후 변화양상을 예측하여 평가하는 것이 바람직하다. 이처럼 사업전후 환경과 관련된 변화양상 파악은 지속가능한 친환경사업 실시에 필요한 전제조건이며, 몇몇 제도에서는 사업전 혹은 추진과정에서 환경적인 요소를 검토하도록 하고 있다. 국내 제도에서는 대표적으로 한국개발연구원(KDI)의 예비타당성조사와 사전환경성검토 등이 있다. 예비타당성조사제도에서는 경제성분석과 별도의 정책적분석의 기본평가항목의 하위 평가항목으로써 환경성을 고려하고 있으며, 사전환경성검토는 사업비 500억 이상의 개발 사업에 대해서 타당성조사 단계에서 실시하도록 되어있다.

본 논문과 관련된 연구는 크게 다기준의사결정 관련 연구와 지수 및 지표에 관한 것으로 분류할

수 있다. 대표적인 다기준의사결정기법인 AHP나 MAUT를 수자원분야에 적용한 연구로는 Ridgley(1992; 1993)가 AHP를 이용하여 가뭄이 물 수요량 및 공급량에 미치는 파급효과와 가뭄시 AHP에 의한 용수배분 방법론을 제시한 바 있다. 그리고 Bruen(2002)은 수자원계획과 유역관리를 위한 AHP와 MAUT의 적용성을 연구하였으며, Jandric과 Srdjevic(2000)는 유고슬라비아의 NoviSad시에 최적의 지하수 저장공간 선정에, Jaber과 Mohsen (2001)은 수자원 공급의 최적화 연구를 위하여 AHP를 적용하였다. 국내의 연구로는 이순탁과 김지학(1990)이 효용함수와 의사결정나무를 이용하여 금호강 수질개선을 위한 수자원 확보방안의 의사결정분석을 수행하였으며, 고석구 등(1992)은 AHP와 가중치법 등을 이용하여 다목적 저수지의 운영을 평가하였다. 이충성(2002)은 기존댐 재개발을 위한 대안평가에 MAUT를 활용하였고, 대안의 선정과정에서는 영향도와 의사결정나무를 이용하여 불확실성분석과 민감도분석을 수행하였다. 이수부문에서는 가뭄관리 의사결정을 위해 의사결정나무를 활용한 연구(강인주와 윤용남, 2001, 2002; 김치영, 2001)가 있었으며, AHP를 이용하여 용수배분의 가중치 혹은 치수사업의 투자우선순위를 결정한 사례도 있다(한국수자원공사, 2002a; 이충성 외, 2005b). 한국수자원공사(2002b)는 댐 건설사업의 평가와 관련된 문제의 해결에 MAUT를 사용한 바 있다.

지수 및 지표 개발에 관한 연구로는 수자원분야의 경우에는 박승준 등(2003)이 MAUT를 이용하여 환경을 고려한 댐 건설사업의 평가지수를 도출하였고, 조승국과 김선희(2005)는 델파이법을 사용하여 댐 건설사업의 환경가치 평가항목을 결정하였다. 한국수자원공사(2005)는 수자원의 지속가능성 평가지표를 개발하고, 상대적 가중치를 사용하여 중요도를 평가하였다. Sullivan(2002)은 수자원양, 수자원이용의 접근성, 사회적 관리 능력, 수자원 이용, 환경과 같은 세부지수로 구성된 물부족 지수(WPI, Water Poverty Index)를 개발한 바 있다.

그러나 개발로 인한 환경변화 양상은 언급한 바와 같이 관련 분석모형을 통해 직접적으로 예측하기 하는 것이 가장 바람직하지만, 이때 필요한 데이터 취득의 어려움, 분석 방법론의 부재, 환경의 특성상 구조적인 복잡성 등의 이유로 정량적 평가가 어려운 현실이다. 특히, 사업추진 단계에서는 다양한 분석을 수행하기엔 한계가 있다. 그렇기 때문에 수자원사업을 계획시 대부분 환경적인 영향을 매우 정성적인 형태로 평가하거나 수질과 같은 대표적인 항목에 대해서만 관련 모형에 의해 정량적으로 예측하는 실정이다. 또한, 기존 연구에서는 주로 사업진, 현 상황의 환경상태만을 평가하여 반영하는 경우(정세웅과 박재호, 2005; 이충성 외, 2005a; 김길호 외, 2007)가 많았으며, 수자원사업과 관련성이 적은 환경성 지표도 일부 포함되기 때문에 그대로 사용하기에는 수정이 필요하겠다. 이러한 문제점을 인식, 개선하고자 본 연구는 수자원사업의 특수성을 고려하여 환경성 평가기준 및 평가지표를 선정하고, 사업전후 변화 정도를 고려한 환경성 평가 방안을 제시하고자 한다.

2. 환경성 평가기준 선정 및 점수화 방안

수자원과 관련된 사회, 경제 분야의 통계자료와 유역조사 자료들은 다양하나, 수자원사업 계획을 수립하기 위한 평가에 이러한 자료들을 전부 사용하는 것은 적절하지 않다. 이는 각 분야에서 실시하는 통계 및 유역조사가 지수개발을 목표로 하고 있지 않기 때문이다. 따라서 환경성을 종합적으로 평가하기 위해서는 이들 자료들을 적절히 합성, 가공해야 한다. 본 연구에서는 다음 단계를 거쳐 환경성 평가기준을 선정하였다.

첫째, 대상사업의 설정이다. 수자원사업이 환경에 미치는 영향을 판단하는 기준을 정하기 위해서 수자원사업에서 가장 다방면에 걸쳐 영향을 준다고 할 수 있는 다목적댐을 우선 고려하였다. 둘째, 대상사업이 환경에 미치는 영향을 조사하고 구분하였다. 셋째, 관련규정과 지침의 검토를 통

해 수용가능성을 판단하였다. 한국수자원공사(2002b)는 다목적댐에 의한 영향으로 자연경관 훼손, 동식물 서식지 파괴, 하류수질 개선, 용수공급, 홍수조절, 댐 건설·운영비용 투입, 농작물 피해, 휴양기회 제공, 문화유적지 수몰 등을 제시하였다. 환경부(2009)는 환경성평가제도 관련 규정·지침에서 사업 및 지역적 특성을 고려하여 각 사업별 평가 항목을 선정하였다. 넷째, 기존 문헌을 통해서 평가기준 연구사례를 분석하였다. 세계 대담위원회는 댐의 환경에 미치는 영향을 조사하기 위하여 125개 댐에 대하여 설문조사를 실시하였고, 이 중 87개 댐에서 환경에 대한 자료를 얻을 수 있었다. 한편, 조승국과 김선희(2005)의 연구에서 환경편익 평가항목과 환경비용 평가항목을 결정한 바 있다. 다섯째, 수자원사업전반에 해당하는 평가항목을 선정하였다. 다목적댐이 환경에 미치는 영향과 환경성평가제도 관련 규정·지침에서 제시한 항목들을 바탕으로 평가기준을 선정하였다. 다목적댐 이외에 보, 강변저류지, 생태하천 복원 사업 등 다양한 수자원사업에 모두 적용될 수 있고, 같은 수자원사업이라도 큰 규모와 작은 규모의 사업에 구분 없이 적용이 가능한 항목을 평가기준으로 선정하였다. 또한 수자원사업의 계획단계에서 상위계획보고서나 기존 통계자료로 쉽게 자료를 습득할 수 있는 항목을 평가기준으로 선정하였다. 이러한 단계별 고려사항을 검토하여 수자원사업 의사결정을 위한 환경성 평가기준을 그림 1과 같이 수질, 경관, 생태계로 결정하였고, 각 속성의 잠재적 범위를 양이나 수준 등으로 표현하기 위한 정량화 방안을 제시하였다.

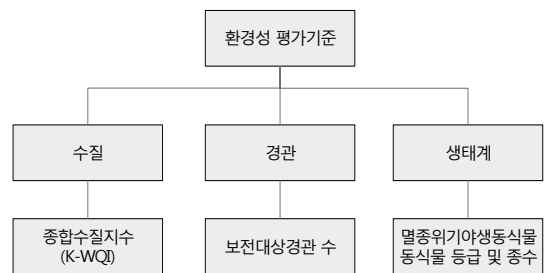


그림 1. 환경성 평가기준

2.1 수질

환경정책기본법 제10조에 명시되어 있는 하천 수의 수질환경기준은 pH, BOD, SS, DO, 총대장균수의 5가지 항목에 따라 5등급을 사용하고 있으나, 다양도로 이용되는 하천의 수질상태를 종합적으로 판단하기에 어려움이 있다. 따라서 본 논문은 이를 해소하고 수질을 종합적으로 판단할 수 있는 한국환경기술개발원(1998)에서 개발한 종합수질지수(K-WQI, Korea Water Quality Index)를 이용하였다. 이러한 수질 평가기준은 수량과 밀접한 관련이 있어 중복의 여지가 있다고 판단되는 바 본 연구에서 환경성 평가기준에는 수량에

대한 부분은 고려하지 않기로 한다. 종합수질지수는 식 (1)과 같이 가중된 곱의 형태(weighted product)로 표현되며, 종합수질지수에서 한 수질 항목이라도 0이면, 종합수질지수는 0이 되므로, 어떤 한 항목이라도 악화된 수질조건이면 전 지수는 나쁜 수질환경으로 평가된다. 이때, 10개 항목에 대한 부지수합수 및 가중치는 표 1과 같다.

$$K-WQI = \prod_{i=1}^{10} I_i^{W_i} \quad (1)$$

여기서, I_i : 각 항목의 부지수합수 계산치
 W_i : 가중치

표 1. 수질항목별 부지수 합수

항목	부지수 합수	가중치	항목	부지수 합수	가중치
BOD	$M(BOD) = 106.68 - 5.84(BOD)$	0.107	SS	$M(SS) = 96.13 - 0.79(SS)$	0.104
pH	6.5-8.5 : $M(pH) = 100$ <6.5 : $M(pH) = 52.74(pH) - 239.68$ >8.5 : $M(pH) = 551.42 - 52.74(pH)$	0.110	T-N	$M(T-N) = 102.01 - 0.068(T-N)$	0.095
			NH3-N	$M(NH3-N) = 101.93 - 0.086(NH3)$	0.095
			NO3-N	$M(NO3-N) = 101.96 - 0.036(NO3)$	0.089
DO	100-150% : $M(DO) = 123.3 - 0.298(DO)$ 100%미만 : $M(DO) = 1.055(DO)0.987$	0.103	T-P	$M(T-P) = 101.94 - 0.098(T-P)$	0.096
			T-Coli	$M(T-Coli) = 181.1(T-Coli) - 0.164$	0.094
COD	$M(COD) = 96.30 - 4.41(COD)$	0.106	합 계		1.000

출처 : 한국환경기술개발원(1998)

2.2 경관

경관이란 눈으로 보았을 때 한 번의 조망으로 이해될 수 있는 모든 사물을 뜻하는 것으로, 여기에는 자연적 요소와 인공적 요소가 있다. 경관의 좋고, 나쁨은 사람이 주관적으로 느끼는 감정으로 판단을 내리기 때문에 경관을 나타낼 수 있는 지표는 어쩔 수 없이 사람의 판단이 개입될 수밖에

없다. 경관생태학분야에서는 전문 프로그램을 사용하여 경관지수를 구한 사례가 있으나 수자원사업의 계획단계에서 이를 적용하기에는 한계가 있다. 그리하여 본 논문에서는 경관을 나타내기 위한 지표로 자료 획득이 용이하고, 전국에 걸쳐 자료가 구축되어 있는 전국자연환경조사보고서의 지형경관부분의 자료를 사용하였다. 특히, 일반지형 중에서 수자원사업과 관련이 깊은 호소지형과 하

천지형만을 고려하였다.

한편, 제2차 전국자연환경조사에서는 지형의 희귀성, 위험성, 관광적 가치, 학문적 가치 등을 고려하여 보전이 필요한 지형경관을 정하였고, 이때 보존대상경관은 V등급으로, 비대상경관은 I등급으로 구분하였다.¹⁾ 본 연구에서는 보존대상경관인 V등급의 지형을 기준으로 점수를 부여하였고 표 2와 같이 V등급에 해당하는 지형이 4개 이상인 경우는 100점, 3개인 경우는 80점, 2개인 경우는 70점, 1개인 경우는 60점, 없는 경우는 0점을 부여하였다.

표 2. 경관 평가기준에 대한 점수 부여

보존대상 경관의 수	4개소 이상	3개소	2개소	1개소	0지점
점수	100	80	70	60	0

실제로 제2차 전국자연환경조사결과에 의한 지형경관 V등급인 지역은 생태·자연도의 경관항목을 평가하는 지표로 활용된 바 있으나, 이렇게 단편적인 2개의 등급을 사용한다는 것은 실제 지형경관의 특성을 반영하기에 한계가 있다. 제3차 전국자연환경조사보고서의 지형경관 부분은 이런 문제점을 해결하기 위해 지형경관의 등급을 좀 더 세분화하여 평가하고 있다. 즉, 1등급(절대보전), 2등급(보전), 3등급(준보전), 4등급(보전가치미흡)까지 단계적으로 보전등급을 부여하도록 하였다. 보전등급을 부여하는 과정에서는 8가지(대표성, 희소성, 특이성, 재현가능성, 학술·교육적 가치, 자연성, 다양성, 규모, 기타 의견) 지형경관등급 세부 평가 항목을 상·중·하로 사전에 평가하여 이 결과를 전체 보전등급으로 종합하는 과정으로 설계되었다. 향후 제3차 전국자연환경조사보고서가 완료된 이후에는 새로운 등급을 사용하여 경관항목을 수정할 필요가 있다고 판단된다.

1) 여기서의 V등급과 I등급은 제2차 전국자연환경조사에서의 경관항목 평가를 위한 등급이며, 제3차 전국자연환경조사에서는 1-4등급으로 세분화하고 있다.

2.3 생태계

본 연구에서의 생태계란 생물군을 제어하는 무기적 환경요인을 제외한 단순한 생물군, 그 중에서도 생산자와 소비자, 즉 동물과 식물을 의미한다. 생태·자연도작성지침에서는 생태·자연도의 등급을 나눌 때 생태계를 고려하기 위한 기준으로 멸종위기야생동·식물 I, II급 등급을 사용한다. 그러나 멸종위기야생동·식물 I, II급만을 생태계를 점수화하는 지표로 사용하면 0점이 나오는 지역이 상당히 많을 것이다. 왜냐하면 이에 해당하는 종은 극히 적을 뿐 아니라, 서식처도 한정되어 있기 때문이다. 멸종위기야생동·식물에 지정은 안 되었으나 현존하는 개체수가 적고, 학술적으로 가치가 있는 종이 존재하기 때문에 본 논문에서는 멸종위기야생동·식물 I, II급과 함께 제2차 전국자연환경조사지침에 나와 있는 동·식물의 등급 분류와 중수를 사용하여 생태계를 점수화 하였다.

2.3.1 동물

생태계 항목 중 동물의 점수화를 위하여 “포유류와 양서/파충류”, “조류”를 사용하였다. 여기서, 수질변화에 상당히 예민하게 반응하는 담수어류와 저서성 무척추동물은 고려대상에서 제외하였는데, 이 같은 물에서만 사는 분류군은 앞서 언급한 수질평가기준과 중복의 여지가 있고, 이들 부류는 따로 등급화된 자료가 없어 점수화를 위해 사용하기 적합하지 않기 때문이다. 우선적으로 멸종위기야생동·식물 I, II급에 해당하는 종이 서식할 경우, 100점을 우선적으로 부여하였다. 이는 멸종위기야생동·식물 I, II급 종들은 법적으로 보호된 종으로서, 단 한 종류만 서식하더라도 개발 자체에 상당한 영향을 미칠 수 있고 기존 사례에서도 사업진행에 상당히 악영향을 미치기 때문에 우선 점수를 부여하는 방식으로 하였다. 반면, 멸종위기야생동·식물 I, II급에 해당하는 종이 서식하지 않는

경우 표 3과 같이 2차 전국자연환경조사지침(환경부, 1997)에 제시된 등급에 대해 본 연구에서 부여한 점수, 그리고 해당 등급별 종수에 따른 점수와의 관계를 통해서 점수를 부여하였다.

표 3. 동물 등급별 종수별 반영점수

포유류, 양서/파충류 등급	조류 등급	등급별 점수	종수	종수별 점수
5	4, 5	10	7종 이상	4
4	2, 3	6	5-6종	3
3	1	4	3-4종	2
2		3	1-2종	1
1		2	0종	0

멸종위기야생동·식물 I, II급 중(동물) 서식하는 경우 100점

등급에 따른 점수구분을 살펴보면, 포유류와 양서/파충류의 경우 5등급은 10점, 4등급 6점, 3등급 4점, 2등급 3점, 1등급 2점의 점수를 부여하였다.²⁾ 반면, 조류의 경우 그들 모두가 우선적 가치를 부여받아 등급화된 상태이므로, 조류의 등급기준 4, 5등급에 해당하는 종은 포유류, 양서/파충류 5등급과 같은 수준으로 보고, 조류의 등급기준 2, 3에 해당하는 종은 포유류, 양서/파충류 4등급과 같은 수준, 조류의 등급기준 1등급에 해당하는 종은 포유류, 양서/파충류 3등급과 같은 수준으로 설정하였다. 그리고 해당등급 내 종수에 따라 7종 이상이면 4점, 5-6종이면 3점, 3-4종이면 2점, 1-2종이면 1점, 0종이면 0점을 부여하였다. 그리하여 최종 동물점수는 식 (2)와 같이 각 등급별 점수와 종수별 점수를 곱하여 합한 값(최대값: 100점)이 된다.

$$E_a = \sum_{i=1}^5 G_i N_i \tag{2}$$

여기서, E_a 는 동물 환경점수, G_i 는 i 등급의 점수, N_i 는 i 등급에 속하는 종수를 의미한다.

2.3.2 식물

식물의 경우도 멸종위기야생동·식물 I, II급에 해당하는 종이 대상지역 내 서식할 경우 100점을 부여하였다. 한편, 전국자연환경조사 보고서에서는 식물의 경우 일반식물과 특정식물을 구분하여 조사하고 있다. 여기서, 일반식물은 관속 식물 전반(양치식물, 나자식물, 피자식물)을 의미하고, 특정식물은 학술적, 생태적, 상업적, 사회문화적, 심미적 가치 등이 높아 이미 멸종위기에 직면하였거나 급속히 감소될 우려가 있어 우선적인 보전대상이 되는 식물종을 의미한다. 본 연구에서는 식물을 점수화시 일반식물은 고려대상에서 제외, 특정식물을 기준으로 반영하였다.

식물 점수를 산정하기 위하여 2차 전국자연환경조사지침(환경부, 1997)에 제시된 등급에 따라 표 4와 같이 5등급은 10점, 4등급은 6점, 3등급은 4점, 2등급은 3점, 1등급은 2점을 부여하였고, 해당 지역의 어떤 등급에 포함되는 종수가 3종 이상이면 4점, 2종이면 3점, 1종이면 2점, 0종이면 0점을 부여하였다. 그리하여 최종 동물 점수는 식 (3)과 같이 각 등급별 점수와 종수별 점수를 곱하여 합한 값(최대값: 100점)이 된다.

$$E_p = \sum_{i=1}^5 G_i N_i \tag{3}$$

여기서, E_p 는 동물 환경점수, G_i 는 i 등급의 점수, N_i 는 i 등급에 속하는 종수를 의미한다.

2) 등급별 점수분배는 경관, 생태계항목의 개별속성효용함수의 형태를 따르도록 하였고, 이 같은 등급별 점수화는 토지적성평가지침(건설교통부, 2003)와 같은 점수분배 형식을 참고하여 반영하였다.

표 4. 식물 등급별 종수별 반영점수

특정식물 등급	등급별 점수	종수	종수별 점수
5	10	3종 이상	4
4	6	2종	3
3	4	1종	2
2	3	0종	0
1	2		

멸종위기야생동·식물 I, II급 중(식물)이 서식하는 경우 100점

2.3.3 생태계 환경점수

최종 생태계 환경점수(E_e)는 식 (4)와 같이 동물점수(E_a)와 식물점수(E_p)의 평균값을 취하여 결정한다.

$$E_e = 0.5E_a + 0.5E_p \quad (4)$$

3. 평가기준별 효용함수 및 환경성 점수

3.1 평가기준별 효용함수 결정

평가기준별 효용함수를 도출하기 위해 평가자의 위험성향 즉, 위험회피, 위험중립, 위험선호에 따라 효용함수의 완전한 형태를 정해야 한다. 그러나 통상적으로 지수 및 선형 효용함수를 가정하는 형태가 강건한(robust) 것으로 알려져 있다 (Keeney, 1992). 이에 따라 본 연구에서는 식 (5)

와 같은 지수형 효용함수를 사용하였으며, 효용함수의 부과를 위해 확실등가방법(certainty equivalent method)을 이용하였다.

$$\begin{aligned} \text{위험회피형: } U(x) &= a - be^{-rx} \\ \text{위험중립형: } U(x) &= a + rx \\ \text{위험선호형: } U(x) &= a + be^{rx} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, a, b 는 $U(x) \in [0, 1]$ 을 보장하는 상수이며, r 은 위험회피계수(risk aversion coefficient)이다.

위험회피계수를 구하기 위해 본 연구에서는 확실등가방법에 의한 표준로터리로부터 확실등가(CE) 값을 구한 후, x 와 CE의 비율을 세로축에서 찾아 이에 대응하는 가로축 값으로부터 r 값을 결정하였다. 각 기준별 효용함수의 형태, 확실등가를 도출하기 위해 설문조사를 실시하였으며, 설문 대상은 관(8명), 학(8명), 산(10명), 연(8명) 4부류의 전문가를 대상으로 하였다. 설문결과, 표 5와 같이 수질항목의 경우 위험중립형태가 우세하게 나타났고, 나머지 2개의 기준들은 모두 어느 그룹에 상관없이 위험선호형태가 우세하게 나타났다. 즉, 경관이나 생태계 항목의 경우 일정 수준에 도달하지 못한 경우에는 점수가 증가하더라도 사람이 느끼는 효용의 증가폭은 크지 않았다. 여기서, 개인별 확실등가는 기하평균으로 합성하였으며, 표 6과 그림 2는 산정된 위험회피계수와 측정된 효용함수식, 그리고 함수형태를 보여준다.

표 5. 설문자들의 위험 성향

집단	관			학			산			연			전체		
	수질	경관	생태계	수질	경관	생태계	수질	경관	생태계	수질	경관	생태계	수질	경관	생태계
위험회피형	3	0	1	0	1	0	3	1	0	1	3	2	7	5	3
위험중립형	3	0	0	3	0	0	4	0	0	4	0	1	14	0	1
위험선호형	2	8	7	5	7	8	3	9	10	3	5	5	13	29	30

표 6. 속성별 위험회피계수(r)과 평가기준별 효용함수

기준	전체	관	학	산	연	효용함수(전체그룹)
수질	0	0	0	0	0	$U(x) = 1.667(x - 40)$
경관	0.018	0.016	0.022	0.017	0.018	$U(x) = \frac{1}{0.359} \left(\frac{1 - e^{-0.018x}}{1 - e^{-0.018}} \right)$
생태계	0.023	0.022	0.022	0.028	0.021	$U(x) = \frac{1}{0.254} \left(\frac{1 - e^{-0.023x}}{1 - e^{-0.023}} \right)$

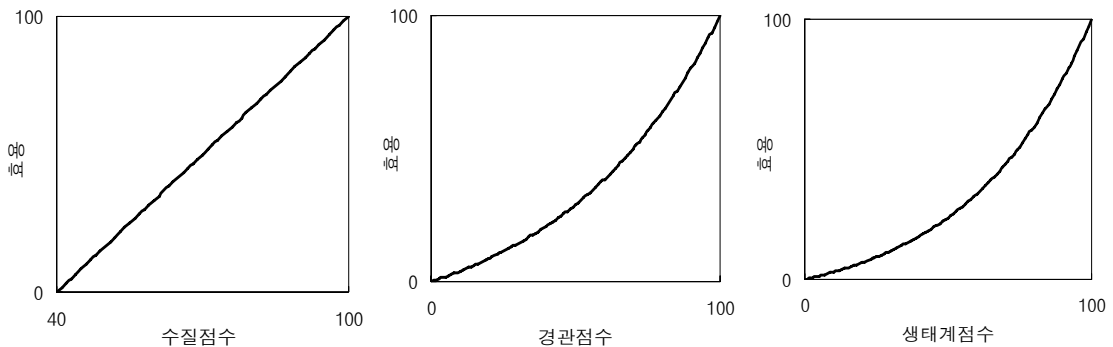


그림 2. 개별속성효용함수 곡선

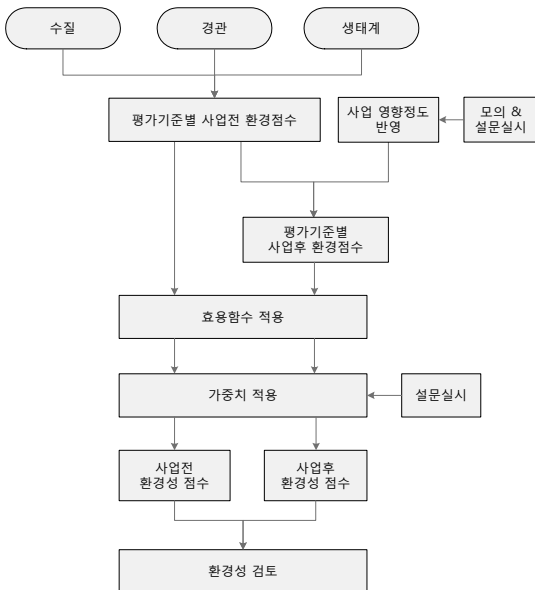


그림 3. 환경성 검토를 위한 분석 흐름도

3.2 사업전후 환경성 점수

사업을 시행함에 따라 예상되는 환경성변화를

검토하기 위해서는 사업전 환경성(현상태)과 사업 후 환경성을 비교하여야 한다. 그림 3은 앞서 결정된 평가기준별 환경점수 산정 및 효용함수를 바탕으로 대상사업의 환경성을 검토하기 위한 분석 흐름도이다.

3.2.1 사업전 환경성 점수

사업전의 환경성 점수를 산정하기 위해서는 평가기준별 환경점수(E_i ; E_w , E_s , E_e)를 결정하기 위한 자료를 획득해야 한다. 수질 항목은 종합수질지수를 구하기 위한 10가지 수질항목의 수치, 경관 항목은 보존대상경관의 수, 생태계 항목은 동·식물의 등급별 종수를 파악해야 한다. 이로부터 각 기준에 해당하는 점수를 산정할 수 있는데, 이 값을 미리 결정된 개별효용함수에 대입하여 $U(E_w)$, $U(E_s)$, $U(E_e)$ 값을 각각 결정하고 대상사업의 특성을 바탕으로 실시한 설문을 통해 결정된 평가기준별 가중치(w_w , w_s , w_e)를 반영하여 식 (6)과 같이 적용함으로써 사업전 환경성 점수

를 도출할 수 있다.

$$E_b = U(E_w)w_w + U(E_s)w_s + U(E_e)w_e \quad (6)$$

이러한 다속성효용함수를 산출시 가법형(additive) 효용함수나 승법형(multiplicative) 효용함수를 고려할 수 있는데, 본 연구에서는 가법형 효용함수를 적용하여 각 세부속성의 함수들을 하나의 다속성효용함수로 결합하였다. 이는 각 속성이 다른 속성에 대한 수단이 아니라는 점과 속성의 목록이 포괄적이라면 독립성에 대한 검증 없이 가법형태의 다속성 효용함수를 사용하는데 무리가 없기 때문이다(Keeney, 1992). 또한 다양한 상황에 MAUT를 응용함에 있어서, MAUT의 기초 연구로서의 가치가 있을 뿐 만 아니라 보다 복잡한 승법형 함수의 적용에 있어서도 선행 연구되는 기본적인 출발점이 되기 때문이다(Farquhar, 1975).

3.2.2 사업후 환경성 점수

사업후의 환경성 점수 산정 또한 마찬가지로 사업으로 인한 평가기준별 영향정도를 모의가능한 요소는 모의값을 반영하고 불가능한 것은 정성적으로 예측하는 설문을 표 7과 같이 7점의 SD척도(semantic differential scale)³⁾를 사용하여 실시하여 영향정도를 파악하도록 한다. 여기서, 영향정도는 부정적인 영향, 중립, 긍정적인 영향까지 총 13개 등급으로 분류하여 답변을 하도록 하였다.

표 7. 영향정도 결정을 위한 설문지

부정적 영향 (negative effect)							긍정적 영향 (positive effect)					
매우 부정적		부정적		약간 부정적	중립		약간 긍정적		긍정적		매우 긍정적	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬

3) 5점 척도의 경우, 응답자의 중심화 경향에 의해 데이터 정보량이 상대적으로 빈약해지는 단점이 있어 일반적으로 7점 혹은 9점 척도를 사용하는 실정이다.

설문으로부터 사업으로 인한 영향정도는 그림 4와 같이 반영하여 사업후 환경점수(\bar{E}_i ; \bar{E}_w , \bar{E}_s , \bar{E}_e)를 결정하고, 이를 효용함수에 적용한다. 즉, 아래 그림에서 사업전 평가점수(E_i)를 기준으로 긍정적/부정적 영향정도에 따라, 긍정적 영향인 경우에는 상한값인 100과 현재 점수의 차이를 6등분한 값을 기준으로 사업후 환경점수를 결정한다. 부정적 영향인 경우, 마찬가지로 하한값인 0과 현재 점수의 차이를 6등분한 값을 기준으로 사업후 환경점수를 결정한다. 결정된 사업후 환경점수(\bar{E}_i)를 개별 효용함수에 적용한 뒤, 사전 결정된 가중치를 식 (7)과 같이 반영함으로써 사업후 환경성 점수를 도출할 수 있다.

$$E_a = U(\bar{E}_w)w_w + U(\bar{E}_s)w_s + U(\bar{E}_e)w_e \quad (7)$$

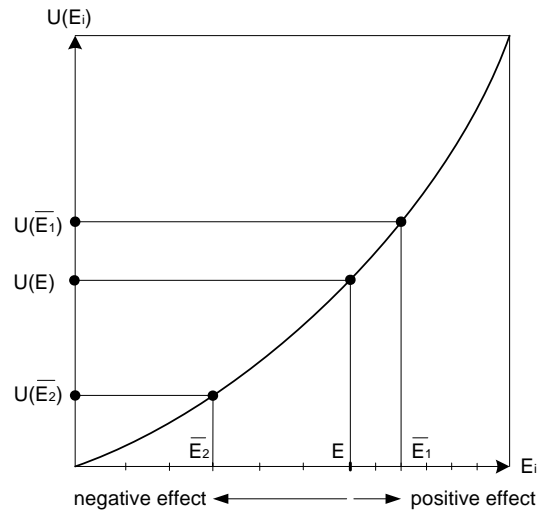


그림 4. 사업후 영향정도에 따른 환경점수 및 효용값

3.2.3 환경성 검토

식 (8)과 같이 사업전 환경성 점수(E_b)와 사업후 환경성 점수(E_a)의 차이를 통해 사업으로 인

해 대상사업의 종합적인 긍정적 혹은 부정적 환경적 영향정도 파악하도록 한다.

$$\Delta E = E_b - E_a \quad (8)$$

4. 사례분석

본 연구에서 제시한 평가기준, 기준별 점수화 방안, 효용함수를 현재 건설 중인 수자원사업⁴⁾(이후 사업A라 표기)을 바탕으로 적용성을 검토해보았다.

4.1 사업전 환경성점수

사업A의 사업전 환경성점수를 산정하기 위해 평가기준별 필요한 자료를 수집하였다. 수질 항목의 경우 인근의 세 개 수질측정망의 자료를 사용

하였고, 경관 항목의 경우 제2차 전국자연환경조사보고서에 제시한 해당지역의 자료를 사용하였다. 생태계 항목은 환경영향평가서(국토해양부, 2009)의 자료를 사용하여 앞서 제시한 방법론에 의해 검토한 사업A의 사업전 환경성점수는 수질 항목의 경우 64.67점, 경관은 38.49점, 생태계에서는 74.94점으로 나타났다.

4.1.1 수질

종합수질지수를 산정하기 위해 물환경정보시스템에서 제공하는 2008년 1월부터 2009년 7월까지의 전국수질자료현황을 사용하였다. 사업A 지역 인근의 수질측정망에서의 수질 관련 데이터와 K-WQI 부지수 함수를 이용하여 표 8과 같이 78.8점으로 나타났다. 이를 표 6에서 제시한 수질 항목의 효용함수에 대입한 환경성 효용점수는 64.67점이다.

표 8. 사업A 예정지의 K-WQI

	PH	DO	BOD	COD	SS	T-N	NH3-N	NO3-N	T-P	T-Coli
가중치	0.110	0.103	0.107	0.106	0.104	0.095	0.095	0.089	0.096	0.094
값	7.9	117.5	2.7	5.5	13.0	3.358	0.078	2.237	0.215	1221
I	100	88.29	90.88	72.26	85.85	60.49	83.81	75.76	82.97	56.46
Iw	1.66	1.59	1.62	1.57	1.59	1.48	1.52	1.47	1.53	1.46

K-WQI = 78.8

4.1.2 경관

경관항목의 점수화를 위해 제2차 전국자연환경조사보고서를 사용하였다. 사업A 지역의 지형경관 관련 자료를 사용하였고, 보존대상경관에 해당하는 V등급의 지형에는 자연상태의 하천변 습지인 범람원이 있는 것으로 나타났다. 자연환경조사 보고서 상의 지형경관조사표를 살펴보면 이 곳 이

외에도 범람원이 있으나 비보존대상경관에 해당하는 I등급이라 점수화하기 위해 포함시키지 않았다. 즉, 해당지역의 경관 점수는 V등급의 지형이 1개소이기 때문에 표 2에 의해 60점이며, 앞서 제시된 경관항목 효용함수에 대입한 결과, 환경성 효용점수는 38.49점이다.

4) 본 논문에서 제시한 방법론의 실증적 사례연구를 포함하여 독자의 이해를 돕고자 한다. 그러나 건설 중인 사업에 대해 단지 학술적 목적으로 분석된 평가결과를 공표할 경우, 본 연구의 순수성을 왜곡시킬 여지가 있다고 판단되므로 사례연구에서의 대상 사업명은 밝히지 않았음을 양해 바란다.

4.1.3 생태계

생태계항목을 점수화시 수질항목에서 사용된 환경영향평가서에서 조사된 결과를 사용하였다. 사업A 주변에 서식하는 포유류는 표 9와 같이 총 4종, 조류는 총 4종, 양서/파충류는 총 11종이 서식하는 것으로 나타났다. 특히, 멸종위기야생동·식

물 I, II급 종들은 법적으로 보호된 종으로서, 단 한 종류만 서식하더라도 개발 자체에 상당한 영향을 미칠 수 있기 때문에 100점을 부여하기로 한 바 있으며, 해당 사업지역에는 멸종위기야생동·식물 I 급인 수달과 II급인 삵이 서식하므로 합천보 사업 지역의 동물 점수는 100점으로 나타났다.

표 9. 사업A 예정지의 동물점수

등급	포유류	조류	양서/파충류	종수	등급별 부여점수	종수별 부여점수	최종점수	비고
5	수달		두꺼비	2	10	1	100	멸종위기야생동 물 I 급인 수달과 II급인 삵 서식
4		황조롱이	한국산개구리, 누룩뱀, 북방산개구리, 쇠살모사	5	6	3		
				4	4	2		
3			노랑뇽, 자라, 청개구리	5	3	3		
2	고라니	왜가리, 쇠백로, 중대백로	움개구리	3	2	2		
1	너구리		참개구리, 유헌목이					

사업A 예정지에 서식하는 식물상을 살펴보면, 멸종위기야생동·식물에 해당하는 종은 서식하지 않았으며, 표 10과 같이 5등급 식물은 2종, 4등급 식물이 3종, 3등급식물이 8종, 1등급식물이 10종으로 총 20과 23종이 서식하는 것으로 나타났다. 이를 점수화한 결과 식물점수는 78점으로

나타났다. 위에서 구한 동물점수(100점)와 식물점수(78점)를 각각 식 4에 의해 계산한 사업A의 생태계 종합점수는 89점이며, 앞서 제시한 생태계항목 효용함수에 대입한 결과, 생태계 효용점수는 74.94이다.

표 10. 사업A 예정지의 식물점수

등급	서식 식물종	종수	등급별 부여점수	종수별 부여점수	점수	최종점수	비고
5	왕벚나무, 털새동부	2	10	3	30	78	멸종위기야생동 물 I, II급 서식하지 않음
4	산돌배, 자라풀, 측백나무	3	6	4	24		
3	애기석위, 흑삼릉, 물박달나무, 고평나무, 탱자나무, 멀구슬나무, 시닥나무, 둥근배암차즈기	8	4	4	16		
2	-	0	3	0	0		
1	젓나무, 잣나무, 보풀, 홀아비꽃대, 왕버들, 물오리나무, 굴참나무, 귀방울덩굴, 사철나무, 노랑어리연꽃	10	2	4	8		

4.2 사업후 환경성점수

수질항목의 경우, 환경영향평가서(2009)에서 모의된 각 수질측정방법 예측치를 사용하여 사업후 K-WQI를 산정하였다. 사업후 수질항목 모의 결과를 살펴보면 표 11과 같이 BOD와 TP에 대한 정보만 있었고, 나머지 수질항목의 대한 변화가 분명히 있었지만 관련 정보가 없기에 본 연구에서는 BOD와 TP를 제외한 나머지 항목은 변화가 없다고 가정하였음을 알려둔다. 이때 K-WQI 값은 79.3점으로 나타났고, 이를 수질 효용합수

표 11. 사업후 BOD, T-P 변화

구분	사업후 수질 모의치	
측정망A	BOD	2.4
	T-P	0.16
측정망B	BOD	2.8
	T-P	0.19
측정망C	BOD	0.5
	T-P	0.05

에 적용한 결과 65.51점으로써 사전 효용점수인 64.67점에 비해 다소 긍정적인 영향을 미칠 것으로 나타났다.

경관과 생태계 항목의 경우 사업후 변화를 현 상황에서는 자료의 한계 때문에 실제 모의가 어렵다고 판단되어 관련 전문가를 대상으로 사업에 대한 제반설명이 포함된 표 7의 설문을 실시하여 정성적으로 사업후 환경적 영향을 평가하였다. 이를 위해 관련 전문가 34명에 대해 사업 대상지역과 사업내용에 대한 제반설명을 포함한 직접 설문을 실시하였고, 집단별 의사를 다양하게 반영하기 위하여 여러 집단(국토해양부, 연구소, 대학교, 설계회사)으로 구성하였다. 설문결과, 사업전 경관항목의 효용점수는 사업전 38.49점에서 사업후 49.25점으로써 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났고, 생태계의 경우 사업전 74.94점에서 19.60점으로 상당한 악영향을 미칠 것으로 나타났다. 수질항목을 포함한 전체 평가기준별 사업후 효용점수를 정리하면 표 12와 같다.

표 12. 사업후 효용점수

구분		사업전		영향정도		사업후	
		환경점수, E_i	효용점수, $U(E_i)$	설문등급	ΔE_i	환경점수, \bar{E}_i	효용점수, $U(\bar{E}_i)$
연	수질	78.8	64.67	직접 모의		79.30	65.51
	경관	60.0	38.49	6.8	-2.00	58.00	36.43
	생태계	89.0	74.94	4.0	-44.50	44.50	19.60
산	수질	78.8	64.67	직접 모의		79.30	65.51
	경관	60.0	38.49	8.9	+12.67	72.67	53.43
	생태계	89.0	74.94	5.1	-28.18	60.82	33.66
학	수질	78.8	64.67	직접 모의		79.30	65.51
	경관	60.0	38.49	8.6	+10.67	70.67	50.84
	생태계	89.0	74.94	6.0	-14.83	74.17	49.89
관	수질	78.8	64.67	직접 모의		79.30	65.51
	경관	60.0	38.49	9.3	+15.30	75.33	57.02
	생태계	89.0	74.94	7.9	+1.65	90.65	78.30
전체집단	수질	78.8	64.67	직접 모의		79.30	65.51
	경관	60.0	38.49	8.4	+9.33	69.33	49.25
	생태계	89.0	74.94	5.7	-19.28	69.72	44.01

4.3 사업A의 평가기준간 상대적 중요도 측정

평가기준별 점수를 종합하기 위해서는 해당사업의 특성을 고려하여 평가기준별 상대적 중요도를 결정하여야 한다. 이는 댐, 제방, 보, 저류지, 배수펌프장을 비롯한 수자원사업은 추구하고자 하는 목적과 사업의 규모, 환경적 영향정도 등이 각각 상이하므로 사업별 사전 결정된 가중치를 일괄적으로 적용하는 것은 해당사업이 지닌 고유의 특성을 반영하기가 어렵다. 그리하여 본 연구에서는 개별사업마다 평가기준별 가중치를 설문을 통해 결정하도록 하였다.

표 13. 평가기준간 상대적 중요도

평가기준	수질	경관	생태계
연	0.435	0.112	0.453
산	0.501	0.105	0.394
학	0.639	0.134	0.226
관	0.430	0.124	0.445
전체	0.506	0.121	0.373

상대적 중요도를 결정하는 방법에는 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 AHP 기법을 이용하여 평가기준간의 상대적 가중치를 결정하였다. 사업A에 대한 제반설명을 포함한 전문가설문을 실시하였고, 이 가운데 일관성이 확보된 19명(연, 산, 학: 5명, 관: 4명)의 설문자의 응답결과를 바탕으로 표 13과 같이 평가기준간 상대적 중요도를 결정하였다. 집단별로 살펴보면 설계회사(산)와 대학교(학) 집단에서는 수질항목에 가장 많은 가중치를 부여하였고 그 다음으로 생태계, 경관 순으로 나타났다. 반면, 연구소(연)과 국토해양부(관) 집단에서는 생태계와 수질 항목이 거의 유사한 상대적 중요도를 부여했고, 경관에 대해 가장 낮게 평가했다.

4.4 사업A의 환경성검토

앞서 산정한 사업A의 건설 전후 효용점수, 평가기준별 상대적 중요도 결과를 종합하여 환경성을 검토한 결과는 표 14이다. 국토해양부(관)를

표 14. 사업A의 집단별 환경성검토

구분	가중치	사업전		사업후		환경성검토, ΔE	
		효용점수, $U(E_i)$	환경성점수, E_b	효용점수, $U(\bar{E}_i)$	환경성점수, E_a		
연	수질	0.506	64.67	65.33	65.51	44.87	-20.47 (-31.3%)
	경관	0.121	38.49		36.43		
	생태계	0.373	74.94		19.6		
산	수질	0.506	64.67	65.33	65.51	52.17	-13.17 (-20.2%)
	경관	0.121	38.49		53.43		
	생태계	0.373	74.94		33.66		
학	수질	0.506	64.67	65.33	65.51	57.91	-7.43 (-11.4%)
	경관	0.121	38.49		50.84		
	생태계	0.373	74.94		49.89		
관	수질	0.506	64.67	65.33	65.51	69.26	+3.93 (+0.06%)
	경관	0.121	38.49		57.02		
	생태계	0.373	74.94		78.3		
전체	수질	0.506	64.67	65.33	65.51	55.47	-9.86 (-15.1%)
	경관	0.121	38.49		49.25		
	생태계	0.373	74.94		44.01		

제외한 나머지 집단에서는 정도의 차이는 있으나 사업A로 인해 환경적으로 부정적인 결과를 예상했다. 특히, 연구소(연) 집단에서는 사업A로 인한 환경적 영향을 가장 부정적 영향을 예상했고, 그 다음은 설계회사(산)와 대학교(학) 순으로 나타났다. 국토해양부(관)는 수질, 경관, 생태계 모든 평가기준에서 긍정적인 방향으로 예상했다. 전체집단에 대해서는 사업전 환경성점수인 65.33점에 비해 -9.86점의 부정적 영향을 보였다. 이는 사업전 환경성점수를 기준으로 하였을 때, 사업지역의 환경성은 해당사업으로 인해 어느 정도 훼손되는 것으로 해석할 수 있다.

5. 결 론

최근 환경에 대한 영향정도를 검토할 필요성이 높아짐에 따라 환경영향평가를 비롯한 법제도적 장치를 마련하고 있다. 그러나 환경영향평가와 같은 제도는 정부, 업계 등에서 상당부분 시간, 비용이 투입된 즉, 어느 정도 사업이 진행된 상태에서 수행한다는 단점이 있다. 그리하여 본 연구에서는 사업계획단계, 혹은 예비타당성분석, 나아가 일반적인 사업의 타당성분석시 환경과 관련된 대표적 평가기준 개발하여 비계량적으로 환경성을 검토하는 방안을 제시하였다.

기존 연구에서는 환경과 관련된 항목의 지수화 연구가 주를 이루어 왔다. 이 가운데, 수질의 경우에는 분석모형을 이용하여 예측이 가능하나, 다른 환경인자의 경우는 사업후 상태를 예측하기 어렵고 정량적인 자료를 구축하기 힘든 경우가 많아 정량화에 어려움이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 수자원사업의 특성을 고려하여 결정된 평가기준에 대한 사업 후 변화양상에 직접적인 분석이 어려울 시 추가적으로 정성적으로 평가할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한, MAUT에 의해 평가기준별 효용함수를 각각 도출하였고, 평가기준별 가중치는 해당 사업의 특수성을 고려하고자 사업별로 결정하는 것이 바람직하다고 판단하였다. 제시한 일련의 절차를 사업A의 사례연구를 통해 적용

성을 검토한 결과, 사업A의 전체집단에 대한 사업전 환경성점수는 65.33, 사업후 환경성 점수는 55.47점이 나왔고 이는 사업지역의 환경성은 해당사업으로 인해 어느 정도 훼손될 것으로 예상되었다. 특히, 실제 자료를 바탕으로 한 수질항목과, 정성적인 설문 결과에 의한 경관항목은 긍정적인 영향이 예측되었으나, 생태계항목에서는 상당한 부정적 영향을 예상하였다.

경관, 생태계 항목의 경우 사업후 환경영향 평가시 생태학적, 물리적 분석에 기반을 둔 정량적 예측이 어렵기 때문에 기존의 사례를 통한 판단이나 경험으로 정성적인 예측을 할 수 밖에 없는 한계가 있다. 본 연구는 환경지표의 개발과 더불어 사업전후 정량 및 정성적 예측을 통합·반영하는 일련의 절차를 제시하였다는데 큰 의의가 있다. 또한, 의사결정자에게 지원되는 본 방법론의 결과물은 향후 사업진행시 환경적으로 부정적 영향이 예상되는 항목에 예방 차원의 수단으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 본 연구는 수자원사업의 계획단계에서 보고된 상위계획보고서와 통계자료 등 기존의 자료만을 사용해 환경성을 점수화하였기 때문에 보다 다양한 자료 확보와 향후 다음의 몇 가지 사항들에 대한 보완이 필요할 것으로 생각된다. 첫째, 생태계 항목의 경우, 기존에 나누어진 등급에 포함되지 않는 종이 많다. 또한, 곤충류나 무척추동물과 같이 등급이 나누어지지 않은 경우도 있다. 따라서 좀 더 정교한 동·식물의 등급 체계가 갖춰져야 할 것으로 판단된다. 둘째, 경관 항목의 경우, 제2차 전국자연환경조사보고서에서는 단순히 보존대상과 비보존대상의 두 가지 등급으로만 분류가 되었는데, 이를 좀 더 세분화해야할 필요가 있다. 한편, 2010년에 완료될 제3차 전국자연환경조사보고서에서는 경관의 등급을 4가지로 분류하였으므로 향후 이 자료를 활용 시 점수체계를 조정할 필요가 있다고 판단된다. 셋째, 실제 사업에 적용 시 계획단계에서는 사업에 대한 자료가 불충분하기 때문에 설문조사에서 구체적인 사업에 대한 것이 아닌 일반적인 설문자의 판단이 개입될

여지가 있다. 그러나 설문지에 많은 정보를 제공할 경우, 설문자가 받아들이기 힘들다는 문제도 있어 이를 적절히 조절할 필요가 있다. 넷째, 기관과 생태계에서 제시한 등급별 부여점수는 향후 관련 전문가와의 협의, 설문 등의 과정에 의해 보다 합리적인 값을 제시할 필요가 있다. 다섯째, 비대칭적인 설문은 분석결과에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 본 연구의 몇몇 절차에서 수행한 설문과과정에서의 대표집단은 개인성향을 고려하여 다양화하고, 집단별 설문시 보다 포괄적인 설문자를 대상으로 확대하는 것이 바람직할 것이다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

강기래, 하성근, 이기철. 2011. “가상가치측정법(CVM)을 이용한 경남수목원의 환경가치추정 연구”. 한국조경학회지. 한국조경학회. 제39권. 제1호. pp. 46-55.

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.

고석구, 이광만, 고익환. 1992. “다기준의사분석기법에 의한 다목적 저수지의 운영률 평가”. 한국수문학지. 한국수문학지. 제25권. 제1호. pp. 83-92.

김길호, 이충성, 여규동, 심명필. 2009. “공간 다기준의사결정을 활용한 소수력 개발의 우선순위 결정”. 한국수자원학회논문집. 한국수자원학회. 제42권.

제12호. pp. 1029-1038.

건설교통부. 2003. 토지적성평가지침.

국토해양부. 2009. 환경영향평가서.

곽승준, 조승국, 유승훈. 2003. “환경을 고려한 댐 건설사업의 평가지수 도출: MAUT를 사용하여”. 한국경제학회지. 한국경제학회. 제51권. 제4호. pp. 315-336.

김치영. 2001. “가뭄지수에 의한 가뭄관리 의사결정 연구”. 인하대학교 석사학위 논문.

손민수. 2009. “토양-지하수의 경제가치 평가”. 지역연구. 한국지역학회. 제25권. 제2호. pp. 83-102.

송영일. 2004. “댐 건설사업 추진시 사전협의제도 운영 개선방안”. 한국수자원학회지. 한국수자원학회. 제37권. 제4호. pp. 42-50.

이순탁, 김지학. 1990. “수자원개발의 의사결정론적 연구”. 수공학논총. 한국수문학지. 제32권. pp. 151-160.

이충성. 2002. “댐 재개발을 위한 의사결정모형: 다속성효용분석을 중심으로”. 인하대학교 석사학위 논문.

이충성, 이상철, 김형수, 심명필. 2005a. “치수사업을 위한 다기준의사결정모형 개발: 2. 최선대안 선정 및 투자우선순위 결정”. 대한토목학회논문집. 대한토목학회. 제25권. 제5B호. pp. 347-354.

이충성, 이상철, 김형수, 심명필. 2005b. “치수사업을 위한 다기준의사결정모형 개발: 1. AHP와 MAUT의 비교 분석”. 대한토목학회논문집. 대한토목학회. 제25권. 제5B호. pp. 337-346.

정세웅, 박재호. 2005. “대청호 유역의 수질평가를 위한 종합수질지수의 적용”. 수질보전 한국물환경학회지. 한국물환경학회. 제21권. 제5호. pp. 470-476.

조승국, 김선희. 2005. “댐 건설사업의 환경가치 평가 항목 결정에 관한 연구”. 환경정책. 한국환경정책학회. 제13권. 제2호. pp. 189-203.

조용성, 김봉구, 곽재은. 2001. “팔당호 수질개선에 대한 소비자 지불의사액 추정”. 제10권. 제3호. pp. 433-460.

한국수자원공사. 2002a. “기존댐 합리적 용수배분을

통한 수리권 조정 방안 연구”.
한국수자원공사. 2002b. “댐건설이 사회·경제·문화에 미치는 영향 및 대책 연구”.
한국수자원공사. 2005. “보령다목적댐 저수지 및 주변 지역 생태환경조사”.
한국환경기술개발원. 1998. “중합수질지표의 개발”.
한국환경정책평가연구원. 2003. “지속가능발전지표의 지수화 연구”.
환경부. 1997. “제2차 자연환경 전국기초조사 지침”.
환경부. 2004. “제2차 전국자연환경조사보고서”.
환경부. 2007. “제3차 전국자연환경조사보고서 지침”.
환경부. 2009. “환경성평가제도 관련 규정·지침”.
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.
Farquhar, P. H. 1975. "A Fractional Hypercube Decomposition Theorem fo Multiattribute Utility Functions". Operations Research. vol. 23. No. 5. pp. 941-967.
Han, S.Y., Kwak, S.J. and Yoo, S.H. 2008. “Valuing environmental impacts of large dam construction in korea: An application of choice experiments”. Environmental Impact Assessment Review. Vol. 28, No. 4-5, pp. 256-266.
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.
Keeney, R.L. 1992. "Value-focused thinking. A path to creative decision making". Harvard University Press. Cambridge. Massachusetts London. England.
Neumann, J., and Morgenstern, O. 1947. "Theory of games and economic behavior". Princeton University Press.
Ridgley, M.A. 1992. "Selection of water-supply projects under drought". *Journal of Environmental Systems*. Baywood Publishing. 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 Gmbl. Vol. 9. No. 2. pp. 135-149.
Sullivan C.A. 2002. "Calculating a Water Poverty Index". *World Development*. Vol. 30. No. 7. pp. 1195-1210.
World Economic Forum. 2005. "Environmental Sustainability Index".

- 논문접수일 : 2011년 06월 07일
- 심사의뢰일 : 2011년 06월 09일
- 심사완료일 : 2011년 08월 22일