

# 수자원사업 대안선정 및 투자우선순위결정을 위한 다기준의사결정모형 개발

## Development of MCDM for the Selection of Preferable Alternative and Determination of Investment Priority in Water Resource Projects

여규동\* · 김길호\*\* · 이상원\*\*\* · 최승안\*\*\*\*

Yeo Kyudong · Kim Gilho · Lee Sangwon · Choi Seungan

### Abstract

Water resource projects need an enormous national budget. Therefore, a reasonable and reliable decision making is required for the planning of water resource projects, but decision making has been mostly performed by economic analysis. The objective of this study is to develop a *Multi-criteria Decision Making(MCDM)* model which can assess the project in various aspects for the selection of preferable alternative and determination of investment priority in water resource projects. In this study, the criteria involves economic feasibility, policies, vulnerability, and sub-items which have weights obtained from the expert survey for the consistent evaluation. We also derived the utility function considering risk trend of each item based on the expert survey. Then, the total score was estimated by weights of each item and utility score of each attribute. The results show that vulnerability is a major contributor for the criteria. This study will contribute to the selection of proper water resource projects considering efficiency of project and fairness for vulnerable area.

**Keywords** : preferable alternative, investment priority, multi-criteria decision making(MCDM), weights, utility function

### 요 지

수자원사업은 대규모의 예산이 투입된다. 따라서 수자원사업은 합리적이고 신뢰성 있는 의사결정이 필요한데 그동안 주로 경제성분석에 의존하여 왔다. 본 연구목적은 경제성분석위주의 기존 의사결정이 아닌, 사업의 필요성과 투자의 타당성을 다양한 각도로 평가할 수 있는 수자원사업 대안선정과 투자우선순위결정을 위한 다기준의사결정방법을 도출하는 것이다. 본 논문은 경제성 분석, 정책적 분석, 취약성 분석과 각각의 하위평가항목으로 평가기준을 구성하였다. 또한, 전문가 설문문을 통한 사전 가중치를 제시함으로써, 일관성 있는 평가가 이루어지도록 하였다. 그리고 전문가 설문문을 통해 평가항목의 속성별로 위험성향을 고려한 효용함수를 도출하였다. 종합평가점수는 평가항목별 가중치와 속성별 효용점수로 산정된다. 적용결과, 평가기준은 취약성 기준에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구는 수자원사업에 대한 효율성과 취약지역에 대한 형평성을 제고하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심어** : 최적대안, 투자우선순위, 다기준의사결정, 가중치, 효용함수

### 1. 서 론

용수이용, 홍수조절, 하천환경개선 등을 목적으로 하는 수자원사업은 국민의 생명 및 재산과 삶의 질에 직결되며, 물과 관련된 사업의 특성상 다수의 이해당사자가 얽힌 대규모의 예산을 필요로 하는 사업이다. 2006년부터 2009년까지 국가에서 수행한 주요 수자원사업으로 국가하천정비사업, 하천재해예방사업, 댐건설사업, 댐치수능력증대사업, 용수공급사업 등을 들 수 있으며, 이들 사업비는 연평균 약 2조 원

이고, 지방정부에서 수행한 수자원사업의 예산을 더한다면, 전체 국가예산에서 적지 않은 규모를 차지한다. 일반적으로 이들 사업은 기본계획에서 사업안이 제기되고, 총사업비 500억 원 이상 대규모사업은 예비타당성조사를 거쳐 타당성조사, 기본설계, 실시설계, 사업시행단계를 거친다. 그렇기 때문에 기본계획수립단계에서 한정된 예산으로 최대의 효과를 발휘하고, 지역적 형평성을 가지며, 취약한 지역의 문제점은 시급히 해결하기 위해 의사결정자는 사업목적에 적합한 최선의 사업을 선정하는 것이 중요하다. 또한, 다양한 기본계

\*정회원 · 인하대학교 수자원시스템연구교수 선임연구원 · 공학박사 (E-mail : yeokd94@gmail.com)

\*\*정회원 · 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (E-mail : kgh0518@gmail.com)

\*\*\*인하대학교 경제학부 교수 · 경제학박사 (E-mail : swlee@inha.ac.kr)

\*\*\*\*정회원 · 한국개발연구원 공공투자관리센터 전문연구원 · 공학박사 (E-mail : sachoi@kdi.re.kr)

획에서 제기된 수많은 사업안들은 대부분 공사기간이 길며, 대규모의 예산을 필요로 하기 때문에 해당 부처의 입장에서 연차별 최적의 투자우선순위를 부여하여 예산을 신청하는 것이 필요하다.

기본계획수립절차는 기초자료조사, 현황분석, 수리·수문 분석 등을 거쳐 대안후보를 설정하고, 최종적으로 이들 가운데서 대안선정과 투자우선순위를 결정하는 단계를 거친다. 그러나 기존에는 기본계획 수립 시 수리·수문학적 분석에 많은 노력을 기울였음에 반해, 기본계획의 본질적인 목적인 최선의 대안선정과 투자우선순위에 관한 부분은 공학적 분석과 이에 따른 경제성 분석에 주로 의존하여 단편적으로 이루어졌거나 어떤 계획은 투자우선순위의 명확한 근거가 제시되지 않은 경우도 있다. 그리고 기본계획에서 선정된 사업들에 대하여 부처 내의 투자우선순위 결정을 위한 명확한 근거도 없는 상황이다. 이는 그나마 수자원사업의 경제성분석에 관한 연구는 어느 정도 수행되었으나, 다양한 요인을 고려할 수 있는 의사결정 방법론이 제대로 마련되지 못하였기 때문이다. 이에 본 연구는 기본계획 수립 시 각종 조사 및 수리·수문학적 분석, 대안수립과정 등은 현행 방법을 유지하되, 대안선정 및 투자우선순위 결정 단계에 초점을 맞추어 사업의 주목적인 이수, 치수, 하천환경의 범위 내에서 경제적 효율성과 취약지역에 대한 형평성, 사업의 시급성 등을 고려한 다기준의사결정모형을 개발하는 것을 목적으로 한다.

수자원사업의 주요 기본계획으로는 유역종합치수계획, 댐 건설장기계획, 수도정비기본계획, 하천기본계획 등이 있다. 본 연구는 이 중에서 유역종합치수계획의 경우 해당 유역의 치수목표 달성을 위해 수립된 대안 후보들 중에서 최종대안을 선정하고, 이들 대안의 단위시설별 투자우선순위를 결정하는 단계, 댐건설장기계획과 수도정비기본계획의 경우 선정된 대안 후보 간의 투자우선순위를 결정하는 단계, 그리고 부처 내의 수자원사업 투자우선순위를 결정하는 단계에 적합하도록 모형을 개발하였다. 단, 하천기본계획과 같은 하천 사업에 적용할 때에는 대안의 개념이나 대안평가를 위한 기준별 속성에 다소 차이가 있을 수도 있다. 그러나 큰 틀에서 보면, 의사결정의 개념과 절차는 다르지 않으므로 대안선정이나 평가기준의 속성을 하천사업의 특성에 맞게 수정하고, 평가기준간 가중치를 도출한다면, 하천기본계획도 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 사업대안에는 비구조물적 대책이 있으나, 현재의 수준으로는 이에 대한 경제성분석도 불가능하며, 구조물적 대책을 통해 직접적인 사업목적 달성이므로, 본 논문에서는 구조물적 대책을 대상으로 대안을 수립함을 밝힌다.

## 2. 선행연구 검토

해외에서는 이미 실제 수자원개발 사업에 다기준의사결정 기법을 적용하고 있다. 계층화분석과정(AHP)과 다속성효용 함수법(MAUT)을 적용한 연구로는 Ridgley(1992)가 AHP를 적용하여 가뭄이 물 수요량 및 공급량에 미치는 파급효과를 연구하였으며, 가뭄시 AHP에 의한 용수배분 방법론을 제시하기도 하였다(Ridgley, 1993). Tkach와 Simonovic(1997)은 홍수터 관리를 위한 대안선정에 GIS와 절충법을 연계한 공

간의사결정 방안을 연구하였다. Raju 등(2000)은 스페인의 Flumen Monegros 관개지역 개발 가능성을 평가하기 위해 경제, 환경, 사회적 요인을 평가기준으로 구성하고 PROMETHEE와 ELECTRE를 이용하였다. Jandric과 Srdjevic(2000)는 유고슬라비아의 NoviSad시에 최적의 지하수 저장공간을 찾는 데에, Jaber와 Mohsen(2001)은 수자원 공급의 최적화 연구를 위하여 AHP를 적용하였다. Bruen(2002)은 수자원계획과 유역관리를 위한 의사결정시스템에 AHP와 MAUT의 적용성을 연구하였다. Akter와 Simonovic(2002)이 치수관리를 위한 홍수방어대안 분석과 집단의사결정에 AHP와 MAUT를 적용한 바 있다. Simona 등(2004)은 Berlin과 Potsdam의 14개 구역의 지표수 시스템의 생태학적 효과에 관한 수자원 관리 전략을 평가하기 위해 PROMETHEE를 적용하였으며, 평가기준으로는 수문학적 경제조건, 폐수관리 그리고 강으로의 빗물 유입정도를 이용하였다. Hyde 등(2003)은 수자원 배분을 위한 의사결정에 PROMETHEE를 이용하였다. Jouvart 등(2004)은 남아프리카 공화국 Cape Town의 용수 공급과 수요관리 문제를 해결하기 위해 ROC(rank order centroid)의 일종인 swing weight 기법으로 가중치를 산정하고 기준별 속성에 대한 가치함수(value function)에 가중치를 적용하여 의사결정에 활용하였다. Maragoudaki와 Tsakiris(2005)는 유역에서의 최적 홍수저감대책을 선정하기 위해 PROMETHEE의 적용하였으며, 평가기준으로는 총비용, 환경적 요소, 사회·경제적요소이다. Jason 등(2007)은 ANP를 이용하여 도시유역의 홍수위험 경감과 비상대책을 위한 다기준의사결정모형을 개발하였다. Srdjevic 등(2008)은 평가기준과 대안을 구성하는데 있어서 효율적인 계층구조결정을 위한 fuzzy이론을 적용한 AHP를 통해 대안을 비교하였다.

국내 수자원분야에도 다기준의사결정모형을 적용한 연구는 많으며, 대표적인 연구로 실제 수자원사업 추진시 적용이 되는 “수자원부문의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 제4판(한국개발연구원, 2008)”을 들 수 있다. 그 외에도 수자원개발사업시 환경과 관련된 연구, 유역관리 차원에서 수자원 이용 및 관리 상태나 지속가능성을 평가하기 위한 지수개발 연구, 하천 평가를 위한 연구, 수자원사업 적지 선정 연구 등 다양한 분야에서 다기준의사결정이 적용되었다. 이순택과 김지학(1990)이 효용함수와 의사결정나무를 이용하여 금호강 수질개선을 위한 수자원 확보방안, 고석구 등(1992)은 AHP와 가중치법 등을 이용하여 다목적 저수지의 운영을 평가하였다. 박태선(2002)은 하천관리의 효율성을 제고하고 현재의 하천등급 조정방안으로서 하천중요도 산정에 AHP를 적용하였다. 이충성(2002)은 기존댐 재개발을 위한 대안평가에 MAUT를 활용하였고, 이수부문에서는 가뭄관리 의사결정을 위해 의사결정나무를 활용한 연구(강인주와 윤용남, 2001; 김치영, 2001)가 있었으며, AHP를 이용하여 용수배분의 가중치 및 우선순위를 결정하기도 하였다(한국수자원공사, 2002a; 이현재와 심명필, 2002; 이충성 등, 2004). 한국수자원공사(2002b)는 댐 건설사업의 평가와 관련된 문제의 해결에 AHP와 MAUT의 적용을 비교하였다.

GIS를 연계한 구조물의 적지분석에도 다기준의사결정이 활용되었는데, 이상일과 김병찬(2003)은 물 부족을 해결하기 위한 지하댐 개발의 적지선정에 AHP를 활용한바가 있다.

이상신과 이상일(2004)은 지표수와 지하수 연계의 일환으로 지하댐의 적지선정, 강변여과수 시설의 적지선정, 지표수-지하수 연계시스템의 적지선정 등에 AHP를 적용하였다. 한편, 국내 수자원분야의 연구는 AHP가 대다수를 차지하고 있는 상황에서 홍성준 등(2006)이 PROMETHEE와 ANP를 이용한 상수관망 위험도 평가를 연구하였고, 김우구(2006)는 AHP를 이용하여 산정한 가중치에 순위선호기법인 ELECTREE와 질층법을 적용하여 댐건설 사업 우선순위 결정방법을 제시하는 등 다기준의사결정의 국내연구 활성화와 다양화에 기여하였다.

한국개발연구원(2001)은 예비타당성조사를 위하여 공학적, 경제적, 정책적 분석과 같은 평가기준을 통한 의사결정을 수행하기 위해 다양한 기준을 정량화하는 과정에서 가장 적합한 기법으로 AHP를 선택하였다. 현재 AHP는 수자원분야를 포함하여 모든 공공사업의 예비타당성을 평가하는 의사결정 지침으로 사용되고 있다. 건설교통부(2007)는 「치수사업 대안선정을 위한 의사결정 방안 연구」에서 AHP를 이용하여 평가기준별 가중치를 산정하고, 속성별 효용함수를 적용하여 대안의 우선순위를 결정하는 모형을 제시하였다. 정은성(2007)은 다기준 의사결정기법을 이용하여 대상을 중유역으로 분할하여 이수, 치수, 수질관리 측면에서 잠재적 위험도를 정량화하여 지속가능성 지수를 개발하였으며, 평가기준의 가중치산정에는 AHP를 이용하였다.

기존 국내의 연구사례에서도 알 수 있듯이, 「치수사업 대안선정을 위한 의사결정 방안 연구」(건설교통부, 2007)를 제외하고, 대부분의 연구는 단순히 유역을 평가하는 연구에 지나지 않으며, 이로 인해 평가기준 구성에서부터 수자원사업의 대안선정 또는 투자우선순위와 같은 의사결정단계에 적용하기는 어렵다. 유역자체를 평가하는 것과 실제 사업을 수행하기 위한 의사결정은 엄연히 다르므로, 그에 맞는 평가기준 설정과 다기준의사결정모형 개발이 필요하다.

### 3. 수자원사업 다기준의사결정모형 개발

의사결정문제를 다루는 모형에는 두 가지가 있다. 하나는 선호보정모형(compromising model)로 여러 평가기준별 선호정도가 서로 비교가능하다는 전제 하에 이를 종합하여 하나의 선호척도를 만들어 비교하는 모형이며, 서수적 방법과 기수적 방법으로 나누어진다. 다른 하나는 선호비보정모형(non-compromising model)으로 한 기준에서의 선호와 다른 기준

에서의 선호정도가 절충될 수 없다고 가정하는 모형이다. 대부분의 의사결정문제는 선호보정모형 중에서 각 대안의 종합적 선호를 하나의 점수로 평가하는 기수적 방법이 적용된다(김양렬, 2010). 본 연구는 개별 평가기준의 가중치에 가치함수를 통한 대안의 점수를 적용함으로써 평가기준별 점수를 산정하고, 이들 점수를 합산하여 다기준의사결정모형에 의한 대안별 종합점수 또는 전체 점수가 선정하는 방식을 택하였다. 이를 위해, 본 연구는 평가기준의 계층 설정 및 가중치 산정에는 AHP의 고유벡터법(eigen vector method)을, 평가기준의 표준점수 산정에는 효용함수(utility function)를 이용하였다. 이를 통해 AHP의 계층구조 설계 및 일관성 검증이 가능한 가중치 산정과 다속성효용함수법(MAUT)의 의사결정자의 효용을 직접 측정이라는 장점을 결합한 다기준 의사결정모형을 개발하고자 하였다.

#### 3.1 평가기준 선정

다양한 수자원사업들에 대한 의사결정을 위해서는 각 계획별로 유형을 분류하고 이에 적합한 평가기준을 제시하는 것은 쉽지 않다. 따라서 수자원사업의 목적에 부합하는 관련 기본계획을 분류하고, 계획별로 적절한 평가기준이 될 수 있는 속성을 선정하는 과정이 필요하다. 계획별 평가기준을 분류하기 위해 기본계획별 특성과 의사결정방법 적용대상을 표 1과 같이 정리하였다. 이를 특징별로 분류하기 위해 비교되는 사업안들의 영향범위가 동일 지역 내인지 다른 지역 간 인지를 구분하고, 다음 단계로 사업안이 추구하는 목적이 동질적인지 이질적인지를 분류하며, 최종적으로 사업안으로 구성되는 사업요소간의 관계가 독립적인지 종속적인지를 나누었다. 댐건설장기계획, 광역상수도 및 공업용수도 수도정비 기본계획, 부처의 전체 수자원사업 투자우선순위 결정은 전국을 범위로 하기 때문에 각각의 목적에 해당하는 가중치는 동일하나, 유역종합치수계획은 유역마다 특성이 다르기 때문에 해당 유역에 적합한 가중치를 산정해야 한다. 그러나 본 논문에서는 각각의 가중치를 모두 산정하지 않고, 부처의 전체 수자원사업 투자우선순위 결정을 대상으로 하여 수자원사업의 주목적인 이수, 치수, 하천환경을 모두 포함하도록 하였다.

평가기준 선정을 위해 근본적인 배경을 설정하였다. 첫째, 국민의 세금으로 투입되는 사업이 경제적으로 효율성을 가지는지?, 둘째, 사업시행에 따른 금전적 또는 복지적 혜택의 이동이 전반적으로 형평성에 위배되지 않고 여러 집단에 합

표 1. 수자원사업 관련 계획별 모형적용 대상과 가중치

계획명	주목적	모형 적용대상	가중치
유역종합치수계획	치수	· 최종대안 선정 · 선정된 대안의 단위시설별 투자우선순위결정	· 동질 목적, 동일 지역내의 대안 간 비교이므로 해당 유역마다 적합한 가중치 산정 필요
댐건설장기계획	용수확보/치수/환경	· 선정된 후보댐 간의 투자우선순위결정	· 동질 또는 이질 목적, 전국 대상의 타지역간 비교이므로 전국 대상의 가중치 산정 필요
수도정비기본계획	용수공급	· 선정된 지역별 투자우선순위결정	· 동질 목적, 전국 대상의 타지역간 비교이므로 전국 대상의 가중치 산정 필요
하천기본계획	이수/치수/환경	· 대안선정 · 선정된 대안의 시설별 투자우선순위결정	· 다목적/동질 목적, 동일지역내의 대안 간 비교이므로 해당 하천마다 적합한 가중치 산정 필요
전체 수자원사업 투자우선순위	이수/치수/환경	· 각종기본계획에서 선정된사업안의 투자우선순위결정	· 동질 또는 이질 목적, 전국 대상의 타지역간 비교이므로 전국 대상의 가중치 산정 필요

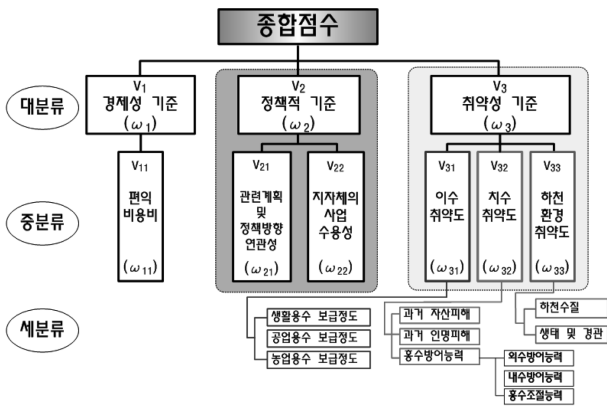


그림 1. 수자원사업 의사결정을 위한 평가기준 구성

리적으로 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. 이러한 점들을 고려하여 수자원사업 의사결정에 적합한 평가기준을 구성하였으며, “수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(4판)(한국개발연구원, 2008)”의 평가기준을 참고하여, 수자원사업 기본계획 수립단계에 적절하도록 선정하였으며, 그림 1은 선정된 평가기준의 계층이다.

속성값을 효용점수로 환산하기 위해서는 적절한 최대·최소구간의 설정이 필요하다. 잘못된 구간을 정하게 되면 지나치게 변별력이 없어지거나 또는 지나치게 점수차가 커져서 다기준의사결정모형의 결과값인 종합점수의 타당성에도 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 표준화 시 극단적인 평가가 되지 않도록 실측자료, 관련 문헌, 통계자료 등을 참고하여 속성값의 범위를 설정하였으며, 정리한 결과는 표 2와 같다. 경제성 분석의 속성값인 B/C는 수자원부문의 실제 예비타당성조사 대상사업과 유역종합치수계획에서 제시된 대안들을 조사하여 구간을 설정하였다. 정책적 분석

의 하위 항목인 ‘관련계획 및 정책방향 연관성’과 ‘지자체의 사업수용성’은 0점부터 100점까지 바로 설문을 통하여 조사하기 때문에 속성값의 구간도 0~100점으로 설정하였다. 취약성 분석의 하위 항목에 대한 속성값은 실제 시·군·구의 값을 이용하였다. 여기서 산정된 최대값과 최소값을 바로 적용하기 보다는 평가기준별로 최대·최소 범위를 상위·하위 5% 또는 10%로 정함으로써 지나치게 크거나, 또는 지나치게 작은 값이 최대 또는 최소가 되는 것을 방지할 수 있다.

### 3.2 평가기준별 가중치 산정

의사결정분석 과정에서 어떤 기준은 다른 기준에 비해 더 중요하거나 덜 중요할 수 있으므로, 이를 고려하기 위해 가중치를 설정하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 AHP(Saaty, 1995)의 고유벡터법을 이용하였다. Saaty의 AHP기법은 인지심리학 분야의 연구결과에 기초한 9점 척도를 기본으로, 쌍대비교로 얻어진 척도로 쌍대비교행렬을 구성하여 여러 가지 정보를 추출하는 방법이다. 이 방법은 평가기준이 다수이며 복합적인 경우 상호 배반적인 대안들의 체계적인 평가를 지원하기 위해, 평가기준을 계층으로 나누어 분석한다는 점과 쌍대비교를 통한 가중치 결과에 대하여 일관성 검증이 가능하다는 점이 가장 큰 장점이다.

고유벡터법은 의사결정자가 한 수준에서  $n$ 개의 평가항목에 대해  $nC_2$ 회의 쌍대비교를 수행하면  $n \times n$ 행렬  $A=(a_{ij})$ 가 만들어지며, 이를 이용하는 방법으로, 이 행렬  $A$ 를 비교행렬(comparison matrix)이라 부른다.  $A$ 는  $a_{ij}(i,j=1,2,\dots,n)$ 이고, 행렬  $A$ 는  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ , 주대각선의 원소값이 모두 1이 되는 성질을 가지며, 식 (1)과 같은 행렬을 역수행렬(reciprocal matrix)이라 부른다.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$a_{ji} = 1/a_{ij}, \quad \forall i,j = 1,2,\dots,n$$

식 (1)과 같은 비교행렬에서 가중치로 구성된 벡터

표 2. 평가기준별 속성과 범위

분류		속성	범위		
경제성 기준		B/C	0~5		
정책적 기준	관련계획 및 정책방향 연관성	관련계획 및 정책방향 연관성 점수	0~100		
	지자체의 사업수용성	지자체의 사업수용성도	0~100		
취약성 기준	이수취약도	생활용수 보급정도	상수도 보급률(%)	30~100	
		공업용수 보급정도	공업용수의 상수도 및 공업용수도 보급률(%)	15~100	
		농업용수 보급정도	수리답률(%)	40~100	
	치수취약도	과거 자산피해	1인당 홍수피해액(천원/인)	0~5,700	
		과거 인명피해	십만명당 인명피해수(인/10만명)	0~40	
		홍수방어취약	외수방어	하천개수율(%)	30~100
			내수방어	단위면적당유수지용량( $m^3/km^2$ )	0~85,000
	홍수조절	단위면적당 홍수조절량( $10^6 m^3/km^2$ )	0~90		
	하천환경취약도	하천수질	BOD(mg/L)	0.7~6.0	
생태 및 환경		녹지면적 비율(%)	17~93		

표 3. 다기준의사결정모형에 적용될 평가기준별 가중치와 효용함수

구분		가중치				
경제성 기준		0.193				
정책적 기준	관계계획 및 정책방향 연관성	0.246	0.709			
	지자체 사업선호도		0.291			
취약성 기준	이수취약도	생활용수보급정도	0.294	0.626		
				공업용수보급정도	0.202	
				농업용수보급정도	0.171	
	치수취약도	과거 자산피해	0.556	0.161		
				과거 인명피해	0.475	
				홍수방어취약	외수방어/내수방어/홍수조절	0.364
	하천환경취약도	하천수질	0.15	0.717		
				생태및경관	0.283	

$\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 를 산정하기 위해서, Saaty는 식 (2)와 같이 비교행렬의 주고유벡터(dominent eigen vector)에 의해서 해결할 수 있음을 제안하고 있다.

$$A\vec{u} = \lambda\vec{u} \quad (2a)$$

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (2b)$$

$n \times n$ 행렬  $A$ 의 고유치  $\lambda$ 와 그에 대한 고유벡터  $\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 는 식 (2)을 만족하는 스칼라  $\lambda$ 와 벡터  $u$ 를 말한다.  $\lambda$ 는  $A - \lambda I$ ( $I$ 는  $n \times n$ 의 단위행렬)의 행렬식  $|A - \lambda I|$ 가 0이 되는 조건, 즉 고유방정식의 해로서 결정된다. 고유방정식은  $\lambda$ 의  $n$ 차 대수방정식이고 일반적으로  $n$ 개의 근을 갖는데, 이것을  $A$ 의 고유치라고 한다.

$$A\vec{u} = \lambda_{\max}\vec{u} \quad (3)$$

우리가 얻고자 하는 가중치벡터는 식 (3)의 해로서 결정되는  $\vec{u}$ 이고 여기서,  $\lambda_{\max}$ 는 행렬  $A$ 의 최대고유치를 뜻하며 이때의  $\vec{u}$ 를 행렬  $A$ 의 주고유벡터라고 한다. 고유벡터법은 판단의 불일치성을 측정하는 수단이 되기도 한다. Saaty에 의하면 행렬의 최대고유치  $\lambda_{\max}$ 는 양의 역수행렬(positive and reciprocal matrix)에 대해서는 항상  $n$ 과 같거나 큰 값을 지니며 행렬이 기수적으로 정확히 일치하는 경우가 언제나 성립하는 일관성행렬(consistent matrix)인 경우에 한해서는 그 값이  $n$ 이 된다. 따라서  $\lambda_{\max} - n$ 을 통해 불일치성의 정도를 측정할 수 있으며 이를 행렬의 크기에 따라 정규화하면 식 (4)와 같은 일관성지수(CI: Consistency Index)가 얻어진다. 즉,

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

일관성 측정(consistency test)은 식 (5)와 같이 일관성지수를 평균무작위지수(RI: Random Index)로 나눈 일관성비율(CR: Consistency Ratio)로 검정할 수 있으며, RI에 대한 CI의 비율로 정의하는데 이 비율은 주어진 행렬이 CI값을 놓고 볼 때 순수한 무작위행렬에 얼마나 접근하고 있는가를 나타내는 측도라고 볼 수 있다. 일반적으로 CR값이 0.05~0.1 사이에 있으면 일관성이 좋은 것으로 판단하고, 0.1~0.2이면 용납할 수 있는 수준의 일관성을 가진 것으로 판단한다. 한편, 무작위지수 RI란 1에서 9까지 정수들을 무

작위로 추출하여 역수행렬을 작성한 후 일관성지수를 구한 것이다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

의사결정모형의 대상인 수자원사업은 일반적인 내용을 일반인을 대상으로 평가하는 것이 아니라, 매우 전문적인 지식을 요하기 때문에 해당 분야의 충분한 지식을 필요로 한다. 따라서 본 연구는 수자원 분야의 전문가를 선정하여 설문 실시하였다. 설문응답자는 수자원사업 의사결정분야의 전문가로 총 71명이며, 국토해양부 수자원 분야 공무원(13명), 수자원공사(6명)와 같이 수자원사업을 추진하는 그룹, 한국건설기술연구원(9명), 한국개발연구원(5명), 대학교(7명), 하천정보센터(6명)와 같이 연구분야에 속한 그룹, 설계회사 그룹 등이 골고루 포함되도록 선정하였다. 표 3은 일관성 검정을 통과한 응답결과를 대상으로 개인별 우선순위벡터를 산술평균하여 집단의 가중치로 산정하는 AIP 방식으로 산정한 AHP의 가중치이다.

### 3.3 평가기준 속성별 효용함수 도출

평가기준을 나타내는 속성값은 대안 또는 지역별로 차이가 나며, 이를 의사결정분석 과정에 반영하는 것이 필요하다. 많은 의사결정모형에서 속성값을 점수로 환산하기 위해 여러 가지 방법을 적용하고 있으나, 본 연구는 의사결정지가 어떤 속성값에 대하여 위험성향(risk attitude)을 반영하는 효용함수를 이용하는 방법을 택하였다. 효용함수는 실제 가치와 효용 사이의 관계를 나타내는 함수로서 의사결정자의 선호개념을 정량화한 것이다.

효용함수이론을 토대로 하여 각 평가기준별 효용함수를 산정하기 위해 확실등가(CE, Certainty Equivalent)를 설문으로 조사하였다. 여기서 확실등가는 의사결정자가 어떠한 불확실한 사건과 무차별(indifference)하다고 느끼는 확실한 값(certain value)이며, 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 확

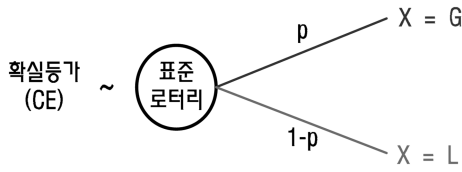


그림 2. 표준로터리

실하게 받을 수 있는 1,500원과 같다고 본다면 1,500원이 이 로터리의 확실등가이다.

효용함수가 의사결정에서 불확실성에 대한 의사결정자의 태도를 보여주는 중요한 기준이 되므로 효용 함수 부과 방법은 간단하고 일관성이 있어야 한다. 효용함수는 그림 2와 식 (6)과 같이 확실등가, 발생확률(P), 이익(Gain), 손실(Loss) 중 3가지를 고정시키고 의사결정자가 양쪽이 같다고 느끼는 나머지 하나를 찾도록 함으로써 효용함수를 부과한다. 여기서 G, L은 속성값이며 CE는 로터리의 확실등가, P는 G를 받을 확률이다.

$$U(CE) = pU(G) + (1-p)U(L) \quad (6)$$

효용함수를 결정하기 위해서는 위험회피계수  $r$ 을 결정하면 된다. 위험회피계수를 구하는 유용한 방법 중 하나는 확실등가방법에 의해 표준로터리에 의한 CE값을 구한 후, 그림 3의 관계식을 이용하는 것이다. 이 방법을 통해 속성값인  $x$ 와 CE의 비율을 가로축에서 찾아 이에 대응하는 세로축 값으로부터  $r$ 을 계산할 수 있다. 의사결정자의 위험성향은 위험보상(RP)에 의해 표현되며, 효용함수 유형을 수식으로 표현하면 식 (7)과 같은 지수함수 형태로 나타난다. 지수형 효용함수는 그 형태가 원점에 대해 위로 볼록하며  $x$ 가 커질수록 함수 값은 1에 근접하고,  $x$ 가 작아지면 함수 값은 0에 근접하며, 위험성향에 따라 다음의 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{위험회피형} &: U(x) = a - be^{-rx} \quad (r > 0) \\ \text{위험중립형} &: U(x) = a + bx \\ \text{위험선호형} &: U(x) = a + be^{-rx} \quad (r < 0) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $a, b$ 는  $U(x) \in [0, 1]$ 을 보장하는 상수이며,  $r$ 은 위험회피계수(risk aversion coefficient)로서 그 값이 양이면 효용함수는 불변위험회피형, 음이면 불변위험선호형이다. 식 (7)을 다시 다루기 쉬운 형태로 표현하면 식 (8)과 같다. 예를 들어, 사업을 추진하는 지역에서의 반대정도가 가장 낮을 경우 0, 가장 높을 경우 100이고, 반대정도가 높을수록 추진시 시간과 비용 등이 증가한다고 가정하자. 이때 지역의 반대정도에 대한 CE가 30이라면,  $CE/x(\%)$ 는 30이 되고, 그림 3을 통해  $rx$ 값인 1.706을 찾으며, 최대  $x$ 는 100이기 때문에 최종적으로 위험회피계수  $r$ 은 0.01706이 된다. 마지막으로 위험회피계수 0.01706을 식 (8)에 대입하여 정규화과정을 거친 다음  $U(x)$ 식을 도출한다.

$$U(x) = \frac{1 - e^{-rx}}{1 - e^{-r}} \quad (8)$$

확실등가의 설문대상 전문가는 가중치산정에 응답한 전문가와 동일하며, 직접설문법으로 조사하였다. 전체 평가항목 중에서 B/C, 지자체 사업선호도, 이수취약성, 치수취약성, 하

표 4. 평가기준별 위험성향과 확실등가

평가기준	위험회피형		위험중립형		위험선호형		확실등가 전체평균
	평균	개수	평균	개수	평균	개수	
B/C	2.35	49	4.50	2	5.35	20	3.25
반대정도	31.00	45	50	9	66.18	17	41.83
이수	15.29	70	50	1	-	-	15.77
치수	12.44	71	-	-	-	-	12.44
하천환경	21.45	62	50	6	70.00	3	26.67

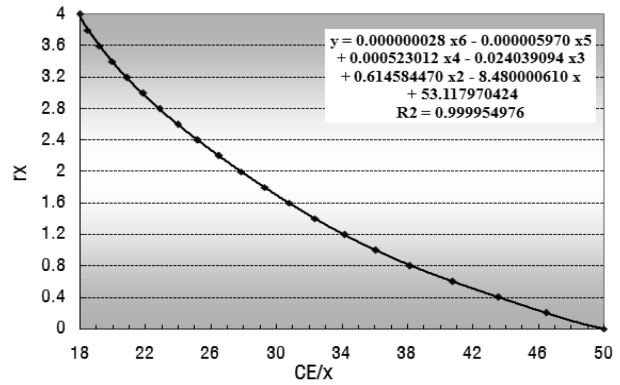


그림 3. 표준로터리와 확실등가(CE) 관계(김성희 등, 2003)

천환경취약성을 대상으로 확실등가를 도출하였다. 경제성 기준은 하위항목이 1개이나, 정책적 기준과 취약성 기준은 다수이기 때문에 이에 대한 효용함수를 산정할 수 없으며, 또한 취약성 기준의 2, 3단계 하위에 있는 외수방어능력이나 공업용수보급정도 등과 같은 기술적인 부분에 대하여 설문 응답자가 효용을 표현하기 어렵다고 판단하여 이들 항목은 위험중립형으로 간주하였다. 지자체 사업선호도 항목은 위험의 조건을 부여하기 위해 반대정도로 확실등가를 설문하여 효용함수를 구한 다음, 이를 제하는 방식으로 효용함수를 도출하였다. 설문조사 결과 효용함수의 형태는 표 4에서 볼 수 있듯이 모두 위험회피형태가 우세하게 나타났다. 이는 비용을 추가하더라도 안전하고, 좋은 쪽을 선택함을 의미한다. 표준로터리와 확실등가 관계식을 이용하여 전문가 설문조사를 통해 평가기준 속성별로 산정된 위험회피계수( $r$ )을 구하였으며, 표 5와 같이 효용함수식을 도출하였으며, 이들 평가기준별 효용함수의 계층구조는 그림 1과 같다.

### 3.4 대안선정 및 투자우선순위결정을 위한 다기준의사결정 모형

그림 4는 수자원사업의 대안선정 및 투자우선순위 결정을 위한 다기준의사결정모형을 적용하는 절차를 나타내고 있다. 이를 위해 수자원사업 의사결정에 적절한 평가기준을 마련하고, 평가기준을 대표할 수 있는 속성을 부여하였으며, 각 속성별로 시·군·구별 현재의 수준을 비교함으로써 속성별로 최대·최소값을 설정하였다. 또한 전문가 설문을 통해 수자원사업의 대안선정과 투자우선순위결정에 적합하도록 설정된 평가기준에 대한 가중치를 산정하고, 효용함수를 개발하였다.

이 모형은 유역종합치수계획의 대안선정과 투자우선순위결정, 댐건설장기계획의 투자우선순위결정에 적용가능하며, 예

표 5. 다기준의사결정모형에 적용될 평가기준별 효용함수

구분	효용함수	평가기준별 위험성향	
경제성 기준	$U(x) = \frac{100}{2.769498} \left( \frac{1 - e^{-0.357658x}}{1 - e^{-0.357658}} \right)$	위험회피형	
정책적 기준	$U(x) = x$	위험중립형	
취약성 기준	$U(x) = x$	위험중립형	
정책적 기준	관련계획 및 정책방향 연관성	$U(x) = x$	위험중립형
	지자체사업선호도(1-반대정도)	$U(x) = 100 - \left[ \frac{100}{61.174813} \left( \frac{1 - e^{-0.010922x}}{1 - e^{-0.010922}} \right) \right]$	위험회피형
취약성 기준	이수취약도	$U(x) = \frac{100}{30.03333} \left( \frac{1 - e^{-0.0325331x}}{1 - e^{-0.0325331}} \right)$	위험회피형
	치수취약도	$U(x) = \frac{100}{28.278478} \left( \frac{1 - e^{-0.034883x}}{1 - e^{-0.034883}} \right)$	위험회피형
	하천환경취약도	$U(x) = \frac{100}{38.743194} \left( \frac{1 - e^{-0.023668x}}{1 - e^{-0.023668}} \right)$	위험회피형
이수취약도	생활용수보급정도	$U(x) = -\frac{100}{70}x + \frac{10,000}{70}$	위험중립형
	공업용수보급정도	$U(x) = -\frac{100}{85}x + \frac{10,000}{85}$	위험중립형
	농업용수보급정도	$U(x) = -\frac{100}{60}x + \frac{10,000}{60}$	위험중립형
치수취약도	과거 자산피해	$U_{wf1}(x) = \frac{100}{5,700}x$	위험중립형
	과거 인명피해	$U(x) = \frac{100}{40}x$	위험중립형
	홍수방어취약	$U(x) = x$	위험중립형
하천환경취약도	하천수질	$U(x) = \frac{100}{5.3}(x - 0.7)$	위험중립형
	생태 및 경관	$U(x) = -\frac{100}{76}x + \frac{93,000}{76}$	위험중립형
홍수방어취약	외수방어능력	$U(x) = -\frac{100}{70}x + \frac{10,000}{70}$	위험중립형
	내수방어능력	$U(x) = 100 - \frac{100}{85,000}x$	위험중립형
	홍수조절능력	$U(x) = 100 - \frac{100}{90}x$	위험중립형

산승인 전에 수자원사업 전체를 평가하여 투자우선순위를 결정하는데도 적용가능하다. 그러나 광역상수도 및 공업용수도 수도정비기본계획은 대안선정과 투자우선순위결정 과정이 명확하지 않고, 수급분석을 기본으로 하고 있기 때문에 경제성 분석 결과 등을 포함한 의사결정이 필요하다.

#### 4. 모형 적용 및 결과

기 수립된 기본계획에서는 본 연구에서 선정된 평가기준과 관련한 분석(조사)가 모두 이루어져 있지 않기 때문에, 의사결정모형을 적용하기 위해 실제 수립된 기본계획과 예비타당성조사 사업의 자료를 기본으로 하였으며, 일부 자료는 가

정치적 적용하였다. 정책적 기준의 하위항목인 관련계획 및 정책방향 연관성과 지자체사업선호도를 제외한 나머지는 사업대상지역의 속성값에 대한 실제 시·군·구의 자료를 이용하였음을 밝힌다.

##### 4.1 유역종합치수계획 대안선정

유역종합치수계획 수립의 구조적 대책 수립방향은 기본계획상의 하도내 계획홍수량을 초과하지 않도록 유역 내에서 적절한 시설을 마련하고, 관련 기관 및 현지 여건을 감안하여 사업의 실효성을 높이는 것이다. 적용될 평가기준은 경제성 분석, 정책적 분석-관련 계획 및 정책방향 연관성, 취약성 분석-치수취약도로 설정하였다. 유역종합치수계획은 유역

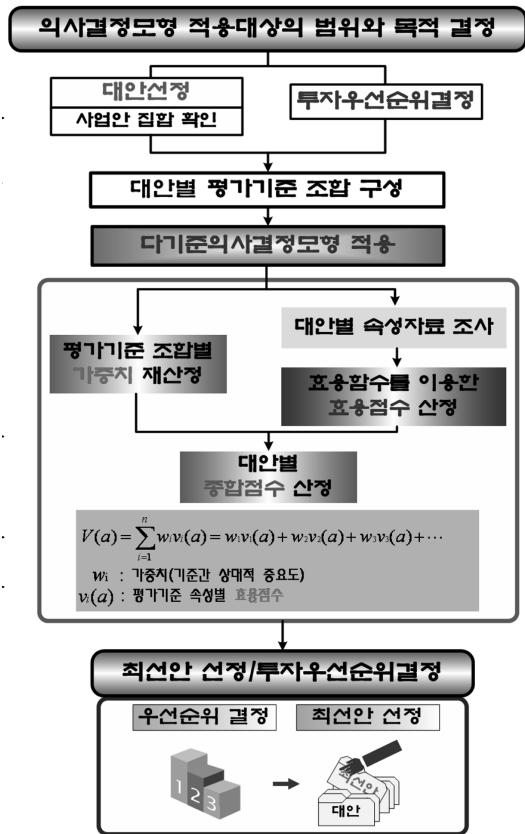


그림 4. 모형적용 절차

별로 상이하나, 본 논문에서는 전체 수자원사업을 대상으로 한 가중치를 본 지역의 가중치로 가정하였으며, 홍수방어대책으로 가능한 단위사업안의 조합인 대안은 총 5개로 표 6 과 같다.

표 7은 대안별 속성값을 나타내며, 이들 속성값을 이용하여 평가기준 속성별 가중치와 속성점수 함수를 이용한 대안별 종합점수를 산정하고, 우선순위를 매긴다. 이를 위해 홍수방어취약도 하위항목인 외수방어능력, 내수방어능력, 홍수

조절능력 등을 이용하여 대안별 점수를 산정하였다. 치수취약도 하위항목인 과거 자산피해, 과거 인명피해, 홍수방어취약 등을 이용하여 대안별 점수를 산정하며, 표 8은 표 7의 속성값을 참고로 하여 대안별로 산정한 종합점수이다. 대안-3의 경우 경제성 분석과 정책적 분석이 가장 높지는 않으나 정책적 점수에서 상대적으로 점수가 크게 산정되었다.

유역종합치수계획의 대안선정에 적용된 평가기준은 경제성 분석, 정책적 분석-관련 계획 및 정책방향 연관성, 취약성 분석-치수취약도이다. 기존의 방법인 경제성 분석(B/C)만으로 대안을 선정하였다면 대안-2가 선정되었을 것이다. 그러나 정책적 분석과 취약성 분석을 포함한 결과에서는 대안-3이 선정되었다. 경제성 분석의 속성값인 B/C, 치수취약도의 속성값인 1인당 홍수피해액, 10만명당 인명피해수, 하천개수율(%), 단위면적당 우수지용량, 단위면적당 홍수조절량 등은 계획수립 시 조사·분석된 내용을 통해 용이하게 산정할 수 있으며, 정책적 분석의 관련 계획 및 정책방향 연관성은 계획의 추진경위와 최근 공공시설구조물이 지향하는 방향, 관련 계획 등을 통해 내부연구자가 점수를 부여하는 데 어려움이 없을 것으로 판단된다. 단, 실제 적용시에는 본 연구에서 제시된 효용함수는 그대로 적용하나, 평가기준간의 가중치는 해당 유역을 대상으로 설문하여 산정하는 과정이 필요하다.

#### 4.2 수자원사업 투자우선순위 결정

일반적으로 예산편성 및 집행절차는 매년 1월말에 각 부처가 기획재정부로 중기사업계획서를 제출하는 것으로 시작한다. 부처별로 편성된 예산은 지출한도 내에서 기존 사업의 구조조정 및 신규사업 발굴 등을 통해 사업별 우선순위에 따라 부처 예산안을 자율적으로 편성한다. 이때, 국가재정운용계획의 연차별 투자소요와 정부차원의 국정과제 및 부처별 중장기 업무계획을 감안한다. “예비타당성조사 운용지침(기획재정부, 2009)”의 대상사업 선정기준에서는 ‘사업추진의 시급성’도 선정기준의 하나로, 우선순위 고려 시 특별한 사

표 6. 홍수방어 대안조합별 경제성분석 결과

(단위:억원)

구분	대안조합	총사업비	총편익	B/C	B-C
대안-1	신규댐-1, 저류지-1, 하도개선, 배수갑문확장-1	5,340	6,305	1.181	965
대안-2	저류지-2, 저수지증고-1, 저수지증고-2, 하도개선, 방수로, 홍수조절지, 배수갑문확장-2	5,320	7,090	1.333	1,770
대안-3	저류지-1, 저류지-2, 저수지증고-2, 저수지증고-3, 방수로, 홍수조절지, 배수갑문확장-2	5,360	7,055	1.316	1,695
대안-4	신규댐-2, 저류지-2, 저수지증고-1, 하도개선, 배수갑문확장-1	5,420	7,040	1.299	1,620
대안-5	신규댐-1, 저류지-1, 저수지증고-1, 배수갑문확장-1	5,440	6,785	1.247	1,345

표 7. 홍수방어 대안별 속성값

평가기준	속성	속성값					
		대안-1	대안-2	대안-3	대안-4	대안-5	
경제성 분석	편익비용비(B/C)	1.181	1.333	1.316	1.299	1.247	
정책적 분석	관련계획 및 정책방향 연관성 평가점수	85	90	95	85	85	
취약성 분석- 치수취약도	과거 자산피해	1인당 홍수피해액(천원/인)					
	과거 인명피해	십만명당 인명피해수(인/10만명)					
	홍수방어취약	외수방어	하천개수율(%)				
		내수방어	단위면적당우수지용량(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )				
	홍수조절	단위면적당 홍수조절량(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )					



표 8. 유역종합치수계획 대안선정을 위한 다기준의사결정모형 적용 결과

구분			속성/효용점수						
			대안-1	대안-2	대안-3	대안-4	대안-5		
속성점수/ 효용점수 (가중치)	경제성 분석		41.4	45.5	45.1	44.6	43.2		
	정책적 분석	관련계획 및 정책방향 연관성	85.0	90.0	95.0	85.0	85.0		
	취약성 분석	치수 취약도	과거 자산피해 속성점수(0.161)	48.5	52.4	55.0	52.5	56.5	
			과거 인명피해 속성점수(0.475)	60.9	55.0	58.5	60.3	49.1	
			홍수방어취약 (0.364)	외수방어(1/3)	21.43	14.29	21.43	7.14	35.71
				내수방어(1/3)	70.59	60.00	52.94	55.29	61.18
				홍수조절(1/3)	77.78	55.56	61.11	66.67	72.22
				속성/효용점수	56.6	43.2	45.2	43.0	56.4
	치수취약도 속성/효용점수		57.3/89.2	50.3/85.3	53.1/87.0	52.8/86.8	52.9/86.9		
	취약성 분석 속성/효용점수		89.2	85.3	87.0	86.8	86.9		
가중치 적용	경제성 분석(0.193)		7.98	8.79	8.70	8.61	8.34		
	정책적 분석(0.246)		20.91	22.14	23.37	20.91	20.91		
	취약성 분석(0.561)		50.03	47.87	48.79	48.68	48.73		
종합점수(합계)			78.92	78.79	80.86	78.20	77.98		
우선순위			2	3	1	4	5		

유가 없는 한 해당 부처에서 제시한 순위를 우선적으로 반영하도록 하고 있다. 또한, 기획재정부장관은 대상사업 선정 시 사업계획의 구체성, 사업 추진의 시급성, 국고지원의 요건, 지역균형발전 요인 등을 종합적으로 고려하도록 한다. 그러나 현재에는 유역종합치수계획, 댐건설장기계획, 수도정비 기본계획 등, 각종 기본계획에서 최종 선정된 사업안에 대한 투자우선순위를 결정하는 지침이 없는 실정이다. 본 연구에서 생활 및 공업용수 공급목적의 WW권역 광역상수도사업, 환경개선용수·생활용수·홍수조절목적의 XX다목적댐건설

사업, YY지하방수로 축조사업을 대상으로 투자우선순위를 결정하는 것을 가정하여 적용하였다.

4.2.1 'WW권역 광역상수도'

경제성 분석 기준의 속성인 B/C는 예비타당성조사에 적용된 사업의 값을 이용하였고, 정책적 분석의 하위 항목인 관련계획 및 정책방향 연관성과 지자체사업선호도도 예비타당성조사의 정책적 분석에 조사 및 분석된 내용을 토대로 속성값을 이용하였다. 취약성 분석의 하위 항목인 이수취약도

표 9. WW권역 광역상수도의 종합점수 산정을 위한 속성값과 가중치

구분		속성값	가중치	
경제성 분석	편익비용비(B/C)	0.62	0.193	
정책적 분석	관련계획 및 정책방향 연관성 평가점수	95	0.246	0.709
	지자체 사업선호도	90		0.291
취약성 분석	이수취약도	생활용수보급정도-상수도 보급률(%)	0.561	0.756
		공업용수보급정도-상수도 및 공업용수도 보급률(%)		100

표 10. WW권역 광역상수도 종합점수

구분			속성/효용점수	
효용점수	경제성 분석 속성/효용점수		23.88	
	정책적 분석	관련계획 및 정책방향 연관성(0.709)	95	
		지자체 사업선호도(0.291)	84.43	
		정책적 분석 속성/효용점수	91.92	
	취약성 분석	이수취약도	생활용수보급 속성/효용점수(0.756)	57.14
			공업용수보급 속성/효용점수(0.244)	0.0
			이수취약도 속성/효용점수	43.20/78.51
취약성 분석 속성/효용점수		78.51		
가중치 적용 속성별 점수	경제성 분석(0.193×23.88)		4.61	
	정책적 분석(0.246×91.92)		22.61	
	취약성 분석(0.561×78.51)		44.04	
종합점수			71.27	

는 해당 지자체의 자료를 직접 조사하였다.

이수취약도 하위항목인 생활용수보급과 공업용수보급의 속성값인 상수도보급률과 공업용수로 사용되는 상수도 및 공업용수도 보급률을 상수도통계연보를 통해 조사하였다. 표 3과 표 5에서 제시한 항목별 속성점수합수/효용합수를 통해 하위항목별로 속성값을 이용하여 속성별 점수를 산정하고, 가중치를 이용하여 이수취약도에 대한 속성점수를 산정하였다. 최종적으로 이수취약도는 위험성향을 고려한 효용합수를 가지므로 효용합수식에 대입하여 효용점수를 산정하였다.

표 9는 평가기준 관련 현재 기준의 속성값과 가중치를 정리한 것이다. 취약성 분석 점수는 이수취약도 점수와 같고 하위항목인 생활용수보급, 공업용수보급을 이용하여 점수를 산정하였다. 정책적 분석 점수는 하위 항목인 관련 계획 및 정책방향 연관성과 지자체 사업선호도를 이용하여 산정하였

다. 표 9의 속성값을 이용하여 산정한 정책적 분석 점수는 91.92로 산정되었고, 취약성 분석 점수는 78.81로 산정되었으며, 표 10은 다기준의사결정모형을 적용하여 산정한 사업의 종합점수이다.

4.2.2 'XX 다목적댐 건설사업'

환경개선용수, 생활용수 공급과 홍수조절을 사업목표로 하는 XX다목적댐을 대상으로 다기준의사결정모형을 적용하여 종합점수를 산정하였다. 경제성 분석 기준의 속성인 B/C는 예비타당성조사에 적용된 사업의 값을 이용하였고, 정책적 분석의 하위 항목인 관련계획 및 정책방향 연관성과 지자체 사업선호도도 예비타당성조사의 정책적 분석에 조사 및 분석된 내용을 토대로 적절한 속성값을 적용하였다. 취약성 분석의 하위 항목인 이수취약도는 해당 지자체의 자료를 직접

표 11. 다목적댐 사업의 종합점수 산정을 위한 속성값과 가중치

구분			속성값		
경제성 분석(0.193)	편의비용비(B/C)		1.6		
정책적 분석(0.246)	관련계획 및 정책방향 연관성 평가점수(0.709)		90		
	지자체 사업선호도(0.291)		75		
취약성 분석(0.561)	이수취약도(0.294)	생활용수보급정도	상수도 보급률(%)	70	
	치수취약도(0.556)	과거자산피해(0.161)	1인당 홍수피해액(천원/인)		3,500
		과거인명피해(0.475)	10만명당인명피해수(인/10만명)		10
		홍수방어취약(0.364)	외수방어능력(1/3)	하천개수율(%)	60
			내수방어능력(1/3)	단위면적당유수지용량(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	10,000
	홍수조절능력(1/3)		단위면적당홍수조절량(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	20	
	하천환경취약도(0.150)	하천수질(0.717)	BOD(mg/l)		2.9
생태 및 경관(0.283)		녹지면적비율(%)		75	

표 12. XX다목적댐 건설사업 종합점수

구분			속성/효용점수			
속성점수/효용점수(가중치)	정책적 분석	경제성 분석		52.3		
		관련계획 및 정책방향 연관성(0.709)		90		
		지자체 사업선호도(0.291)		64.04		
		정책적 분석 효용점수		82.45		
	취약성 분석	이수취약도	생활용수보급정도 효용점수/이수취약도 효용점수		42.86/78.22	
		치수취약도	과거자산피해 속성/효용점수(0.161)		61.40	
			과거인명피해 속성/효용점수(0.475)		25.00	
			홍수방어취약(0.364)	외수		57.14
				내수		88.24
				홍수조절		77.78
			홍수방어취약 속성/효용점수		74.39	
		치수취약도 속성/효용점수		48.84/84.38		
		하천환경취약도	하천수질(0.717)		41.51	
	생태 및 경관(0.283)		23.68			
하천환경취약도 속성/효용점수			36.46/63.80			
취약성 분석 속성/효용점수		79.48				
가중치 적용	경제성 분석(0.193×52.3)		10.10			
	정책적 분석(0.246×82.45)		20.28			
	취약성 분석(0.561×79.48)		44.59			
	종합점수		74.97			

조사하였다. 표 11은 평가기준 관련 속성값과 가중치를 정리한 것이다. 최종적으로 경제성 분석 점수, 정책적 분석 점수, 취약성 분석 점수에 가중치를 고려하여 최종 종합점수를 산정하였다. 표 12는 다기준의사결정모형을 적용하여 산정한 사업의 종합점수이다.

4.2.3 'YY 지하방수로 건설사업'

00유역은 수도권의 14개시를 관류하는 전형적인 도시하천으로서, 하천변 도시화로 인해 피해규모가 대형화되고 있을 뿐 아니라, 도시하천의 특성상 홍수방어대안을 마련하는 것에도 많은 제약이 따른다. 00유역종합치수계획의 사업안으로 선정된 YY 지하방수로 건설사업을 대상으로 다기준의사결정모형을 적용하여 종합점수를 산정하였다. 경제성 분석 기준의 속성인 B/C, 정책적 분석의 하위 항목인 관련계획 및 정책방향 연관성과 지지체사업선호도 등은 유역종합치수계획

과 예비타당성조사에서 조사 및 분석된 내용을 토대로 적절한 속성값을 적용하였다. 표 13은 평가기준 관련 속성값과 가중치를 정리한 것이다. 최종적으로 경제성 분석 점수, 정책적 분석 점수, 취약성 분석 점수에 가중치를 고려하여 최종 종합점수를 산정하였다. 표 14는 다기준의사결정모형을 적용하여 산정한 사업의 종합점수이다.

4.2.4 수자원사업 투자우선순위

적용된 3가지의 사업은 사업목적이 각각 다르기 때문에 그에 맞는 평가기준을 선택하여 종합점수를 산정하였다. 표 15는 사업별로 산정한 종합점수와 우선순위이며, 'YY지하방수로 사업'의 종합점수가 가장 높았으며, 다음으로 'XX다목적댐 사업', 'WW권역 광역상수도 사업'의 순으로 산정되었다. 본 적용의 경우에는 정책적 분석과 취약성 분석 점수가 모두 유사하게 나왔기 때문에 경제성 분석(B/C)만으로 우선순

표 13. YY 지하방수로 건설사업의 종합점수 산정을 위한 속성값과 가중치

구분		속성값
경제성 분석(0.193)	B/C(1.000)	
정책적 분석(0.246)	관련계획 및 정책방향 연관성(0.709)	
	지지체 사업선호도(0.291)	
취약성 분석(0.561)	치수취약도	과거자산피해(0.161)
		과거인명피해(0.475)
		외수방어능력(1/3)
		내수방어능력(1/3)
		홍수방어취약(0.364)
		1인당 홍수피해액(천원/인)
		10만명당 인명피해수(인/10만명)
		하천개수율(%)
		단위면적당유수지용량(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )
		단위면적당 홍수조절량(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )
		3,000
		10
		80
		12,000
		40

표 14. YY 지하방수로 건설사업 종합점수

구분		속성/효용점수		
속성점수/ 효용점수 (가중치)	정책적 분석	경제성 분석		
		관련계획 및 정책방향 연관성(0.709)		
		지지체 사업선호도(0.291)		
		정책적 분석 속성/효용점수		
	취약성 분석	치수취약도	과거자산피해 속성/효용점수(0.161)	
			과거인명피해 속성/효용점수(0.475)	
			홍수방어취약(0.364)	외수
				내수
				홍수조절
			홍수방어취약 속성/효용점수	
치수취약도 속성/효용점수				
취약성 분석 속성/효용점수				
가중치 적용 속성별 점수	경제성 분석(0.193×93.8)			
	정책적 분석(0.246×77.41)			
	취약성 분석(0.561×78.45)			
종합점수		81.16		
		93.82		
		90.00		
		46.74		
		77.41		
		52.63		
		25.00		
		28.57		
		85.88		
		55.56		
		56.67		
		40.97/78.45		
		78.45		
		18.11		
		19.04		
		44.01		
		81.16		

표 15. 수자원사업별 종합점수 산정과 투자우선순위 결정

종합점수	경제성 분석	정책적 분석	취약성 분석	종합점수	우선순위
WW권역광역상수도	4.61	22.61	44.04	71.27	3
XX다목적댐	10.10	20.28	44.59	74.97	2
YY지하방수로	18.11	19.04	44.01	81.16	1

위를 결정한 결과와 같이 나타났으나, 실제 적용시에는 순위가 역전될 수도 있다. 실제로 예비타당성조사 단계까지 진행된 사업으로서 만약에 제원의 제약 등으로 투자우선순위를 결정해야 할 상황에 놓인다면 기존의 경제성분석 위주에 비해 본 모형을 통해 다양한 평가기준을 고려함으로써 의사결정자가 최종 의사결정을 하는데 다양한 정보를 제공하고, 용이한 판단을 하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

현재 수자원관련 기본계획 수립과정을 살펴보면, 조사 및 수리·수문학적 분석단계에서 해당 유역에 적합한 방법으로 적절한 결과를 도출하고 있으나, 의사결정 단계인 대안선정과 투자우선순위결정에 대한 개념이 불명확하고, 계획 전반을 일련의 의사결정과정으로 이해하지 않고 기술적 분석으로 간주한다. 또한 선정된 대안에 대한 단위시설별 투자우선순위결정방법이 명확하지 않으며, 편익비용비와 설계자의 판단 위주로 적용하는 경우가 대부분이다. 본 논문은 이러한 문제에 근거를 두고 연구목적 설정하였으며, 수자원사업 기본계획 수립 시 투자우선순위결정을 위해 일관성 있는 하나의 통합된 기준으로 사업을 평가할 수 있는 다기준의사결정모형을 개발하고자 하였다.

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 통계분석하였다. 수자원사업과 같은 공공사업은 계획 수립과정을 거치면서 다수의 전문가 의견이 자연스럽게 취합된 집단의사결정이므로 평가기준의 속성별로 집단의 효용에 대한 함수를 적용하여 정확한 평가가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구는 전문가 설문문을 통해 평가기준 속성별로 확실등가를 도출하고, 이를 이용하여 효용함수를 개발하여 최대한 집단의 의견이 의사결정에 반영되도록 하였다.

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

본 연구에서 제시한 의사결정모형의 완성도를 높이기 위해서는 몇 가지 보완점이 필요할 것으로 판단된다. 첫째, 수자원사업 의사결정모형을 개발함에 있어서 가장 큰 한계점은 자료부족에 따른 평가기준선정의 제한에 있다. 따라서 수자원사업부문 뿐만 아닌 공공사업의 의사결정을 위해서 기본적인 자료구축이 필요하다. 둘째, 수자원사업 계획수립에 있어서 수리·수문학적 자료 외에도 인문·사회적 자료의 정확도와 정밀도를 높일 필요가 있다. 현재 조사되는 자료는

시·군·구 단위가 대부분이며, 심지어 시·도단위를 사용하는 항목도 있으므로, 최소한 읍·면·동단위의 분석이 가능하도록 하는 것이 필요하다. 셋째, 장래에는 수자원사업과 관련하여 수리·수문학적으로 또는 사회적으로 변화가 발생하므로 급변 연구를 통해 도출된 평가기준의 적절성과 가중치 및 효용함수에 대한 꾸준한 검토가 필요하다. 넷째, 다양한 대상에 적용된 사례가 증가하고 축적됨에 따라 전문가 또는 의사결정분석자의 의견수렴을 통해 필요에 따라 모형을 개선하는 연구가 필요하다. 다섯째, 설문응답자가 생각하는 가중치와 AHP의 고유벡터법에 의해 산정된 가중치가 어느 정도 일치하는지를 분석하고, 이를 개선할 필요가 있다.

마지막으로 본 논문은 사례 적용에 있어서 분석 등의 한계로 사전가중치를 제시하였고 평가항목을 설정하였으나, 실제 의사결정분석 과정에 있어서는 해당 계획의 상세한 정보를 이용하여 그에 맞는 적절한 평가항목의 선정과 가중치 산정이 필요함을 밝힌다.

## 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 학술발표회 논문집(I), 한국수자원학회, pp. 489-494.
- 건설교통부(2007) 치수사업 대안선정을 위한 의사결정 방안 연구. 고석구, 이광만, 고익환 (1992) 多基準 意思 分析 技法에 의한 多目的 貯水池의 運營律 平家. 한국수문학회지, 한국수문학회, 제25권, 제1호, pp. 83-92.
- 기획재정부(2009) 예비타당성조사 운용지침.
- 김성희, 정병호, 김재경(2003) 의사결정분석 및 응용. 영지문화사.
- 김양렬(2010) 의사결정론. 명경사.
- 김우구(2006) 다기준의사결정해석을 이용한 댐사업 우선순위 결정. 박사학위논문, 충남대학교.
- 김치영(2001) 가뭄지수에 의한 가뭄관리 의사결정 연구. 석사학위논문, 인하대학교.
- 박태선(2002) 계층분석법을 이용한 하천의 중요도 평가기법. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 685-692.
- 이상신, 이상일(2004) 지표수-지하수 연계운명을 위한 적지분석시스템 개발. 2004년도 학술발표회논문집, 한국수자원학회.
- 이상일, 김병찬(2003) 계층분석 과정을 이용한 지하담 적지분석. 한국지하수토양환경학회지, 한국지하수토양환경학회, 제8권, 제4호, pp. 36-44.
- 이순탁, 김지학(1990) 水資源開發의 意思決定論의 研究. 수공학논총, 한국수문학회, 제32권, pp. 151-160.
- 이충성(2002) 댐 재개발을 위한 의사결정모형: 다속성효용분석을 중심으로. 석사학위논문, 인하대학교.
- 이충성, 최승안, 심명필, 정관수(2004) 가중치산정을 통한 다목적 댐 용수의 배분 방안. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제8호, pp. 663-674.
- 이현재, 심명필(2002) 계층분석과정(AHP)에 의한 가뭄시 용수배분 우선순위 의사결정. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 703-714.
- 정은성(2007) 다기준의사결정기법을 위용한 지속가능한 유역통합

- 관리. 박사학위논문, 서울대학교.
- 한국개발연구원(2001) 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구(II).
- 한국개발연구원(2008) 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판).
- 한국수자원공사(2002a) 기존댐 합리적 용수배분을 통한 수리권 조정 방안 연구.
- 한국수자원공사(2002b) 댐건설이 사회경제문화에 미치는 영향 및 대책 연구.
- 홍성준, 이용대, 김승권, 김중훈(2006) 상수도관망의 이상징후 판정을 위한 위험요소 평가-PROMETHEE와 ANP 기법 중심으로. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제1호, pp. 35-46.
- Aker, T. and Simonovic, S.P. (2002) *A general overview of multi-objective multiple-participant decision making for flood management*. Research Report, FIDS, The University of Western Ontario, Canada.
- Bruen, M. (2002) Multiple criteria and decision support systems in water resource planning and river basin management. *Proceedings of Irish National Hydrology Seminar 2002*, Irish National Committees, pp. 25-35.
- Hyde, K., Maier, H., and Colby, C. (2003) Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA Method. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, No. 12, pp. 245-259.
- Jaber, J.S. and Mohsen, M.S. (2001) Evaluation of non-conventional water resource supply in Jordan. *Desalination*, Vol. 136, No. 1-3, pp. 83-92.
- Jandric and Srdjevic (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 resource Association*, AWRA, Vol. 43, No. 2, pp. 346-358.
- Jouvert, A., Stewart, T.J., and Eberhard, R. (2004) Evaluation of water augmentation and water demand management option for the city of Cape Town. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 12, No. 1, pp. 17-25.
- Madagoudaki, R. and Tsakiris, M. (2005) Flood Mitigation Planning using PROMETHEE. *European Water*, 2005 E. W. Publication, Vol. 9, No. 10, pp. 51-58.
- Raju, K.S., Ducjstein, L., and Arondel, C. (2000) Multicriterion analysis for sustainable water resource planning: A case study in Spain. *Water resource Management*, Vol. 14, No. 6, pp. 435-456.
- 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 Gmbll, Vol. 9, No. 2, pp. 135-149.
- Saaty, T.L. (1995) *Decision making for leaders*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Simona, U., Bruggemanna, R., and Pudenzb, S. (2004) Aspects of decision support in water management-example Berlin and Potsdam (Germany) I-spatially differentiated evaluation. *Water Research*, Vol. 38, pp. 1809-1816.
- Srdjevic, B. and Medeiros, Y.D.P. (2008) Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans. *Water Resource Management*, Vol. 22, No. 7, pp. 877-894.
- Tkach, R.J. and Simonovic, S. (1997) A new approach to multi-criteria decision making in water resource. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, Vol. 1, No. 1, pp. 25-43.

(접수일: 2011.8.19/심사일: 2011.10.27/심사완료일: 2011.11.9)