

다기준 의사결정분석방법 - 기법 및 사례 연구

Multicriteria Decision Analysis - Methods and Case Studies

최시중* , 유승엽** , 이동률***

Si Jung Choi, Seung Yup Rieu, Dong Ryul Lee

요 지

수자원 계획 및 관리 분야에서는 여러 상반된 기준들을 고려하여 의사결정을 내려야 하는 상황이 매우 빈번하게 발생한다. 따라서 이러한 상충되는 기준들에서 최적의 대안들을 찾고 이를 결정하기 위해 다기준 의사결정 분석과 같은 방법을 고려할 필요가 있다. 다기준 의사결정의 중요한 특징은 목적과 기준을 설정, 상대적 가중치들을 추정, 개별 성능 기준에 대한 대안들의 기여도를 결정하는데 있어서 의사 결정자의 판단에 중점을 두는 것이다. 주관적인 견해가 너무 많이 산재할 경우는 문제가 될 수 있지만, 원칙적으로 다기준 의사결정은 목적, 기준, 가중치 및 목표 달성 평가에 대한 의사결정자의 선택을 중시하며, 이를 과학적이고 명확한 방법으로 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 다기준 의사결정방법들은 비용-편익 분석의 실무적인 한계를 초월하는 의사결정 사안들을 위한 구조, 분석 방법, 융통성을 가지고 있기도 한다.

본 연구에서는 최근 국내 수자원 계획 및 관리 분야에 적용되는 계층화분석방법 이외에 유럽 등지에서 많이 활용되고 있는 가치함수법, Outranking 방법 등을 소개하고 각 기준에 대한 대안들의 점수를 부여하는 방법과 가중치 산정 방법을 소개하였다. 또한 수자원 분야에 적용되었던 다기준 의사결정분석 방법을 소개함으로써 국내 수자원 분야에서 발생할 수 있는 여러 상반된 기준을 고려시 최적의 대안을 찾아내는데 중요한 정보를 제공하고자 한다.

핵심용어 : 다기준 의사결정, 가치함수법, Outranking 방법, AHP, 목표계획법

1. 서 론

수자원 개발과 계획과정은 단순히 수자원 분야 뿐만이 아닌 보다 큰 사회-경제 시스템의 부분으로 보아야 하며, 이에 따른 경제적, 사회적, 환경적 영향을 통합적으로 분석해야 한다는 인식이 보편적으로 받아들여지고 있다. 이런 접근 방법의 목적은 계획의 실제 목적을 체계적으로 평가하고 가능한 경우 비용, 효과 그리고 위험도(risk)를 정량적으로 비교하여 의사결정을 지원하는데 있다(UNESCO, 1988). 다시 말해 지속적이고 효율적인 수자원 계획과 관리를 위해서는 이들의 사회적, 경제적, 생태학적 측면이 빠짐없이 검토되어야 한다고 할 수 있다.

최근 우리나라에서도 한국개발연구원(2000, 2001), 한국수자원공사(2002)에서 계층화분석(AHP)을 통해 최적의 대안을 찾고자 노력하였으며, 최동진 등(2000), 박태선(2002), 이현재 등(2002)이 PROMETHEE 방법과 계층화분석을 통해 수도산업, 하천 및 가뭄시 용수배분 우선순위의 의사결정을 하였다. 이에 비해 외국에서는 다기준 의사결정에 대해 활발한 연구가 진행되었고 현재 진행되고 있다. 특히 수자원분야에서는 하천유역 계획, 결합 물이용, 저수지 운영, 홍수터 관리, 수질관리, 수자원 및 관련 토지자원 등의 계획 및 관리에 이용되고 있다(Goicoechea 등, 1982).

2. 다기준 의사결정의 정의 및 과정

다기준 의사결정 분석(MCDA)은 상충되는 복수의 기준이 존재하는 상황에서의 최적 대안을 선택하는 의사결정을 말하며 최대의 과제는 상충하는 기준들간의 절충(trade-off)이다. 그러므로 광범위하고 복잡한 다

* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : sjchoi@kict.re.kr

** 한국수자원공사 수자원연구부 연구원 · E-mail : riousy@kowaco.or.kr

*** 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : dryl@kict.re.kr

준 의사결정문제에서 최적의 의사결정을 내리기 위해서는 여러 가지 분석이 행해져야 한다.

다기준 의사결정 분석의 단계는 8단계로 이루어진다. 1단계는 의사결정 상황에 대해 서로 공유된 이해를 확립하는 것이다. 다시 말해, 목적을 결정하고, 의사결정자와 Key player를 결정한다. 2단계에서는 의사결정에 필요한 여러 대안을 설정한다. 3단계는 각 대안의 결과에 관련된 가치를 반영하는 기준들을 설정한다. 4단계에서는 해당 기준에 대한 각 대안의 기대 성능을 기술한다. 각 대안의 결과값들을 평가하기 위해 대안들에 대한 점수를 부여한다. 5단계에서는 의사결정에 대한 상대적 중요도를 반영하기 위해 각각의 기준들에 가중치를 할당한다. 6단계는 각 대안의 점수와 가중치를 결합하여 전체 결과값을 유도한다. 7단계에서는 6단계에서 유도된 값들, 즉 결과를 검토한다. 마지막 단계에서는 점수와 가중치의 변화에 대한 결과의 민감도 분석을 수행하게 된다.

3. 다기준 의사결정 기법

3.1 가치함수방법(value function method)과 효용함수방법(utility function method)

가치함수방법은 의사결정자들이 대안에 대한 선호도 순서의 결정을 위해 각각의 대안에 대한 가치를 평가함으로써 그 순서를 정하는 방법이다. 대안 a에 대한 가치함수 $V(a)$ 가 존재할 때 $V(a) > V(b)$ 이라고 한다면 선호도에 있어서 대안 a가 대안 b보다 선호도가 좋다고 할 수 있다는 것이다. 그러나 대안들의 가치함수의 서열이 결정하기 힘든 경우에는 이 방법을 사용하는 것은 아무 의미가 없다. 어떤 대안을 평가할 때 가치함수가 존재하기 위해서는 선호독립특성과 구간척도 특성 및 절충비 특성을 만족하여야 한다.

효용함수방법은 Von Neumann과 Morgenstern(1947)에 의해서 제안되었으며 이에 대해 많은 반론들이 제기되어지고 있으나, 현재까지는 가장 일반적인 방법이며 약점을 해결할 수 있는 다른 뚜렷한 방법이 제시되지 않고 있다. 효용함수가 존재하기 위해서는 비교성, 연속성, 대체성, 단조성, 분할성 공리를 만족해야 하며 이는 경우에 따라 위배될 수 있다는 비판들도 있다. 효용함수를 부과한다는 것이 의사결정자의 주관적인 선호 개념을 정량화하는 것이기 때문에 효용이론에서 가장 중요한 것은 의사결정자의 위험에 대한 태도(위험성향)를 정확히 반영하는 효용함수를 찾는 것이다. 의사결정자의 위험 성향을 파악할 때 효용함수는 각 개인이 현재 처해 있는 상황에 따라 변화할 수 있다는 것에 주의해야 한다. 효용함수 부과 절차를 이용하여 얻어진 효용 함수는 상황이 변화하면 효용함수 자체가 달라질 수 있다. 따라서 의사결정자의 위험 성향도 상황에 따라 변화할 수 있다.

3.2 가치평가(Value Measurement)

가치평가는 각각의 대안들에 수치적으로 점수화를 수행하는 방법이다. 즉 우리는 어떤 대안에 대한 선호도 또는 가치를 나타내는 숫자를 부여하고 어떤 대안이 다른 대안에 비해 더 선호된다고 하는 것을 선호도 점수와 연관시킬 수 있다. 대안들의 종합적인 평가를 위해서는 각 대안들의 가치가 점수화되어야 하며, 개별 기준들에 대한 점수들을 모두 종합하여 최종적인 점수로 나타내게 된다. 이러한 종합과정에서 어떤 기준들은 다른 기준들에 비해 보다 더 중요하므로 이를 고려하기 위해 기준들에 가중치를 설정하는 과정이 필요하다.

기준에 대한 대안들의 점수화는 다기준 의사결정 분석에서 매우 중요한 부분이다. 점수화의 대표적인 방법에는 정량적 기준에 대한 점수화와 정성적 기준에 대한 점수화 방법이 있다. 정량적 기준에 대한 점수화 방법은 측정가능한 기준에서 직접적인 방법으로 점수화를 행할 때 사용하는 직접적 방법과 측정되지 않는 기준에 대한 점수화를 위한 간접적 방법, 그리고 척도를 통하여 점수화를 수행하는 척도구간법이 있다. 정성적 기준에 대한 점수화 방법에는 정성적 가치척도를 구성하여 점수화하는 방법과 직접평가하는 방법이 있다.

개별적인 기준들에 대한 점수들은 최종적인 종합점수를 얻기 위해 합산되어야 한다. 점수들을 종합하는 방법으로는 각 대안의 점수화를 한 결과에다 각 대안의 가중치를 곱하여 합산한 결과를 가지고 최적대안을 찾는다. 따라서 점수화 뿐만 아니라 가중치의 산정도 중요하다. 가중치 산정시 여러 사람들의 참여를 통해 가중치를 구할 수 있으며 다른 방법으로는 Swing 가중치 방법(Belton & Stewart, 2002)이 있다. Swing 가중치 방법은 여러 대안의 점수화에 있어서 대안의 변화폭에 따라 가중치를 부여하는 방법이다.

대안에 대한 점수화와 가중치 산정시 주의해야 할 점은 여러 사람(의사결정 분석자, 의사결정자, 여러 참여자)들에 의해 부여되는 것이 보다 합리적이라는 점이다. 또한 정성적 기준에 대한 점수화는 점수를 부여하는 사람들의 주관이 많이 포함되어 있기 때문에 이에 대한 각별한 주의가 요한다는 것이다. 점수화와 가중치의 올바르게 못한 산정은 최적대안의 선정에 큰 오류를 범하게 되므로 주의해야 한다.

또한, 다기준 의사결정 분석에서는 민감도 분석을 실시하여 가중치나 점수가 종합점수에 어떤 영향을 끼

쳤는지를 정량적으로 보여줄 필요가 있다. 이런 과정은 결과를 다시 검토해 보고 의사결정 과정에 필요한 피드백(feedback) 과정을 수행할 수 있는 기초자료가 된다. MCDA 분석자는 창조적으로 결과를 한눈에 보여줄 수 있는 그래프를 작도하여 다기준 분석의 목적을 달성할 수 있도록 노력할 필요가 있다.

3.3 계층분석(Alytic Hierarchy Process : AHP)

계층분석 과정은 MCDA 기법들 중 가장 널리 응용되고 있는 기법이다. 분석 과정이 간단하여 요소나 대안의 중요도 평가 과정에서 쌍대 비교를 함으로써 의사결정자의 선호 정보를 얻기가 용이하며, 분석 과정의 특성상 정량적 요소와 정성적 요소를 동시에 고려하기가 용이하다. 특히, 정성적 요소에 대한 평가 결과를 정량화하거나 평가 결과를 규준화하는 과정을 거치지 않는다. 계층화분석 과정이 성공적으로 널리 사용되게 된 데에는 무엇보다도 이 이론이 지니고 있는 단순성과 견고성의 결과라고 볼 수 있다. 이 이론은 Saaty(1986)에 의해 소개된 일련의 공리(역수비교, 동질성, 독립성, 기대성)에 기반을 두고 있으며 이들 기본적인 일련의 가정은 계층화분석 과정의 이론적 기초를 제공하며 또한 계층화분석 과정의 발전에 매우 중요한 공헌을 하였다.

계층화 분석은 4단계로 이루어지며 단계 1에서는 의사결정 문제의 의사결정 요소들간의 관계를 분석하여 계층 구조를 형성한다. 단계 2에서는 각 계층내의 의사결정 요소들의 쌍대 비교를 통하여 계층별로 쌍대 비교 행렬을 구한다. 단계 3은 쌍대 비교 행렬로부터 각 계층내의 의사결정 요소의 상대적 중요도를 계산한다. 쌍대 비교 행렬로부터 요소(기준 또는 대안)들의 중요도를 계산하는 방법은 여러 가지가 제시되고 있으며 산술 평균법, 기하 평균법, 최소자승법 및 고유벡터방법이 있다. 고유벡터방법은 가장 널리 사용되는 방법으로서 최대고유치의 불일치성에 의해 일치성지수(consistency index : CI)를 산정할 수 있다. 이를 통해 의사결정자의 일치성이 유지되는지의 여부를 판단할 수 있다. 단계 4에서는 여러 대안을 평가하기 위해서 선정된 기준에 대한 가중치와 각각의 기준에 대한 대안들을 평가한 값을 이용하여 최종적으로 대안들의 총중요도를 계산한다. 일반적으로 평가된 대안들 중 가장 큰 값을 얻은 대안을 선택한다.

3.4 목표계획법(Goal Programming)

목표계획법은 Charners and Cooper(1961)에 의해 제안되었다. 목적함수를 직접적으로 최대화하거나 최소화하는 것이 아니고 주어진 제약조건식 내에서 달성 가능한 목표로부터의 편차를 심플렉스법에 의해 최소화하는 방법으로서 이들 편차변수가 목표계획법에서는 새로운 의미를 갖게 된다. 편차변수는 두 가지 차원, 즉 양의 편차와 음의 편차로 나타나는데 이 때 목적함수는 이들 편차에 부여된 상대중요도나 우선순위에 근거를 두고 이들 편차를 최소화하는 것이 된다.

목표계획법의 두드러진 특징은 목표들이 서수형(ordinal sequence)으로 충족된다는 점이다. 즉, 상충하는 복수목표를 목표의 중요성에 따라 우선순위를 부여하여 상위수준의 목표를 원하는 데로 가능한 한 많이 달성한 후에 하위수준의 목표를 고려하게 된다. 그런데 여기서 분명한 점은 일반적으로 모든 목표에 대해 의사결정자가 원하는 것만큼 전부 달성할 수는 없다는 점이다. 일반화된 목표계획법은 실무적으로는 대화형 방법으로 사용된다. 즉 해는 이상해에 가까운 목표들의 집합에서 비교적 임의적인 방법으로 찾아지며, 의사결정자는 이 해들을 평가하게 된다. 의사결정자는 이 해들에 대해 잘 이해하고 나서 원래의 목표를 수정할 수도 있다. 이 수정된 목표에 대해서 다시 목표계획법이 적용된다. 이 과정은 의사결정자가 더 이상의 진전이 없다고 생각할 때까지 반복된다. 대화형 접근방법은 과정을 보다 효율적으로 만들기 위해 다양한 방법으로 공식화되어왔다(Belton & Stewart, 2002).

3.5 Outranking 기법

Outranking 기법은 대안들의 서열을 결정할 수 있는 정교한 기법으로 쌍대 비교에 근거한다. 쌍대 비교는 대안들을 한 쌍씩 체계적으로, 기준 대 기준으로 비교하며, 대안들간의 서열순위를 결정해 준다. 대안들의 서열순위는 의사결정자로부터 얻어진 대안들의 선호도와 이를 통해 얻어진 concordance 지수, discordance 지수의 계산에 의해 구할 수 있다. Outranking 기법으로 주로 사용되는 방법은 ELECTRE 계열의 방법들과 PROMETHEE 기법의 두 가지가 있다.

Outranking 방법은 각 대안들에 대한 의사결정자의 선호도의 강도보다는 어떤 대안들이 다른 대안에 비해 확실하게 더 선호되는가 아닌가를 판단할 수 있는 근거가 되는 증거의 강도를 얻는 것을 보다 강조하고 있으며 의사결정자의 선호, 대안 평가의 질, 문제의 상황이 이해된 상황에서 대안 A가 적어도 대안 B보다는

좋으며, 이러한 진술을 뒤집을 만한 압도적인 이유가 없다면, 대안 A는 대안 B보다 상위에 있다라고 말한다. 따라서 기본적으로 Outranking 기법은 고려되는 모든 대안들의 쌍대 비교의 수준에서 정의된다. 이러한 일반적인 개념에 기초하여 Outranking 기법을 적용하기 위해서는 한 대안이 다른 대안보다 상위에 있는지 아닌지를 결정하는 정확한 방법이 제시되어야 하며 대안들 간의 종합적인 선호의 서열화를 위해 어떻게 모든 쌍대 상위 평가들을 결합할지를 결정하는 것이 필요하다.

3.6 다기준 의사결정 지원 소프트웨어

다기준 의사결정 분석이 점점 복잡해지면서 이를 지원하는 소프트웨어 패키지가 많이 개발되었으며 대단히 유용한 의사결정 도구로 활용되고 있다. 따라서 기획자들은 아주 간단한 의사결정을 제외하고는 의사결정과 관련된 어려움을 해결하기 위해서 두 개 이상의 소프트웨어 패키지를 사용하는 것이 효과적이라고 생각한다. 다기준 의사결정 분석은 명시적인 가중치와 점수를 통해 보정 모형의 구조를 보여주게 된다. 이를 위해 컴퓨터의 지원을 받는 것은 의심할 여지없이 장점으로 작용한다. 컴퓨터를 사용함으로써 얻게 되는 주요 이익은 입력 데이터(민감도 분석 포함) 수정의 편리함, 정보 제공 능력이 우수한 결과 표시 등이 있다. 다기준 의사결정 지원 소프트웨어 중 대표적인 것들은 표 1에 나타내었다.

표 1. 다기준의사결정 지원 소프트웨어

소프트웨어	사용기법
Decision Lab 2000	PROMETHEE, GAIA
Expert Choice Pro	AHP
Criterion Decision Plus	AHP, SMART
VISA, HIVIEW, MACBETH	다요소 가치함수방법
ELECTRE I, II, III, TRI	Outranking

4. 수자원 계획과 관리에의 적용사례

4.1 남아프리카 공화국 Sand강 프로젝트

남아프리카 공화국 Sand강 프로젝트는 다기준 의사결정 분석을 이용한 유역관리 시범연구 사례이다. 남아공의 경우 개정된 국가수자원법령(NWA)에 의해 수자원산립국의 물관리 책임자들에서부터 국립 또는 지방 유역관리청에 이르기까지 많은 사항들이 요구되고 있으며, 개정된 물관리 시스템은 수자원을 ‘관리등급’으로 분류할 것과 각 관리등급에 적절한 확보량을 결정하도록 요구하고 있다. 또한 지역수준에서의 물배분은 현재와 미래의 필요량을 조화시키도록 하고 있다. 기본적으로 인간에게 필요한 수량과 생태계 기능을 위해 필요한 수준이 되도록 수질과 하천유량을 확보해야 하며, 모든 단계에서 서로 다른 종류의 정보를 적절한 절충과 의사결정을 이루기 위해 사용하도록 하고 있다. 이를 위한 절차가 개발중이며 이런 과정을 다양한 방법으로 촉진시키기 위한 시도의 일환으로 MCDA 기법들과 시나리오 정책 계획이 유역에 대한 가상적인 토지이용 시나리오를 개발/평가하기 위해 사용되었다. 토지이용 시나리오 평가를 위한 기준은 그림 1과 같다.

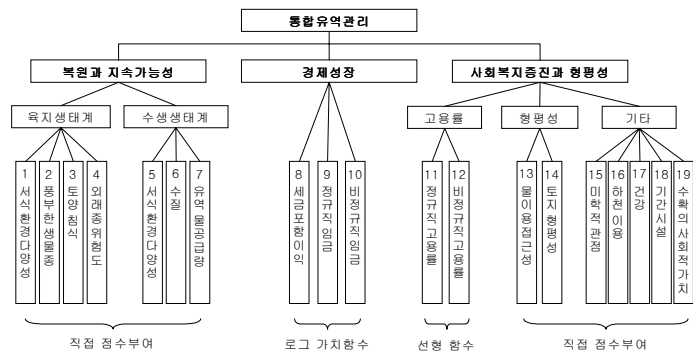


그림 1. 의사결정 나무 구조, 기준과 사용된 척도

4.2 프랑스 남부지역의 장기 물공급의 다기준 설계

이 연구에서는 장기 물공급 시스템을 설계하기 위한 MCDM 접근방법을 제안하였다. 프랑스 남부지역의 Adour-Garonne 유역에서의 1989년 지역개발 계획을 예로 들어 제안된 접근방법을 설명하였다. 대규모 저수지를 건설하기 위한 적지선정 문제를 4개의 관련집단과 13개의 기준, 38개의 대안들에 대해 조사하였다. 첫 번째 단계에서의 ELECTRE III 기법은 대안들을 선별하고 그 수를 8개의 가장 효율적인 대안으로 줄여 보다 세부적인 조사에 들어가기 위해 사용되었으며, 두 번째 단계에서는 다양한 관계자들에 대한 다기준 의사결정 절차를 위해 ELECTRE III 기법을 확장하여 사용하였다. 여기서 얻어진 결과는 실제 행해졌던 의사결정 과

정의 결과와 비교되었으며, 제안한 방법론의 적절성을 보이기 위해 모형과 실제 상황과의 유사점과 차이점을 보였다.

5. 결 론

수자원 계획의 경우는 그 규모가 대체로 크며, 의사결정자가 의사결정을 내리기 위해서는 토의과정 및 계획의 평가를 위한 제도와 형식이 필요하다. 또한, 수자원 계획 및 투자에서는 의사결정 과정에 참여하는 다수의 의사결정자들과 이해관계자, 다양한 평가 기준들이 존재한다. 따라서 여러 가지 대안들의 결과를 평가하고 여러 이해관계자들이 관련된 사업을 위한 계획을 수립하기 위해서는 정교한 절차가 필요하다. 본 연구에서는 수자원 계획의 대안들을 평가하거나, 의사결정 과정에서 사용될 수 있는 다양한 다기준 분석 방법론들과 다기준 의사결정 절차를 소개하는 것이다. 세부적으로는 수자원 분야의 전문가들이 참조할 수 있도록 이론들과 사례들을 조사·분석하고, 실무적으로 이용할 수 있도록 관련 소프트웨어들에 대한 소개도 첨부하였다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 #1-5-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 박태선(2002). 계층분석법을 이용한 하천의 중요도 평가기법, 한국 수자원학회논문집, 제35권, 제6호, pp. 685-692.
2. 이현재, 심명필(2002). 계층분석과정(AHP)에 의한 가뭄시 용수배분 우선순위 의사 결정, 한국 수자원학회 논문집, 제35권, 제6호, pp. 703-714.
3. 최동진, 박희경(2000). 다요소 의사결정 기법을 이용한 수도산업 민영화 시나리오의 분석, 대한토목학회논문집, 제20권, 제1-B호, pp. 175-187.
4. 한국개발연구원(2000). 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구(개정판).
5. 한국개발연구원(2001). 수자원(댐)부문사업의 예비타당성조사 표준지침연구(개정판).
6. 한국수자원공사(2002). 기존댐 합리적 용수배분을 통한 수리권 조정 방안 연구.
7. Belton, V. and Stewart, T. J.(2002). Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts.
8. Charnes, A. and Cooper, W. W.(1961). Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, John Wiley & Sons, New York.
9. Goicoechea, A., Hansen, D. R. and Duckstein, L.(1982). Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Application. John Wiley & Sons.
10. Joubert, A. and Pollard, S.(2000). Using Multi-criteria Decision Analysis in Catchment Management : A Case Study of the Sand River, Mpumulanga, South Africa, African Journal of Aquatic Science, Vol.25, pp. 238-242.
11. Netto, O. C., Parent, E. and Duckstein, L.(1997). Multicriterion Design of Long-Term Water Supply in Southern France, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.122, No.6, pp. 403-413.
12. Saaty, T. L.(1986). Axiomatic Foundations of the Analytic Hierarchy Process, Management Science, Vol.32, No.7, pp.841-855.
13. UNEP(1988). Training Guidance for the Integrated Environmental Evaluation of Water Resources Development Projects, UNESCO.
14. Von Neumann, J. and Morgenstern, O.(1947). The Theory of Games and Econometric Behavior, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.