

# AHP기법을 이용한 용수배분의 가중치 산정

이충성<sup>1)</sup> 최승안<sup>2)</sup> 심명필<sup>3)</sup>

## 1. 서론

합리적인 용수배분이란 일반적인 자원배분의 관점에서 1차적으로 경제적 효율성을 만족시키는 배분이 되어야 하며, 수자원의 특수성을 고려한 사회적 형평성과 환경적 지속가능성의 원칙이 수반되어야 한다. 경제적 효율성 원칙이란 용수의 가치를 가격으로 나타내어 물 이용을 통한 편익을 극대화시킬 수 있는 상태의 자원배분으로서 한계효용균등의법칙(law of equimarginal utility)에 기초한 계량경제학적 모형을 사용할 수 있다. 그러나 사회적, 환경적 원칙들은 경제적 가치로는 계량화하기 어려우며 용수배분과 같은 수자원문제에 이러한 어려움을 보완하기 위해서는 정성적인 인간의 효용을 정량화 하는 다기준 의사결정기법(Multi-Criteria Decision Making ; MCDM)의 필요성이 제기된다. 본 연구에서는 다기준 의사결정기법의 하나인 계층화 분석과정(Analytic Hierarchy Process ; AHP)을 이용하여 효율성, 형평성, 지속가능성의 상대적 중요도를 정량화 한 용수배분의 가중치를 산정하였으며, 경제학적으로 도출된 객관적 지표를 정성적 지표와 통합하여 정량화 하는 방안도 제시하였다.

## 2. 계층화 분석과정(AHP)

AHP는 1970년대 초 Tomas L. Saaty에 의해 개발된 후 정성적(qualitative), 다기준(multi-criteria) 의사결정에 널리 사용되어 왔다. AHP는 일반적으로 계층구조의 설계와 평가, 두 가지 단계로 대변된다. 계층구조의 설계에서는 해결하고자 하는 문제의 요소를 먼저 파악하고 요소를 동질적인 집합으로 군집화 하여, 이 집합을 다수의 계층(level)에 배열함으로써 이루어진다. 평가단계는 쌍대응비교법(paired comparisons method)의 개념에 입각하고 있다. 계층구조의 어느 한 수준에 속하는 요소들을 비교대상이 되는 요소들의 바로 위 수준에 속하는 어느 하나의 평가기준의 중요도나 기여도에 입각하여 서로 비교하게 된다. 즉, 쌍대응비교로 얻어진 척도로 비교행렬(comparison matrix)을 구성하고 이로부터 요소들의 우선순위를 도출하기 위해 비교행렬을 하나로 종합하는 것이다. 일반적으로 AHP의 분석과정은 그림 1.과 같이 나타낼 수 있다.

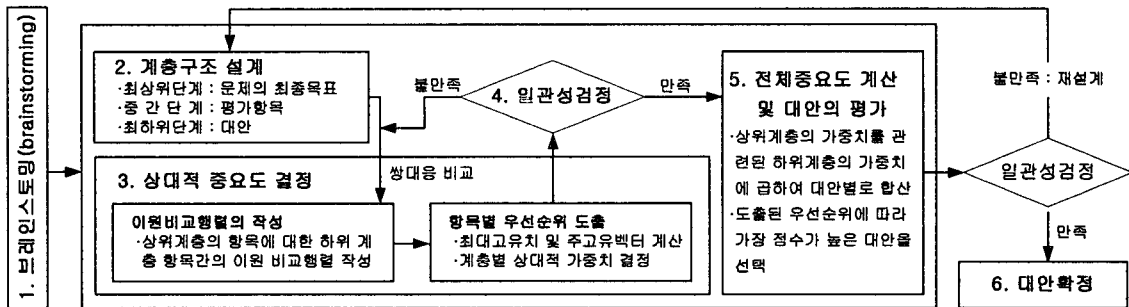


그림 1. AHP기법의 분석과정

- 1) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 박사과정
- 2) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 박사과정
- 3) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수

비교행렬을 종합하여 단 하나의 숫자로 나타내기 위해서는 가중치를 부여하고 가산해야 하는 작업이 이루어져야 한다. 이러한 가중치 계산을 위해서는 여러 가지 방법들이 제안되었으나, 현재까지는 Saaty(1977)가 제안한 고유벡터법(eigen vector method)이 가장 좋은 방법으로 입증되고 있다.

AHP에서는 일관성비율(Consistency Ratio ; CR)에 의하여 판단의 일관성을 측정한다. CR=0 이면 응답자가 완벽한 일관성을 유지하며 쌍대용비교를 수행하였음을 의미한다. Saaty에 의하면 CR<0.1 일때 비교행렬은 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, CR<0.2 일 경우 용납할 수 있는 수준의 일관성을 구비한 것으로 판단한다. CR값이 0.2 이상이면 일관성이 부족하여 재조사가 필요하다고 제안하였다.

### 3. 의사결정 계층구조의 설계

계층구조는 총 6단계로 설계하였으며, 크게 평가그룹, 상황설정, 평가기준, 대안으로 구분하였다. 그림 1. 과 표 1.에 AHP계층도와 평가기준에 대한 설명을 나타내었다.

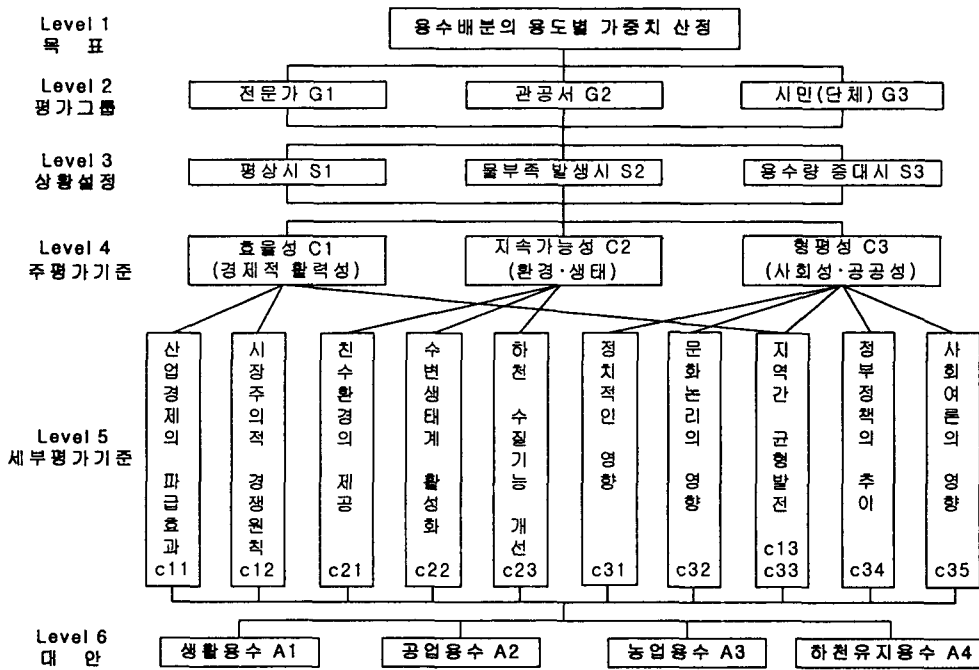


그림 2. 용수배분을 위한 AHP계층도

표 1. 평가기준의 설명

주항목	세부항목	설명
효율성 (경제적 활력성)	1. 산업경계의 파급효과 2. 시장주의적 경쟁원칙 3. 지역간 균형발전	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체산업의 생산성과 성장에 미치는 영향</li> <li>경제적 효율성 이외의 능력차이를 배려하지 않는 경쟁적 배분</li> <li>지역간의 균형적 발전이 국가경제 전체적으로 볼 때에도 효율적인 발전</li> </ul>
형평성 (사회성·공공성)	1. 정치적인 영향 2. 문화논리의 영향 3. 지역간 균형발전 4. 정부정책의 추이 5. 사회여론의 영향	<ul style="list-style-type: none"> <li>지방자치로 인한 지역논리 등 정치논리</li> <li>전통적 관습이나 국민 정서 등 문화적 영향</li> <li>성장의 안배와 같은 지역간 형평성 문제</li> <li>정부의 불관리 정책의 추이</li> <li>전문가, 국민, 언론 등 여론의 영향</li> </ul>
지속가능성 (환경·생태성)	1. 친수환경 제공 2. 수변생태계 활성화 3. 하천수질 기능 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>시민들에게 휴식, 레크리에이션 등의 환경 제공</li> <li>건전한 수변생태계 유지</li> <li>하천 자정능력 강화 등 수질개선 효과</li> </ul>

#### 4. 평가에 의한 가중치 계산 및 분석

본 연구는 수자원과 사회·경제 관련 전문가, 관공서, 시민(단체) 등 세 그룹으로 나누어 설문조사를 실시하였다. 배포자 140명 중 89명이 설문에 응답, 그 중 52명은 낮은 일관성비율로(CR>0.2) 표본에서 제외시켰다. 새로 만들어진 종합판단행렬을 바탕으로 고유벡터법에 의해 대안들의 가중치 계산결과는 표 2와 같다.

표 2. 상황에 따른 평가집단별 대안의 종합가중치

상 황	평가대안	전체집단 총괄	전문가집단	관공서집단	시민(단체)집단
전체상황 총괄	생활용수	① 0.344	① 0.295	① 0.467	② 0.263
	공업용수	② 0.247	② 0.284	② 0.254	④ 0.188
	농업용수	④ 0.197	④ 0.208	④ 0.133	③ 0.260
	하천유지용수	③ 0.212	③ 0.213	③ 0.147	① 0.289
평상시	생활용수	① 0.335	① 0.286	① 0.458	③ 0.254
	공업용수	② 0.241	② 0.277	② 0.245	④ 0.184
	농업용수	④ 0.197	④ 0.207	④ 0.136	② 0.257
	하천유지용수	③ 0.227	③ 0.230	③ 0.161	① 0.305
물 부족시	생활용수	① 0.348	① 0.298	① 0.474	② 0.267
	공업용수	② 0.251	② 0.286	② 0.259	④ 0.190
	농업용수	④ 0.197	③ 0.209	④ 0.130	③ 0.261
	하천유지용수	③ 0.204	④ 0.207	③ 0.137	① 0.282
용수량 증대시	생활용수	① 0.330	① 0.284	① 0.448	③ 0.251
	공업용수	② 0.238	② 0.280	② 0.238	④ 0.182
	농업용수	④ 0.198	④ 0.207	④ 0.139	② 0.256
	하천유지용수	③ 0.234	③ 0.229	③ 0.175	① 0.311

표 2.는 계층별 가중치를 통합한 대안의 상황별 종합가중치를 나타낸 것이다. 각 상황별 종합가중치는 level 3에 대한 level 4의 상대적 중요도를 통합하지 않고 각 상황별 가중치를 level 5에 적용하여 산출된 것이다. 전체집단의 총괄 종합가중치는 각 평가집단별 가중치를 총괄한 것이다. 전체상황하에서의 전체집단의 총괄 종합가중치는 생활용수(0.344), 공업용수(0.247), 하천유지용수(0.212), 농업용수(0.197)의 순서로 중요하게 평가되었으며 용수사용량의 절반정도를 차지하는 농업용수의 가중치가 가장 작게 평가된 점이 주목된다.

각 상황별로도 집단별 종합가중치는 모두 비슷한 결과를 보였는데, 전문가와 관공서의 농업용수에 대한 중요도가 매우 낮게 평가된 결과로 분석된다. 다만 물 부족시에는 전문가와 시민단체가 농업용수를 각각 하천유지용수(0.207), 공업용수(0.190)보다 높은 0.209, 0.261로 중요하게 생각하였다. 평가집단별로는 전문가와 관공서는 전반적으로 생활용수를 가장 중요하게 평가하였고 시민단체는 하천유지용수를 가장 중요하게 평가하였다. 또 전문가와 관공서가 농업용수를 가장 낮게 평가한데 비해 시민단체는 공업용수를 가장 낮게 평가하였다. 전체적인 분석결과 전 항목에서 관공서와 시민단체의 평가가 상반된 면을 많이 보였고 전문가는 관공서와 시민단체의 중간정도의 의견을 보이는 것으로 분석되었다.

#### 5. 경제적 효율성 지표와의 통합

앞서 AHP가중치를 산정할때 효율성항목도 설문으로 쌍대용비교를 행하였다. 그러나 경제적 효율성을 포함하여 정량화된 자료를 제시할 수 있는 인자들에 대해서는 직접 중요도를 부여하는 것이 타당할 것이다. 일반적으로 AHP는 쌍대용비교로 생성된 비교행렬을 종합하는 과정에서 정규화(normalization)과정을 거친다. 정규화란 서로 다른 측정단위를 갖는 요소들의 값을 비교 가능한 척도로 만들기 위해 의사결정행렬(주요유벡터)의 각 원소를 열벡터의 합으로 나누어 합이 1이 되게 하는 방법이다. 따라서 효율성항목은 계량경제학적 모형에 의한 용도별 최적 배분량이 얻어진다면 이를 정규화 하여 종합가중치 계산과정에 삽입할 수 있다.

효율적 용수배분은 서두에 언급한대로 한계효용균등의법칙을 기반으로 하며, 용수사용간의 독립성을 가정하면 사회효용함수를 각 부문의 지불의사(Willingness To Pay ; WTP)로 나타내어 용도별 용수배분의 최적 방법을 식(1)과 같이 '한계지불의사균등의법칙'으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial WTP_d(Q_d)}{\partial Q_d} = \frac{\partial WTP_i(Q_i)}{\partial Q_i} = \frac{\partial WTP_a(Q_a)}{\partial Q_a} = \frac{\partial WTP_e(Q_e)}{\partial Q_e} \quad (1)$$

여기서,  $Q_d, Q_a, Q_i, Q_e$  : 생활용수량, 농업용수량, 공업용수량, 하천유지용수량

$WTP_i(Q_i)$  : 용도 i 의 지불의사(WTP)

식(1)을 적용하기 위해서는 각 용도별 WTP(혹은 수요함수)를 도출하여야 한다. 각 용도별 용수수요를 가격의 함수로서 표현하여야 하고 최적 배분상태에서는 그 지불의사의 한계값(기울기)이 동일하도록 해주는 것이 최적 배분상태이다. 그림 3.에서 용도별 수요함수들의 1차 편미분값이 같은 각각의 점에서의 수량  $Q_d^*, Q_a^*, Q_i^*$  가 용도별 최적배분량이 된다.

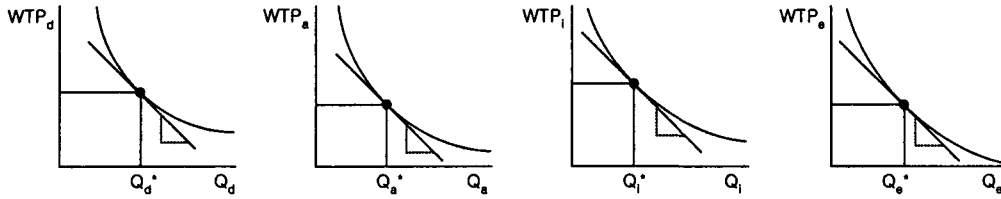


그림 3. 한계지불의사균등의법칙에 의한 최적배분

## 6. 결 론

본 연구에서는 AHP기법을 사용하여 용수배분을 평상시, 물 부족시, 용수량 증대시의 상황으로 분류하여 대안의 상대적 가중치를 분석하였으며, 최종적으로 생활용수(0.34), 공업용수(0.25), 하천유지용수(0.21), 농업용수(0.20)의 가중치를 얻었다. 특히 하천유지용수가 농업용수보다 중요하게 평가된 것은 특기할만한 사항으로서 최근 높아진 환경인식의 반영이라고 생각된다. 표 2.에서 구해진 가중치는 각 용수배분 상황별로도 사용가능하므로 개별 지역의 용수배분시 지역적 특성을 고려한 계층을 설계한다면 용수배분시 분쟁의 소지를 최소화하면서 합리성도 추구할 수 있을 것이다.

AHP기법은 용수배분 방안과 같이 평가기준이 객관적인 측정이 불가능한 정성적, 가치판단적 성격을 띄고 있는 경우에 설문집단의 동기적 편기(motivational bias)에 의해 오류의 위험이 지적되기도 하나 일관성 검정을 통하여 보완이 가능하므로 제한적인 범위 내에서 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

그러나 경제적 효율성을 정확히 판별하기 위해서는 용도별 수요함수를 지역별로 도출하는 과제가 선행되어야 하며, 특히 하천유지용량의 정량적 가치측정에 대한 노력이 있어야 한다. 이와 더불어 농업용수의 가격 책정 문제 등 용수시장의 가격구조를 시장논리화 하여야 하는 숙제가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 21C 프론티어 연구개발사업 '수자원의 지속적 확보기술개발' 연구용역 결과의 일부로서 지원해주신 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단에 감사를 드립니다.

## 7. 참고문헌

- 박용성, 박태근(2001). AHP를 위한 의사결정론, 자유아카데미.
- 심명필(2000). "수자원 경제성분석 입문(1)", 한국수자원학회지 제33권, 제3호, 한국수자원학회, pp. 111-120.
- 한국개발연구원(2001). 수자원(댐)부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(개정판).
- Ridgley, M.A. (1993). "A Multicriteria Approach to Allocating Water During Drought", Resource Management and Optimization, Vol. 9, No. 2, Harwood Academic Publishers Gmbll, pp. 134-149.
- Rice, L., White, M. D., and Jankowski, W.(1991). "Engineering Aspects of Water Law", Krieger Publishing Company Malabar, Florida.
- Satty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, Inc.
- Shim, J. P. (1989). "Bibliographical research on the Analytic Hierarchy Process (AHP)", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 23, No. 3, pp. 161-167.