

수자원 계획의 우선순위 산정 기법

- 계층적 분석과정(AHP)을 중심으로 -

Method of a Priority Calculation for Water Resources Planning - Focusing Analytic Hierarchy Process -

이 광 야*
Lee, Kwang Ya

1. 서론

무슨 사업에 있어 우선순위 결정이 중요하다는 이야기를 자주 듣게 된다. 한정된 재원을 가지고 최대의 효과를 얻고자하여 가장 중요하다든가 가장 시급하다든 등 프로젝트를 추진하는 자는 여러 개의 후보 중에서 대상을 선택하는 의사결정이 매우 중요한 사안이 되었다. 또한 이러한 의사결정을 얼마나 합리적이고 과학적으로 선택했느냐가 관심의 초점이 되어가고 있다.

최근 지역적인 물 부족이나 수해 등의 자연재해가 발생할 때마다 수자원 관리나 중요성이 점점 높아가고 그 가치가 공공재에서 경제재로 변환되어가고 있으며 이에 따라 제한적인 수자원 개발과 관리의 방법 및 규모를 결정하는데 각종 공간적 자료를 갖고 여러 가지 기준에 의해 합리적이고 효율적인 방법을 모색해야 한다. 예를 들면 17,000여개의 농업용 저수지 중에서 재해 대비에 필요한 저수지의 개보수 사업의 대상은 어떻게 선정해야 하느냐, 가뭄에 대비한 수자원 개발을 어느 지역을 먼저 시행하느냐 등 선택이 필

요하다. 이러한 선택은 반드시 수자원 계획의 개발이나 유지관리 등을 수행함에 있어서 우선적으로 결정되어야 할 순위를 합리성에 근거하여 결정해야 한다.

우선순위를 선정할 때 가장 중요한 사안은 평가항목(지표)과 평가방법이다. 지표가 목적에 따라 제시되면 기능 및 목적에 따라 중요도(가중치)가 동일하지 않으므로 지표별로 어느 정도의 중요성을 지니고 있는지의 평가가 중요하다. 그러나 현실적으로 지표의 중요도를 직접적으로 나타내는 정량적인 자료를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 다중 평가의 경우 평가기준의 다양성에 의해 수렴치를 얻을 수 없는 위험이 있어 전문가에 의한 주관적인 판단이 불가피한 실정이다.

지표의 평가항목의 중요도 평가방법으로는 순차적으로 비교에 따라 상대적인 중요도를 점수로 표현하는 실수형 단순비교법이나 비율형 단순비교법, 평가체계별 평가요인의 쌍쌍비교에 의한 비교치를 바탕으로 일종의 고유치 해석방법을 통해서 그 중요도를 결정하는 계층적 의사결정법(AHP : Analytic Hierarchy Process) 그리고 구성요소가 많고 각각의 관련성이 복잡한

* 한국농촌공사 농어촌연구원 책임연구원 (kylee@ekr.or.kr)

문제의 전체구조를 명확히 밝히는 시스템분석기법인 DEMATEL (DEcision MAKing Trial Evaluation Laboratory : 의사결정시행 및 평가실험)법 등이 있다.

본고는 어떤 결정사항에 대한 여러 가지 우선순위 선정방법 중 전문가의 견해를 정량적으로 표현한다고 알려져 있는 계층적 분석과정(AHP)을 소개하고 그 적용 예를 제시하여 수자원 계획의 우선순위 결정에 객관적 방법을 적용하는데 도움을 주고자 한다.

2. 계층적 분석과정의 이론적 고찰

가. 계층적 분석과정의 특징

계층적 분석과정은 다수의 요소들을 계층적으로 분류하여 각 요소의 중요도를 파악함으로써 최적대안을 산정하는 기법으로 1970년대 초 Thomas L. Saaty에 의해서 개발되었다. 계층을 구성하는 요소들은 공간적 자료로서 수량을 나타낼 수 있는 정량적 요소뿐만 아니라 정성적인 요소들로 구성되어 있다.

AHP는 목표들 사이의 중요도(weight)를 계층적으로 나누어 파악함으로써 각 대안의 중요도를 산출하는 기법이다. 계층분석이 갖는 계층적 분리(decomposition)의 특징은 의사결정과제의 유기적 관계를 계층적으로 파악하는데 있어서 과제의 복잡성에 매우 큰 유연성(flexibility)과 적응성을 갖는다는 것이다. 따라서 많은 사람, 기준, 기간으로 구성된 복잡한 의사결정 과제인 경우 분리를 통하여 계층적 접근이 가능해지므로 유용하며 이의 적용은 집단적 합의(group consensus)에 의한 계층구성(design of a hierarchy)과 의사

결정자로부터의 평가(evaluation)로 크게 구분 지을 수 있다.

AHP의 장점은 과제를 계층적으로 파악함에 있어서 복잡한 과제에 대하여 매우 큰 유연성을 가지고 있다는 점이다. 이러한 특징은 반구조적 내지 비구조적인 의사결정 과제에 대하여도 접근의 가능성을 제시한다. 이것은 많은 의사결정 과제들이 규범적(normative)이기보다는 서술적(descriptive)이며, 또한 구조적 결정과제가 드물다는 것을 고려하면 더욱 의의가 크다고 할 수 있다.

AHP는 비합리적(직관적)인 것과 합리적인 것을 다기준과 다수대안을 결정시에 항상 동시에 취급할 수 있게 해준다. 어떠한 문제를 보다 작은 부분으로 나누어 기본이 되는 합리적인 구조를 만들고, 각 계층에서의 우선순위를 얻기 위해서 단순한 쌍쌍비교를 통하여 판단을 요구하게 된다.(Saaty, T.L., 1980.) 계층적 분석과정의 특징을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 다중요인 의사결정(Multiple Criteria Decision Making)의 한 방법으로 다속성(multiple attributes)이나 다목표(multiple objectives)의 경우를 포함한다.
- 가중치(importance weight)를 이용하는 방법으로 다중요인의 문제를 다루는 가장 상식적이고 손쉬운 방법이다.
- 상대적인 의사결정은 일반적으로 추상적인 의사결정보다 더 의미있고 용이하다.
- 우선순위(priority) 파악을 가능하게 해준다.
- 질적인 요소를 비교하기 위해서 단어를 사용할 수 있고, 규모의 비율적 우선도를 추론할 수 있으며, 이러한 결과를 통해 양적인 요소와 결합시킬 수 있다.
- 의사결정을 하는데 있어서 정확도를 증가시키기 위해 많은 정보(의견)를 이용한다.

AHP의 유용성은 질적 또는 무형적 기준(qualitative or intangible criteria)과 양적 또는 유형적 기준(quantitative or tangible criteria)을 비율 척도(ratio scale)를 통해 측정하는데 있으며, 이 이론의 공리(axiom)는 다음과 같다.

1) 역수관계(reciprocal comparison)

의사결정자의 두 대상에 대한 쌍쌍비교가 반드시 가능해야 하며, 중요성의 정도를 나타낼 수 있어야 한다. 이 중요성의 정도는 반드시 역조건을 성립시켜야 한다. 즉, A가 B보다 x 배 중요하다면, B는 A보다 $1/x$ 배 중요시되어야 한다.

2) 동질성(homogeneity)

중요성의 정도는 한정된 범위내의 정해진 척도(bounded scale)를 통해 표현되어야 한다.

3) 독립성(independenc)

상대적인 중요도를 평가하는 요인들은 특성이나 내용측면에서 서로 관련성이 없어야 한다.

4) 기대성(expectation)

계층구조는 의사결정에 필요한 모든 사항들을 완전하게 포함하는 것으로 가정한다.

나. 계층적 분석과정의 적용절차

AHP를 적용하는데 있어서 중요한 문제는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 계층구조를 문제에 적합하도록 만드는 것과 둘째는 우선도(가중치 및 상대점수)를 부여하는 것이다. 두 가지 모두 의사결정자의 주관적 판단에 의해서 결정되며, 이러한 주관적 판단을 합리적으로 표현 또는 계량화하는 것이 AHP의 적용에 있어서

중요한 요소이다.

계층구조를 구성함에 있어서 일정한 규칙은 존재하지 않으며, 주어진 의사결정 문제의 특성과 의사결정자의 경험 등에 의하여 적합한 계층구조를 만들어내는 것이다. 우선순위를 부여하는 방법은 쌍쌍비교를 통한 고유벡터 방법이 사용되는데, 그 대상이 기준들의 가중치이건 대안들의 상대점수이건 상관없이 같은 방법을 사용할 수 있다. AHP를 이용하여 의사결정 문제를 해결하고자 할 경우에는 다음과 같이 4단계를 거친다.

1) 의사결정 문제의 계층화

(Hierarchy of decision problem)

이 단계에서는 주어진 의사결정 문제를 상호관련된 의사결정 요소들(decision elements)로 계층화하여 문제를 분리하는 과정이다. 최상위 계층에는 가장 포괄적인 목표가 놓여지고, 최하위 계층에는 선택의 대상인 대안들로 구성한다. 계층구조의 중간계층에는 평가기준들로 구성되는데 하위계층으로 갈수록 보다 상세하고 구체적인 내용이 되어야 한다.

한편, 계층의 수를 얼마로 해야 적정한가에 대하여 Satty는 주어진 의사결정 문제의 성격에 따라, 문제를 분석하고 해결하는데 필요한 정밀함의 정도에 따라 계층의 수는 달라진다고 주장한다. 그리고 비교대상의 수가 n 개인 경우에 실제 쌍쌍비교의 횟수는 $n(n-1)/2$ 가 된다. 왜냐하면, 쌍쌍비교행렬 A 는 대각성분이 1인 역수행렬이므로 a_{ij} 의 값은 자동적으로 결정되기 때문이다.

2) 평가기준의 쌍쌍비교

(Pairwise comparison of decision elements)

다속성 의사결정일 때는 각 속성의 상대적인

중요도를 모두 고려하여 가중치를 정하기가 어렵다. 따라서 AHP에서는 속성들을 두 개씩 뽑아 쌍쌍비교를 한다. 어떤 계층에 있는 한 기준들의 상대들의 상대적 중요도(공헌도 또는 우월 정도)를 평가하기 위하여 평가대상 기준들간에 쌍쌍비교를 행하고 그 결과를 행렬로 나타내는 과정이다.

쌍쌍비교의 과정에는 평가기준 등에 대한 의사결정자의 선호(preference)정도를 먼저 정성적 표현에 의해 나타내고 이를 계량화 과정에 포함시킨다. 이를 위해서는 신뢰할 만한 평가척도가 필요하며, AHP에서는 Saaty가 제안한 1~9 점 척도가 많이 이용되고 있다.

3) 상대적 가중치의 추정

(Estimation of relative weights)

쌍쌍비교를 통한 후에는 각 계층에 대하여 비교상대 평가기준들이 갖는 상대적 가중치를 추정한다. 즉, 쌍쌍비교를 통해 얻은 a_{ij} 를 이용하여 속성 A_1, A_2, \dots, A_n 이 갖는 선호도를 나타내 주는 수치 w_1, w_2, \dots, w_n 을 추정하는 것이다.

4) 상대적 가중치의 종합

(Aggregation of relative weights)

AHP의 마지막 단계는 하위계층에 있는 평가기준(속성)들의 중요도 또는 가중치를 구하기 위해서 각 계층에서 계산된 평가기준들의 가중치를 종합하는 과정이다. 즉 상위 계층에 있는 의사결정 문제의 궁극적인 목표를 달성함에 있어서 하위계층에 있는 평가기준들이 어느 정도 영향을 미치는지 또는 어느 정도의 중요성을 갖고 있는지를 알아보기 위해 평가기준들의 종합 가중치를 구하는 단계이다.

평가기준의 종합가중치는 아래의 식을 통해 구할 수 있다.

$$W_i = \sum (w_j)(u_j^i)$$

여기서, W_i : i 번째 대안의 종합가중치

w_j : 평가기준 j 의 상대적 가중치

u_j^i : 평가기준 j 에 대한 i 번째 대안의 가중치

다. 계층적 분석과정의 일관성 판단

계층적 분석이론을 실제 문제에 적용하기 위한 일반적인 적용단계는 다음과 같다.

- 1) 문제의 정의 및 요구되는 해의 구체화
- 2) 총합관리목적의 최고 수준으로부터 관련 중간수준을 통해서 통제가 그 문제를 분리하거나 풀 수 있는 수준까지 구조화한다.
- 3) 쌍쌍비교를 구성한다.
- 4) 위의 단계 다)에서 얻은 행렬요소의 수는 $n(n-1)/2$ 개가 된다.
- 5) $A \times w = \lambda_{\max} \times w$ 라는 고유치(eigenvalue) 문제를 풀고서 일관성을 시험한다.
- 6) 단계 3), 4), 5)는 계층의 모든 수준과 집단에서 반복된다.
- 7) 계층구성은 기준에 대한 가중치로 고유벡터를 가중치화 하는데 사용되고, 어떤 한 수준에서 요소의 총합순위를 얻기 위해서 각 요소에 해당하는 모든 가중치로 된 고유벡터들을 더하게 된다. 이러한 과정들은 다음 수준으로 계속 내려가서 최하위 수준까지 계산하게 된다.
- 8) 각 요소의 일관성지수(C.I : Consistency Index)을 해당기준의 우선순위로 곱하고, 그것을 더함으로써 전체 계층에 대한 일관성을 평가하게 된다.

n개의 요소들 $A_1 \cdots A_n$ 에 대해 일정한 기준의 특성치 $W=(w_1 \cdots w_n)$ 가 알려진 경우 쌍쌍비교 행렬은 다음과 같다.

$$A = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \cdot & \cdot & A_n \\ A_1 & w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdot & \cdot & w_1/w_n \\ A_2 & w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdot & \cdot & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_n & w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdot & \cdot & w_n/w_n \end{matrix}$$

두 요소를 직접 쌍쌍비교하는 경우 다음과 같은 관계가 있다.

$$w_i/w_j = a_{ij}, (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

행렬 A는 $A = a_{ij}$

$$a_{ij} = w_i/w_j$$

$$a_{ij} = 1 / a_{ji}$$

인 정방행렬(square matrix)로서 주 대각선의 값들이 모두 1인 특수한 행렬형태를 갖고 있다. 이러한 행렬은 역수행렬(reciprocal matrix)이라 부른다. 이 행렬에 열 벡터 W를 곱하면 벡터 nW를 얻게 된다. 즉, $AW=nW$ 가 성립한다. $AW=nW$ 에서 W는 행렬이론에 의해 고유치(eigenvalue) n을 갖는 A의 고유벡터(eigen vector)이다. 일반적으로 a_{ij} 를 직접 구하는 것은 어려움이 있지만 자료나 실험을 통한 추정치 또는 경험적인 판단으로 구할 수 있다.

a_{ij} 는 정확한 추정치가 아닌 주관적 판단치이고 이상적인 비율 w_i/w_j 와 편차가 있으므로 $AW=nW$ 가 성립하는 데는 문제가 있다. 이와 같은 문제점들을 해소하기 위해 다음과 같은 행렬이론의 두 가지 특성을 이용한다.

첫째, $\lambda_1 \cdots \lambda_n$ 이 $AW=nW$ 를 만족하는 A의 고유치이고, $a_{ij}=1$ 이면, $\lambda_{max}=n$ 이 된다. 따라서 $AW=nW$ 가 만족하면 유일하게 n을 제외한 모든 고유치들은 0이다. 둘째, 정(+의) 역수행렬 A의 고유치이고, a_{ij} 원소가 미세하게 변하면 고유치들 또한 미세하게 변한다. 이들 특성에 의해 행렬 A의 대각선 원소가 1($a_{ij}=1$)이고, A가 일관성이 있으면 a_{ij} 의 미세한 변화는 n에 가까운 최대 고유치 λ_{max} 를 보장하고 나머지 고유치들은 0에 가깝게 된다. 따라서 A가 쌍쌍비교행렬이면 중요도 가중치 벡터를 구하기 위해 $AW=\lambda_{max}W$ 를 만족하는 벡터 W를 구해야 된다. 또한 λ_{max} 가 n에 가까울수록 일관성 있는 결과를 낳는다. 일관성에 대한 편차는 일관성지수 $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$ 로 나타낸다.

AHP 비교행렬에 대해서 $\lambda_{max} \geq n$ 의 관계가 항상 성립하는데 완벽한 일관성을 갖는 비교행렬에 대해서는 $\lambda_{max}=n$ 이며, 일관성이 클수록 λ_{max} 가 n에 가까워진다. 따라서 다음과 같은 일관성 비율(CR : Consistency Ratio)을 사용하여 일관성의 정도를 측정할 수 있다.

$$CR = CI/RI = (\lambda_{max} - n / (n - 1)) / (1/RI)$$

여기서, CI는 일관성지수로서 일관성이 클수록 0에 가까운 값을 가진다. ARI는 Average Random Index의 약자로서 1부터 9사이의 난수를 사용해서 구성한 비교행렬의 CI들의 원가값이다. ARI는 비교행렬의 크기 n에 따라 다르며 Saaty의 시뮬레이션 결과에 의하여 Table 1에서와 같이 요약된다.

주어진 행렬의 CI와 ARI를 비교한 값이 CR은 그 값이 작을수록 판단의 일관성이 크다고 볼 수 있으며 Saaty는 CR이 0.1보다 큰 경우에는 그 판단이 일관성이 없는 것이라고 주장하였다.

표 1. 평균 무작위 지수

행렬크기(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ARI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

일관성 계산은 비교행렬을 A, 새로운 벡터를 얻으려는 예측해 벡터를 W라 하고, $A \times W_i = \ell_i$, $\ell_i / W_i = \lambda_i$ 라고 했을 때, λ_i 의 구성요소들의 합을 구해서 요소들의 숫자로 나누면 λ_{max} 에 근사한 값을 얻게 되는데, 이 λ_{max} 를 최대 고유치(maximum eigenvalue) 또는 원칙 고유치(principle eigenvalue)라 하고, 선호균형을 나타내는 일관성을 예측하는데 사용된다. λ_{max} 가 n(matrix의 activities)에 가까울수록 보다 더 일관성이 있다고 할 수 있다.

3. AHP 적용사례

최근 태풍 루사, 매미, 메기로 인한 대규모 재해가 발생하고 농업 및 수리시설의 피해 규모도 역시 증가하고 있다. 재해로 인한 피해와 파손된 수리시설을 복구하는데 소요되는 비용 증가는 국가적 차원의 비용증가로 이어지므로 손실방지를 위해서 농업용 저수지의 재해대비 기능 보강이 필요하다. 농업용 저수지의 재개발 우선순위를 결정하는데 AHP 기법을 적용한 사례를 제시하였다.

가. 기준 지표

농업용저수지 재개발과 관련한 지표는 개발 가능성과 제한성으로 구분하여 선정하였다.

재개발 가능성항목 지표는 저수지 재개발시 지형적으로 가능한 개발가능용량과 유역면적과 수해면적의 비율인 유역배율 그리고 각 지역별 향후 용수수요량으로서 저수지 재개발과 연관된 사항 중 지형, 지역적으로 재개발 효과를 발휘할 수 있는 항목으로 설정하였다.

제한성항목의 기준치는 환경여건, 지역여건, 홍수위험도로서 재개발로 인하여 영향을 받을 수 있는 생태보존지구나 국립공원의 존재 여부를 판단하는 '환경여건' 과 재개발시 수몰될 수 있는 침수지역 내 거주지 및 농지 면적을 기준으로 하는 지역여건과 기존의 침수실적을 바탕으로 각 저수지별로 산정할 수 있는 '홍수위험도' 등이 포함되었다.

재개발 우선순위지수산정에서 주요 현안은 위에서 선정한 6가지 기준치별 우선순위를 산정하기 위해 필요한 도형데이터와 문자데이터를 편집·가공하여 데이터 인자 간의 상관관계를 파악하고 수치화하여 저수지별로 정량적 비교가 가능하게 하는 것이다.

나. 지표별 우선순위산정

가능성 기준치 요소인 저수지개발용량, 유역배율 및 용수수요량과 제한성기준치인 환경여건, 지역여건, 홍수위험도에 대해 GIS지형정보 공간정보 및 속성정보를 이용하여 우선순위를

산정하였다.

각 저수지별 개발가능용량을 산정하기 위해 기존의 뚝 높이에 20m 를 높였을 경우 증가하는 유효 저수량을 기준으로 우선순위를 산정하였다. 유역배율의 경우는 식과 같이 유역면적과 수혜면적의 비율인데 유역배율이 작을수록 개발가능성이 높은 것으로 설정하였다. 그 이유는 재개발의 경우 유역배율이 작을수록 추가되는 용수수요량을 저수지가 감당할 수 있고 상대적으로 유역면적이 클수록 재개발에 따르는 용수 확보가 용이하기 때문이다.

용수수요량의 경우는 수자원 장기종합계획 보고서상의 물수지 분석도와 대상저수지 위치자료를 오버레이 시켜 각 저수지별 용수수요량을 결정하여 우선순위를 결정하였다.

제한성기준치인 지역여건의 우선순위를 산정하기 위해 가능성기준치의 요소인 저수지개발용량에서 산정한 증고별 유효저수량 산정에 사용하였던 증고별 만수면적에 포함되는 경지면적을 기준으로 하여 적을수록 우선순위를 높게 선정하였다. 각 저수지별 경지면적을 산정하기 위해 국립지리원에서 작성한 토지이용 현황도를 이용하였다.

환경여건 경우 역시 각 저수지별 개발가능용량 산정 시 구축한 증고별 수몰면적과 댐, 농공단지, 산업단지, 국립공원 및 공간정보를 오버레이(overlay)시켜 각 저수지가 각각의 범위에 포함되는 여부를 가려 우선순위를 선정하였다.

다. 가중계수의 산정

저수지재개발을 위한 우선순위 기준치별 가중계수를 산정하기 위해 AHP 기법 과정을 통해

먼저 의사결정문제인 우선순위 평가기준 항목을 도출 하였고 이를 설문조사의 형식으로 전문가 그룹을 대상으로 의사결정자의 주관적 판단으로 평가를 하도록 하였으며, 이를 취합하여 항목별 중요도(가중치)를 산정하였다.

가중치 산출 및 일관성 판단은 ①쌍체비교 행렬 검정, ② 대적가중치(W)계산, ③최대고유치(λ_{max})계산, ④일관성지수(CI) 계산, ⑤일관성비율(CR) 계산을 따르게 되고, 쌍체비교는 가장 상위의 계층에서부터 시작하며 바로 아래에 있는 레벨에서 비교되어할 요소를 취한다.(이 등, 2004). 본 계층에서 가장먼저 비교되는 단계는 우선순위 기준항목인 “가능성”과 “제한성” 항목이고 이 후 각 기준치의 세부항목에 대해 가중치 산정 및 일관성 검정계산을 한 결과 다음과 같다.

1) 쌍체비교 행렬 결정

가능성 부분에 대해서는 저수지 재개발에 필요한 지형적여건과 지역적 공익성 여부를 평가지표의 기본 방향으로 삼고 세부항목별 고려 사항으로 저수지의 개발가능용량, 홍수 조절능력, 그리고 용수수요량 등이 되며 우선적으로 재개발 기준 영역에 대한 중요도 평가를 실시한 후 세분 기준영역별 중요도를 평가하였고, 제한성 부분에 대해서는 저수지 재개발시 지역의 토지이용상황 또는 국립공원 등 제한성의 중요도를 기본방향으로 설정하여 세분항목으로 환경여건, 지역여건, 그리고 유역배율 별 중요도를 평가하였다. Table 2는 가능성의 세부항목에 대한 쌍체비교를 실시한 표로서 기본척도(Saaty, 1980)를 기준으로 하여 수문전문가의 설문을 통해 작성하였다.

표 2. 쌍쌍비교 행렬

Possibility	개발가능용량	유역배율	용수수요량
개발가능용량	1	3	5
유역배율	1/3	1	4
용수수요량	1/5	1/4	1

2) 상대적 가중치 계산

Table 2에 근거하여 행렬식을 작성한 뒤 기하평균하고 이를 전체 합으로 각 행을 나누어 가중치를 구한다. 각 요인별 가중치는 개발가능용량, 유역배율, 용수수요량 순으로 0.627, 0.280, 0.094로 계산되었다.

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 0.33 & 1 & 4 \\ 0.2 & 0.33 & 1 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} V_1=(1 \times 3 \times 5)^{1/3} \\ V_2=(0.33 \times 1 \times 4)^{1/3} \\ V_3=(0.2 \times 0.33 \times 1)^{1/3} \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 2.47 \\ 1.10 \\ 0.37 \end{vmatrix}, \quad w_i = \frac{V_i}{\sum_i V_i} = \begin{vmatrix} 2.47/3.94 \\ 1.10/3.94 \\ 0.37/3.94 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.627 \\ 0.280 \\ 0.094 \end{vmatrix}$$

3) 최대고유치(λ_{max}) 계산

일관성지수 및 비율을 계산하기 위해 AW_i 를 계산하여 최대고유치를 계산하였다.

$$\lambda_i = \left| \frac{AW_i}{W_i} \right| = \begin{vmatrix} 1.934/0.627 \\ 0.863/0.280 \\ 0.289/0.094 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3.086 \\ 3.086 \\ 3.086 \end{vmatrix}, \quad \lambda_{max} = \frac{\sum \lambda_i}{n} = 3.086$$

4) 일관성지수 계산

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3.086 - 3}{3 - 1} = 0.043$$

5) 일관성비율계산

$$CR = \frac{CI}{ARI} = \frac{0.043}{0.58} = 0.07 \leq 0.1$$

표 3. 상대적 가중계수

기준치		상대 가중계수	전체 가중계수
상위계층	하위계층		
가능성 W = 0.609	개발가능용량	0.461	0.281
	유역배율	0.313	0.191
	용수수요량	0.226	0.137
제한성 W = 0.391	환경여건	0.463	0.181
	지역여건	0.271	0.106
	홍수위협도	0.265	0.104

일관성비율계산을 통해서 일관성비율이 0.07로서 일관성기준의 척도인 0.1보다 작으므로 전문가의 판단이 일관성이 있는 것으로 검정되었다. 상위판단기준인 가능성과 제한성에 대한 가중계수를 본 절차에 따라 산정하였고, 제한성의 하위판단기준역시 가중계수를 산정하여 다음 Table 3과 같이 최종 가중계수를 산정하였다.

4. 결 론

본고는 제한적인 수자원 개발과 관리의 방법 및 규모를 결정하는데 각종 공간적 자료를 갖고 여러 가지 기준에 의해 합리적이고 효율적인 방법을 선택하기 위한 우선순위를 결정하는 방법을 계층적 분석과정(AHP)를 중심으로 소개하였다. 특히 재해에 대비한 기존의 농업용 저수지 재개발 우선순위를 과학적 기준을 제시한 사례를 제시하여 이 기법을 적용하는데 도움을 주고자 한다.

농업용저수지의 재개발 우선순위를 산정하기 위해 재개발에 영향을 미치는 주요 요인들을 선정하여 다중요인 의사결정기법 중 하나인 계층 분석법을 통해 기준치에 대한 중요도를 산출하고 우선순위를 산정할 수 있었다. 우선순위지표는 가능성과 제한성 두 분야로 대별하여 가능성 부분에 대해서는 저수지 재개발에 필요한 지형적여건과 지역적 공익성 여부를 평가지표의 기본 방향으로 삼고 세부항목별 고려 사항으로 저수지의 개발가능용량, 홍수조절능력, 그리고 용수수요량 등이 되며 우선적으로 재개발 기준 영역에 대한 중요도 평가를 실시한 후 세부 지표별 중요도를 평가하였다. 제한성 부분에 대해서는 저수지 재개발시 지역의 토지이용상황 또는 국립공원 등 제한성의 중요도를 기본방향으로

설정하여 세부 지표로 환경여건, 지역여건, 그리고 유역배율을 선정하고 각각의 중요도를 평가하였다.

다중요인 의사결정의 기법인 AHP 방법은 정량적, 정성적인 기준을 비율척도로 동시에 반영함으로써 평가지표의 특성과 필요에 따라 합리적이고 객관적인 평가가 가능하다. 하지만 현실적으로는 평가항목의 중요도를 직접적으로 나타내는 정량적인 자료를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 다중 평가의 경우 평가기준의 다양성에 의해 수렴치를 얻을 수 없는 위험이 있다. 즉 전문가 설문시 일관성을 유지할 수 있는 방법만 개선된다면 수자원 시스템의 의사결정에 폭 넓게 적용될 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

1. 건교부, 2003, 성덕다목적댐 건설사업 기본계획 보고서.
2. 건교부, 2000, 수자원장기종합계획보고서.
3. 김윤중, 이인성, 이석민, 1998, GIS를 이용한 미 시설공원의 개발 우선순위 설정 연구, 한국GIS 학회지.
4. 농업기반공사 농어촌연구원, 2005, 효율적인 농업용저수지 용수확보 및 이용방안 연구.
5. 박재홍, 2003, 관개용수로 조직의 평가기법, 건국대학교 박사학위논문.
6. 이지현, 최지용, 박석순, 2004, 상수원 보호를 위한 유역기반 토지관리 우선순위 모델적용, 한국 물환경학회지 pp.397-407.
7. Saaty, T.L., 1980, The Analytic Hierarchy Process, New York : McGraw-Hill.
8. Saaty, T. L., 1994, Highlights and Critical Points on the Theory and Application of the Analytic Hierarchy Process, European Journal Operational Research, Vol.74.
9. Satty, T. L. and Varas, L. G., 1982, The Logic of Priority : Application in Business, Energy, Health and Transportation, Kluwer-Nijhoff Publishing).