

계층분석과정을 이용한 지하댐 적지분석

이상일 · 김병찬*

동국대학교 토목환경공학과

Site Suitability Analysis for Underground Dam Using Analytic Hierarchy Process

Sang-II Lee · Byeong-Chan Kim*

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Dongguk University

ABSTRACT

The lack of water resources is becoming a serious issue throughout the world. The water shortage in Korea is expected to increase dramatically through 2020. The amount of water shortage could amount to 1.8 and 2.6 billion cubic meters in 2011 and 2020, respectively. Groundwater can be a solution to this matter in some places. Especially, underground dams are known to be advantageous over conventional dams, even if they have some drawbacks such as their limited location for development and small sizes. The analytic hierarchy process(AHP) is an analytical tool, supported by simple mathematics, which enables one to explicitly rank tangible and intangible factors against each other for the purpose of resolving conflicts or setting priorities. In order to check the applicability of AHP to the evaluation of underground dam sites, four candidate locations were chosen. They have suffered from problems like water-supply shortage and delayed dam construction. The analysis results are compared with those of the previous study using a conventional method. It is believed that the developed method can provide central or local government with a basis for reasonable decision-making regarding underground dam development.

Key words : Site Suitability Analysis, AHP, Underground dam, Groundwater, Water Supply

요 약 문

전 세계적으로 물부족 사태는 매우 심각한 상황에 이르렀다. 우리나라도 예외는 아니어서 2011년에는 약 18억 m³, 2020년에는 약 26억 m³의 용수부족이 예상된다. 지하수는 이러한 문제를 일부 지역에서 해결해 주는 역할을 할 수 있으며, 특히 지하댐은 위치와 규모의 제약에도 불구하고 지상댐이 지니고 있는 문제점들을 극복할 수 있다고 알려져 있다. 지하댐 적지분석을 위해 댐건설 지연과 물부족을 겪고 있는 네 지역을 선정하여, 갈등을 해결하고 대안의 우선순위를 결정하는 분석도구인 계층분석과정(AHP)을 적용하였다. 또한 AHP를 이용한 분석결과를 기존 연구와 비교하였다. 개발된 지하댐 적지분석 방법론은 중앙정부나 지방자치단체에게 합리적 의사결정을 위한 판단근거를 제공할 것으로 사료된다.

주제어 : 적지분석, 계층분석과정, 지하댐, 지하수, 물공급

1. 서 론

물 수요가 급증함에 따라 용수의 안정적 공급이 절실히

요구되고 있다. 더욱이 우리나라는 강우의 계절적, 지역적 특성이 강하여 용수공급에 많은 어려움을 겪고 있어 장래 물 부족에 대처하기 위한 신규 수자원 확보 방안이 몰두

*Corresponding author : bckim777@dgu.ac.kr

원고접수일 : 2003. 09. 15 게재승인일 : 2003. 12. 12

질의 및 토의 : 2004. 3. 30 까지

하고 있다. 지표수를 대체 또는 보조할 수 있는 수자원 확보 방안은 지하수 개발, 해수의 담수화, 그리고 인공강우 등을 들 수 있는데, 그 중 가장 현실적으로 고려될 수 있는 대안은 기존 수자원시설과 연계할 수 있는 보조 및 예비수원 확보차원의 체계적인 지하수 개발이다. 지하수 이용 방법에는 우물, 인공함양, 지하댐에 의한 지하수 확보 등이 있으며, 특히 지하댐은 환경친화적이고 지하수의 다량저류와 안정적인 취수가 가능하다는 장점을 지니고 있다.

로마시대부터 이용되어 온 지하댐은 아프리카와 중동지역에서도 지하에 물을 저장하기 위한 시설로 쓰이고 있으며¹⁾, 체계적으로 연구되고 시공된 지하댐은 일본 나가사키현의 카라지마(樺島)가 효시이다²⁾. 그 후 인도, 에티오피아, 중국, 브라질, 콜롬비아 등에서도 지하댐을 건설하여 물을 공급하고 있다^{3,4)}. 국내에는 이안지하댐(경북 상주, 1983년 완공)을 필두로 2003년 현재 6개의 지하댐이 완공되어 총 163,210 m³/day의 공급능력을 지니고 있으며, 생활·농업용수를 공급하고 있다^{5,6)}.

한편, 지하댐의 입지를 결정하는 것은 매우 어려운 일이다. 이와 같이 여러 가지 기준을 고려하여 최선으로 만족시키는 대안을 찾을 때에는 다기준 의사결정 방법(Multi Criteria Decision Making, MCDM)이 이용되며, 그 중에서도 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP) 기법이 많이 사용된다.

Saaty⁷⁾에 의해 1980년에 첫 저서가 발간된 계층분석과정은 객관적인 평가요인 뿐만 아니라 주관적인 평가요인도 수용하는 매우 유연한 의사결정기법으로 수학적 이론보다는 직관을 바탕으로 하기 때문에 그 논리가 매우 쉽다는 장점을 지니고 있다. 그렇기 때문에 사업 측면의 의사결정이 많은 경영분야에서는 계층분석과정이 일찍이 이용되어 왔다⁸⁻¹¹⁾. 한편 Drake(1998)는 공학교육에 계층분석과정을 적용시키는 문제에 대하여¹²⁾, Bevilacqua와 Braglia(2000)는 정유공장에서의 유지관리정책을 결정하는데 계층분석과정 기법을 이용했다¹³⁾. 수자원 분야에서는 Ridley(1993)가 가뭄시 효율적인 용수배분에¹⁴⁾, Jandric과 Srdjevic(2000)이 유고슬라비아의 Novi Sad시에 최적의 지하수 저장공간을 찾는 데¹⁵⁾, Jaber와 Mohsen(2001)이 수자원 공급에 있어서의 최적화¹⁶⁾에 계층분석과정 기법을 사용했다. 최근에는 GIS와 계층분석과정을 통합하여 적지 분석을 하는 사례들을 다수 찾아볼 수 있다¹⁷⁾.

그러나 계층분석과정이 의사결정을 지원하는 방법론으로서 매우 유용한 기법임이 입증되고 여러 학문 분야에서 다양하게 활용되고 있지만, 지하댐 적지분석에 적용된 논

문은 찾아보기 힘들다. 단지, 이상일 등(2002, 2003)이 지표수-지하수 연계이용을 위한 적지분석에 계층분석과정 기법을 사용하였다¹⁸⁻²¹⁾.

본 연구는 건설교통부(2002)²²⁾에서 발표한 21개 지하댐 개발유망지역 중 네 곳을 대상으로, 계층분석과정을 이용하여 지하댐 최적지를 선정하기 위한 적지분석 방법론을 개발하는데 목적이 있다.

2. 지하댐

2.1 용어 및 정의

건설교통부 홈페이지(2003)에 소개되어 있는 지하댐(groundwater dam)은 “지하수가 흐르는 대수층에 인공 물막이벽을 설치하여 지하에 물을 저장시키고 관정 등의 양수시설을 이용, 취수하는 지하 저류지 기능을 말함”이라고 설명되어 있다. 그러나 한국수자원공사(1999)²³⁾, 부성안과 이기철(2002)²⁴⁾은 groundwater dam을 지하수댐, subsurface dam은 지하댐으로 구분하고 있으며, 건설교통부·한국수자원공사(2002)⁶⁾는 groundwater dam과 subsurface dam을 지하댐이라 혼용하고 있다. 또한 동국대학교(2002)⁵⁾는 지하에 설치하는 모든 댐을 칭하는 underground dam을 지하댐이라 표기하고 있어 아직 국내에서는 용어의 정리가 되어 있지 않다. 외국의 경우에는, Hansen과 Nilsson(1986)¹⁾은 groundwater dam을 subsurface dam과 sand storage dam의 두 형식으로 나누었으며, underground dam, groundwater dam, subsurface dam, sand storage dam 등의 용어를 지형 및 지하수 저장 형태에 따라 다르게 표기를 하고 있는 형편이다^{24,25)}.

본 연구에서는 지상에 건설하는 지상댐의 반대 개념으로, 그리고 지하수만을 저장하는 댐(groundwater dam) 뿐만 아니라 지표수와 지하수를 연계할 수 있는 댐(subsurface dam)과 저장을 목적으로 하는 sand storage dam을 모두 포함하는 포괄적 의미에서의 underground dam을 지하댐이라 하였다.

2.2 국내외 사례

지하댐의 국내외 사례를 Table 1에 나타내었다. 외국의 지하댐 운영사례를 살펴보면, 주로 강수량이 적거나 가뭄이 심한 지역인 아프리카, 남미지역 등에 많이 분포하고 있으며, 아시아 국가들에서도 농업용수를 위한 지하댐 사례를 찾아볼 수 있다^{2,5,6)}. 특히, 남미의 브라질 Pernambuco 주는 1990년대에만 약 500여 개의 크고 작은 지하댐을 건설하여 물부족에 대응하고 있다²⁶⁾.

Table 1. Underground dams in the world

| 국가 | 사업지구 | 목적 | 유역면적(ha) | 준공년도 | 댐길이(m) | 저수량(m ³) |
|----------------------|------------------|--------------|----------|------|--------|----------------------|
| 일본 ²⁾ | 樺島 | 생활(상수) | 60 | 1980 | 59 | 9,300 |
| | 常神 | 상수 | - | 1985 | 200 | 74,000 |
| | 砂川 | 농업 | 720 | 1992 | 1,835 | 9,500,000 |
| | 福里 | 농업 | 12,400 | 1998 | 1,720 | 10,500,000 |
| | 慶座 | 농업 | 120 | 2001 | 955 | 389,000 |
| 중국 ⁵⁾ | 富平 | 농업, 공업 | 15,600 | 2001 | 3,850 | 500,000,000 |
| | 大連 | 농업, 염해방지 | 9,780 | 건설 중 | 1,200 | 16,827 |
| 인도 ⁶⁾ | Palghat Gap | 농업 | 10 | 1964 | 130 | 15,000 |
| | | 농업 | 20 | 1979 | 150 | 15,000 |
| 에티오피아 ⁵⁾ | Bombas | 생활 | - | 1981 | - | - |
| | Gursum | 생활 | - | 1981 | - | - |
| 브라질 ²⁶⁾ | Pernambuco State | 생활, 농업, 염해방지 | - | 1999 | - | - |
| 한국 ^{2,5,6)} | 경북 상주(이안) | 농업 | 2,130 | 1983 | 230 | 4,143 |
| | 경북 영일(남송) | 농업 | 15,300 | 1986 | 89 | 4,017 |
| | 충남 공주(옥성) | 농업 | 27,500 | 1986 | 482 | 2,850 |
| | 전북 정읍(우일) | 농업 | 2,200 | 1986 | 778 | 2,457 |
| | 전북 정읍(고천) | 농업 | 2,700 | 1986 | 192 | 1,534 |
| | 강원 속초(쌍천) | 생활 | 6,533 | 2000 | 800 | - |

국내에서는 1983년에 완공된 경북 상주의 이안지하댐을 시작으로 남송·옥성·우일·고천·쌍천지하댐을 건설하여 총 6개의 지하댐을 운영하고 있다. 그 중 쌍천지하댐의 경우, 해수침입방지와 지하수의 함양으로 생활용수 공급을 주목적으로 하고 있으며, 평균 취수량이 22,700 m³/day에 이르고 있어 국내에서는 가장 성공적인 사례로 꼽히고 있다^{5,6)}.

2.3 입지조건

지하댐의 최적 입지조건은 지하수의 지속적 산출성이 양호하고, 대규모 저류능력을 갖는 대수층 분포지역이 적합하다. 그러므로 지하댐 설치에 적합한 지질·지형조건은 첫째, 다량의 지하수를 저장할 수 있는 대수층(유효공극율이 크며 대수층이 넓고 두껍게 발달한 곳)이 존재하는 곳, 둘째, 지하수 함양원이 되는 수원과 넓은 유역을 갖는 지역, 셋째, 하상 및 유역의 경사가 완만하고, 지하물막이벽 설치가 가능한 협곡부 또는 분지지형, 넷째, 지하수위 변동에 의해 지반침하가 발생하지 않는 지역, 다섯째, 상류지역에 오염원이 없어 수질에 영향을 미치지 않는 지역 등이다. 여기에 우리나라의 특수성을 감안한다면 기존의 상수도 시설 및 관망체계와 연결이 용이한 지역이 지하댐 건설 최적의 입지를 갖춘 곳이라 할 수 있다.

3. 계층분석과정(AHP)

3.1 정의

계층분석과정은 다수의 속성들을 계층적으로 분류하여 각 속성의 중요도를 파악함으로써 최적 대안을 선정하는 기법으로 Saaty에 의해 선구적으로 개발되었다^{7,27)}. 계층분석기법이 갖는 참신성은 다수의 목표, 다수의 평가기준, 다수의 의사결정주체가 포함되어 있는 의사결정 문제를 계층화하여 해결하는데 있다. 즉, 여러 요인들을 한꺼번에 고려하여 각 요소들의 중요도 또는 가중치를 구하는 것은 매우 어려우므로 의사결정 문제를 계층화한 후 상위 계층에 있는 한 요소(기준)의 관점에서 직계 하위계층에 있는 요소들의 상대적 중요도 또는 가중치를 쌍대비교(pairwise comparison)에 의해 측정하는 방식을 통해 궁극적으로 최하위 계층에 있는 대안들의 우선순위를 구할 수 있도록 하는 것이다^{28,29)}.

3.2 알고리즘

계층분석과정 기법은 다음과 같은 합성화과정(synthesization process)이라는 계산과정을 거친다.

- 1) 문제를 정의하고 목적이나 목표를 결정 한다.
- 2) 의사결정자는 의사결정 문제를 의사결정 요인과 관련된 계층으로 분류한 후, 각 요인들을 비교하여 행렬

(matrix)을 구성 한다. 각 단계(level)에서는 요인들의 쌍대비교가 필요하므로 Table 2에 제시한 9점 척도를 이용한다⁷⁾. 물론 9점 척도 외에 다른 척도를 사용하는 것도 가능하다. 그러나 Saaty(1980)⁷⁾, Harker와 Vargas(1987)³⁰⁾에 의해 수행된 여러 연구는 9점 척도가 사용하기에 매우 좋다는 것을 제시하고 있다.

3) 구성된 초기값 행렬(matrix) $A(=a_{ij})$ 에서 각 j열(column)에 대한 합을 구한다. 만약 각각의 열에 대해 합(S_j)을 나타낸다고 하면, 식 (1)로 표현된다.

$$S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \tag{1}$$

4) 열 A에서 각 요소값(a_{ij})들을 열의 합(S_j)으로 나눈다.

$$V_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j} \tag{2}$$

이와 같은 계산의 결과로 얻어지는 행렬을 정규화된 쌍비교행렬(normalized pairwise comparison matrix) 혹은 정규화된 행렬(normalized matrix)이라 부른다.

5) 요소들에 대한 선호지수(priority index)값 혹은 상대적 가중치를 구하기 위해 각 행(row) 별로 정규화된 가중평균을 구한다.

$$P_i = \sum_{j=1}^n \frac{V_{ij}}{n} \tag{3}$$

여기서 P_i 는 요소 i 의 선호지수라 하고, P_i 값들을 모두 더하면 '1'이 되어야 한다. 그리고 P_1, P_2, \dots, P_n 는 선호

도벡터(priority vector, PV)를 구성한다.

6) 주어진 요소값에 대하여 논리적 일관성이 있는가를 조사하기 위해 일관성비율(consistency ratio, CR)을 평가해야 한다.

$$CR = CI/RI \tag{4}$$

여기서 일관성지수(consistency index) CI는 행렬의 최대 고유치 λ_{max} 와 행렬의 크기 n 으로부터 얻어지는 것으로,

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{5}$$

으로 나타낼 수 있다. 또한, 무작위지수(random index, RI)는 1에서 9까지 정수들을 무작위로 추출하여 상반행렬(reciprocal matrix)을 작성한 후 일치지수를 구한 것으로, 그 값은 표본 500개로 부터 구한 무작위지수를 평균하여 나타낸 것이다(Table 3 참조). 판단기준은 이면 우선순위에 무리가 없는 신뢰할 수 있는 결과라 할 수 있다. 그러나 이보다 큰 값을 가지면 의사결정자가 판단을 다시 수정하여 불일치도를 줄여나가면서 일관성을 개선하여야 한다⁸⁾.

Fig. 1은 계층분석과정의 알고리즘을 순서도로 나타낸 것이다.

4. 계층분석과정의 적용

4.1 입지선정인자의 도출

지하댐 적지분석에 고려하여야 할 결정인자를 크게 자연

Table 2. Saaty's scale for pairwise comparison

| 중요도 | 정 의 |
|-----------------|--|
| 1 | 동등하게 중요하거나 선호되는 경우(equal) |
| 3 | 약간 더 중요하거나 선호되는 경우(moderate) |
| 5 | 강하게 더 중요하거나 선호되는 경우(strong) |
| 7 | 아주 강하게 더 중요하거나 선호되는 경우(very strong) |
| 9 | 극도로 더 중요하거나 선호되는 경우(extreme) |
| 2, 4, 6, 8 | 중간정도의 중요도를 나타내거나 절충하기 위한 조정값(compromise) |
| Reciprocals(역수) | 첫 번째에 비교하여 두 번째 대안이 우월하다는 것을 반영하기 위한 값 |
| 1.1-1.9 | 비교요소가 매우 비슷하여 거의 구분할 수 없을 때 사용하는 값 |

Table 3. Random index (RI)

| 행렬의 크기 | 무작위지수 | 행렬의 크기 | 무작위지수 | 행렬의 크기 | 무작위지수 |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 1 | 0.00 | 6 | 1.24 | 11 | 1.51 |
| 2 | 0.00 | 7 | 1.32 | 12 | 1.54 |
| 3 | 0.58 | 8 | 1.41 | 13 | 1.56 |
| 4 | 0.90 | 9 | 1.45 | 14 | 1.57 |
| 5 | 1.12 | 10 | 1.49 | 15 | 1.58 |

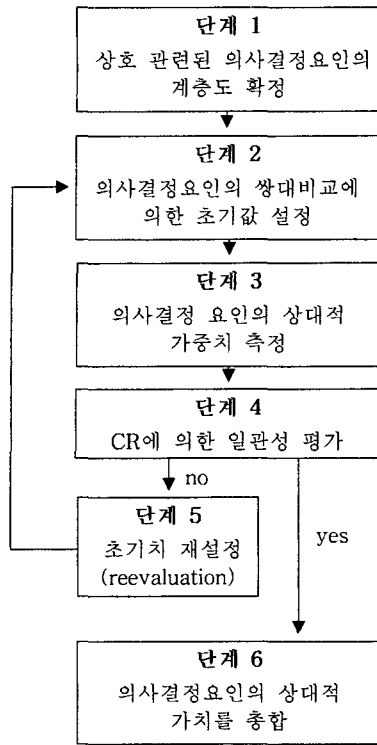


Fig. 1. Algorithm for AHP

조건, 생활환경조건, 그리고 사회경제조건으로 분류하였다.

4.1.1 자연조건

자연조건에는 지질·지하수 수질인자를 포함시켰다. 지형인자도 고려해 볼 수 있으나 경제조건과도 연관이 있어 자연조건에서는 탈락시켰다. 지질 인자는 지하수 부존 지역 및 개발가능량의 예측에 있어서 반드시 파악되어야 할 인자이다. 지질과 관련된 요소로는 투수계수, 지하수함양량, 대수층 두께, 가뭄시 유출량 등이 검토될 수 있다. 또한 지하수 수질은 한 번 오염이 되면 이를 처리하기가 매우 어렵고, 수질등급에 따라 사용목적이 달라지므로 지하댐 입지조건 중 자연조건 분야에 포함시켰다.

4.1.2 생활환경조건

우리나라는 용수수요가 급증하고 있으나 수자원 공급시설은 이에 미치지 못하여 전국적으로 물부족이 심각할 지경에 이르렀다. 건설교통부는 수자원장기종합계획³¹⁾과 댐건설장기계획³²⁾을 발표하면서 다가오는 물부족 현상을 해결하기 위해 여러 가지 대안을 설정하였다. 본 연구에서도 물부족의 상황을 고려하여 2011년 수요기준 용수부족율, 최근에 빈번히 발생하고 있는 가뭄피해, 그리고 이들에게 직접적인 영향을 주는 연평균강수량을 중요 인자로

선택하였다. 또한 지표수 수질은 지하수 수질에 영향을 미치므로 중요인자로 선택되었다.

4.1.3 사회경제조건

지하댐 건설을 위한 최적지를 찾는 적지분석에서는 그 위치에 따라 효율성을 극대화 시켜야 한다. 효율성은 곧 경제성과 매우 밀접한 관계에 있으므로 접근 용이성, 적정개발량, 유역경사, 댐 길이 등이 중요한 인자가 된다.

4.2 상대적 중요도 결정

총 4단계로 이루어진 계층도에서 입지선정인자간의 상대적 중요도를 산정하기 위해서는 인자들간의 선호도를 계량화된 수치로 표현하기 위한 척도가 필요하다. 본 연구에서는 Saaty가 제안한 쌍대비교의 기본척도를 사용하였다(Table 2 참조). 그리고 Fig. 1에서 소개한 계층분석과정 알고리즘을 이용하여 상대적 중요도, 선호도 및 일관성비율을 산정하여 Table 4에 나타내었다. 일관성비율 평가에 있어서는 모든 항목들이 나오 나타나고 있어 신뢰할 수 있는 초기값을 설정한 것으로 나타났다.

4.3 적지분석

연구대상 지역은 건설교통부(2002)에서 발표한 21개 지하댐 개발 후보지점 중 네 곳(고성·북천, 강릉·옥계, 삼척·원덕, 울산·강동)을 선정하였다(Fig. 2 참조). 이 지점들을 선택한 이유는 전국 191개 지점의 총적층 지하수 유망 부존 지점³³⁾ 중 최근 발표된 21개 지하댐 개발 후보지점⁶⁾과 동일한 지점으로 다른 지역보다 가장 많은 자



Fig. 2. Study sites.

료를 보유하고 있기 때문이다. 계층분석과정기법은 다기준 의사결정 방법이기때문에 많은 자료를 필요로 하는 것을 감안한다면 적절한 지점선정이라 할 수 있다.

Table 5는 선정된 각 지역의 입지선정인자 값들을 정리한 것이다. 투수계수, 대수층 두께, 그리고 지하수·지표수 수질은 전 지역이 양호한 편이나 지하수 함양량, 가뭄시 유

출량, 연평균강수량 등은 조금씩 차이를 보이고 있다.

적합도는 어느 지역이 지하담 건설지역으로 적합한지의 정도를 나타내는 것으로 다른 지역과의 비교자료가 된다. 적합도의 산정식은 분석유형에 따라 다양하지만 본 연구에서는 계층조직이 총 4단계로 구성될 경우에 적용할 수 있는 다음의 식을 선택하였다.

Table 4. Pairwise comparison matrix, priority vector and CR for evaluation factors

| 입지선정 인자 | 쌍대비교 행렬 | | | | 선호도벡터 | 일관성비율 (CR=CI/RI) |
|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|
| | | 10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁶ ~10 ⁻³ | 10 ⁻³ ~10 ² | | |
| 1) 투수계수 (cm/sec) | 10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁶ | 1 | 1/3 | 1/7 | 0.0833 | 0.0567 |
| | 10 ⁻⁶ ~10 ⁻³ | 3 | 1 | 1/5 | 0.1932 | |
| | 10 ⁻³ ~10 ² | 7 | 5 | 1 | 0.7235 | |
| 2) 지하수 함양량 (m ³ /day) | | 30,000 이상 | 15,000 | ~15,000 이하 | | 0.0565 |
| | 30,000 이상 | 1 | 3 | 7 | 0.6434 | |
| | 15,000~ 15,000 이하 | 1/3 1/7 | 1 1/5 | 5 1 | 0.2828 0.0738 | |
| 3) 대수층두께(m) | | 10 이상 | 5~10 | 5 이하 | | 0.0334 |
| | 10 이상 | 1 | 3 | 5 | 0.6333 | |
| | 5~10 5 이하 | 1/3 1/5 | 1 1/3 | 3 1 | 0.2605 0.1062 | |
| 4) 가뭄시유출량 (m ³ /day) | | 20,000 이상 | 10,000~ | 10,000 이하 | | 0.0000 |
| | 20,000 이상 | 1 | 3 | 6 | 0.6667 | |
| | 10,000~ 10,000 이하 | 1/3 1/6 | 1 1/2 | 2 1 | 0.2222 0.1111 | |
| 5) 지하수 수질 | | 생활용수 | 농업용수 | 공업용수 | | 0.0158 |
| | 생활용수 | 1 | 3 | 6 | 0.6530 | |
| | 농업용수 공업용수 | 1/3 1/6 | 1 1/3 | 3 1 | 0.2510 0.0960 | |
| 6) 2011년 수요기 준 용수부족률(%) | | -20 이상 | 0~-20 | 확보지역 | | 0.0668 |
| | -20 이상 | 1 | 4 | 7 | 0.6877 | |
| | 0~-20 확보지역 | 1/4 1/7 | 1 1/4 | 4 1 | 0.2344 0.0778 | |
| 7) 가뭄피해 | | 격일제급수 | 제한급수 | 피해없슴 | | 0.0158 |
| | 격일제급수 | 1 | 4 | 8 | 0.7146 | |
| | 제한급수 피해없슴 | 1/4 1/8 | 1 1/3 | 3 1 | 0.2064 0.0789 | |
| 8) 연평균강수량 (mm/year) | | 1,000 이하 | 1,000~ | 1,200 이상 | | 0.0334 |
| | 1,000 이하 | 1 | 3 | 5 | 0.6333 | |
| | 1,000~ 1,200 이상 | 1/3 1/5 | 1 1/3 | 3 1 | 0.2605 0.1062 | |
| 9) 지표수 수질 | | 3급수 이상 | 2급수 | 1급수 | | 0.0158 |
| | 3급수 이상 | 1 | 3 | 6 | 0.6530 | |
| | 2급수 1급수 | 1/3 1/6 | 1 1/3 | 3 1 | 0.2510 0.0960 | |
| 10) 접근 용이성 | | 양호 | 보통 | 어려움 | | 0.0158 |
| | 양호 | 1 | 3 | 6 | 0.6530 | |
| | 보통 어려움 | 1/3 1/6 | 1 1/3 | 3 1 | 0.2510 0.0960 | |

Table 4. Continued

| 입지선정 인자 | 쌍대비교 행렬 | | | | 선호도벡터 | 일관성비율 (CR=CI/RI) |
|------------------------------------|---------------------|----------------|-----------|-----------|------------------|---------------------|
| | | 10,000 이하 | 10,000~ | 30,000 이상 | | |
| 11) 적정개발량 (m ³ /day) | 10,000 이하 | 1 | 1/4 | 1/8 | 0.0718 | 0.0467 |
| | 10,000~ | 4 | 1 | 1/4 | 0.2267 | |
| | 30,000 이상 | 8 | 4 | 1 | 0.7015 | |
| 12) 유역경사 | | 큼 | 보통 | 완만 | | 0.0334 |
| | 큼 | 1 | 1/3 | 1/5 | 0.1062 | |
| | 보통 완만 | 3 5 | 1 3 | 1/3 1 | 0.2605 0.6333 | |
| 13) 댐 길이 (m) | | 1,000 이상 | 500~1,000 | 500 이하 | | 0.0158 |
| | 1,000 이상 | 1 | 1/3 | 1/8 | 0.0789 | |
| | 500~1,000 500 이하 | 3 8 | 1 4 | 1/4 1 | 0.2064 0.7146 | |
| 14) 지질 | | 지하수함양량 | 투수계수 | 대수층두께 | 가뭇시유출량 | |
| | 지하수함양량 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0.5000 |
| | 투수계수 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 0.1667 |
| | 대수층두께 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 0.1667 |
| | 가뭇시유출량 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 0.1667 |
| 15) 물부족 | | 2011년 용수부족율 | 가뭇 피해 | 연평균강수량 | | 0.0032 |
| | 2011년 용수부족율 | 1 | 3 | 5 | 0.6479 | |
| | 가뭇피해 연평균강수량 | 1/3 1/5 | 1 1/2 | 2 1 | 0.2299 0.1222 | |
| 16) 위치 | | 접근용이성 | 적정개발량 | 유역경사 | 댐길이 | |
| | 접근용이성 | 1 | 2 | 3 | 3 | 0.4547 |
| | 적정개발량 | 1/2 | 1 | 2 | 2 | 0.2630 |
| | 유역경사 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1 | 0.1411 |
| | 댐 길이 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1 | 0.1411 |
| 17) 자연조건 | | 지질 | 수질 | | | 0.0000 |
| | 지질 | 1 | 3 | | 0.7500 | |
| 18) 생활환경 조건 | | 물부족 | 오염 | | | 0.0000 |
| | 물부족 | 1 | 5 | | 0.8333 | |
| | 오염 | 1/5 | 1 | | 0.1667 | |
| 19) 적합성 | | 가능성 | 시급성 | 효율성 | | 0.0000 |
| | 가능성 | 1 | 2 | 2 | 0.5000 | |
| | 시급성 효율성 | 1/2 1/2 | 1 1 | 1 1 | 0.2500 0.2500 | |

Suitability Index(SI)

$$= \left\{ \sum PV_1 \cdot \sum [PV_2 \cdot \sum (PV_3 \cdot PV_4)] \right\} \quad (6)$$

식 (6)에서 PV₁, PV₂, PV₃, PV₄는 각 단계별 선호도벡터를 나타낸다.

식 (6)을 이용하여 각 지역별 적합도를 산정한 결과, 고성·북천(0.5530), 삼척·원덕(0.4719), 강릉·옥계(0.3796),

울산·강동(0.3200) 순으로 나타났다.

4.4 타 연구와의 비교

Table 6은 건설교통부와 한국수자원공사가 발간한 보고서(2002)⁶⁾의 지하댐 입지조건 평가표 일부이다. 여기에서의 평가항목은 지질, 지형, 환경, 그리고 수질 등 총 14개로 본 연구에서 수행한 지하댐 입지선정 인자와 비슷하다. 그러나 지하댐 입지조건 평가표에서 평가기준의

Table 5. Properties for four study sites

| | | | | |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 입지선정인자 | 고성 북천 | 강릉 옥계 | 삼척 원덕 | 울산 강동 |
| 투수계수 | 자갈+모래 | 자갈+모래 | 자갈+모래 | 자갈층 |
| 지하수 함양량(m ³ /day) | 222,186 | 53,170 | 337,382 | 18,933 |
| 대수층 두께(m) | 25.5 | 15.0 | 14.0 | 20.0 |
| 가뭄시 유출량(m ³ /day) | 28,000 | 25,000 | 14,000 | 5,700 |
| 지하수 수질 | 생활용수 | 생활용수 | 생활용수 | 생활용수 |
| 2011년 용수부족률(%) | -51.4% | -13.8% | -13.8% | 확보지역 |
| 가뭄피해 | 피해 없음 | 격일제급수 | 격일제급수 | 제한급수 |
| 연평균 강수량(mm/year) | 1,342.8 | 1,301.1 | 1,379.0 | 1,089.6 |
| 지표수 수질 | 1급수 | 1급수 | 1급수 | 1급수 |
| 접근 용이성 | 양호 | 양호 | 양호 | 양호 |
| 적정개발량(m ³ /day) | 40,000 | 13,000 | 69,000 | 5,000 |
| 유역경사 | 보통 | 약간 큼 | 약간 큼 | 완만 |
| 댐길이(m) | 610 m | 450 m | 700 m | 500 m |

Table 6. Evaluation sheet for underground dam by Ministry of Construction and Transportation

| 평가항목 | 평가기준 | | | | 현황 | 점수 |
|----------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|----|
| | 점수 | | | | | |
| 총적층분포면적 (km ²) | 1.5 < | 1.0-1.5 | 0.5-1.0 | < 0.5 | 2.1 | 10 |
| | 10 | 7 | 5 | 1 | | |
| 유역면적(km ²) | 100 < | 50-100 | 10-50 | < 10 | 148.5 | 10 |
| | 10 | 7 | 5 | 1 | | |
| 오염원분포 | 저밀도 | 중밀도 | 고밀도 | - | 저밀도 | 8 |
| | 8 | 5 | 3 | - | | |
| 토지이용현황 | 비경작지 | 경작밀도(저) | 경작밀도(중) | 경작밀도(상) | 경작밀도(저) | 3 |
| | 5 | 3 | 2 | 1 | | |

점수를 살펴보면, 확실적인 점수를 부과하고 있고, 부과된 점수의 타당성에 관한 근거자료가 전혀 없다. 지하댐 입지선정과 같이 다기준 의사결정에서의 가장 중요한 사항은 각 항목들이 의사결정자의 관점이나 선호정도에 크게 영향을 받지만, 의사결정자의 주관적 가치기준을 객관적으로 평가할 수 있는 방법이 반드시 있어야 한다는 것이다.

본 연구에서는 의사결정자가 부과하는 상대적 가중치(점수)가 객관적이고 논리적으로 일관성이 있는지를 일관성 비율(CR)을 통하여 판단하였고, 그 값이 신뢰할 수 있는 것으로 나타나 보다 더 과학적인 방법이라 할 수 있다.

5. 결 론

많은 수공학자들은 안정적인 용수공급과 물부족에 대처하기 위해 다각적인 노력을 기울이고 있으며, 새로운 수자원 확보 측면에서 현실성을 감안, 지하수 개발과 이용을 위한 지하댐 건설에 관심이 모아지고 있다.

본 연구에서는 지하댐 적지분석을 함에 있어서 의사결정방법으로 계층분석과정(AHP)을 선택하고, 지하댐 입지선정 과정에서 고려해야 할 자연·생활환경·사회경제조건에 대한 총 13개의 인자들을 도출하였다. 각 인자들의 상대적 가중치를 산정함으로써 지하댐 적지분석의 새로운 방법론을 확립하였고, 고성·북천 등의 네 곳을 대상으로 그 적용성을 확인하였다.

본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 지하댐 적지분석은 자연환경, 생활환경, 사회경제 등의 요구기준을 최선으로 만족해야 하므로 계층분석과정을 이용하여 체계적인 분석 기법의 틀을 개발하였다.
2. 지하댐 적지분석 시 고려되어야 할 인자로 총 4단계, 13가지 인자를 도출하였다.
3. 선정된 네 지역의 적합도는 고성·북천-삼척·원덕-강릉·옥계-울산·강동의 순으로 산정되었다.
4. 지하댐 적지분석에 있어 계층분석과정 기법은 논리적이며 체계적인 방법으로 그 적용성이 매우 높은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-4-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Hanson, G. and Nilsson, A. "Ground-water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries", *Ground Water*, **24**(4), pp. 497-506 (1986).
- 부성안, 이기철 "지하수담과 해안지역 염수침입 방지기술", *농어촌과 환경*, **74**, pp. 104-116 (2002).
- Molano, C., Bonilla, F., Mejia, J. and Rodriguez, C. Artificial Recharge of the Santa Marta Aquifer, Colombia, In Johnson, A. I. and Pyne, D. G. (eds), *Artificial Recharge of Ground Water, II*, ASCE, pp. 446-454 (1994).
- Liu, P., Liu, Z. and Duan, Z. A Case Study on Artificial Recharge of Groundwater Into the Coastal Aquifer in Longkou, China, In Johnson, A. I. and Pyne, D. G. (eds), *Artificial Recharge of Ground Water, II*, ASCE, pp. 464-470 (1994).
- 동국대학교, 지표수-지하수 연계이용 기법 개발(1차년도 연구보고서), pp. 46-49 (2002).
- 건설교통부 · 한국수자원공사, 지하담 개발 방안 수립조사 보고서, pp. 3-18 (2002).
- Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York (1980).
- Zahedi, F. "Data-Base Management System Evaluation and Selection Decision", *Decision Science*, **16**(1), pp. 91-109 (1985).
- Min, H. "Location Analysis of International Consolidation Terminals Using the Analytic Hierarchy Process", *Journal of Business Logistics*, **15**(2), pp. 25-45 (1994).
- 윤재근 "AHP 기법의 적용효과 및 한계 점에 관한 연구(MIS 성공요인평가를 위한 3가지 통계기법 비교중심)", *한국경영과학 회지*, **21**(3), pp. 109-124 (1996).
- 정병호, 조권익 "대형공사의 최적입찰자 선정을 위한 계층 분석과정(AHP) 모형의 개발", *경영과학*, **16**(1), pp. 75-85 (1999).
- Drake, P. R. "Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education", *Int. J. Engng. Ed.*, **14**(3), pp. 191-196 (1998).
- Bevilacqua, M. and Braglia, M. "The Analytic Hierarchy Process Applied to Maintenance Strategy Selection", *Reliability Engineering and System Safety*, **70**, pp. 71-83 (2000).
- Ridgley, M. A. "A Multicriteria Approach to Allocation Water During Drought", *Resource Management and Optimization*, **9**(2), pp. 135-149 (1993).
- Jandric, Z. and Srdjevic, B. "Analytic Hierarchy Process in Selecting Best Groundwater Pond", *Proc. of 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brasil* (2000).
- Jaber, J. O. and Mohsen, M. S. "Evaluation of Non-conventional Water Resources Supply in Jordan", *Desalination*, **136**(1-3), pp. 83-92 (2001).
- Thirumalaivasan, D. and Karmegam, M. "Aquifer Vulnerability Assessment Using Analytic Hierarchy Process and GIS for Upper Palar Watershed", *The 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore* (2001).
- 이상일, 손상철 "계층분석과정에 의한 지표수-지하수 연계 이용 적지분석", *한국지하수토양환경학회 춘계학술대회논문집*, pp. 307-310 (2002).
- 이상일, 서해경, 손상철 "지표수-지하수 연계이용을 위한 지역 적합도 평가", *한국지하수토양환경학회 추계학술발표회*, pp. 171-174 (2002).
- 이상일 "지하수와 지표수의 연계 개발 및 관리 방안", *세계 물의 해 심포지움(21세기 지하수자원의 지속 가능한 개발, 이용 및 관리) 발표 논문집, 한국지하수토양 환경학회*, pp. 79-90 (2003).
- Lee, S. I. and Kim, B. C. "Evaluation of Groundwater Dam Sites for Emergency Water Supply", *23rd General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG 2003), Sapporo, Japan, Abstracts (Week B)*, p. B353 (2003).
- 건설교통부, 지하수관리 기본계획, pp. 52-54 (2002).
- 한국수자원공사, 지하수 함양 및 활용증 대방안 연구, pp. 171-173 (1999).
- Nissen-Petersen, E. "Water from Sand-Rivers", *23rd WECD Conference, South Africa*, pp. 394-396 (1997).
- Print, C. R. "Subsurface Dam for a Pastoral Environment", *23rd WECD Conference, South Africa*, pp. 401-403 (1997).
- Foster, S. "Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence-Brazilian Experience", *World Bank, Case Profile Collection No. 5* (2002).
- Saaty, T. L. "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures", *Journal of Mathematical Psychology*, **15**, pp. 234-281(1977).
- Saaty, T. L. "Priority Setting in Complex Problems", *IEEE Transaction on Engineering Management*, **30**(3), pp. 140-155 (1983).
- Saaty, T. L., "Rank Generation, Preservation and Reversal in the Analytic Hierarchy Decision Process", *Decision Sciences*, **18**, pp. 157-177(1987).
- Harker, P. T. and Vargas, L. G. "Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, **33**(11), pp. 1,383-1,403 (1987).
- 건설교통부, 수자원장기종합계획(2001).
- 건설교통부, 댐건설장기계획(2001).
- 건설교통부 · 한국수자원공사, 지표수 및 지하수 연계사업 기본조사 보고서(1998).