

# 가뭄시 용수배분을 고려한 저수지 운영

○이현재<sup>1)</sup> 심명필<sup>2)</sup> 서병하<sup>3)</sup> 성기원<sup>4)</sup> 정세웅<sup>5)</sup>

## 1. 서론

도시화율이나 상수도 보급률이 높아짐에 따라 용수수요는 점점 늘어나는 반면에 수요를 공급할 수 있는 공급량은 충분하지 못하며 이로 인해 용수배분에 따른 갈등이 여러곳에서 나타나고 있는 실정이다. 이는 장기적인 가뭄이 내습할 경우에는 더욱 그러하다. 이와 같은 물 부족 상황에서 한정된 물을 다양한 수요자에게 물을 공급함에 있어서는 공급자의 경제적 효율성뿐만 아니라 수요자의 사회적 합의를 도출할 수 있는 방법으로 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 경제적 효율성과 사회적 합리성을 만족하는 최적용수 배분이 이루어질 수 있도록 이에 필요한 시스템적 과정들과 저수지 운영모형을 연계하여 연구하였다.

## 2. 조건부 가치 측정법(CVM)에 의한 수자원의 가치평가

조건부 가치 측정법(Contingent Valuation Method ; CVM)은 공공재나 환경재와 같이 비시장재의 가치를 평가하는 방법으로서 설문을 통해 직접 응답자의 가치판단을 이끌어 내는 방법이다. CVM은 공공재나 환경재 등의 변화에 따른 가상상황을 설명하고 이런 상황변화에 대해서 지불의사(Willingness To Pay ; WTP)를 사람들에게 직접 묻고 답을 구하는 방법이다. 본 연구에서는 가뭄대책(수량개선)을 위한 가치평가를 동두천, 서울의 강남, 안양의 평촌 지역의 생활용수와 동두천지역의 농업용수에 대해서 실시하였으며 설문방법은 개인 대 개인 인터뷰 방식을 취하였다. 응답내용에 대한 분석결과는 다음과 같다.

### (1) 생활용수

가뭄피해를 직접 경험한 동두천지역과 경험하지 않은 지역과는 WTP가 상이하게 나타났다. 즉, 동두천 지역 주민들의 WTP가 경험하지 않은 지역인 평촌이나 강남지역보다 높은 것으로 나타났다. 또한, 소득이 높은 강남지역이 상대적으로 소득이 낮은 평촌지역보다 WTP가 높은 것으로 나타났으며, 제한급수율별 평균 WTP는 표 1.과 같다.

표 1. 평균지불의사금액(생활용수)

(단위:원/㎥)

| 지역  | 인원(명) | 제한급수율별 평균 WTP |       |       |       |       | 공급안합 |
|-----|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|------|
|     |       | 10%           | 30%   | 50%   | 70%   |       |      |
| 동두천 | 55    | 518           | 1,414 | 2,612 | 3,323 | 6,144 |      |
| 강남  | 46    | 182           | 565   | 1,123 | 1,532 | 3,009 |      |
| 평촌  | 53    | 156           | 302   | 517   | 750   | 1,185 |      |

### (2) 농업용수

동두천시 관내에 소재 하는 피혁과 염색공단에 대한 농업용수의 가치를 평가할 목적으로 가뭄이 발생했을 때의 가뭄극복을 위한 지불의사액을 묻은 경우 제한급수율별로 평균 WTP는 표 2.와 같이 나타났다.

- 1) (주)한국종합기술개발공사 상무이사, 공학박사
- 2) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수
- 3) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수
- 4) 건국대학교 토목공학과 조교수
- 5) 충북대학교 환경공학과 조교수

표 2. 평균지불의사 금액(공업용수)

(단위:원/㎥)

| 공 단 구 분   | 개 소 | 제한급수율별 평균 WTP (원) |       |       |       |       |
|-----------|-----|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|           |     | 10%               | 30%   | 50%   | 70%   | 100%  |
| 피혁 및 염색공장 | 19  | 568               | 1,510 | 2,580 | 5,024 | 7,528 |

3. 가뭄시 용수배분

(1) 효율적 용수배분

저수지의 수자원은 자본과 인력투입 등을 통하여 만들어진 효율적인 생산물이라 할 수 있으며 생산물을 효율적으로 배분하기 위해서는 일반균형(general equilibrium)이론보다 부분균형(partial equilibrium)이론에 의해 분석함이 타당하다고 판단되며, 이와 같은 방법으로 한정된 용수를 주어진 시간제약하에서 효용을 극대화시킬 수 있도록 배분함에는 소비자의 효용이 기수적으로 측정된 경우 적용될 수 있는 소비자 균형이론인 한계효용균등의 법칙(law of equimarginal utility)을 식(1)과 같이 적용할 수 있다.

$$\frac{\partial WTP_i(W_i^*)}{\partial W_i} = \frac{\partial WTP_a(W_a^*)}{\partial W_a} = \frac{\partial WTP_i(W_i^*)}{\partial W_i} \quad (1)$$

여기서, WTP : 용도별 지불의사, W\* : 용수최적분배량  
 W : 용수량, l, a, i : 생활용수, 농업용수, 공업용수

식(1)은 각 용수의 지불의사(편익)의 합이 최대가 되도록 용수배분이 이루어져야 함을 의미하기도 한다.

(2) 용수배분우선순위

가뭄시에 제한적인 수자원을 하류의 수요자 특성에 따라 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지용수로 공급할 때 용수공급의 우선순위는 지역주민과 전문가의 의견을 들어 다속성 의사결정기법(Multi-Attribute Decision Making ; MADM)중의 하나인 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process ; AHP)기법을 도입하여 결정하였다. 그림 1.은 우선순위 결정을 위한 AHP 계층도를 설계한 것이며 표 3.에 우선순위 계산결과를 나타내었다.

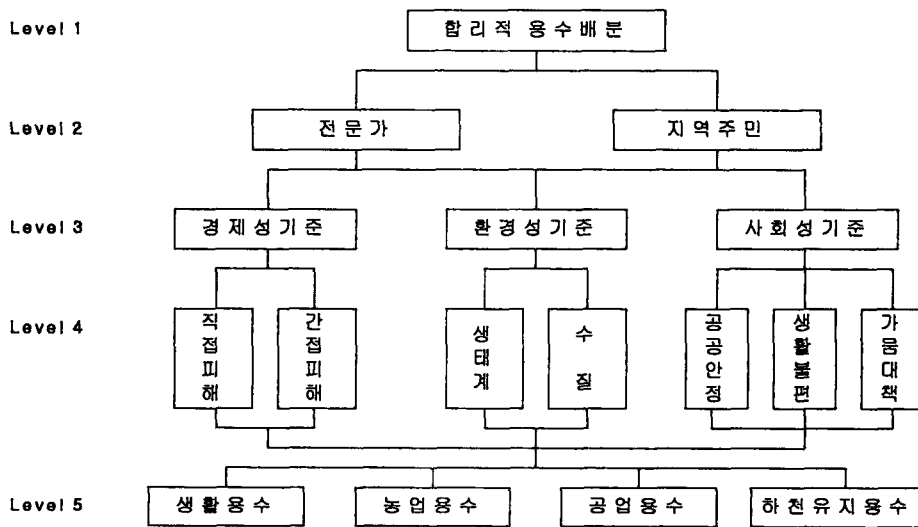


그림 1. AHP 의사결정계층도의 설계

표 3. 우선순위의 산정 결과

| 목 표 (Level 1)                   | 그 루 (Level 2)               | 기 준 (Level 3)  | 세부기준 (Level 4) | 대 안 (Level 5) |       |       |        |       |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------|-------|-------|--------|-------|
|                                 |                             |                |                | 생활용수          | 농업용수  | 공업용수  | 하천유지용수 |       |
| 합<br>리<br>적<br>용<br>수<br>배<br>분 | 전문가<br>(0.612)              | 경제성<br>(0.366) | 직 접(0.142)     | 0.067         | 0.027 | 0.033 | 0.015  |       |
|                                 |                             |                | 간 접(0.063)     | 0.025         | 0.013 | 0.013 | 0.011  |       |
|                                 |                             | 환경성<br>(0.278) | 생태계(0.125)     | 0.044         | 0.025 | 0.017 | 0.038  |       |
|                                 |                             |                | 수 질(0.080)     | 0.027         | 0.017 | 0.011 | 0.025  |       |
|                                 |                             | 사회성<br>(0.356) | 공공안정(0.238)    | 0.111         | 0.041 | 0.050 | 0.036  |       |
|                                 |                             |                | 생활불편(0.232)    | 0.120         | 0.040 | 0.042 | 0.030  |       |
|                                 |                             |                | 가뭄대책(0.119)    | 0.052         | 0.026 | 0.024 | 0.018  |       |
|                                 | 중 합                         |                |                |               | 0.429 | 0.195 | 0.189  | 0.187 |
|                                 | 지<br>주<br>역<br>민<br>(0.389) | 경제성<br>(0.327) | 직 접(0.142)     | 0.054         | 0.034 | 0.030 | 0.023  |       |
|                                 |                             |                | 간 접(0.062)     | 0.023         | 0.015 | 0.013 | 0.010  |       |
|                                 |                             | 환경성<br>(0.284) | 생태계(0.112)     | 0.032         | 0.028 | 0.026 | 0.026  |       |
|                                 |                             |                | 수 질(0.091)     | 0.034         | 0.017 | 0.018 | 0.022  |       |
|                                 |                             | 사회성<br>(0.389) | 공공안정(0.226)    | 0.093         | 0.044 | 0.041 | 0.048  |       |
|                                 |                             |                | 생활불편(0.251)    | 0.110         | 0.050 | 0.048 | 0.042  |       |
| 가뭄대책(0.117)                     |                             |                | 0.042          | 0.029         | 0.025 | 0.021 |        |       |
| 중 합                             |                             |                |                | 0.378         | 0.222 | 0.207 | 0.194  |       |
| 대안의 종합가중치                       |                             |                |                | 0.403         | 0.208 | 0.198 | 0.190  |       |

(3) 평가결과

수원지에서 물공급을 합리적으로 수행하기 위한 기본자료로 이용하는 용수의 용도별 배분우선순위는 생활용수, 농업용수, 공업용수, 하천유지용수의 순으로 나타났다. 한편, 용도별 용수의 배분중요도에 대하여 통계패키지 SPSS를 이용하여 t-검정으로 유의성을 검토한 결과, 생활용수를 제외한 용수는 95% 유의수준에서 유의성이 없는 것으로 나타났다. 즉, 생활용수를 제외한 용수의 중요도는 허용오차 내에 있다고 할 수 있다.

4. 용수배분을 고려한 저수지운영

(1) 가뭄시 용수배분방안

수자원가치의 경제적 효율성과 사회적합의(우선순위)를 고려한 용수배분은 WTP로부터 결정된 용수별 가중치를 결합하여 실시하는 것으로 식(2)와 같이 결합확률(joint probability)의 독립사상의 승법(multiplication law for independent events)을 적용하였다.

$$RAR_k = \frac{P_r[AHP_k] \times P_r[AHP_k]}{\sum_{k=i,a} P_r[AHP_k] \times P_r[AHP_k]} \tag{2}$$

여기서, RAR값은 시행착오법(trial and error method)에 의해 최적값 산정

(2) WA-ROHM모형의 적용

시뮬레이션기법과 최적화기법(DDDP)을 혼합하여 WA-ROHM(water allocation by reservoir operation using hybrid model) 모형을 개발하여 주암다목적댐에 적용하였다.

## 5. 결 론

- 조건부가치측정법(CVM)으로 산정된 용도별 평균 지불의사로 1m<sup>3</sup>당 생활용수는 최소 156원~최대 6,144원, 공업용수는 최소 568원~최대 7,528원으로 나타났고, 농업용수는 기존 자료를 활용하여 최소 22원~최대 44원으로 조사되었다.
- 계층분석과정(AHP)으로 산정된 용도별 우선순위와 선호도는 생활용수(0.403), 농업용수(0.208), 공업용수(0.198), 하천유지용수(0.190)순으로 나타났다.
- 시뮬레이션기법과 최적화기법(DDDP)을 혼용하여 WA-ROHM(water allocation by reservoir operation using hybrid model)모형을 개발하고 주암다목적댐에 적용하였으며 용수배분은 상대배분 비율법(RAR)에 의해 실시하였다.

## 6. 참고문헌

- 건설부(1991). 주암다목적댐 건설사업 운영유지 지침서, 제 1권 토목구조물. pp. 25-51.
- 곽승준, 전영섭 (1995). 환경의 경제적 가치. 학현사, pp. 21-22, pp. 111-122.
- 박용성, 박태근 (2001). AHP를 위한 의사결정론. 자유아카데미, pp. 95-131.
- 신의순 (1995). 자원경제학. 박영사, pp. 9-11.
- 오호성 (2000). 환경경제학. 법문사, pp.181-191.
- 이창효 (1999). 다기준의사결정론. 세종출판사, pp. 130-159.
- 栗山浩一 (1999). 公共事業と環境の價値 -CVMガイドブック-. 築地書館, pp. 21-22.
- 今村瑞穂, 関 正和, 中村 昭 (1979). 湧水の構造分析と流水管理への適用. pp.17-19.
- Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. Prenceton University Press, Princeton, NY.
- Benninghoff, B.D (2000). *An Evaluation of Ontario's Water Allocation System the perspective of Water Users*. M.A, Dissertation, University of Guelph, Ontario, Canada.