

# 持續可能的 水資源 配分方法의 設定과 評價\*

- 效率性和 危險負擔의 衡平性を 中心으로 -

金 鍾 元\*\* · 韓 東 根\*\*\*

## 논문 초록

본 연구는 물 부족국가로 분류될 만큼 맑은 물의 안정적 공급이 날로 어려워지는 상황 하에서 물을 어떻게 배분하는 것이 경제적으로 효율적인가를 고찰함과 동시에 각각의 배분에 따른 형평성을 유량(流量)의 분산에 따른 위험도 분석을 시도하였다. 본 연구에서 고려된 물 배분방식은 최적배분과 고정 및 비율이라는 각각의 제약조건 하에서의 고정배분과 비율배분을 동시에 고려하였다. 사례분석 대상지역으로는 합천댐계통의 황강유역의 용수를 이용하는 합천, 울산, 마산·창원을 선택했다. 분석결과는 유량의 기대값과 분산에 따라 배분방법을 달리 하는 것이 합리적인 것으로 나타났다. 일반적으로 효율성 측면에서는 고정배분방식이 비율 배분방식보다 우수한 경우가 많았다. 한편, 형평성 측면에서는 전반적으로 비율 배분방식이 더 우수한 것으로 나타났다.

핵심 주제어: 비율배분, 고정배분, 위험도분석

경제학문헌목록 주제분류: Q2

\* 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원 (1-4-1)에 의해 수행된 내용의 일부임을 밝혀둡니다. 본 논문에 대하여 유익한 논평을 하여 주신 익명의 두 심사자들에게 감사드립니다. 오류는 전적으로 필자의 책임임을 밝혀둡니다.

\*\* 국토연구원 국토계획·환경연구실 연구위원, e-mail: cwkim@krihs.re.kr

\*\*\* 영남대학교 경제금융학부 부교수, e-mail: dgham@yu.ac.kr

## 1. 문제의 제기

우리나라의 수자원은 주로 중앙정부가 배분하고 있으나 배분의 원칙 등이 아직 확립되어 있지 않아 많은 혼란과 갈등을 야기하고 있다. 특히 강물의 경우 상·하류 지역간의 이해관계가 첨예한데도 지역간 용수배분을 합리적으로 하기 위한 이론적·정책적 연구가 부족한 실정이다. 다만 댐 용수배분 등에 대한 공학적 차원에서 이루어진 연구가 몇 개 있다(이진우(1982), 안승섭(1985) 박종권·차상화(1998), 한동욱·서종석(2000)). 지금까지의 수자원정책은 용수공급원 확보 및 치수중심으로 이루어 지다보니 배분에 대한 문제는 상대적으로 소홀히 다루어져 왔다. 댐 용수의 경우도 댐 설계시 하류지역의 지자체의 생활용수, 관개용수, 공업용수에 대한 장래 수요만을 감안하여 설계하고 배분하다보니, 현재의 시점에서 평가하면 유역전체 또는 유역간의 형평성 차원에서 합리적 배분이 이루어지지 않고 있다. 특히, 댐 건설 이후에 하류지역의 도시화, 산업화로 인한 농경지의 감소, 최근에는 도시지역의 오염산업의 퇴출 등으로 기 배분된 용수에 대한 기득 및 허가수리권이 소멸되었음에도 불구하고 이에 대한 체계적인 정보의 구축이 미흡한 실정이다. 외국에서는 수문학적 모델에 경제적 효율성을 고려한 수문-경제통합모델을 개발하여 물 배분에 적용하고 있다(Howe et al. (1986), Vaux & Howitt (1984)). 특히 지역간 물 배분협상 및 협정의 체결 및 갱신을 위한 배분모형에 대한 연구가 많이 진행되고 있다(Booker & Young(1994), Rosegrant et al. (2000), Bennett(2000)). 최근에는 물 시장제도가 도입된 지역을 중심으로 정부주도의 물 배분과 물 시장을 통한 물 배분의 효과를 비교하기 위하여 물 시장에 대한 효율성을 측정하는 연구가 많이 진행되고 있다(Ward(1987), Scott(1997), Newlin et.al. (2002), Dudley(1992)).

경제적 효율성에 초점을 맞춘 이들 외국의 연구경향에서도 알 수 있듯이 수자원의 개발도 중요하지만 이미 개발된, 그리고 이미 자연적으로 존재하는 수자원의 관리와 효율적 배분문제도 대단히 중요하다. 향후 신규 수자원 개발이 점점 어려워져 수자원의 공급 총량이 한정될 때는 기 개발된 수자원을 어떻게 합리적으로 분배할 것인가 하는 문제가 수자원 정책의 핵심과제로 등장할 것이다. 수자원 분야에서 지속가능한 수자원정책개발의 필요성에 대해서는 많이 논의되고 있지만 구체적으로 어떻게 하는 것이 지속가능한 수자원정책이라는 명확한 개념없이 막연하게 언급되어 온 실정이다. 여기서는 수자원의 배분정책을 다루면서 효율성과 물 배분에 따른

위험도를 고려한 형평성의 차원을 동시에 고려한 물 배분 방안을 제시하는 것이 지속가능한 물 배분정책이 될 수 있다는 전제 하에서 출발하고자 한다. 본 연구에서는 이와 같은 문제의식에서 강물을 상·하류 지역간에 어떻게 합리적으로 배분할 것인가에 대한 몇 가지 이론적 대안들을 검토하고 그 대안들을 사례지역에 적용시켜 보고자 한다. 이를 위해 먼저 가용수자원의 합리적 물 배분을 달성할 수 있는 모형을 설정할 것이다. 이 모형을 통해 우리는 가뭄 등으로 물 부족이 발생할 때 지역간 물 분쟁을 사전에 예방하거나 갈등을 해결하기 위한 상·하류의 물 배분협정 등에 유용하게 사용될 수 있는 지역간·용도간 물 배분방법을 모색하고자 한다. 우리가 다루는 모형은 기존의 연구에서 등한시하고 있는 경제적 효율성 관점에서의 지속가능한 수자원 배분체계를 확립하는데 기초가 될 모형으로서 정책적 의사결정에 도움을 줄 것이다. 또한 본 연구에서 제시된 배분방법을 황강유역에 적용시켜 각 배분 방법의 효율성과 지역간 형평성을 검토하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 제2장은 두 지역<sup>1)</sup>을 상정한 물 배분의 이론적 모형을 다룬다. 이를 위해 두 지역의 편익을 최대화할 수 있는 목적함수를 설정한 뒤, 사회적 편익을 최대화할 수 있는 조건을 도출하여 최적배분방법을 도출한다. 이 최적배분방법은 효율적 배분의 기준으로 사용된다. 그러나 최적배분은 그 방법의 복잡성 등으로 현실에 적용하는데 한계가 있기 때문에 외국에서 많이 쓰는 비율배분과 고정배분 방식을 차선택으로 고려한다. 이들 비율배분과 고정배분은 사회적 편익을 극대화하는 방법이라는 점에서는 최적배분 방식과 같으나, 비율배분 혹은 고정배분이라는 제약조건이 주어진다는 점에서 최적배분 방식과는 차이가 있다. 또한 2장에서는 최적배분과 비율배분, 그리고 고정배분의 각 방식이 함축하는 지역간 형평성 문제도 이론적으로 살펴볼 것이다.

제3장은 2장에서 도출된 이론적인 모형을 사례를 통해 적용해 본다. 우리는 합천댐이 있는 황강지역을 사례지역으로 선정해 상류지역으로는 합천군과 칠서공단을, 하류지역으로는 마산·창원·울산시를 상정할 것이다. 이 사례지역에 대해 2/4 분

1) 여기서 두 지역이라 함은 특정지역의 수원을 이용하는 수요처를 두개로 구분하여 설정함을 의미한다. 전형적인 것이 상류와 하류지역으로 구분하여 설정하는 것이고, 다른 방법은 생활용수와 농업용수로 구분하여 다룰 수도 있고, 농업용수만을 대상으로 상·하류로 구분하여 접근할 수도 있다. 따라서 본 모형에서 다루고자 하는 두 지역모형은 비록 단순하지만, 다양한 물 배분에 응용할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 본 연구에서는 상·하류 지역의 물의 용도를 고려한 두 지역모형을 설정하였다.

기자료를 이용하여 각 배분방법별 배분량과 그에 따른 사회적 편익, 그리고 상·하류지역이 부담하여야 할 위험도를 지역간 형평성 차원에서 분석한다.

마지막으로 제4장은 결론부분으로서 연구결과의 요약 및 정책적 시사점을 제시하고 연구의 한계와 향후의 연구과제에 대한 언급을 한다.

## II. 물 배분모형의 설정

### 1. 모형의 개요

본 연구의 이론적 기초는 Bennett et. al. (2000)의 연구이다. Bennett et. al. (2000)은 농업용수의 상·하류간 배분에 적용될 수 있는 모형을 제시했는데, 본 연구에서는 이 모형을 확장하여 생활용수와 공업용수 그리고 농업용수를 모두 포함한 상·하류간의 물 배분 문제를 두 지역모형으로 설정하였다. 또한 Bennett et. al. (2000)은 효율성만을 고려하였지만 본 연구에서는 배분방법에 따른 위험도 분석을 통한 지역간 형평성 문제를 추가적으로 분석함으로써 지속가능한 물 배분방법을 모색하였다. 모형에서 이용되는 기호는 다음과 같다.

$W$  = 확률변수로서의 유량, 평균  $E(W)$ , 분산  $\sigma^2$ 인 정규분포를 가정

$f(w)$  =  $W$ 의 정규확률 밀도함수

$C_U$  = 상류지역의 물 사용량

$C_L$  = 하류지역의 물 사용량 ( $C_U + C_L \leq W$  : 물 사용의 제약조건)

$B_i(C_i)$  = 각 지역  $i$ 의 물의 용도별 소비에 따른 편익함수,

$i = U, L$  ( $U$ 는 상류지역,  $L$ 은 하류지역을 의미함). 여기서 지역의 편익함수는 함수의 오목성 조건을 만족하는 함수형태이다. 즉,  $B_i'(C_i) > 0$ ,  $B_i''(C_i) < 0$ .  $SB \equiv B_U(C_U) + \lambda B_L(C_L)$  :  $SB$  : 사회적 편익함수

여기서  $\lambda$ 는 하류지역에 주어진 가중치로서 하류지역과 상류지역이 동일한 가중치이면  $\lambda$ 는 1로 주어지고, 하류지역이 국가적으로 매우 중요하거나 하류지역이 상류지역에 수자원개발 등에 투자를 많이 하였을 경우에는  $\lambda \geq 1$ 의 값을 취한다.

사회적 편익은 물을 사용하는 두 지역 편익의 합으로 정의한다. 따라서 사회적 편익을 최대화하는 문제는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \underset{C_L(W)}{\text{Max}} \quad & E\{B_U(W - C_L(W)) + \lambda B_L(C_L(W))\} \\ \text{s.t.} \quad & 0 \leq C_L \leq W \end{aligned} \quad (1)$$

$E[\cdot]$  : 기대값을 나타내는 연산자

한편 본 연구에서는 지역별 편익함수의 형태를 다음과 같이 가정한다.

$$B_i(C_i) = a_i C_i^2 + b_i C_i + c_i \quad (\text{단, } i = U, L \quad a_i < 0, \quad b_i > 0, \quad c_i > 0) \quad (2)$$

이와 같은 이차함수형태는 한계편익 체감의 법칙을 수용하면서도 간단하므로 기존의 다른 연구에서도 자주 쓰인다.

## 2. 배분방법의 도출

### 1) 최적배분

최적배분이란 배분의 방식에 아무런 제약이 가해지지 않는 상태에서 사회적 편익을 최대로 만드는 해(Solution)를 의미한다. 위의 (2)식을 (1)식에 대입하여 최대화 문제(Maximizing Problem)의 일차조건을 풀면 사회적 편익을 최대로 만드는 물 배분량을 구할 수 있다. 이렇게 구한 지역별 최적배분량은 다음 (3)식과 같다.

$$\begin{aligned} E[W] < \frac{b_U - \lambda b_L}{2\lambda a_L} \quad \text{이면, } C_L^* &= W \\ E[W] \geq \frac{b_U - \lambda b_L}{2\lambda a_L} \quad \text{이면, } C_L^* &= \frac{2a_U E[W] - \lambda b_L + b_U}{2(\lambda a_L + a_U)} \\ &= \frac{a_U E[W]}{(\lambda a_L + a_U)} + \frac{b_U + \lambda b_L}{2(\lambda a_L + a_U)} \end{aligned} \quad (3)$$

(3)식은 가용 수량이 일정수준 이하일 때는 하류가 물을 독점적으로 사용하는 것이 효율성 측면에서 볼 때 최적이라는 것을 보여주고 있다. 반면에 물이 일정수준 이상인 경우에는 하류와 상류가 물을 나누어 쓰는 것이 효율적이다. 이 경우 (3)식에 의하면 최적배분은 두 개의 항으로 구성되어 있는데, 첫째 항은 유량의 기대값,

$E(W)$ 에 비례하는 부분이고 둘째 항은 파라메타에 따라 결정되는 상수이다. 즉 최적배분은 아래에서 다루게 될 비율배분 방식과 고정배분 방식을 혼합한 형태라는 것을 알 수 있다.

## 2) 비율배분

비율배분이란 총유량의 일정비율을 상류와 하류지역에 배분하는 방법을 말한다. 비율배분은 최적배분 방법에 비해 배분방법이 간단하여 이해 당사자 지역주민들이 이해하기에 편하다는 장점이 있다.  $\beta$ 를 총유량 중 하류지역에 배분하는 비율이라 하자 ( $0 < \beta < 1$ ). 그러면 유량  $W$ 가 주어질 때 상류와 하류에 각각 배분되는 물의 양은 다음과 같다.

$$C_U = (1 - \beta)W, \quad C_L = \beta W \quad (4)$$

위의 식 (4)을 사회적 편익의 기대값을 최대화하는 목적함수인 (1)식에 편입함 수 (2)식과 더불어 대입하면 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\beta} E [B_U((1 - \beta)W) + \lambda B_L(\beta W)] \\ = \text{Max}_{\beta} E [a_U(1 - \beta)^2 W^2 + b_U(1 - \beta)W + c_U] \\ + \lambda E [a_L \beta^2 W^2 + b_L \beta W + c_L] \end{aligned} \quad (5)$$

(5)식을  $\beta$ 에 관해 미분하여 편익최대화의 일차조건을 구하면 비율배분 조건 하에서의 최적 배분량은 다음과 같이 결정된다.

$$\beta^* = \frac{2a_U E[W^2] + (b_U - \lambda b_L) E[W]}{2(a_U + \lambda a_L) E[W^2]} \quad (6)$$

여기서  $E(W^2) = \sigma^2 + E(W)^2$ 의 관계를 이용하여 비율배분이라는 제약조건 하에서의 최적배분비율을 추정할 수 있다. 즉, 유량의 분산과 평균의 제곱의 합으로 구할 수 있고, 나머지 편익함수에서 구한 추정계수들을 대입하여 하류지역에 배분해야 할 유량의 비율 ( $\beta^*$ )을 구할 수 있다.

### 3) 고정배분

고정배분방식은 강의 총유량과 관계없이 하류지역에 일정량의 물을 고정적으로 공급하고 나머지를 상류에 공급하는 방식을 의미한다.  $\overline{W}$ 를 하류지역에 고정적으로 배분하는 물의 양이라 한다면 두 지역에 배분되는 물의 양은 다음과 같다.

$$C_L = \min(W, \overline{W}), \quad C_U = W - \min(W, \overline{W}) \quad (7)$$

이러한 배분방식에 의하면 실제유량이 하류지역에 배정된 고정량,  $\overline{W}$ 보다 적다면 하류가 독점으로 사용하고, 실제유량이  $\overline{W}$ 보다 많다면, 상류지역은 전체유량에서 하류지역에 보내야 할 고정량을 제외한 나머지를 공급받게 된다. 고정배분이라는 제약조건하에서 사회적 편익을 최대화하는 배분량은 다음과 같이 구할 수 있다. 곧 (7)식을 사회적 기대편익을 구하는 함수식에 대입하면 다음과 같다.

$$\text{Max}_{\overline{W}} E[B_U(W - \min(W, \overline{W}))] + \lambda E[B_L(\min(W, \overline{W}))] \quad (8)$$

유량이 하류에 고정적으로 보내야 하는 양보다 많을 경우 (8)식은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Max}_{\overline{W}} E[B_U(\overline{W} - \overline{W})] + \lambda E[B_L(\overline{W})] \quad (8)'$$

여기에 앞의 비율배분과 같은 방법으로 본 연구에서 상정한 편익함수 (2)를 식 (8)'에 대입하여 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max } E & [a_U(W - \overline{W})^2 + b_U(W - \overline{W})^2 + c_U] \\ & + \lambda \cdot E[a_L(\overline{W})^2 + b_u(\overline{W}) + c_L] \end{aligned} \quad (9)$$

위의 식을 유량의 기대값으로 다시 정리하면 (10)식과 같다. 여기서 유의할 점은 이미 유량의 크기가 고정배분량  $\overline{W}$ 보다 크다는 조건 하에서 출발하였으므로 우리가 구하는 기대유량은 조건부 기대유량,  $E(W | W > \overline{W}^*)$ 이라는 것이다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } & a_U \cdot E[W | \overline{W}^*]^2 - 2a_U \cdot \overline{W} \cdot E[W | W > \overline{W}^*] + a_U \overline{W}^2 + \\
 & b_U \cdot E[W | W > \overline{W}^*] - b_U \cdot \overline{W} + c_U \\
 & + \lambda \cdot (a_L \overline{W}^2 + b_L \overline{W} + c_L)
 \end{aligned} \quad (10)$$

위의 (10)식을  $\overline{W}$ 에 대해 일차 미분하여 영으로 놓은 일차조건으로부터 다음과 같은 효율적인 고정배분량을 결정할 수 있다.

$$\overline{W}^* = \frac{2a_U E[W | W > \overline{W}^*] + b_U - \lambda b_L}{2(a_U + \lambda a_L)} \quad (11)$$

(11)식은  $\overline{W}^*$ 에 대한 명시적 해(explicit solution)가 아니므로 우리는 수치해석(Numerical search)을 통해  $\overline{W}^*$ 값을 구하기로 한다.<sup>2)</sup>

### 3. 배분방법별 위험부담의 형평성 분석

지금까지 우리는 배분방법별로 최적 배분량을 얻기 위해 사회적 기대편익만을 고려해 왔지 그 기대편익을 얻기 위해서 각 지역에 실제로 분배되는 물의 양의 변동(위험)에 관한 논의는 하지 않았다. 곧 각 지역이 직면하는 물 배분의 불확실성을 고려하기 위해서는 각 배분방식에 따라 상류와 하류지역의 물 소비량이 얼마나 변동하느냐, 즉 실제 물배분량의 분산이 얼마나 될 것이냐를 알아야 한다. 예를 들면, 기대유량이 100톤이고 표준편차가 50인 경우에 하류지역이 비율배분으로 50%를 배분 받는다고 하자. 그러나 실제 강우량이 부족하여 유량이 50톤이 된다면 하류지역은 비율배분규칙에 따라서 25톤밖에 공급받지 못하게 된다. 그러므로 하류지역은 50톤을 기대하고 있었으나 25톤밖에 받지 못하는데 따른 위험이 항상 존재한다는 것이다. 반대로 고정배분에 의하여 하류가 항상 50톤을 배분 받기로 할 경우에는 실제유량이 50톤으로 줄어도 전량을 확보할 수 있으므로 하류지역은 위험이 적은 반면, 상류는 물을 모두 하류로 보내야 하는 위험에 직면하게 된다<sup>3)</sup>. 이와 같

2) 예를 들면, (11)식의 해를 구하기 위하여, 먼저 임의의 고정배분량 100을 대입하여 (11)식의 우측의 값을 구할 때 150이 나오면 다음에는 고정배분량을 1씩 증가시켜서 좌변과 우변의 값이 같아질 때까지 찾아가는 방법이다.



이 각 지역이 부담하는 위험의 크기를 배분방법로 유량의 기대값과 표준편차를 이용하여 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 상류와 하류지역의 물 배분에 따른 분산 ( $Var(C_U)$ 와  $Var(C_L)$ )을 구해 봄으로써 배분방식에 따라 상류와 하류가 위험을 얼마씩 부담하게 되는가 분석한다. 본 연구는 위험도분석을 실제 현실에 적용 가능한 비율배분과 고정배분에 국한하여 상·하류간을 대상으로 분산을 구하여 위험도 분석을 시도한다.

### 1) 고정배분에서의 분산

고정배분에 의해 물이 배분될 때 실제로 각 지역이 배당 받는 양의 분산은 다음과 같다<sup>4)</sup>. 하류지역의 분산은 기대유량이 고정배분량보다 적을 때까지는 기대유량에서 유량의 평균을 뺀 값의 제곱과 그때의 확률밀도함수(여기서는 정규분포가정)를 곱한 값까지의 적분값이, 그리고 유량이 고정배분량보다 많은 경우에는 고정배분량에서 평균을 뺀 값의 제곱에 확률밀도함수의 곱의 적분의 합이 된다.

○ 하류지역의 분산:

$$\begin{aligned} Var(C_L) &= \int_0^{\bar{W}} (W - \mu_L)^2 f(W) dW + \int_{\bar{W}}^{\infty} (\bar{W} - \mu_L)^2 f(W) dW \\ &= \int_0^{\bar{W}} (W - \mu_L)^2 f(W) dW + (\bar{W} - \mu_L)^2 \int_{\bar{W}}^{\infty} f(W) dW \end{aligned}$$

단,  $\mu_L = \int_0^{\bar{W}} W f(W) dW + \bar{W} \int_{\bar{W}}^{\infty} f(W) dW$ , 여기서  $f(W)$ 는 정규확률밀도함수

한편, 상류지역의 분산은 기대유량이 고정배분량보다 적을 경우에는 “0”에서 평균유량을 뺀 값의 제곱에 확률밀도함수의 곱의 적분과 유량의 기대값에서 하류지역으로의 고정배분량을 공제한 값에 평균을 뺀 값의 제곱에 확률밀도함수를 곱한 값의 적분의 합으로 구성된다.<sup>5)</sup>

3) 따라서 본 연구에서 ‘위험’이란 각 배분방법으로 물이 상·하류 지역간에 배분될 때, 각 지역에 ‘실제로’ 배분되는 물의 양이 얼마나 변동하느냐하는 의미에서의 위험이고, ‘형평성’이란 이러한 위험을 각 지역이 얼마나 균등하게 떠맡게 되느냐하는 의미이다.

4) 구체적인 분산의 도출과정은 지면의 제약상 생략하였으나, 관심있는 분들에게는 개별적으로 요 구시에 제공할 수 있다.

○ 상류지역의 분산:

$$\begin{aligned} Var(C_U) &= \int_0^{\overline{W}} (0 - \mu_U)^2 f(W) dW + \int_{\overline{W}}^{\infty} (W - \overline{W} - \mu_U)^2 f(W) dW \\ &= \mu_U^2 \int_0^{\overline{W}} f(W) dW + \int_{\overline{W}}^{\infty} (W - \overline{W} - \mu_U)^2 f(W) dW \end{aligned}$$

$$\text{단, } \mu_U = \int_0^{\overline{W}} 0 f(W) dW + \int_{\overline{W}}^{\infty} (W - \overline{W}) f(W) dW = \int_{\overline{W}}^{\infty} (W - \overline{W}) f(W) dW$$

## 2) 비율배분에서의 분산

비율배분의 경우는 고정배분과는 달리 분산을 보다 간단히 구할 수 있다. 즉, 하류지역의 물 소비는  $C_L = \beta \cdot W$ 이다. 여기서  $\beta$ 는 하류지역의 배분비율,  $W$ 는 유량(확률변수)이다. 그러므로 상·하류의 분산은 다음과 같다.

$$Var(C_L) = Var(\beta W) = \beta^2 Var(W)$$

$$Var(C_U) = Var((1 - \beta)W) = (1 - \beta)^2 Var(W)$$

## 3) 위험도 분석방법론

여기서 위험도란 각 배분방식대로 물이 배분된다 할 때 각 지역이 실제로 확보할 수 있는 물의 양이 얼마나 변동할 것인가에 대한 정도를 의미한다. 본 연구는 각 지역이 배분받는 물량의 변이계수(Coefficient of Variation)를 위험의 지표로 이용하고자 한다. 변이계수는 분산을 배분량의 기대값으로 나누어 구하였으며, 이 변이계수를 이용하여 각 지역의 위험부담을 나타내는 지표로서 위험배율을 사용하였다. 이 위험배율은 각 배분방법에 따른 상·하류간의 변이계수를 나누어서 각 배분방법간의 위험의 상대적 크기를 비교한 것이다. 우리는 변이계수를 이용한 위험배율을 배분방식별로 비교하여 위험배분의 형평성을 판단할 수 있는 근거로 삼을 수 있다. 따라서 여기서 분석한 위험도에 따른 형평성문제와 앞에서 분석한 효율성에 기초한 배분방안을 동시에 비교함으로써 보다 합리적인 대안을 도출할 수 있다.

5) 위의 분산추정방법을 이용한 분산의 계산은 Maple을 이용하여 수행하였다.

### Ⅲ. 사례연구

#### 1. 대상지역 및 자료

사례분석대상지역으로는 낙동강 유역의 합천댐이 있는 황강지역을 대상으로 하였다. 이 지역은 농업용수, 생활용수, 공업용수 등이 다양하게 배분되어 있을 뿐만 아니라 유역외에 있는 울산공업단지에도 물이 배분되고 있어 다양한 정책적 의미를 내포하는 지역이다.

분석에 필요한 유량자료로는 합천댐 조정지댐 방류량 자료(1989년~2001년)를 이용하고자 한다. 그 이유는 합천댐 본댐의 방류량을 조정지댐에서 일시 저류시킨 후에 하천으로 방류하기 때문에 유량자료로 사용하는데 문제가 없기 때문이다. 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지용수 등에 대한 실제 배분자료는 수자원공사 합천댐 내부자료를 이용하였다. 용도별로 보면, 상류지역은 생활(합천군) 및 공업용수(칠서공단) 그리고 관개용수로 이용되고, 하류지역은 생활용수(마산과 창원), 공업용수(울산공단)로 이용되고 있다. 방류량 자료 중에서 본 연구에서는 2/4분기만을 대상으로 한 물 배분만을 다루었다.<sup>6)</sup> 그 이유는 우리나라의 강우와 물 이용특성상 일년 중에서 물 배분에 따른 어려움이 가장 많은 시기이기 때문이다. 또한 본 유역에서도 2/4분기부터 농업용수에 대한 수요가 본격적으로 나타나고 전형적으로 가뭄이 가장 심한 시기이므로 이 시기의 물 배분을 합리적으로 수행한다면 다른 분기에 대한 물 배분은 보다 손쉽게 할 수 있기 때문이다.

#### 2. 편익함수의 설정

제2장의 이론적 모형을 현실에 적용하기 위해서는 우선 제1장 (2)식의 편익함수에서 세 파라메타 값을 알아야 한다. 세 파라메타  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ 의 값을 알아내기 위해 우리는 모형의 캘리브레이션(calibration)을 시도한다. 즉 세 파라메타의 값은 (2)식의 편익함수 위의 세 좌표 ( $C_i$ ,  $B_i$ )의 값을 대입하여 얻은 세 방정식을 연

6) 1/4분기 및 년도별 자료를 이용한 분석은 지면상 생략하였고, 전체적인 내용에 대하여 궁금하거나 분석결과를 원하면 저자에게 문의하면 제공하기로 한다.

립하여 풀어서 구할 수 있다. 구체적으로, (i) 물 소비량이 0이면 편익도 0이라는 조건인  $B_i(0)=0$ , (ii) 최대의 편익수준에서는 한계편익이 0이 된다는 조건인  $B'(\bar{C}_i)=0$ , (iii) 편익이 극대화된 점에서 성립하는  $B_i(\bar{C}_i)=\bar{B}_i$  이라는 세 방정식을 구하여 연립하여 풀면  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  의 값을 구할 수 있다. 여기서  $\bar{C}_i$ 와  $\bar{B}_i$ 는  $i$ 지역에 최대의 편익을 가져다주는 물의 소비량과 그 때의 편익수준을 각각 의미한다. 본 연구에서 이용된  $\bar{C}_i$ 와  $\bar{B}_i$ 는 <표 1>에 보고되어 있는데, 이를 위한 자료는 다음과 같이 구했다. 먼저 농업용수에 관해서는 합천군지역의 「농업기술지원센터」의 내부자료를 이용하였다.<sup>7)</sup> 공업용수의 경우는 칠서공단 및 울산공업단지의 용수담당자와의 면담을 통하여 구하였고, 생활용수는 개별 지자체의 담당공무원의 면담조사를 통하여 확보하였다.

또한 물이 단위당 투입될 때 얼마의 편익이 발생하는가를 알기 위해 산업연관표상의 물 투입 단위당 생산유발액을 이용하였다. 즉 산업연관표를 통해 농업부문, 공업부문, 가계부문의 물 사용단위당 생산유발액을 도출할 수 있고, 세 가지 용도별 물의 가치를 반영할 수 있다는 점에서 이 방법을 이용하였다.<sup>8)</sup> 특히, 공업부문은 칠서공단과 울산공단의 업종이 다른데 따른 물의 용도별 가치를 반영하기 위해서 산업연관표의 산업부문을 개별공단의 업종별로 취합하여 도출하였다.<sup>9)</sup> 이렇게 도출한 단위당 생산유발액은 농업부문 : 0.02, 칠서공단 : 0.1, 울산공단 : 0.44, 가계부문 : 0.53으로 산출되었다. 단위당 생산유발액을 사용한 것은 본 연구의 가장 중요한 목적이 유량이라는 확률변수에 따른 물의 변동량을 반영한 배분방법의 선정과 그때의 배분량을 결정하는데 있으므로 물의 용도별 상대적 가치의 차이를 반영할 수 있으면 효율적인 배분방법과 배분량을 결정하는데는 영향을 미치지 않기 때문이다. 선행연구의 하나인 Bennett, et al. (2000)의 연구에서도 본 연구와 마찬가지로 2차 편익함수를 추산하기 위해 캘리브레이션의 방법을 사용했다. 또한 <표

7) 합천지역의 벼농사에 가장 적합한 물 사용량은 1,800mm이나, 600mm는 강우에 의존하고 나머지 1,200mm는 하천에서 취수하여 관개면적에 공급하는 것이 가장 벼농사를 최적으로 할 수 있다는 농업기술지원센터의 분석이다.

8) 산업연관표는 「1998년 산업연관표, 2000」를 이용하였고, 가계부문은 산업연관표상의 피용자 보수부문을 내생화하여 도출하였다. 물 한 단위투자에 따른 산업의 각 부분의 생산유발효과를 계측하기 위하여 물 공급(water supply) 부문을 외생화하였다.

9) 칠서공업단지의 업종으로는 식품가공업, 프라스틱제품, 우유가공업 등이 포함되고, 울산공업단지의 업종은 기계, 조립금속, 비철 등의 업종을 포함하고 있다.

2)는 <표 1>의 물 사용량과 최대 편익자료를 이용하여 캘리브레이션한 상·하류 지역의 편익함수이다.

<표 1> 2/4분기 용수량 및 최대편익

용도별		최적 용수량(천톤)	편익(천원)
농업용수		9,446	5,715
공업용수	철서공단	600	1,815
	울산공단	81,000	1,078,110
생활용수	합천군	400	6,413
	마산·창원시	37,000	593,202

<표 2> 분기별 상·하류의 편익함수 캘리브레이션 결과 (단위: 백만원, 백만톤)

	2/4분기
상류지역	$B_U = -0.13X_U^2 + 2.69X_U$
하류지역	$B_L = -0.12X_L^2 + 28.32X_L$

### 3. 배분대안별 효율성 및 위험도 분석

#### 1) 효율성 기준에 의한 물 배분

2/4분기는 본격적인 농사철의 시작으로 농업용수에 대한 수요가 급격히 증가하는 시기이다. 먼저, 2/4분기의 년평균유량은 약1.3억톤, 표준편차는 73.3인 정규분포 하에서의 배분방법별 상·하류간의 배분량과 그때의 사회적 편익을 추정하면 다음과 같다.

비율배분의 경우는 평균 유량의 81.9% (106.6백만톤), 고정배분은 평균유량의 약 1.1억톤, 그리고 최적배분은 약 1.2억톤을 하류로 배분하는 것이 합리적인 배분값으로 분석되었다. 다음으로 이들 배분량을 이용한 사회적 기대편익을 계산한 결과, 고정배분이 비율배분보다 최적배분에 따른 사회적 기대이익에 더 근접한 배분이나 큰 차이는 보이지 않고 있다. 이는 물 공급가능량이 어느 정도 충분할 경우에는 배분방법상의 차이가 크지 않다는 것을 보여주는 것이다. 이처럼 2/4분기의 기대유량이 1.3억톤 정도의 수준이라면 물 배분방법상의 문제점은 크게 발생하지 않을 것으로 기대할 수 있다. 2001년 2/4분기의 실제 용수공급실적을 보면 약 1.16

억톤이 공급되었고, 상류지역에 해당하는 합천군과 칠서공단 그리고 농업용수로 12.3백만톤, 하류지역인 마산·창원 생활용수(34.7백만톤) 및 울산공업용수(68.8백만톤)로 공급되었다.

〈표 3〉 배분방법별 배분량 및 기대편익(2/4분기) (단위: %, 백만톤, 백만원)

비율배분				고정배분				최적배분			
배분 규칙 $\beta^*$ (%)	배분량		사회적 기대편익	배분 규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익	배분 규칙 $\alpha, \gamma$ (%)	배분량		사회적 기대편익
	하류	상류			하류	상류			하류	상류	
81.9	106.6	23.6	1,670	108	108	22.2	1,673	0.52, 51.2	119	11.2	1,685

그러나 1990년부터 2001년까지의 년도별 방류량자료를 보면 2/4분기의 최저 방류량이 2천6백만톤 수준까지도 떨어지는 점을 감안하면 과거의 평균유량을 이용하여 물을 배분할 경우에는 물 부족시 물 배분에 상당한 어려움이 예상된다. 이러한 상황을 고려하여 공급가능 유량이 수요량에 비하여 적을 경우, 그리고 부족량의 정도에 따라서 배분을 어떻게 하는 것이 국가적으로 효율적이고 수요처간의 갈등을 최소화할 수 있는 방법인가를 고찰하였다. 이를 위하여 이상가뭄 등에 의한 물 부족에 대비하여 다음과 같은 기대유량과 편차를 고려한 물 배분 시나리오를 설정하여 보았다. 즉, 유량평균을 세 가지로 나누고 각각의 유량별 표준편차도 세 가지로 나누어 살펴보았다.

〈표 4〉 유량 및 편차의 시나리오

기대유량 (백만톤)	표 준 편 차		
사례유형1: 100	100	75	50
사례유형2: 80	100	75	50
사례유형3: 50	100	75	50

〈표 5〉를 보면 사회적 기대편익을 최대화하는 최적배분의 해를 보면 모든 물을 하류가 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대편익을 극대화하는 것으로 나타난

다.<sup>10)</sup> 또한 고정배분이 비율배분 보다 효율적인 경우가 많은 것으로 나타나고 있으나 기대유량의 분산에 따라 비율배분이 더 효율적인 경우도 있다. 즉, 비록 유량이 동일하여도 상·하류간의 용도별 수요량의 차이와 유량의 편차에 따라서 보다 효율적인 배분방법이 달라진다는 것이다. 이는 매우 의미있는 결과로서 유량의 크기, 편차, 물의 용도에 따라서 배분방법을 달리하는 것이 사회 전체적인 기대편익을 극대화할 수 있다는 정책적 시사점을 제시하고 있다.

사례유형별로 보다 자세히 살펴보면, 기대유량이 [ $E(W)=1$ 억톤]일 경우의 유량의 분산을 고려한 배분값을 보면, 하류가 독점적으로 사용하는 것이 사회적 편익을 극대화할 수 있는 배분방법으로 나타나고 있으나, 앞에서도 언급했듯이 이러한 배분은 실제 물 수요자간의 배분방법으로는 설득력이 없을 수 있다. 다음으로 비율배분과 고정배분방법중 어느 것이 사회적으로 가장 효율적인 최적 배분량에 근접한 배분방법인가를 살펴보면, 유량의 분산이 클 경우( $\sigma: 100, 75$ )에는 고정배분, 유량의 분산이 적을 경우에는 ( $\sigma: 50$ ) 비율배분이 사회적 기대이익을 최대화할 수 있는 배분방법임을 알 수 있다.

기대유량이 8천만톤 이하로 떨어지는 사례유형 2와 3의 경우에는 고정배분이 최적배분과 일치하며, 하류가 모든 용수를 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 배분방법임을 보여주고 있다. 기대유량이 [ $E(W)=5$ 천만톤] 수준으로 감소하여 물 부족이 매우 심각할 경우에는 고정배분이 최적배분과 일치하며, 하류가 모든 용수를 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 배분방법임을 보여주고 있다. 비율배분의 경우에도 유량의 편차  $\sigma$ 가 50일 경우에는 모든 수량을 하류가 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 대안으로 나타나고 있어 유량이 매우 적고, 분산이 적을 경우에는 비율배분과 고정배분 모두 동일한 결과를 초래함을 알 수 있다.

10) 이는 상류에 비해 하류지역의 한계편익이 매우 크기 때문에 발생하는 현상이다. 일반적으로 용도별 한계편익이 용도별로 유량의 크기와 소비량에 따라서 달라지므로 모든 경우에 적용되는 일반적인 현상은 아니다.

〈표 5〉 배분방법별 배분량 및 기대편익(2/4분기) (단위: %, 백만원, 백만원)

사례 유형	$\sigma$	비율배분				고정배분				최적배분			
		배분 규칙 $\beta^*$ (%)	배분량		사회적 기대 편익	배분 규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대 편익	배분 규칙	배분량		사회적 기대 편익
			하류	상류			하류	상류			하류	상류	
1	100	77.6	78	22	1,493	98	98	2	1,628	하류 독점	100	0	1,632
	75	84.8	85	15	1,554	94	94	6	1,613	"	100	0	1,632
	50	93.0	93	7	1,608	91	91	9	1,597	"	100	0	1,632
2	100	77.0	62	18	1,308	91	80	0	1,498	하류 독점	80	0	1,498
	75	86.1	69	11	1,397	86	80	0	1,498	"	80	0	1,498
	50	98.5	78	2	1,484	82	80	0	1,498	"	80	0	1,498
3	100	72.5	36	14	992	81	50	0	1,116	하류 독점	50	0	1,116
	75	83.5	42	8	991	75	50	0	1,116	"	50	0	1,116
	50	100	50	0	1,116	70	50	0	1,116	"	50	0	1,116

## 2) 위험부담의 형평성을 고려한 배분

이제 위험의 지역간 배분을 살펴보기로 한다. 기대유량이 1억톤인 경우는 상대적으로 물 배분량이 많은 하류가 고정적으로 일정량을 배분받음으로써 고정배분에 따른 분산이 적은 반면, 상류지역은 분산이 매우 크게 나타나고 있다. 그러므로 물 소비량의 분산값과 기대유량을 이용한 변이계수를 통한 분석도 모든 경우에 상류지역의 입장에서는 비율배분이 위험 부담이 적은 것으로 나타나고 있다. 그런데 〈표 7〉에서 실제 기대유량이 1억톤인 경우의 배분방법별 배분량을 보면, 유량의 편차가 100 및 75인 경우에는 고정배분이 효율적이고, 유량의 편차가 50으로 적을 경우에는 비율배분이 효율적인 것으로 나타났다. 이와 같이 유량의 편차가 상대적으로 큰 경우에는 효율성과 위험부담의 형평성간에 상충관계(trade-off)가 존재한다. 그러나 앞서서도 살펴본 바와 같이 다양한 선택기준과 위험도의 크기를 기준으로 수요자간에 합의를 유도할 수 있을 것이다.

기대유량이 8천만톤인 사례유형2의 경우, 물 소비량의 분산값과 기대유량을 이용한 변이계수를 통한 위험도분석을 보면 고정배분에서 하류가 모두 독점적으로 사



용함으로 인하여 어떤 배분이 바람직한지를 직접 비교하기는 어려운 점이 있다. 그러나 상·하류간 물 배분 협상시에 독점적으로 사용하는 경우를 제외한다면 비율배분이 합리적인 선택일 수가 있다.

기대유량이 5천만톤 수준으로 급감하는 사례유형3의 경우에도 고정배분에서 모든 물을 하류가 독점적으로 사용하는 것이 효율적인 것으로 나타나고 있어 위험도를 고려한 형평성은 매우 열악한 상황에 놓이게 된다. 그러나 이와 같이 특정지역이 물을 독점하는 경우가 발생할 경우에는 현실적으로 물 배분협약이 수용되기 힘들기 때문에 비율배분을 선택한다면, 위험부담 차원에서도 바람직할 것으로 판단된다.

〈표 6〉 상·하류의 소비량에 따른 분산(2/4분기)

사례유형	분산	배분 방법	분 산 값		
			$\sigma=100$	$\sigma=75$	$\sigma=50$
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	Var ( $C_U$ )	비율 (A)	529	144	12
		고정 (B)	3,223	2,001	1,024
	Var ( $C_L$ )	비율 (C)	5,929	3,969	2,162
		고정 (D)	809	663	471
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	Var ( $C_U$ )	비율 (A)	529	110	1
		고정 (B)	3,070	1,789	830
	Var ( $C_L$ )	비율 (C)	5,929	4,160	2,401
		고정 (D)	570	523	463
사례유형3 (기대유량: 5천만톤)	Var ( $C_U$ )	비율 (A)	784	162	-
		고정 (B)	2,915	1,690	789
	Var ( $C_L$ )	비율 (C)	5,256	3,921	2,500
		고정 (D)	243	238	212

〈표 7〉 배분방법별 위험도 분석 (2/4분기)

사례유형	배분방법	위 험 배 율 <sup>주)</sup>		
		$\sigma=100$	$\sigma=75$	$\sigma=50$
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	비율배분	3	5	12
	고정배분	202	48	23
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	비율배분	3	6	31
	고정배분	-	-	-
사례유형3 (기대유량: 5천만톤)	비율배분	3	5	-
	고정배분	-	-	-

주: 위험도는 〈표 5〉의 각 배분방법별 기대유량으로 〈표 6〉에서 구한 분산값으로 나눈값의 상·하류간의 비율로 구한다. 다음은 구체적인 적용공식이다. 비율배분=  $[C/기대유량] \div [A/기대유량]$ , 고정배분=  $[B/기대유량] \div [D/기대유량]$

#### IV. 결 론

한정된 수자원을 지역간에 배분할 때 지속가능성, 효율성, 형평성을 함께 고려해야 한다는 주장은 많았지만, 효율성과 형평성을 명시적으로 고려한 지속가능한 수자원 배분에 관한 연구는 지금까지 없었다. 본 연구는 경제적 효율성을 고려한 물 배분모형을 설정하면서 지역간 물 배분량에 따른 분산을 분석함으로써 각 지역이 부담해야하는 위험까지 고려했다. 먼저 배분방식에 대한 아무런 제약이 없는 '최적 배분'을 준거로 삼고 비율배분과 고정배분 공식을 도출하여 사회적 기대 편익을 서로 비교할 수 있는 틀을 제시했다. 또한 각 지역이 각 배분공식에 의해 물을 분배받을 때 실제로 분배받는 양이 실제유량에 따라 변동할 수 있다는 점에 착안하여 분배량의 분산을 분석할 수 있는 틀을 제시했다. 이 분산은 배분방식에 따라 각 지역이 떠 안아야 하는 위험이다.

우리의 모형을 황강의 상·하류지역에 적용해 본 결과, 효율성 측면에서는 고정 배분 방식이 비율배분 방식보다 우수한 경우가 많았다. 그러나 기대유량의 분산에 따라 비율배분 방식이 유리한 경우도 발생했다. 한편 지역간 물 배분량의 분산분석을 통한 형평성 측면에서는 전반적으로 비율배분이 고정배분보다 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 물 배분에서도 효율성과 위험배분의 형평성이 서로 상충관계에 있다는 것을 의미한다.

용도를 고려한 상·하류 두 지역의 물 배분을 다루고 있는 본 연구의 정책적 의미는 크다고 할 수 있다. 왜냐하면 여기서 배분된 상·하류간의 수량을 통하여 도시 상류지역 및 하류지역내의 수요처간에 동일한 기준으로 배분할 수 있기 때문이다. 특히, 우리나라의 허가수리권은 물 부족을 감안한 다양한 형태의 물 배분이 아닌, 기존의 수요처가 필요로 하는 양을 허가해주는 형식적인 물 배분인 점을 감안하면 여기서의 제시한 효율성과 위험도에 입각한 유량의 크기별로 배분량을 다양하게 결정할 필요가 있다는 것이다. 즉, 유량이 평균적인 기대유량에서 10%정도 감소될 경우의 배분량, 30% 감소될 경우의 배분량, 50%정도 감소될 경우에 대비하여 미리 효율성과 위험도에 따라 배분규칙을 갖고 있다면 가뭄 등의 일시적인 물 부족에 보다 효과적으로 대응할 수 있을 것이다.

본 연구에서 다루고 있는 물 배분모형은 우리나라의 유역자료의 정보구축수준, 부문별 편익의 추정에 필요한 자료 구득의 어려움, 편익의 추정에 대한 신뢰성문제

등등을 감안하면 다음과 같은 장점이 있다. 유량정보와 수요처에 관한 정보만으로도 물 배분량 및 사회적 기대편익을 극대화할 수 있는 대안을 손쉽게 찾을 수 있다는 점과, 사례분석에서 제시하였듯이 단답형식 물 배분대안이 아니라 유량의 크기, 유량의 편차, 계절별 물 수요를 감안한 다양한 배분방안과 그에 따른 사회적 기대이익, 배분방법에 따른 위험도 등의 다양한 정보를 정책결정자에게 제공함으로써 정책결자가 수요처간의 물 배분협정, 물분쟁시 합리적인 해결방안을 도출하는데 필요한 정보를 제공할 수 있다는 점이다.

본 연구를 통하여 제시할 수 있는 정책대안으로는 첫째, 물의 양에 따라 수요처별로 배분될 수 있는 수량의 종류를 달리할 필요가 있다. 예를 들면, 갈수가 기준의 하천유량이 100이라고 할 때, 이를 기준으로 수요처간에 물 배분량을 설정하여 이를 절대 수리권으로 인정한다든가, 다음으로 유량이 150일 경우에 물 배분량을 결정하여 이를 보통수리권, 다음으로는 유량이 풍부할 경우에는 풍수수리권 등으로 구분하여 배분량을 미리 설정함으로써 향후 가뭄기에 따른 물 분쟁을 사전에 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 허가수리권을 연간 수량으로만 허가할 것이 아니라 가뭄이 자주 발생하는 1월에서 6월 사이에는 분기별 또는 월별로 가뭄의 정도에 따라서 허가수리권의 양을 구체적으로 명시할 필요가 있다. 호주의 경우에는 댐 용수에 대한 수리권을 댐의 수위에 따라서 달리함으로써 물 부족시에 발생할 수 있는 수요처간의 분쟁을 사전적으로 차단하고 있다. 일본의 경우에도 유량에 따라서 안정수리권과 풍수수리권으로 구분하고 있다.

셋째, 유역별로 물 사용자간에 물 배분협약 등을 제정할 필요가 있다. 우리나라도 지방자치제도의 시행으로 점점 더 지자체간의 이기주의적인 물 이용으로 상·하류지역간의 물 분쟁이 끊이지 않고 발생하고 있다. 이와 같은 상황에서 유역별로 상·하류 지역간의 합리적 물 이용문화의 정착이 요구되고 있다.

넷째, 여기서 제시한 효율성과 형평성의 원칙에 입각하여 댐 용수의 재배분을 도모할 필요가 있다. 댐 용수의 경우에 댐의 건설시에 물을 필요로 하는 지자체와 공업용수, 그리고 농업용수에 대한 수요를 반영하여 댐의 규모를 결정하였으나 댐 하류지역의 급속한 도시화의 진전 등으로 기존에 배분되었던 농업용수나 공업용수에 대한 수요의 변동으로 기 배분된 댐 용수를 재배분 함으로써 보다 지속가능한 국가 수자원운용계획의 수립이 필요하다.

본 연구의 한계점은 편익함수의 추정시 용도별 물 사용의 한계편익을 사용하지 못하고 단위당 평균편익으로 대체하여 분석함으로 인하여 보다 정확한 편익을 반영하지 못한 부분은 향후, 용도별 물 사용의 가치에 대한 보다 많은 연구가 진행된다면 보다 좋은 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한 여기서는 위험도 분석을 사후적으로 시행하고 있으나, 목적함수에 효율성과 유량의 분산에 따른 위험도를 동시에 고려할 수 있는 모형을 통한 연구도 물 배분 관련연구의 발전에 도움을 줄 것으로 판단된다.

#### ■ 참 고 문 헌

1. 박종권, 차상화, “낙동강유역의 최적 물배분 모델에 관한 연구,” 『안동과학대논문집』, 1998.
2. 이진우, “하천유역의 최적물배분을 위한 시스템모델에 관한 연구,” 1985.
3. 안승섭, “동적계획법에 의한 물 배분에 관한 연구,” 영남대학교, 1982.
4. 한동욱·서종석, “수리계획기법을 이용한 효율적 물배분 시스템모델 -서남부지역을 중심으로-,” 2000, 『농업과학기술연구』, 제35집, 2000, pp.133-138.
5. Bennett, L. L., et al., “The Interstate River Compact as a Water Allocation Mechanism: Efficiency Aspects,” *American Journal Agricultural Economics*, Vol.82, No. 4, 2000, pp.1006-1015.
6. Booker, J. F. and R. A. Young, “Modeling Intrastate and Interstate Markets for Colorado River Water Resources,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.26, 1994, pp.66-87.
7. Dudley, Norman. J., “Water Allocation by Markets, Common Property and Capacity Sharing: Companions or Competitors?,” *Natural Resources Journal*, Vol.32, 1992, pp.575-778.
8. Howe, Charles W., Dennis R. Schurmeier, and W. Douglas Shaw, “Innovative Approaches to Water Allocation: The potential for Water Markets,” *Water Resources Research*, Vol.22, No.4, 1986, pp.439-445.
9. Jercich, Scott A., “California’s 1995 Water Bank Program: Purchasing Water Supply Options,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 123, No.1, 1997, pp.59-65.
10. Newlin, Brad D., Marion W. Jenkins, Jay R. Lund, and Richard E. Howitt, “Southern California Water Markets: Potential and Limitations,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.128, No. 1, 2002, pp.21-32.
11. Rosegrant, M. W., et al. “Integrated economic-hydrologic water modelling at the basin

- scale: the Maipo river basin," *Agricultural Economics*, Vol. 24, 2000, pp. 33-46.
12. Vaux, H. and Howitt, R. E., "Managing Water Scarcity: An Evaluation of Interregional Transfers," *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 7, 1984, pp. 785-792.
  13. Ward, Frank A., "Economics of Water Allocation to Instream Uses in a Fully Appropriated River Basin: Evidence From a New Mexico Wild River," *Water Resources Research*, Vol. 23, No. 3, 1987, pp. 381-392.

## A Design of Water Allocation Model - Efficiency and Equity of Risk Aspects -

Chongwon Kim\* · Han, Dong-Geun\*\*

### Abstract

This study offers two methods of water allocation between upstream and downstream regions; a proportional allocation method and a fixed-amount allocation method. The former method assigns each region with a proportion of total water available in a river. The latter method allocates a fixed-amount of water to the downstream region, with the leftover being assigned to the upstream region. We applied those methods to Hwang river and evaluated the performances of each allocation method. Our case study shows, in general, that the proportional allocation method is superior from an efficiency point of view, while the fixed-amount method dominates from a risk-equity point of view.

**Key Words:** water allocation, efficiency and equity risk analysis

---

\* Research Fellow, National Territorial Planning & Environmental Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements

\*\* Associate Professor, School of Economics and Finance, Yeungnam University