

유수자원(流水資源)의 지역간 배분 보상

한동근* · 김종원**

〈차 례〉

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| I. 머리말 | IV. 최적 보상률과 지역생산효과 |
| II. 모형의 설정 | V. 요약 및 정책적 시사점 |
| III. 보상적 인센티브에 따른 물
배분과정 | |

I. 머리말

인구증가와 급격한 도시화 그리고 지속적인 경제성장은 수자원의 수요를 계속 끌어올리는 한편, 이상기후에 의한 강수의 불안정은 수자원 공급의 불확실성을 한층 높여 주고 있다. 이와 같은 상황에서 수자원 배분을 둘러싼 지역간, 수요처간 갈등도 점점 심화되고 있는 실정이다. 특히 동일 수계(水系)의 물을 공급원으로 이용하고 있는 상·하류 지역간의 갈등의 사례는 해마다 증가하고 있

* 영남대 통상 및 경제학부 부교수.

** 국토연구원 국토환경연구실 책임연구원.

다. 예컨대, 경북 동남부 지역의 용수공급을 위해 길안천에 취수보를 설치하려던 건설부의 계획(1990년)은 용수부족을 우려한 하류지역민의 강력한 반대에 부딪히고 있다. 또한 평창강 상수도시설 확장사업(1991년)에 영월군민이 반발하여 약 5년간이나 사업이 부진했던 이유도 상류지역인 제천시의 취수로 하류지역인 영월군의 용수가 부족해질 것이라는 우려 때문이었다. 경기 북부권에 안정적 상수원을 확보하려는 임진강 광역상수도 사업(1995년)도 하류 지역인 연천군 지역주민들의 반대에 부딪혀 뚜렷한 진척을 보이지 않고 있다.

이처럼 상·하류간 물 분쟁이 심해지는 이유는 급속한 도시화 및 산업화에 따른 양질의 수자원이 부족하다는 점 외에도, 물에 대한 권리가 확립되어 있지 않아서 물의 공유재(communs)적 성격이 강하게 나타나기 때문이다. 더욱이 상류지역은 수자원보호를 위하여 상수원보호구역으로 지정되는 경우가 많아 토지이용에 대한 제약이 발생하고, 이는 상류지역 주민들에게 상수원 보호의 의무는 지워지나 보상은 적절하게 이루어지지 않고 있다는 인식도 분쟁발생의 한 원인으로 작용하고 있다.

상·하류간 물 분쟁 해결을 위하여 다양한 정책이나 연구가 많이 진행되어 왔다. 외국의 사례를 보면 상·하류간의 물 분쟁을 해결하기 위하여 수계별 또는 유역별로 물 사용 협정을 체결하거나, 일종의 재산권으로서의 수리권을 확립하고 그것을 거래하도록 하는 인센티브시스템을 도입하고 있다.

본 연구의 목적은 우리 나라와 같이 수리권의 확립이 없는 경우에 상·하류간의 물 배분 문제를 게임이론을 이용하여 조망하고, 상류지역에의 보상이 수자원의 적정 배분의 수단이 되는지를 검토하는데 있다.

게임 이론적 자원배분과정에서는 비록 시장은 존재하지 않는다 하더라도, 게임 당사자들이 서로 상대방의 효용함수에 영향을 미칠 수 있는 수단을 협상(혹은 위협)을 통해 조정함으로써 문제가 되고 있는 자원의 배분에 효율성을 제고할 수 있다. 이 때 서로 협상과 조정이 가능하려면 모든 당사자들이 상대의 효용에 영향을 미칠 수 있는 수단을 반드시 확보하고 있어야 한다. 예를 들어 지하수 배분문제의 경우, 값이 많은 양의 물을 한꺼번에 뽑아낸다면 그 지하수를

이용하는 을의 가용수량이 줄어들 수밖에 없다. 그러나 이 경우 갑만이 을의 효용에 영향을 미칠 수 있는 것은 아니다. 을도 자신의 취수량을 통해 갑의 효용에 영향을 줄 수 있다. 이와 같이 양방향으로 외부효과(externality)가 발생하는 저수자원(貯水資源)의 경우, 갑과 을은 지하수의 배분문제를 협상할 수 있고, 그것을 통해 외부효과를 내생화할 수 있다.

그러나 본 논문에서 다루고자 하는 유수자원은 상류에서 하류로 한쪽 방향으로만 흐르므로, 상류지역의 행위는 하류지역의 효용에 영향을 미치지만 그 역은 성립하지 않는다. 이와 같이 외부효과가 한쪽 방향으로만 발생하는 경우 협상의 여지는 매우 좁아진다. 왜냐하면, 하류지역이 상류지역의 효용에 직접적으로 영향을 미칠 수단이 존재하지 않기 때문이다. 여기서 우리는 하류지역이 상류지역에 보상금(side payment)을 지급할 경우에 물의 배분이 어떻게 될 것인지 논의하고자 한다. 이와 비슷한 현실적 예로, 한강 수계에서 수질개선분담금이라는 형태로 상류지역의 주민을 보상하는 제도도 이러한 맥락에서 이해할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 상·하류 지역간의 물 배분을 다루기 위한 두 지역모형을 설정하고, 제Ⅲ장에서는 모형의 적용을 통한 하류지역의 보상이 상·하류간의 물 배분이 어떻게 영향을 미치는지를 이론적으로 고찰하고자 한다. 또한 보상제도를 두 지역 모두 자발적으로 수용할 수 있는 유인이 존재하는지, 또 존재한다면 그 조건은 어떠한지에 대해 고찰할 것이다. 제Ⅳ장에서는 보상의 크기를 어떻게 하는 것이 가장 바람직한 정책목표를 달성할 수 있고, 보상의 크기가 주어진 다음에 두 지역의 생산과 소득에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 마지막으로 제Ⅴ장에서는 본 논문의 결론 부분으로써 본 연구가 가지는 정책적 시사점과 한계 그리고 향후의 연구과제에 대한 제언을 한다.

II. 모형의 설정

본 모형은 두 지역(상류지역과 하류지역)이 동일한 강을 수원으로 이용하고 있는 경우를 상정하고 있다. 먼저 다음과 같은 가정을 도입하자. 상류지역은 강수량의 많고 적음에 관계없이 안정적으로 필요한 물을 확보할 수 있다. 즉, 상류지역의 단위당 물 공급의 한계비용은 일정하다고 가정한다.¹⁾ 반면에 하류지역은 강의 총수량 중 상류지역에서 쓰고 남은 나머지 수자원에서 물을 확보해야 하므로 상류지역의 물 사용량에 따라 물 공급의 한계비용이 달라진다고 가정한다. 또한 그 해의 강수량도 하류지역에서의 물 공급의 한계비용에 영향을 미친다. 상류에서 전과 동일한 양의 물을 이용한다 하더라도, 강수량이 적을 때에는 하류의 가용 수원이 작아지고, 그에 따라 물을 확보하는데 비용이 더 많이 든다는 것이다. 이와 같이 물 사용의 외부효과가 한쪽 방향으로만 발생하는 경우, 상류지역이 하류지역의 물 사정을 감안하여 물을 이용할 인센티브는 존재하지 않는다. 이와 같은 상황에서 만약 하류지역에서 상류지역의 물 사용에 영향을 줄 수 있도록 경제적 보상을 한다면 상류지역의 물 이용 행태가 바뀔 수 있다. 하류지역에서 상류지역에 보상²⁾을 통한 물 배분문제를 게임이론을 통하여 살펴보기 위한 모형을 다음과 같이 구성하였다.

모형의 설정에서 편의상 상류지역을 지역 1, 하류지역을 지역 2라 부르자. 각 지역에서 생산에 투입하는 물의 양을 각각 q_1 , q_2 라 한다면 두 지역의 생산량 y 는 다음과 같이 결정된다고 가정하자.³⁾

- 1) 물론 상류지역의 물 공급의 한계비용도 강수량에 의해 영향을 받을 수 있겠지만, 이 연구의 주된 관심은 상류지역의 물 사용이 하류지역의 한계비용에 미치는 영향에 관한 것이므로 분석의 단순화를 위해 이 가정을 도입한다.
- 2) 보상은 하류지역 생산량의 일부를 상류지역에 주는 형식으로 가정하고, 하류지역의 생산량은 물의 투입량에 의존한다고 가정한다.
- 3) 여기서는 생산함수가 상·하류지역에서 물 사용량을 제외한 모든 투입물이 동일하다는 가정 하에서 보편적으로 널리 쓰이는 단순생산함수형태를 선택하였다. 우리는 생산함수를 물 투

$$y_i = A\left(q_i - \frac{1}{2} q_i^2\right) \quad i=1, 2 \quad (1)$$

여기서 A 는 물의 생산성을 나타내는 파라미터이다. 식 (1)의 생산함수는 양의 한계생산력과 한계생산력체감의 법칙을 수용하고 있다. 또한 한계생산력이 양(+)이기 위해서 $q_i < 1$ 의 조건이 가정되어야 한다. 두 지역의 단위당 취수의 비용함수는 식 (2)와 식 (3)과 같이 설정하였다. 여기서 두 지역 취수의 비용함수는 우리가 분석대상으로 삼고 있는 일방향 외부효과를 포착할 수 있도록 구성하였다.

$$C_1 = c_1 q_1 \quad (c_1 \text{은 지역 1의 한계비용}) \quad (2)$$

$$C_2 = [c_2 - \theta(Q + v - q_1)] \cdot q_2 \quad (3)$$

식 (3)은 식 (2)와 달리 하류지역의 취수 비용은 자신의 물 투입량뿐만 아니라 상류지역의 물 투입량 q_1 에 의해서도 영향을 받고 있다는 것을 의미한다. 여기서 Q 는 강의 평균적인 수량(水量), v 는 평균이 0, 분산이 σ_v^2 인 확률변수로 평균적인 수량을 벗어나는 편차를 나타내고 있다. 따라서 양(+)의 v 는 강에 흐르는 수량이 평균치보다 많음을 나타내고, 음(-)의 v 는 갈수(渴水)를 나타낸다. 그래서 $(Q + v)$ 는 강의 실제수량이고 $(Q + v - q_1)$ 은 상류지역에서 이용하고 남은 나머지 수량을 나타내고 있다. θ 는 하류지역 수량과 하류지역의 물 공급비용 간의 상호관계(interaction)를 나타내는 파라미터이다. 동시에 θ 는 상류지역 물 사용의 외부효과를 나타내는 파라미터로 해석할 수도 있다. 즉, θ 가 클수록 상류지역이 사용하는 물의 양이 하류지역의 취수비용을 크게 높인다. 물 공급의 한계비용은 양(+)이어야 하므로 우리는 $c_2 - \theta(Q + v - q_1) > 0$ 의

입에 대한 2차형으로 가정하였는데, 이는 생산함수가 가져야 하는 성질들을 가지면서도 수학적 조작이 편리하기 때문이다. Netanyahu *et al.* (1998)도 물 이용의 효용함수(benefit function)로 이와 비슷한 함수형태를 채택하고 있다.

조건이 만족하는 것으로 간주한다.⁴⁾

경제행위 주체들이 취하는 행동(action)의 시간적 순서는 다음과 같다.⁵⁾ 먼저 첫 번째 단계에서 지역 2가 지역 1에게 얼마만큼의 보상을 할 것인가를 결정한다. 보상의 크기는 지역 1과 협의하여 지역 2가 결정할 수도 있고, 중앙정부가 결정할 수도 있다. 0과 1 사이인 일정률 α 를 지역 1에게 보상하는 지역 2의 생산량이라 하자. 즉, 지역 1이 받는 보상액은 αy_2 가 된다. 이 때 아직 확률변수 v 의 값은 관측되지 않고 다만 그것의 분산 σ_v^2 는 알려져 있다. 두 번째 단계에서는 v 의 값이 관측되며 지역 1이 얼마만큼의 물을 이용할 것인지 결정한다. 마지막으로 세 번째 단계에서는 지역 2가 얼마만큼의 물을 취수해서 투입할 것인가를 결정한다. 그리고 물의 투입량에 따라 지역 2의 생산량이 결정되면, 제 1단계에서 결정된 α 만큼의 비율에 해당하는 생산물을 지역 1에게 제공한다.

Ⅲ. 보상적 인센티브에 따른 물 배분과정

이 장에서의 분석의 목적은 상류지역에 보상이 주어지는 환경에서 상·하류 지역의 물 이용의 행태를 분석하는 것이다. 보상제도가 도입되면 상류지역은 하류지역의 물 사용과 그에 따른 생산활동에 관심을 갖지 않을 수 없다. 왜냐하면, 보상은 하류지역의 생산량에 비례하기 때문이다. 이와 같은 상황에서 상류지역은 자신의 물 사용량을 결정하기에 앞서 먼저 하류지역의 물 사용의 행태

-
- 4) 식 (3)을 미분한 하류지역에서의 한계비용은 $c_2 - \theta \cdot Q - \theta \cdot v + \theta \cdot q_1$ 이 된다. 하류지역의 한계비용에 대한 경제적 해석에서 $(-\theta \cdot v)$ 는 강수량이 많을(적을) 경우에는 v 값이 양(음)이 되므로 하류지역의 취수비용을 낮추(높이)는 작용을 하고 $(\theta \cdot q_1)$ 는 부호가 항상 양이므로 상류지역의 취수량 증가가 하류지역의 취수비용을 증가시키는 외부효과로 해석할 수 있다.
- 5) 게임이론적 관점에서 보면, 게임의 구조를 말하고 있다. 경기자들(players) — 즉, 두 지역 — 의 행동 순서와 게임의 환경(예컨대, 언제 v 가 관측되고 언제 α 가 결정되는지 따위)은 게임의 결과에 대단히 큰 영향을 미친다.

를 분석해야 한다. 이 때 하류지역의 물 사용량(생산량)은 상류지역의 물 사용량에 영향을 받는다는 것을 염두에 두어야 한다.⁶⁾ 따라서 우리는 먼저 하류지역, 즉 지역 2의 적정 물 투입량부터 분석하기로 한다.⁷⁾

지역 2의 최적화 문제는 다음과 같다. 전 단계로부터 q_1 과 a 가 주어질 때 지역 2는 다음의 이윤함수를 최대화하는 q_2 를 선택하려 할 것이다. 여기서 생산품의 단위당 가격은 1로 표준화하였다.

$$\Pi_2 = (1-a)y_2 - C_2 \quad (4)$$

식 (1)과 식 (3)을 식 (4)에 대입한 후 최적화의 1차조건식 $\partial \Pi_2 / \partial q_2 = 0$ 을 풀면 지역 2의 최적 물 투입량이 다음과 같이 결정된다.

$$q_2 = \frac{A(1-a) - c_2 + \theta(Q+v-q_1)}{A(1-a)} \quad (5)$$

식 (5)로부터 우리는 하류지역의 취수행태를 설명할 수 있다. 즉, 외부효과가 없을 때의 한계비용인 c_2 가 커질수록 생산에 투입하는 물의 양은 적어진다. 또한 물의 투입량(취수량)은 물의 한계생산력이 커질수록 (A 가 커질수록) 많아진다는 것을 의미한다.⁸⁾ 그리고 식 (5)는 다른 조건이 일정할 때 상류지역의 물 이용의 외부효과가 커질수록(즉, θ 가 커질수록) 하류지역의 물 수요량은 많아진다는 것을 말해 주고 있다. 비용함수 식 (3)에서 볼 수 있듯이 동일한 수량이 주어질 때 큰 θ 의 값은 한계비용을 낮추어 주기 때문이다. 또한 상류지역의 물 사용에 대해 하류지역은 역으로 반응하고 있음을 식 (5)로부터 알 수 있다. 이는 상류지역의 물 사용이 많아지면 하류로 흘러드는 수량이 적어지고 이것이

6) 왜냐하면, 상류지역의 물 사용량에 따라 하류지역의 물 투입의 한계비용이 달라지기 때문이다.

7) 이는 역진귀납(backward induction) 과정이다.

8) 이는 다음 식의 부호로 알 수 있다. 즉, $\partial q_2 / \partial A = (c_2 - \theta(Q+v-q_1)) / A^2(1-a) > 0$ 이다.

하류의 채수(採水)비용을 높이기 때문이다. 마찬가지로 이유로 양(+)⁹의 v 값은 하류지역에서의 한계비용을 낮추기 때문에 지역 2는 물 투입량을 높여서 생산량을 늘린다는 것을 의미한다.

그렇다면 지역 1은 물을 어떻게 이용할까? 이는 지역 1의 최적화 문제를 살펴봄으로써 알 수 있다. 지역 1은 다음 식으로 표현된 이윤함수를 최대로 만드는 q_1 을 결정할 것이다.

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= y_1 - C_1 + \alpha y_2 & (6) \\ &= A\left(q_1 - \frac{1}{2}q_1^2\right) - c_1q_1 + \alpha A\left(q_2 - \frac{1}{2}q_2^2\right) \end{aligned}$$

그런데 지역 1은 위에서 분석한 지역 2의 행태를 미리 계산에 넣을 것이므로 식 (6)에서 q_2 대신에 식 (5)를 대입해 넣을 수 있다. 앞서서와 마찬가지로 식 (6)의 최적화 1차조건으로부터 다음과 같이 지역 1의 물 투입량을 구할 수 있다.⁹⁾

$$q_1^* = \frac{A(1-\alpha)^2(A-c_1) - \alpha\theta\{c_2 - \theta(Q+v)\}}{A^2(1-\alpha)^2 + \alpha\theta^2} \quad (7)$$

(*는 이 게임의 최종적 해를 의미)

식 (7)에 의해 상류지역의 물 투입량이 결정되면 이것을 식 (5)에 대입하여 하류지역의 물 투입량을 다음과 같이 구할 수 있다.

9) 식 (7)의 해는 다음과 같은 식 (6)의 1차조건 $d\Pi_1/dq_1 = \partial\Pi_1/\partial q_1 + (\partial\Pi_1/\partial q_2)(\partial q_2/\partial q_1) = 0$ 에 의해 도출된다.

그런데, $\partial\Pi_1/\partial q_1 = A(1-q_1) - c_1$, $\partial\Pi_1/\partial q_2 = \alpha A(1-q_2) = \alpha\{c_2 - \theta(Q+v-q_1)\}/(1-\alpha)$, $\partial q_2/\partial q_1 = -\theta/A(1-\alpha)$ 이므로 이를 위의 1차조건에 대입하여 q_1 에 대해 정리하면 식 (7)을 얻는다.

$$q_2^* = \frac{A^2(1-a)^2 + a\theta^2 - \theta(1-a)(A-c_1) - A(1-a)(c_2 - \theta(Q+v))}{A^2(1-a)^2 + a\theta^2} \quad (8)$$

먼저 식 (7)과 식 (8)의 의미를 해석하기 위해 $a=0$ 의 경우를 살펴보자. 즉, 하류지역이 상류지역에 대해 아무런 보상을 하지 않는 상황에서 두 지역의 물 투입량을 보기로 하자. 식 (9)와 식 (10)은 a 가 영(0)인 경우의 q_1^* 와 q_2^* 를 보여 주고 있다.

$$q_1^*(a=0) = \frac{A-c_1}{A} \quad (9)$$

$$q_2^*(a=0) = \frac{A(A-c_2) + \theta\{c_1 + A(Q+v-1)\}}{A^2} \quad (10)$$

식 (9)가 보여 주듯이 하류지역으로부터 아무런 보상을 받을 수 없을 경우에는 상류지역은 항상 일정한 양의 물을 취수한다. 이는 앞에서 가정한 강의 수량이 최소한 상류지역의 생산량에는 영향을 미치지 않을 정도의 양은 존재한다는 사실과 같은 의미이다.

그러나 식 (7)을 보면 보상이 있을 때 상류지역의 취수행태가 바뀐다는 것을 알 수 있다. 즉, 홍수기에는(v 가 양(+))일 때 취수량을 늘리지만, 갈수기(v 가 음(-))일 때에는 하류지역의 생산장애를 고려해 취수량을 줄인다. 이와 같은 상류지역의 취수행태의 변화는 보상의 비율이 높을수록 커진다는 것은 식 (11)에서 보듯이 한 단위의 보상률의 증가에 따른 상류지역의 취수량이 줄어든다는 사실에서도 알 수 있다.

$$\frac{\partial q_1^*}{\partial a} = - \frac{\theta(1-a)(1+a)A\{\theta(A-c_1) + A[c_2 - \theta(Q+v)]\}}{\{A^2(1-a)^2 + a\theta^2\}^2} < 0 \quad (11)$$

한편 상류지역의 취수가 산출하는 외부효과의 크기는 어떤 영향을 주게 되는가를 보기 위하여 상류지역의 물 사용 외부효과를 나타내는 파라미터 θ 로 미

분해 보면 식 (12)를 도출할 수 있다.

$$\frac{\partial q_1^*}{\partial \theta} = \frac{\alpha^2 c_2 \theta^2 + \alpha(1-\alpha)^2 A(2\theta c_1 - A[c_2 - 2\theta(Q+v-1)])}{\{A^2(1-\alpha)^2 + \alpha\theta^2\}^2} \quad (12)$$

위의 결과로는 부호를 판정할 수 없지만 c_2 에 비해 θ 가 상대적으로 크면 (즉, 외부효과가 상대적으로 크면) 위의 부호는 양(+)이 된다. 이 현상은 식 (3)으로 표현된 지역 2의 비용함수를 다음과 같이 재구성하여 살펴보면 보다 쉽게 이해할 수 있다.

$$C_2 = \{c_2 - \theta(Q+v)\}q_2 + \theta q_1 q_2 \quad (3)'$$

여기서 θ 가 c_2 에 비해 너무 크면 취수의 한계비용이 작아지는 경향이 있다는 것을 알 수 있다. 하류 지역의 한계비용이 작아진다는 것을 이해하고 있는 상류지역은 이제 물을 더 많이 이용할 여유가 생기게 된다는 것이다. 그러나 θ 가 그렇게 큰 경우가 아닌 경우, 식 (12)의 미분값은 음(-)이 되는데, 이는 보상제도하에서는 외부효과가 커질수록 상류지역의 취수량이 적어진다는 것을 의미한다.¹⁰⁾ 그 이유는 식 (3)'의 두 번째 항에서 알 수 있듯이 상류지역의 취수량(q_1)의 증가는 하류지역의 취수비용을 높이게 되어 이를 고려하기 때문이다.

이제 식 (8)과 식 (10)을 비교하면서 보상제도하에서 지역 2의 취수량이 어떻게 변하는지 살펴보기로 하자. 먼저 식 (8)을 α 로 편미분한 값을 보기로 하자.

$$\frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha} = \frac{\{\theta(A-c_1) + A[c_2 - \theta(Q+v)]\}(\theta^2 - A^2(1-\alpha)^2)}{\{A^2(1-\alpha)^2 + \alpha\theta^2\}^2} \quad (13)$$

위의 편미분 값의 부호는 $\theta - A(1-\alpha)$ 의 부호에 좌우된다. 즉, 다음의 관계

10) $\theta=0$ 에서 평가하면 식 (12)의 미분값은 음(-)의 부호를 갖는다는 것을 확인할 수 있다.

가 성립한다.

$$\theta - A(1 - \alpha) > 0 \text{ 이면 } \frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha} > 0 \quad (14)$$

$$\theta - A(1 - \alpha) < 0 \text{ 이면 } \frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha} < 0$$

식 (14)의 조건이 의미하는 바는 외부효과 파라미터 θ 가 상대적으로 크면 보상비율의 증가는 하류지역의 적정(균형) 취수수준을 높이나, 그렇지 않은 경우에는 오히려 보상비율의 증가는 적정 취수수준을 낮춘다는 것이다. 후자의 결과가 발생하는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. θ 의 값이 작을 때, 상류지역에서 취수량을 줄인다 하더라도 그것이 하류지역의 (한계)취수비용을 크게 감소시키지 못한다. 그런데도 하류지역은 생산량 중 α 의 비율을 상류지역에 보상해야 한다. 곧 한계취수비용은 거의 그대로인데 (보상을 하고 난 후의)한계수입은 감소하므로 생산수준을 오히려 줄이는 것이 순이익을 극대화할 수 있는 길이다. 이와 같은 이유로 θ 의 값이 작은 경우 보상비율의 증가는 하류지역의 적정 취수량을 오히려 줄어든게 만들 수도 있다는 결과가 발생한다.

이제 보상제도가 존재하지 않았던 상태에서 보상제도가 새롭게 도입되는 경우, 하류지역의 취수량의 변화를 살펴보자. 식 (14)의 조건을 $\alpha = 0$ 에서 평가하면, 다음과 같은 조건으로 변환된다.

$$\theta - A > 0 \text{ 이면 } \left. \frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0} > 0 \quad (14)'$$

$$\theta - A < 0 \text{ 이면 } \left. \frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0} < 0$$

식 (14)'의 조건은 θ 가 A 보다 작은 상황에서 보상제도의 도입은 하류지역의 취수량을 오히려 감소시키며 이는 지역간 물 분쟁을 더 격화시킬 가능성이 있다는 것을 시사하고 있다. 만약 보상제도의 도입여부가 중앙정부의 일방적인

결정에 의한 것이 아니라, 두 지역간의 자발적 합의에 의해서만 가능하다면 보상제도 도입 자체가 합의에 이르지 못할 가능성이 있다. 반면에 θ 가 A 보다 크다면 보상제도의 도입은 상류지역의 물 사용의 절약과 하류지역 취수량의 증가라는 바람직한 결과를 가져올 수 있다.

IV. 최적 보상률과 지역생산효과

1. 정책목표와 최적보상률

이제 적절한 보상률 α 의 수준을 살펴보자. 지금까지 우리는 보상제도의 도입이 주어진 수량(즉, $Q+v$)을 두 지역간에 어떻게 배분하는가에 대해 살펴보았으나, 매년 실제로 취수되는 양은 강수량의 확률변수인 v 에 의해 영향을 받고 있다는 것에 주목할 필요가 있다. 따라서 α 가 일정하게 주어졌을 때의 두 지역의 실제 취수량의 분산은 v 의 분산에 영향을 받을 것이다. 이제 구체적으로 q_1^* 와 q_2^* 의 분산을 알아보자. 두 지역 취수량의 분산은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_{q_1}^2 = \frac{\alpha^2 \theta^4}{\{A^2(1-\alpha)^2 + \alpha \theta^2\}^2} \cdot \sigma_v^2 \quad (15)$$

$$\sigma_{q_2}^2 = \frac{A^2(1-\alpha)^2 \theta^2}{\{A^2(1-\alpha)^2 + \alpha \theta^2\}^2} \cdot \sigma_v^2 \quad (16)$$

식 (15)에서 볼 수 있듯이 보상제도가 없는 경우(즉, $\alpha = 0$ 인 경우) 지역 1의 취수량의 분산은 영(0)이다. 다시 말해서, 상류지역은 강수량에 관계없이 항상 일정한 양의 물을 이용한다는 것이다. 그러나 보상제도가 도입되면 하류지

역만이 아니라 상류지역에서의 물 사용량도 강수량의 변화에 영향을 받게 된다는 것을 확인할 수 있다. 상류지역이 강수량의 변화에 영향을 받는 정도는 보상의 비율(α)이 높을수록, 물 사용의 외부효과(θ)가 클수록 심해진다.

한편 지역 2의 취수량의 분산은 α 에 어떻게 영향을 받을까? 조건 $\theta^2 > 2(1-\alpha)A^2$ 는 $\partial \sigma_{q_2}^2 / \partial \alpha < 0$ 이 되기 위한 충분조건이라는 것이 증명된다.¹¹⁾ 즉, θ 가 상대적으로 큰 상황에서는 보상제도의 도입으로 하류지역의 물 사용량의 변동 정도가 작아진다는 것이다. 이는 상류지역이 자신의 취수량이 하류의 생산에 미치는 영향이 크다는 것을 인식하기 때문에 갈수기에는 물 사용량을 줄이려는 인센티브가 작용하기 때문이다.

가용수량이 기후 조건에 따라 크게 변동될수록 지역간 물 분쟁이 발생할 여지가 높다. 따라서 중앙정부는 각 지역의 가용수량을 안정화시키는데 관심이 있을 것이다. 이와 같은 이유로 여기서는 정부의 정책목표가 두 지역 모두의 취수량 변동의 분산을 최소화하는데 있다고 가정해 보자. 좀더 구체적으로 다음과 같은 중앙정부의 정책목표를 상정한다. 식 (17)로 표현된 정책목표는 중앙정부가 수자원 이용의 불확실성(즉, 분산)을 두 지역간에 고르게 부담시키고자 한다는 가정을 표현한 것이다.¹²⁾

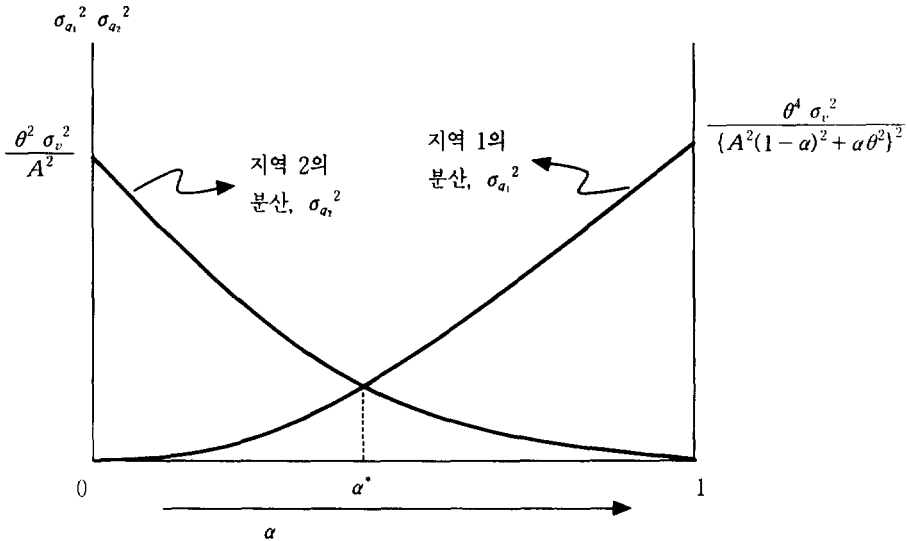
$$\min \max (\sigma_{q_1}^2, \sigma_{q_2}^2) \quad (17)$$

식 (17)과 같은 정책목표는 <그림 1>에서 나타내고 있듯이 두 지역의 물 사용 분산이 같아질 때 달성될 수 있다. 식 (17)의 정책목표를 달성하는 최적 α 는 <그림 1>에서 α^* 로 표시되어 있고, 그 값은 식 (18)에 나타나 있다.¹³⁾

11) $\partial \sigma_{q_2}^2 / \partial \alpha < 0$ 가 되기 위한 필요충분조건은 $1 + (1-\alpha)(\theta^2 - 2A^2(1-\alpha)) > 0$ 이다.

12) 여기서 가정한 정책목표는 현실적으로 가능한 목표들 중의 하나이다. 여러 가지 불확실성이 개입되는 현실에서 당국은 두 지역의 관찰가능한 가용수량(可用水量)을 안정화시키는 목표를 설정할 가능성이 높다. 그러나 이론적으로는 다른 정책목표도 가능하다. 예컨대, 두 지역의 이윤, 혹은 생산량의 합을 최대로 하는 정책목표도 고려해 볼 수 있을 것이다.

〈그림 1〉 적정 보상비율



$$\alpha^* = \frac{A}{A + \theta} \quad (18)$$

이제 식 (18)을 해석해 보자. 식 (18)은 상류지역의 물 사용이 하류지역에 큰 외부효과를 낼수록 보상비율은 작아도 된다는 것을 나타내고 있다. 왜 그럴까? θ 가 큰 경우, 상류지역에서 취수량을 조금만 줄여도 하류지역에서는 그 혜택(취수의 한계비용 감소)을 크게 본다. 하류지역의 취수의 한계비용이 크게 줄어들면 하류지역의 취수량도 많아질 것이다. 이는 하류지역의 취수량 변동의 분산을 크게 낮추는 역할을 한다. 이와 같은 상황에서는 상류지역에 약간의 보상만 해 주어도 정책의 목표를 달성할 수 있을 것이다. 이와는 반대로, 상류지역의 취수가 산출하는 외부효과가 작을수록 보상비율은 높아야 한다. 외부효과가

13) 식 (15)와 (16)에서 $\sigma_{a_1}^2 = \sigma_{a_2}^2$ 를 만족하는 α 는 다음과 같이 구할 수 있다. 즉, 식 (15)와 식 (16)을 같게 두고 양변에서 공통인자를 제거하면 다음을 얻는다.

$\alpha^2 \theta^4 = A^2(1-\alpha)^2 \theta^2$. 양변에서 제곱을 떼고 α 에 대해 풀면 식 (18)을 얻는다.

작은 경우에는 상류지역에서 상당한 정도로 취수량을 줄여 주지 않고서는 하류 지역이 그 혜택을 보지 못한다. 따라서 갈수기에도 하류지역에서의 취수량을 상당한 수준으로 유지시키기 위해서는 상류지역의 물 사용을 억제할 강력한 유인(incentive)이 존재해야 한다. 이와 같은 이유로 외부효과가 작은 경우에는 상류지역에 제공하는 보상의 비율이 높아야 한다는 것이다. 그러나 높은 보상 비율은 하류지역의 저항을 불러일으킬 가능성이 있다. 왜냐하면, 하류지역의 주민은 물 확보의 안정만이 아니라 보상 후의 소득(이윤)에도 관심이 있을 것이기 때문이다. 따라서 외부효과가 그리 크지 않을 경우, 하류지역의 입장에서 보면 물 사용의 안정성과 기대소득 간에 상충관계(trade-off)가 있다는 것을 발견할 수 있다. 물 분쟁을 해결하려는 중앙정부의 입장에서 본다면 하류지역 주민들의 반발을 일으키지 않으면서 식 (17)에 나타난 정책목표를 달성하기 위해서는 θ 가 큰(즉, 상류의 물 사용이 하류의 취수비용에 크게 영향을 미치는 강) 것을 선택하여 보상 비율 α 를 작게 설정하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 그와 같이 하는 경우에는 강의 하류지역에서의 취수량의 분산을 줄여 분쟁이 발생하는 것을 방지할 수 있으며, 두 지역 모두 소득(하류지역의 경우에는 보상후의 소득)도 증가시킬 수 있다. 식 (18)은 다른 조건이 일정할 때, 물의 생산성(A)이 높아질수록 보상비율을 높여야 한다는 당연한 결과를 말해 주고 있다.

2. 생산과 소득에 미치는 효과

이제 α 가 일정 수준으로 주어졌을 때, 두 지역의 생산량과 소득(즉, 보상이 후의 이윤)은 어떻게 되는지 살펴보기로 하자. 먼저 두 지역의 생산량을 살펴보기로 한다. 지역 1과 지역 2의 생산량의 변화는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial y_1}{\partial \alpha} = A(1 - q_1^*) \frac{\partial q_1^*}{\partial \alpha} < 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial y_2}{\partial \alpha} = A(1 - q_2^*) \frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha} \quad (20)$$

$1 - q_i > 0$ ($i=1, 2$)이므로 위 두 식의 부호는 $\partial q_i^*/\partial \alpha$ 의 부호에 의존한다. 따라서 식 (20)의 부호는 (14)의 조건과 마찬가지로 $\theta - A(1 - \alpha)$ 의 부호에 의해 결정된다. 이제 식 (19)와 식 (20)의 의미를 해석해 보자. 식 (19)는 보상제도의 도입은 상류지역의 생산량을 감소시킨다는 것을 보여 주고 있다. 이는 상류지역의 취수량의 감소 때문에 발생하는 당연한 결과이다. 식 (20)은 하류지역의 생산량은 증가할 수도, 감소할 수도 있음을 보여 주고 있다. 보상제도의 도입으로 상류지역에서 물 사용을 자제하면 하류지역에서 취수의 한계비용이 감소하므로 물의 사용량이 늘어나 생산이 증가해야 할텐데 생산량이 감소할 수 있는 경우도 발생할 수 있게 된다. 그 이유는 식 (13)을 논의할 때 살펴본 바와 같이, θ 가 작은 경우에는 보상제도하에서는 하류의 물 투입량이 오히려 줄어들 가능성이 존재하기 때문이다. 상류지역에서 취수량을 줄인다 하더라도 그것이 하류지역의 (한계)취수비용을 크게 감소시키지는 못한다. 그런데도 하류지역은 생산량 중 α 의 비율을 상류지역에 보상해야 하므로 생산수준을 오히려 줄이는 것이 보상 이후의 이윤을 극대화할 수 있기 때문이다. 앞서서도 언급한 바와 같이 이와 같은 이유 때문에 θ 의 값이 작은 경우에는 두 지역이 물 분쟁 해결을 위한 보상제도를 합의하기가 어려워진다. 그렇다고 해서 중앙정부가 나서서 그와 같은 보상제도를 강제한다면 하류지역의 저항에 직면할 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

이제 두 지역의 소득을 살펴보기로 하자. 보상제도가 도입되면 상류에 있는 지역 1의 소득이 증가할 것은 확실하다. 문제는 하류에 있는 지역 2가 상류에 보상을 하고 나서도 보상 전에 비해 소득이 증가할 수 있겠는가 하는 점이다. 그것이 가능해야 두 지역은 수자원의 효율적 배분을 위해 자발적인 보상제도를 합의할 수 있기 때문이다. 또한 중앙정부가 지역적 보상제도를 도입하려 하더라도 그 제도하에서 하류지역의 소득이 증가해야만 하류지역의 동의를 구할 수

있기 때문이다. 보상제도의 도입이 하류지역의 소득을 어떻게 변화시키는지 $\alpha=0$ 에서 평가한 식 (21)의 부호로 알 수 있다. 만약 그 부호가 양(+)이면 보상 후 하류지역의 소득은 보상제도가 없을 때보다 증가한 것으로 판단할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_2}{\partial \alpha} &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \{ (1-\alpha)y_2 - C_2 \} \\ &= -y_2 - \theta q_2^* \left\{ \frac{\partial q_1^*}{\partial \alpha} \right\} \end{aligned} \quad (21)$$

식 (11)에서 본 바와 같이 $\partial q_1^* / \partial \alpha < 0$ 이므로 식 (21)이 양(+)이 되기 위해서는 θ 가 충분히 커야 한다. 만약 θ 가 충분히 커서 식 (21)이 양(+)인 상황에서는 하류지역의 생산량의 일부를 상류지역에 보상하는 보상제도의 도입은 상·하류 양 지역의 소득을 모두 증가시킬 수 있다.

V. 요약 및 정책적 시사점

우리는 지금까지 강 상류지역과 하류지역 간의 수자원의 효율적 배분을 위한 수단으로 상류지역에 대한 하류지역의 보상이 가능한가, 가능하다면 그 조건은 어떠한가에 관해 논의하였다. 여기서 다른 보상의 형태는 하류지역의 생산량의 일정 비율을 상류지역에 지급하는 것이었다. 우리의 모형은 그러한 보상이 상류지역이 수자원을 절약하도록 하는 인센티브를 제공함으로써 하류지역이 좀더 안정적으로 수자원을 확보할 수 있도록 해 준다는 것을 확인해 주었다. 그러나 우리의 모형은 이와 같은 보상제도와 그로 인한 상류지역의 수자원 절약이 하류지역의 생산과 보상 이후의 소득을 항상 증대시키지는 못한다는 결과를 보여 주었다. 즉, 일정한 조건이 성립하는 경우에만 보상제도가 하류지역에게 혜택을

줄 수 있다는 것이다. 일반적으로 상류지역의 취수가 하류지역의 취수비용에 영향을 미칠 수 있는 여지가 많은 경우, 다시 말해 상류에서의 취수가 상당한 외부효과를 가지는 경우에 한해서 보상제도가 하류지역의 안정적 수자원 확보와 더불어 생산과 소득의 증대에도 도움을 줄 수 있다는 결과를 도출하였다. 이와 같은 결과는 외부효과가 충분히 크지 않은 수계(水系)에서 수자원의 배분을 위한 보상제도는 합의되기 어렵고, 중앙정부가 이를 강제적으로 도입하려고 하면 하류지역의 저항을 초래할 수 있다는 것을 함축하고 있다.

본 연구에서는 또한 중앙정부의 정책목표가 지역간 안정적 물 공급에 있다면 어느 정도의 보상률이 적당한지에 대해서도 분석이 이루어졌다. 분석결과 상류지역의 취수가 높은 외부효과를 가질수록 보상률은 낮게 잡는 것이 바람직하다는 결론을 도출할 수 있었다. 따라서 강의 상·하류 지역간에 벌어지는 분쟁을 해결하기 위해서는 먼저 상류지역 취수의 외부효과가 큰 지역부터 선정하여 보상비율이 아주 낮게 설정된 보상제도를 도입하는 것이 바람직하다는 결론에 도달할 수 있었다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. Easter, William and Hearne, Robert, "Water Market and Decentralized Water Resources Management," *Staff Paper Series, Department of Agricultural and Applied Economics, University of Minnesota*, 1994, pp. 94~24.
2. Frisvold, George and Schimmelpfennig, "Potential for Sustainability and Self-Enforcement of Trans-Boundary Water Agreements," *Conflict and Cooperation on Trans-Boundary Water Resources*, Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 27~39.
3. Netanyahu, Sinaia and Just, Richard and Horowitz, John, "Bargaining Over Shared Aquifers: The Case of Israel and the Palestinians," *Conflict and Cooperation on Trans-Boundary Water Resources*, Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 41~60.

유수자원(流水資源)의 지역간 배분과 보상

4. Neto, Frederico, "Water Privatization and Regulation in England and France: A Tale of Two Models," *National Resources Forum*, Vol. 22, No. 2, 1998, pp. 107~117.
5. Spulber, Nicolas and Sabbaghi, Asghar, *Economics of Water Resources: From Regulation to Privatization*, Kluwer Academic Publishers, 1998.

ABSTRACT

Allocation of Flowing Water between Upstream and
Downstream Regions

Dong-Geun Han : Chongwon Kim

High population and economic growth leads to ever increasing demand for water resources, prompting many regional conflicts for the water. With the observation, this paper examines the allocation problem of flowing water between upstream and downstream regions. We offer a two-region model in which the downstream region pays a portion of product to the upstream region in order to induce the upstream region to share the water.

Our model shows that the "side-payment" does not always work, because the *ex post* income of the downstream region could be lower than the income without the side-payment. This happens when the externality the upstream region imposes on the downstream region is small. The paper derives the condition under which the incentive mechanism like side-payment is likely to fail (or work). The model also shows that the higher the degree of externality is, the less amount of side-payment should be. The results of the paper suggest that the incentive scheme can help the regional conflicts be solved if the externality effect generated by the water use of upstream region is big enough, which is in fact the case where the conflict is severe.