

광역상수도 요금결정에 대한 게임이론적 접근

Game Theory Approach for Pricing of Bulk Water Supply System

김종원 국토연구원 녹색국토·도시연구본부 선임연구위원(제1저자)
Kim Chongwon Senior Research Fellow, Green Territory &
Urban Research Division, Korea Research Institute
for Human Settlements(Primary Author)
(cwkim@krihs.re.kr)

한동근 영남대학교 경제금융학부 교수(교신저자)
Han Donggeun Professor, School of Economics and Finance,
Yeungnam Univ.(Corresponding Author)
(dghan@ynu.ac.kr)

목 차

I. 문제의 제기

II. 게임의 구조와 가정

1. 게임의 구조
2. 가정과 기호

III. Nash게임과 해

1. 지자체의 반응함수
2. 한국수자원공사의 반응함수
3. Nash균형과 지자체와 한국수자원공사 간의
협력 필요성

IV. 확장: 순차게임과 해

1. 지자체의 광역상수도 구입량과 자체생산량의 결정
2. 한국수자원공사의 광역상수도 판매가격 P 결정
3. 지자체의 자체 생산설비 규모 결정
4. 그래프에 의한 순차게임 해의 성격

V. 정책적 시사점

I. 문제의 제기

다수의 지방자치단체들이 한국수자원공사로부터 광역상수도를 공급받는 대신, 지방하천의 개발 혹은 댐 원수를 자체 정수하여 공급하고자 하는 유인이 점점 커지고 있다. 지방자치단체의 이러한 움직임의 배후에는 자체 행정조직의 확대라는 정치적인 논리 이외에 한국수자원공사가 부과하는 광역상수도 가격이 너무 비싸다는 불만도 자리 잡고 있다.¹⁾

서울, 인천, 경기 등 규모가 큰 지방자치단체가 한국수자원공사로부터의 광역상수도 구입량을 줄이는 대신, 자체 생산량을 늘림에 따라 한국수자원공사가 공급하는 광역상수도 가격은 총괄원가주의 및 전국동일요금이라는 현재의 요금 구조하에서는 매년 요금인상 압력을 받을 수밖에 없다.

서울시와 같은 대규모 수요처가 빠져 나감으로 인하여 m³당 광역상수도 공급단가가 광역상수도를 수수하는 나머지 지자체에게 요금인상이라는 형태로 전가되기 때문이다. 특히, 자체적으로 상수도를 공급하기 어려운 지리적 여건에 처한 지자체에 부담이 가중될 수밖에 없는 구조를 갖고 있기 때문이다.²⁾

이러한 상황은 사회적 관점에서 보면 지자체 간의 형평성 문제가 더 부각될 수 있고, 한국수자원공사 입장에서도 물값의 인상이 수요의 감소에 기인한다는 것은 매우 부담스러운 상황이다. 물론 이러한 현상이 관련 정부부처의 문제해결 능력부족 또는 부처이기주의에 기인한 면이 크고, 동시에 서울시와 같은 대규모 수요처의 모럴 해저드(Moral Hazard)에 기인한 면이 크다고 할 수 있다. 이는

광역상수도와 지방상수도의 과잉투자를 초래하여 결국에는 사회 전체적으로 비효율을 증가시킨다는 것이다. 물론, 자치단체가 자치상수원을 확보함으로써 인하여 한국수자원공사와 선의의 경쟁을 유도하여 한국수자원공사의 독점적인 지위의 물값 결정을 견제하는 긍정적인 측면도 있다. 사회적 낭비를 막기 위해서 한국수자원공사는 현재의 요금체계에서 가격을 합리적으로 조정할 필요가 있으며, 지자체는 중복적이고 낭비적인 자체설비의 확대를 피할 수 있는 방안에 대하여 고민해야 할 것이다.

이 연구는 이러한 관점에서 지자체가 자체 생산 시설에 투자하는 행위와 한국수자원공사의 물값 설정이 서로 깊은 관련성을 가지고 있다고 판단하여 게임이론적 틀을 이용하여 양자의 행태를 분석하고자 한다. 이를 위하여 게임이론적 접근을 이용한 분석을 통해 지자체와 한국수자원공사가 서로 협조적이지 않은 상태에서는 사회적 낭비가 초래될 수 있다는 점을 이론적으로 살펴본다. 다음으로 이러한 사회적 비효율을 개선하기 위한 협조의 방식 및 정책에 대한 시사점을 게임이론을 통하여 살펴보고자 한다.

II. 게임의 구조와 가정

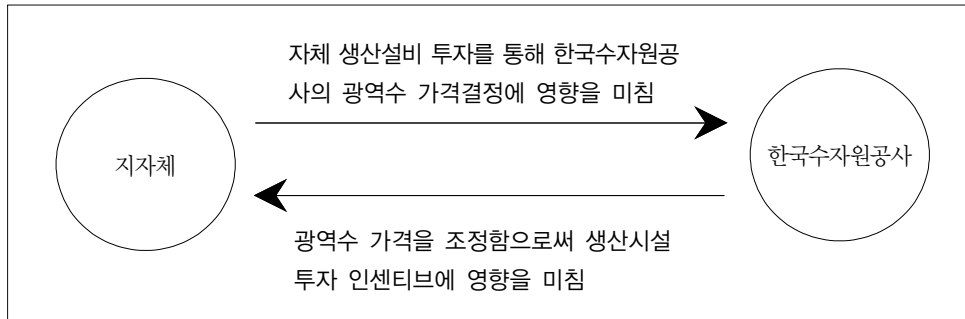
1. 게임의 구조

게임의 경기자(player)는 지자체와 한국수자원공사인 양자게임(two-players' game)을 상정한다. 지자체가 주민에게 공급하는 수돗물을 확보하는 데

1) 광역상수도의 평균 공급단가는 294원/m³인데 반하여 지자체가 직접 취수시설을 설치하여 공급하는 데는 개략적으로 140원/m³ 정도 소요되는 것으로 추정됨.

2) 광역상수도 요금은 현재 총괄원가주의를 채택하고 있음. 개략적으로 설명하면 총비용을 물 생산량으로 나누어 단가를 산정하는 구조임. 그래서 서울시와 같은 대규모 수요자가 광역상수도의 사용량을 줄이는 것은 단가의 상승을 가져오고 이는 광역상수도를 이용하는 타 지자체의 요금상승으로 이어진다는 것임.

그림 1 _ 지자체와 한국수자원공사의 상호 영향



는 두 가지 방법이 있다고 하자. 하나는 한국수자원공사로부터 광역상수도를 구입하는 것이고, 다른 하나는 자체 생산시설로 직접 생산하여 공급하는 것이다. 자체생산을 위해서 지자체는 먼저 고정비용을 초래하는 시설투자를 해야 한다. 이후 그 시설을 이용하여 수돗물을 생산한다. 물론 시설투자의 규모가 클수록 수돗물 생산의 한계비용은 낮아진다. 한국수자원공사는 지자체에 광역상수도망을 통하여 생활용수를 판매하는데, 이 광역상수도의 물값이 높을수록 지자체가 자체 생산할 인센티브가 높아진다. 즉 한국수자원공사는 생활용수의 판매가격을 조정함으로써 지자체의 자체 설비투자에 영향을 미칠 수 있다. 한편 지자체도 자체 생산설비에 대한 투자를 통해 한국수자원공사에 대한 의존도를 줄일 수 있기 때문에 한국수자원공사의 광역상수도 물값 결정에 영향을 미칠 수 있다. 지방자치단체와 한국수자원공사가 서로 영향을 미치는 메커니즘은 <그림 1>과 같이 요약할 수 있다.

2. 가정과 기호

본 연구에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

- S : 지자체의 자체 생산능력을 나타내는 설비 규모(지자체의 전략통제 변수)
- Q : 지자체의 물 수요량(외생변수)

- P : 한국수자원공사가 공급하는 광역상수도의 단위당 가격(한국수자원공사의 전략통제 변수)
- X : 지자체가 한국수자원공사로부터 구입하는 수돗물량(내생변수)
- Y : 지자체가 자체적으로 생산하는 수돗물량(내생변수)
- Q = X + Y

지자체가 S만큼의 설비를 갖추고 있을 때 Y만큼의 수돗물을 자체적으로 생산하는 데 들어가는 가변비용(variable cost)은 다음과 같이 가정한다.

$$\text{지자체의 수돗물 생산 가변비용} = \left(\frac{t}{S}\right) Y^2 \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

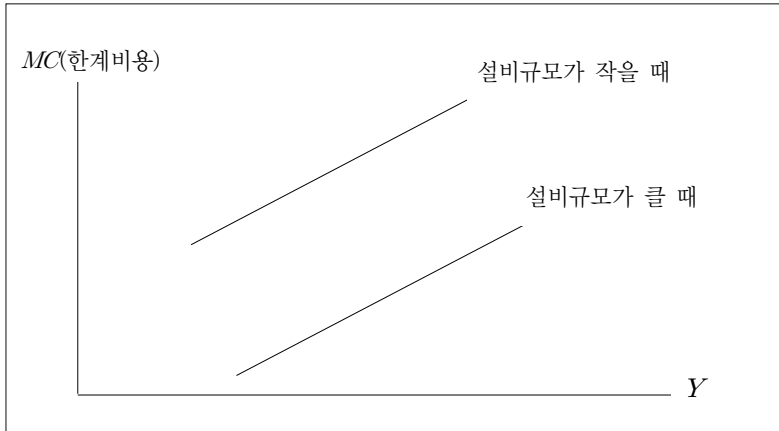
(단, t는 양의 상수)

이때 자체 수돗물 생산의 한계비용은 $2\left(\frac{t}{S}\right)Y$ 인데, 설비규모가 커질수록 한계비용이 감소한다는 것을 알 수 있다.

한국수자원공사도 광역상수도 생산에 비용이 들어가는 바, 한국수자원공사의 비용함수는 다음과 같은 일반식으로 가정한다.

$$\begin{aligned} \text{한국수자원공사의 수돗물 생산 비용} &= g(X) \\ \text{한국수자원공사의 수돗물 생산의 한계비용} &= \frac{\partial g(X)}{\partial X} > 0 \end{aligned} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

그림 2_설비규모에 따른 지자체의 수돗물 생산의 한계비용



상기의 가정하에 우리는 두 가지 게임을 고려하기로 한다. 하나는 전통적인 Nash게임으로, 두 경기자가 동시에 자신의 전략통제변수를 결정하는 것이다. 지자체의 전략통제변수는 자체생산 설비 규모 S 이며, 한국수자원공사의 전략통제변수는 지자체에 부과하는 수돗물 판매가격 P 이다. Nash게임에서 두 경기자 모두 상대방의 전략통제변수는 주어진 것으로 간주한다.

우리가 고려할 두 번째 게임은 순차게임(sequential game)이다. 이 게임은 지방자치단체가 먼저 설비규모 S 를 결정하고 이후 한국수자원공사가 물값 P 를 결정하는 순서를 밟는다.

III. Nash게임과 해

1. 지자체의 반응함수

지자체는 한국수자원공사의 광역상수도 물값 P 가 주어졌다고 보고 자신의 최적 설비규모 S 를 결정하려고 한다. 지자체의 목적함수는 다음과 같이 최소의 비용으로 지자체의 물 수요 Q 를 충족하는 것이다.

$$C = PX + \left(\frac{t}{S}\right)Y^2 + rS^2 \quad \text{s.t.} \quad Q = X + Y \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

여기서 PX 는 한국수자원공사에 지불하는 광역상수도의 총 비용이고, $\left(\frac{t}{S}\right)Y^2$ 는 자체 생산량 Y 에 대한 가변비용, rS^2 은 설비규모 S 에 대한 기회비용이다(r 은 양의 상수). <식 3>은 지자체가 자체 생산 설비 S 를 높일 때 두 가지 효과가 발생한다는 것을 보여주고 있다. 하나는 자체생산에 대한 한계비용을 낮추는 것이고, 다

른 하나는 투자비용에 대한 기회비용이 증가한다는 것이다.

<식 3>의 비용함수를 최소화하는 설비규모 S 와 자체 생산량 Y 을 구하기 위해 최소화의 일차조건(first order condition)을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial S} = -\left(\frac{t}{S^2}\right)Y^2 + 2rS = 0 \quad \langle \text{식 4} \rangle$$

$$\frac{\partial C}{\partial Y} = -P + 2\left(\frac{t}{S}\right)Y = 0 \quad \langle \text{식 5} \rangle$$

<식 4>와 <식 5>를 연립하여 풀면 다음과 같은 식을 얻는다.

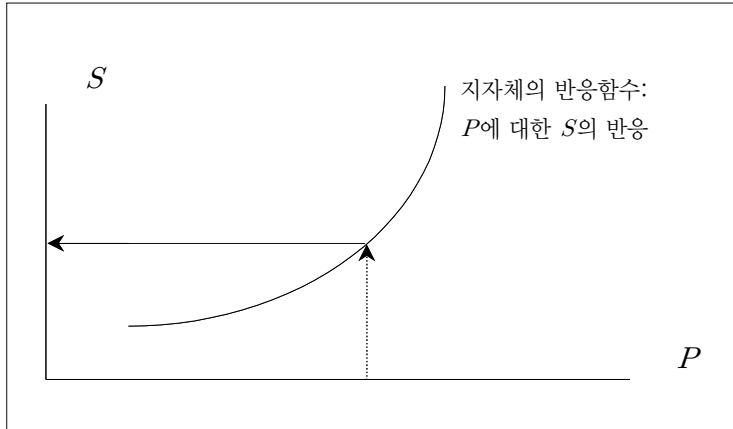
$$S = \frac{P^2}{8rt} \quad \langle \text{식 6} \rangle$$

$$Y = \frac{P^3}{16rt^2} \quad \langle \text{식 7} \rangle$$

$$X = Q - \frac{P^3}{16rt^2} \quad \langle \text{식 8} \rangle$$

<식 6>은 한국수자원공사의 물값 P 에 대한 지방자치단체의 반응함수다. 즉 지자체는 한국수자원공사가 물값을 높게 설정할수록 생산설비규모 S 를 확대하고 자체 생산량 Y 을 늘리고자 한다. <식

그림 3_ 지자체의 반응함수



8)에서 볼 수 있듯이 지자체는 광역상수도 가격이 높을수록 한국수자원공사로부터의 광역정수 X 구입을 줄이려는 유인이 작용한다. 또한 설비투자에 대한 기회비용이 높을수록(즉 r 이 클수록) 자체설비규모를 줄이려 할 것이다.

2. 한국수자원공사의 반응함수

한국수자원공사는 지자체의 설비규모 S 가 주어졌다고 간주하고 다음의 이윤함수를 극대화하기 위한 P 를 선택한다.

$$\Pi = PX - g(X) \quad \langle \text{식 9} \rangle$$

여기서 X 는 Q, S, P 의 함수이다.

$\langle \text{식 9} \rangle$ 의 이윤극대화 일차조건은 다음과 같다.

$$X(Q, S, P) + \left(P - \frac{\partial g}{\partial X} \right) \left(\frac{\partial X(Q, S, P)}{\partial P} \right) = 0 \quad \langle \text{식 10} \rangle$$

한국수자원공사는 $\langle \text{식 10} \rangle$ 을 만족하는 P 를 선

택할 것인데, $\langle \text{식 10} \rangle$ 이 일반식으로 표현되어 있으므로 명시적으로 P 에 대한 해를 구할 수 없다. 그러나 비교정태분석(comparative static analysis)을 통해 $\langle \text{식 10} \rangle$ 으로부터 한국수자원공사의 반응함수를 도출할 수 있다.

$\langle \text{식 10} \rangle$ 을 전미분하여 dP/dS 항으로 정리하면 다음과 같다.

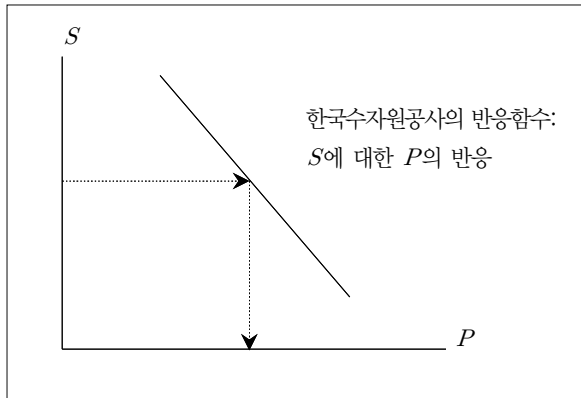
$$\frac{dP}{dS} = (-) \frac{\frac{\partial X}{\partial S} + \left(P - \frac{\partial g}{\partial X} \right) \left(\frac{\partial^2 X}{\partial S \partial P} \right)}{2 \left(\frac{\partial X}{\partial P} \right) + \left(P - \frac{\partial g}{\partial X} \right) \left(\frac{\partial^2 X}{\partial P^2} \right)} \langle \text{식 11} \rangle$$

(단, $\frac{\partial^2 X}{\partial S \partial P} < 0$ 가정)³⁾

$\langle \text{식 11} \rangle$ 이 한국수자원공사의 반응함수인데, 지자체의 S 선택에 어떻게 대응하여 P 를 설정할 것인가를 보여준다. 반응함수가 (-)의 기울기를 가지고 있으므로, 지자체의 자체 생산설비규모가 커질수록 한국수자원공사는 낮은 가격을 부과한다는 것을 의미한다. 이러한 행태는 두 가지로 해석할 수 있다. 첫째, 지자체의 설비규모가 커지면 한국수자원공사가 생산한 광역상수도에 대한 수요가 감소할 것이므로 이에 대한 대응으로 낮은 가격을 설정한다. 둘째, 지자체가 더 이상 설비규모를 확대하지 않도록 하기 위해 낮은 가격을 매긴다. 어느 것이든 한국수자원공사로서는 이러한 선택은 전략적 선택이 된다. $\langle \text{그림 4} \rangle$ 는 한국수자원공사의 반응함수를 나타내고 있다.

3) $\langle \text{식 11} \rangle$ 에서 가정한 $\frac{\partial^2 X}{\partial S \partial P} < 0$ 의 의미는 다음과 같음. 한국수자원공사가 요구하는 물값(P)이 한 단위 증가할 때마다 지자체로부터의 수요(X)는 감소한다. 즉 $\partial X / \partial P < 0$. 그런데 물 수요를 줄임으로써 물값 상승에 대응하고자 하는 이 같은 지자체의 행동은 자체설비(S)가 커질수록 더욱 강화될 것임. $\frac{\partial^2 X}{\partial S \partial P} < 0$ 의 가정은 이러한 상황을 나타냄.

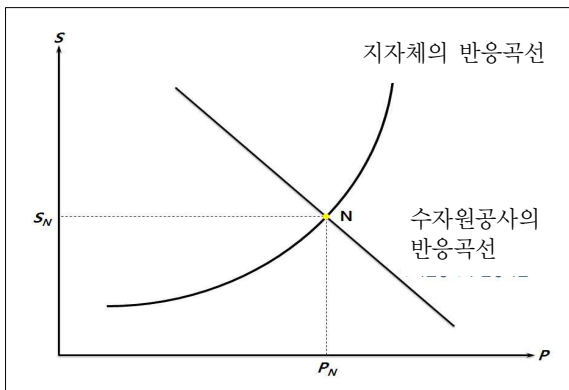
그림 4_ 한국수자원공사의 반응함수



3. Nash균형과 지자체와 한국수자원공사 간의 협력 필요성

〈식 6〉과 〈식 11〉의 두 반응함수를 연립방정식으로 풀어 S 와 P 에 대해 풀면 Nash균형 해를 구할 수 있다. 한국수자원공사의 반응함수가 명시적이지 않으므로 우리는 그래프를 통해 정성적 분석에 의존하고자 한다. 두 반응함수 그래프를 겹쳐 그려 서로 만나는 좌표가 비협조적 Nash균형을 나타내는데, 〈그림 5〉에서는 N점으로 표시되어 있다. 곧 지자체는 S_N 의 자체생산 설비규모를 선택하고, 한

그림 5_ Nash균형에서의 지자체 생산설비규모와 광역상수도 물값



4) 구체적인 수리적 증명은 부록에 첨부하였음.

국수자원공사는 P_N 수준에서 광역수 가격을 결정한다.

이제 비협조적 Nash균형에서는 협조적인 상황에 비해 지자체의 생산설비규모가 과다하며 동시에 한국수자원공사의 광역상수도 가격 역시 과도하게 높다는 것을 보이고자 한다.

논의의 전개를 위해서 먼저 지자체와 한국수자원공사의 등효용곡선(iso-utility curve)을 도출할 필요가 있다. 지자체와 한국수자원공사의 등효용곡선은 〈그림 6〉에 나타나 있다. P 가 일정하게 주어질 때 지자체는 자신의 반응곡선에 대응하는 S 를 선택함으로써 효용을 최대화(혹은 비용을 최소화)할 수 있다. 반응곡선 위의 점보다 더 높거나 낮은 S 는 낮은 효용을 초래한다. 따라서 등효용곡선은 그림에서와 같이 휘어진 모양을 띤다.⁴⁾ 또한

그림 6_ 지자체와 한국수자원공사의 등효용곡선

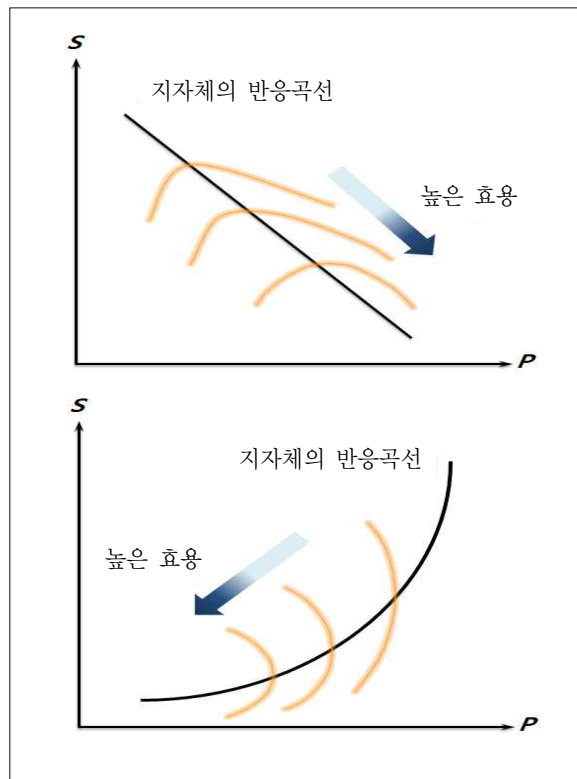
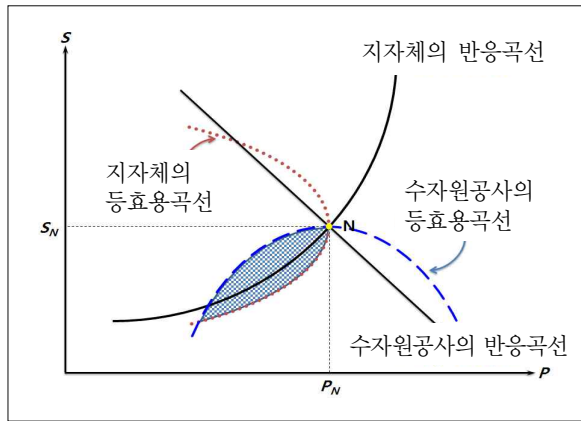


그림 7_ 비협조적 Nash균형 결과와 협력 시 파레토 개선의 가능성



다른 조건이 일정할 때 P 가 낮을수록 더 높은 효용(혹은 더 낮은 비용초래)을 얻으므로 그림에서와 같이 왼쪽에 있을수록 높은 효용을 나타낸다. 마찬가지로 논리로 한국수자원공사의 경우에는 아래쪽에 위치한 곡선일수록 더 높은 효용(혹은 이윤)을 나타낸다.

이제 Nash균형점을 지나서 지자체와 한국수자원공사의 등효용곡선을 그려보면 <그림 7>에서와 같다. 그런데 두 경기자의 등효용곡선이 만나 음영으로 표시된 면적이 생기는 것을 확인할 수 있다. 이 음영 영역이 게임이론에서 흔히 일컫는 코어(Core)다. 코어의 내부에 있는 어떤 점도 경기자 모두에게 Nash균형보다 더 높은 효용을 제공한다. 즉 Nash균형보다 파레토우월(Pareto-superior)한 상태가 존재한다는 것이다. 그럼에도 불구하고 비협조적 Nash게임에서 이런 좌표의 실현이 불가능한 것은 '실패'의 부족 때문이다.

지자체와 한국수자원공사가 협력적 게임을 한다면, 코어 내부의 한 점을 선택할 수 있다. 그런 좌표는 Nash균형점보다 광역정수 가격 P 은 낮고 지자체

체의 자체 설비규모는 작다는 것을 알 수 있다. 즉 지자체와 한국수자원공사의 협력이 없다면 지자체는 필요 이상으로 자체 설비에 투자하려는 유인을 갖게 되어 사회적 낭비가 발생한다. 비협조적 게임 하에서는 한국수자원공사도 광역상수도에 대해 높은 가격을 부과함으로써 결과적으로 이윤이 줄어들게 되는 결과가 초래된다. 반면에 협력적 게임에서는 한국수자원공사가 다소 낮은 물값을 부과하면서 지자체의 자체 생산설비를 늘리려는 유인을 낮추고 더 큰 수요를 확보할 수 있다. 지자체도 높은 기회비용이 초래되는 자체 생산설비를 줄일 수 있으면서 비교적 싼 비용으로 광역정수를 확보할 수 있어 비용절감을 기대할 수 있다.

IV. 확장: 순차게임과 해

상기의 Nash게임을 순차게임(sequential game)으로 확장해 보기로 한다. 순차게임에서 경기자의 행동순서는 다음과 같이 상정한다.⁵⁾

- 제1단계: 지자체가 자체 생산시설 규모 S 를 결정한다.
- 제2단계: 한국수자원공사가 광역수 판매가격 P 를 결정한다.
- 제3단계: 지자체가 광역수 구입량 X 와 자체 생산량 Y 를 결정한다.

이러한 순차게임의 해(solution)를 구하기 위해서는 역진귀납(backward induction)기법을 사용해야 하므로, 먼저 제3단계에서 시작하여 제2단계, 제1단계의 순서로 경기자의 행동을 분석하기로 한다.

5) 현재 우리나라의 상수도 공급은 지자체와 한국수자원공사에 의해서 대부분 이루어지지만 지방상수도과 광역상수도 중에서 어느 것을 선택하느냐는 지자체가 결정권을 가지고 있으므로 지자체가 선도자로 가정하는 것이 합리적일 것임.

1. 지자체의 광역상수도 구입량과 자체생산량의 결정

지자체는 Q, P, S 가 주어진 것으로 간주하여 다음과 같은 비용함수를 최소화하는 X 와 Y 를 결정하려 할 것이다.

$$C = PX + \left(\frac{t}{S}\right)Y^2 \quad \text{s.t.} \quad Q = X + Y \quad \langle \text{식 12} \rangle$$

X 나 Y 중 하나가 결정되면 다른 하나는 제약조건에 의해 자동적으로 결정되므로 <식 12>에서 X 대신 $(Q - Y)$ 를 대입하여 최소화문제의 일차조건을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial Y} = -P + 2\left(\frac{t}{S}\right)Y = 0 \quad \langle \text{식 13} \rangle$$

<식 13>을 만족하는 Y 를 구하면 다음과 같다.

$$Y = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{S}{t}\right)P \quad \langle \text{식 14} \rangle$$

<식 14>는 Q, P, S 가 주어질 때 지자체가 어떻게 행동할 것인지를 보여주고 있다. 즉, 한국수자원공사의 물값이 비쌀수록, 자체생산 설비규모가 클수록 자체 생산량이 커진다. 이때 한국수자원공사로부터 구입하고자 하는 광역상수도의 양은 다음과 같다.

$$X = Q - Y = Q - \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{S}{t}\right)P \quad \langle \text{식 15} \rangle$$

곧 한국수자원공사의 물값이 쌀수록, 자체 생산 규모가 작을수록, 주민의 물수요가 클수록 한국수자원공사로부터 구입하는 광역상수도의 양은 많아진다.

2. 한국수자원공사의 광역상수도 판매가격 P 결정

이 단계에서는 한국수자원공사에 Q, S 가 주어졌다고 간주하고 자신의 전략통제변수인 P 를 결정한다. 이때 X 는 다음 단계에서 <식 15>로 결정될 것이라는 것을 계산에 넣는다. <식 15>에 나타나 있듯이 지자체의 광역상수도 구입량 X 는 Q, P, S 의 함수다. 따라서 한국수자원공사는 다음과 같은 이윤함수를 최대화하는 P 값을 설정할 것이다.

$$\Pi = P \cdot X(Q, S, P) - g(X(Q, S, P)) \quad \langle \text{식 16} \rangle$$

<식 16>의 최대화 일차조건은 다음과 같다.

$$X(Q, S, P) + \left(P - \frac{\partial g}{\partial X}\right)\left(\frac{\partial X(Q, S, P)}{\partial P}\right) = 0 \quad \langle \text{식 17} \rangle$$

<식 11>의 도출과 동일한 방법으로 <식 17>을 전미분하여 비교정태분석(comparative static analysis)을 하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$\frac{dP}{dS} < 0, \quad \frac{dP}{dQ} > 0 \quad \langle \text{식 18} \rangle$$

즉 지자체의 자체 생산설비 규모가 클수록 광역상수도의 가격은 낮게 설정하고, 지자체의 물 수요가 클수록 가격을 높게 설정하게 된다는 의미다.

3. 지자체의 자체 생산설비 규모 결정

지자체는 제1단계에서 자체 생산설비 규모를 결정할 때 제2단계에서 한국수자원공사가 어떤 식으로 광역상수도의 가격을 설정하는지를 계산에 넣을 것이다. 곧 한국수자원공사는 광역상수도 가격을 <식 17>에 만족하도록 설정한다는 것을 지자체는 알고 있다. 그런데 <식 17>을 만족하는 가격 P 는 S 와 Q 의 함수다. 이를 고려한 지자체는 다음과 같은

장기비용(LC)을 최소화하도록 S를 결정한다. 여기서 ‘장기’라는 것은 자체 생산설비의 규모까지 가변비용(variable cost)에 포함된다는 의미다.

$$LC = P(S, Q) \cdot X(S, Q) + \left(\frac{t}{S}\right) Y^2 + rS^2$$

st. $Q = X + Y$ 〈식 19〉

지자체는 〈식 19〉를 최소화하기 위해 다음과 같은 일차조건을 만족하는 설비규모 S를 결정한다.

$$\frac{\partial LC}{\partial S} = X \left(\frac{\partial P}{\partial S} \right) + P \left(\frac{\partial X}{\partial S} \right) + 2Y \left(\frac{t}{S} \right) \left(\frac{\partial Y}{\partial S} \right) + 2rS = 0$$

〈식 20〉

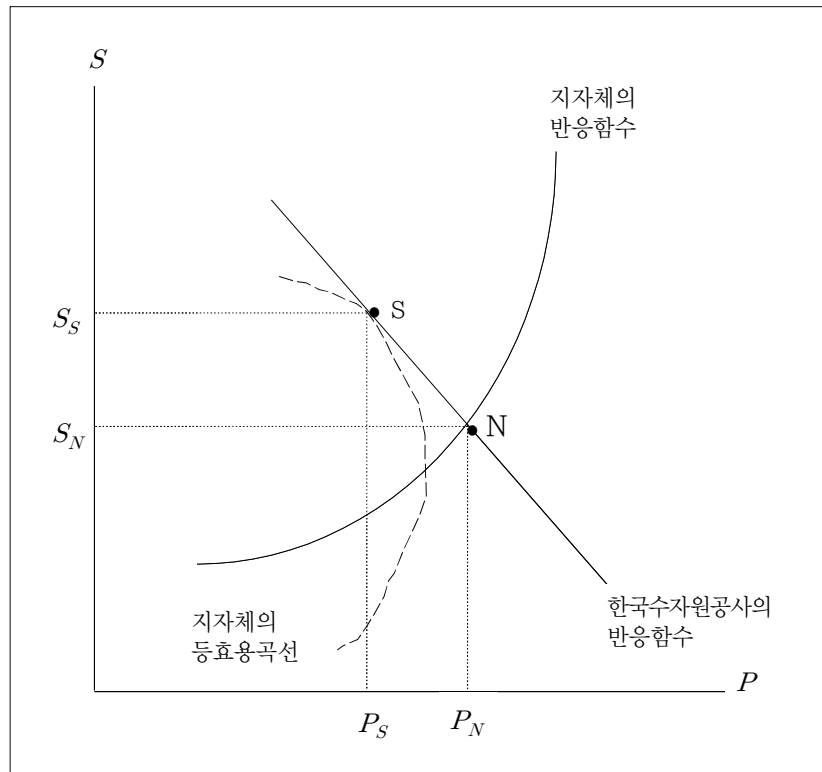
4. 그래프에 의한 순차게임 해의 성격

〈식 20〉을 만족하는 생산설비 규모를 그래프로 나타내면 〈그림 8〉과 같다. 우리의 순차게임에서는 지자체가 선행자(the first mover)가 되는 선도자(leader)다. 전통적인 게임이론에서 말하는 스타켈버그(Stackelberg) 게임의 선도자 역할을 지자체가 하고 있다. 지자체가 다음 단계에서 한국수자원공사가 어떻게 행동할 것인지를 계산에 넣는다는 것은 한국수자원공사의 반응함수를 제약조건으로 간주한다는 의미다. 즉 지자체는 제1단계에서 S에 대해 어떠한 선택을 하더라도 제2단계에서 한국수자원공사는 S에 대응한 자신의 반응함수 위의 점(즉 P)을 선택할 것이라는 것을

알고 있다는 것이다. 지자체의 입장에서 볼 때 이것은 한국수자원공사의 반응함수를 떠난 점은 선택이 불가능하다는 것을 의미한다. 따라서 지자체에게는 한국수자원공사의 반응함수가 일종의 제약조건으로 작용한다.

그렇다면 지자체는 한국수자원공사의 반응함수(곧 자신의 제약조건) 위의 점 중에서 가장 높은 효용(곧 가장 낮은 비용)을 산출하는 점을 선택하려 할 것이다. 그 점이 바로 〈식 20〉을 만족하는 S에 해당하며, 그래프에서도 S점으로 표시되어 있다. 즉 무수히 많은 지자체의 등효용곡선 중에서 한국수자원공사의 반응함수 위에 있으면서 가장 높은 효용을 산출하는 점을 선택한다는 것이다. 그것은 등효용곡선이 한국수자원공사의 반응함수를 접하는 점이다. 즉 그래프에서 지자체는 S_S의 자체 생산설비 규모를 선택하는 것으로 나타나 있다. 제1단계에서 지자체가 S_S의 규모를 결정하면, 제2단

그림 8_ 지자체가 선도자일 때의 균형



계에서 한국수자원공사는 광역상수도 가격을 P_s 수준으로 결정한다. 그것이 자신의 반응함수 위에 있는 점이며, 또한 자신의 이윤을 최대화하는 선택이기 때문이다.

Nash게임에 비해 생산설비 규모는 크고 광역상수도 가격은 낮은 결과를 가져온다. 이는 지자체가 과도한 생산설비를 갖추려는 유인을 가지며, 이에 대한 한국수자원공사의 대응은 광역상수도 가격을 낮추는 것이다. 이러한 순차게임에서는 지자체가 과도한 수준으로 자체 생산설비를 갖춘다는 특징이 있다. 앞에서 논의한 바와 같이 만약 지자체와 한국수자원공사가 협조한다면 지자체가 생산설비에 대한 낭비적인 투자를 하지 않고도 Nash게임에 서보다 낮은 광역상수도 가격을 실현시킬 수 있으며, 이는 양자에게 윈-윈(win-win)의 결과를 가져올 수 있다는 것을 의미한다.

V. 정책적 시사점

본 연구의 가장 큰 의의는 게임이론을 이용하여 상수도 부문에 적용한 연구가 처음으로 시도되었다는 점이다. 게임이론을 적용한 연구가 국내외적으로 전무한 연유는 우리나라만이 가지는 독특한 물 공급 및 가격구조에 기인하고 있다.

이론적 모형을 통하여 분석한 결과가 보여주듯이 비협조적인 게임에서는 지자체가 자체 수도물 생산에 과잉투자를 하므로 사회적인 낭비와 비효율이 초래된다. 또한 지자체의 생산설비 규모의 결정과 한국수자원공사의 광역상수도 가격설정에서 두 기관이 협력한다면, 지자체와 한국수자원공사 모두에게 더 나은 결과가 있음에도 그것을 실현시켜내지 못하는 결과가 초래된다.

한국수자원공사는 원가를 절감할 수 있는 최대한의 노력(여기에는 장기적인 계약자에게는 할인

제도, 원가절감을 위한 시스템자동화, 감가상각비의 보다 현실적인 적용 등)을 하여야 하는 동시에 지자체도 이미 투자된 시설을 이용함으로써 국가적 재원의 낭비를 줄이려는 노력과 타 지자체(대부분 재정자립도가 낮은 지자체)에게 주는 요금인상요인을 최소화하는 데 공동의 노력이 필요하다는 것이다.

두 기관이 협조하면 지자체의 낭비적인 과대 시설을 회피할 수 있으며 비협조적인 경우보다 광역상수도의 가격을 낮출 수 있다. 그렇다고 해서 한국수자원공사의 수익성이 Nash게임에 비해 악화되는 것은 아니다. 협조적 상태에서 광역상수도 가격을 낮춤으로써 지자체가 자체적으로 정수시설을 확보하는 것을 막을 수 있고, 이를 통해 더 많은 수요를 창출할 수 있기 때문이다.

순차게임의 결과가 보여주듯이, 만약 지자체가 선도적 역할을 한다면 사회적으로 중복·과잉투자의 결과가 더 크게 발생할 가능성이 있으며, 이 경우 한국수자원공사의 수익성도 크게 낮아진다. 왜냐하면 광역상수도에 대한 수요가 크게 감소하기 때문이다.

본 연구의 모형이 시사하는 바는 중앙정부가 개입하여 비협조적인 Nash게임, 혹은 지자체가 선도가 되는 순차게임의 성격을 극복하고 지자체와 한국수자원공사가 협조하는 분위기를 만들 필요가 있다는 것이다. 협조적인 상황이 비협조적인 상황보다 양자에게 더 나은 결과를 가져오면서도 불구하고 협조적인 결과가 쉽게 발생하지 않는 것은 상호 신뢰성의 부족에 있기 때문이다. 즉 한국수자원공사는 낮은 공급가격을 설정하였음에도 지자체가 독자적인 생산설비를 확대하려 한다는 의구심이 있다. 또한 지자체의 입장에서 지금 독자적인 생산설비를 확보하지 않으면 향후 한국수자원공사의 광역상수도 가격 인상에 대응할 수 없다는 불안감

이 있다. 이러한 상황에서 두 기관 간의 신뢰와 협조적인 분위기를 이끌어 내려면 중앙정부의 개입이 필요한 실정이다. 예컨대 지자체 자체의 상수도 생산시설의 증설에 대한 제약을 가하는 한편, 한국수자원공사의 광역상수도 가격설정에 지자체의 의견을 수렴하도록 하는 제도적 장치를 마련할 수 있을 것이다.

향후에 여기서 이론적으로 제시한 모형을 실제의 생산함수, 비용함수를 추정하여, 실증적 모형을 통하여 분석한다면 좋은 연구의 주제가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김동엽. 2008. 지역별 차등요금제 도입의 선행조건 및 문제점: 댐용수를 중심으로. 물정책연구 6월호. 한국수자원공사. pp19-30.
- 김종원·김창현 외. 2009. 댐 및 광역상수도 물값 제도개선 연구. 경기 : 국토연구원.
- Bierman, H. Scott and Fernandez Luis. 1993. *Game Theory with Economic Applications*. Massachusetts : Addison-Wesley.
- Gibbons, Robert. 1992. *Game Theory for Applied Economists*. New Jersey : Princeton University Press.

- 논문 접수일: 2010. 1.20
- 심사 시작일: 2010. 1.22
- 심사 완료일: 2010. 3. 4

ABSTRACT

Game Theory Approach for Pricing of Bulk Water Supply System

Keywords: Game Theory, Non-cooperative Game, Nash Equilibrium, Sequential Game, Water Price, Multiple Water Works

This study examines strategic behaviors between local government and the Korea Water Resource Corporation(KWRC, hereafter) in making decisions about the investment on local government's own water-producing facilities, and in KWRC's setting price of the water that sells to the local government. Our theoretic model shows that in a non-cooperative game situation, social inefficiency could occur because the local government has incentives to invest too much on its own water-producing facilities.

The model also demonstrates that mutually cooperative actions between the two parties could lead to a lower price of water, and at the same time, could avoid the socially wasteful over-investment in water-producing facilities by the local government.

Moreover our extended model, a sequential game, shows that the social losses could worsen when local government takes the role of the first mover in the game.

The results of the study suggest that central government needs to step in to promote coordination between the interests of the local government and KWRC, in order to improve social efficiency.

광역상수도 요금결정에 대한 게임이론적 접근

주제어: 게임이론, 비협조적 게임, 내쉬균형, 순차게임, 물값, 광역상수도

우리나라의 지방상수도와 광역상수도에 게임이론을 적용하여 본 결과 다음과 같은 이론적 결과를 도출하였다. 이론적 모형을 통하여 분석한 결과로서 비협조적인 게임에서는 지자체가 자체 수돗물 생산에 과잉투자를 함으로써 사회적인 낭비와 비효율이 초래된다. 또한 지자체의 생산설비 규모의 결정과 한국수자원공사의 광역상수도 가격설정에서 두 기관이 협력한다면, 지자체와 한국수자원공사 모두에게 더 나은 결과가 있음에도 그것을 실현하지 못하는 결과가 초래된다는 것이다.

두 기관이 협조하는 협조적인 게임의 결과는 지자체의 낭비적인 과대 시설을 없앨 수 있으며 비협조적인 경우보다 광역상수도의 가격을 낮출 수 있다는 점을 보여주고 있다. 본 연구의 모형이 시사하는 바는 중앙정부가 개입하여 비협조적인 Nash게임, 혹은 지자체가 선도자가 되는 순차게임의 성격을 극복하고 지자체와 한국수자원공사가 협조하는 분위기를 만들 필요가 있다는 것이다. 이러한 상황에서 두 기관 간의 신뢰와 협조적인 분위기를 이끌어 내려면 중앙정부의 개입이 필요한 실정이다. 예컨대 지자체 자체적인 상수도 생산시설의 증설에 대한 제약을 가하는 한편, 한국수자원공사의 광역상수도 가격설정에 지자체의 의견을 수렴하도록 하는 제도적 장치를 마련할 수 있을 것이다.

[부록]

지자체의 등효곡선의 형태에 대한 수리적 증명

등이윤곡선은 정의상 이윤(혹은 비용)이 동일한 (S, P) 조합의 궤적을 의미하므로, <식 3>을 S 와 P 에 대해 전미분하고 그 값을 0으로 둬으로써 지자체 등이윤곡선의 기울기를 구할 수 있다. 즉 지자체 등이윤곡선의 기울기는 다음과 같다.

$$\frac{dS}{dP} = \frac{-X}{\left(\frac{-t}{S^2}\right)Y^2 + 2rS} = \frac{-X}{\left(\frac{\partial C}{\partial S}\right)} \quad \langle \text{식 a} \rangle$$

상기 <식 a>의 기울기를 관찰함으로써 등이윤곡선이 원점에 대해 convex하다는 것을 확인할 수 있다. <식 a>가 가질 수 있는 부호는 S 의 값에 따라 0, (+), (-) 세 가지 중 하나다.

(경우A): S 가 최적 값, 즉 비용함수의 최소화 1차 조건을 만족한다면, $\frac{\partial C}{\partial S} = 0$ 이므로 <식 a>는 ∞ 가 된다. 이는 지자체의 반응함수 위에선 등이윤선의 기울기가 수직이 된다는 것을 의미한다.

(경우B): S 가 최적 값보다 작다면 $\frac{\partial C}{\partial S}$ 는 (-)부호를 가지므로, 상기 <식 a>는 전체적으로 (+)부호가 된다. 즉 최적 S 보다 작은 점의 등이윤선상에서는 등이윤선의 기울기는 (+)이다.

(경우C): S 가 최적 값보다 크다면 $\frac{\partial C}{\partial S}$ 는 (+)부호를 가지므로, 상기 <식 a>는 전체적으로 (-)부호가 된다. 즉 최적 S 보다 큰 점의 등이윤선상에서는 등이윤선의 기울기는 (-)이다. <그림 10>에서 나타낸 등이윤선의 모양은 사실 바로 상기와 같은 기울기의 변화를 반영한 것이다.

이를 다음과 같이 확인할 수 있다.

<그림 6>의 지자체의 반응곡선을 지나가는 특정 등이윤선을 잡아, 주어진 P 에서 S 가 반응곡선위에 있다면(즉 최적 S 라면) 등이윤선의 기울기가 수직이고, S 가 반응곡선을 아래쪽으로 벗어나 있다면(즉 최적 S 보다 작다면) 등이윤선의 기울기가 (+)이며, S 가 반응곡선을 위쪽으로 벗어나 있다면(즉 최적 S 보다 크다면) 등이윤선이 기울기가 (-)라는 것을 확인할 수 있다.