

# Shapley Value를 이용한 안양천 유역 통합관리 계획에 따른 비용분담방안의 연구

송양훈<sup>1)\*</sup> · 유진채<sup>1)</sup> · 공기서<sup>1)</sup> · 김미옥<sup>1)</sup> · 안소은<sup>2)</sup>

A Study on Cost Division Scheme Using Shapley Value for Integrated  
Watershed Management Planning for Anyang-cheon, Korea

Yang-Hoon Song, Jin-Chae Yoo, Ki-Seo Kong, Mi-Ok Kim, and So-Eun An

1) 충북대학교 농업경제학과(Dept. of Agricultural Economics, Chungbuk University)

2) 한국환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute)

제 출 : 2009년 10월 30일    승 인 : 2010년 6월 11일

## 국 문 요 약

안양천은 서울의 한강에 유입되는 대표적 도시하천이다. 도시화로 인한 안양천 하천수질 악화와 건천화 문제를 개선하기 위해 유역통합관리를 위한 여러 사업이 진행되고 있다. 유역통합관리를 위해서는 관련 지자체들의 공조가 필요하게 되며, 재정분담문제가 필연적으로 발생하게 된다. 본 연구에서는 유역통합관리를 위해 제안된 사업비 261억의 4개 소유역의 비용분담 방안을 Shapley Value를 이용하여 제안하고 이를 다른 2개 분담방안들과 비교하였다. '분담방안 1'은 수질개선시설이 설치되는 유역의 지자체가 비용을 부담하는 방안으로, 소유역 I지역은 0.58%, 소유역 II지역은 29.54%, 소유역 IV지역은 0%, 그리고 소유역 V지역은 69.88%의 비용을 분담하게 된다. '분담방안 2'는 각 소유역의 소하천길이에 따라 비용을 분담하는 것으로, 13개 지자체들의 교섭력이 동일하다는 것을 전제로 하고 있으며, 소유역 I지역은 13.76%, II지역은 7.34%, IV지역은 45.87%, V지역은 33.03%의 분담을 해야 한다. 하지만 하천의 물 흐름은 상중하류의 각 지자체에 서로 다른 교섭력을 부여하므로, 공조적 게임의 解인 shapley Value를 이용하여 교섭력을 고려한 재정분담방안인 '분담방안 3'으로 비용분담체계를 설계하였다. 모든 가능한 공조체제에 있어 각 참여자들의 평균 한계기여도의 합으로 측정되는 Shapley Value에 의한 분담비율은 I지역 0.29%, II지역은 14.77%, IV지역 50.00%, V지역은 34.94%이며, 이를 지자체들이 수용 가능한, '공정한' 재정분담방안으로 제시하였다.

■ 주제어 ■ 안양천, 비용분담, 공정성, Shapley Value, 게임이론

\* 교신저자: yhson@chungbuk.ac.kr

\*\* 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 '수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원' (과제번호:1-7-3)에 의해 수행되었음.

## Abstract

Anyang-cheon(stream) runs through southern metropolitan area of Seoul to Han-river in Korea. Due to fast growth of Seoul, the water quality and quantity problems in Anyang-cheon have occurred. To cope with the problems, the Integrated Watershed Management program for Anyang-cheon was adopted and a KRW 26.1 billion (USD 21.8 million) pilot project (construction of 4 facilities such as reservoir) is suggested for 4 sub-watersheds of Anyang-cheon, which cost will be shared by the 12 local governments (LG). Three cost division schemes are compared. By Scheme 1, if the cost is borne by the LG in a watershed where the facilities are constructed (no cost division scheme), the LG in I is to bear 0.58% of the total construction cost, LG in watershed II 29.54%, LG in IV 0%, LG in V 69.88%. In particular, LG in IV in this scheme bears no cost because no facility is constructed, even though watershed IV is the major beneficiary of the facility construction. Scheme 2 is to share the cost by length of streams in each sub-watershed and the suggested cost share for each sub-watershed is 13.76% by I, 7.34% by II, 45.87% by IV, and 33.03% by V. However, this cost division scheme is fair only under the false assumption that the bargaining powers of group of LGs are identical. To suggest a better and fair division rule, Shapley Value, a cooperative game solution, is used to suggest Scheme 3. In Scheme 3, Shapley Value measures the summation of average marginal contribution of each player in all possible coalitions as cost division scheme and is known to provide a fair division considering bargaining power. In the context of Anyang-cheon, LGs in upper stream have superior bargaining position. The result suggests the cost division is fair under Scheme 3, when the cost shares are 0.29% by I, 14.77% by II, 50% by IV, and 34.94% by V, respectively.

**Keywords** | Anyang-cheon, Cost Division, Fairness, Shapley Value, Game Theory

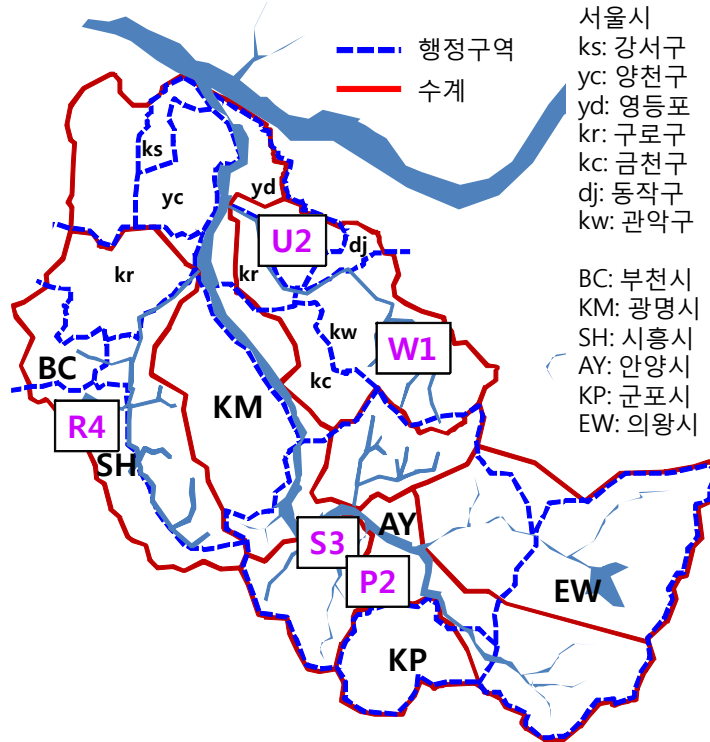
---

## I. 서 론

안양천은 한강의 주요 지류로서 6개의 소유역과 20개의 중소하천들이 산재해 있으며 유역면적은 542km<sup>2</sup>이다. 유역내 거주민은 700만 명으로 13,000명/km<sup>2</sup>의 높은 인구 밀도를 나타내고 있다. 이러한 인구 증가와 도시화로 인해 안양천 유역은 수질 저하와 건천화의 문제가 발생하였다.

이러한 문제를 해결하기 위해 교육과학기술부에서 지원하는 '21세기 프런티어연구개발사업' 중 '수자원의 지속적 확보기술 개발사업'의 일환으로 '안양천의 물순환건전화기술 적용' 사업이 진행되고 있다. 이길성 외(2008)는 수질개선과 수량 확보를 위해 선택적으로 3~5개의 기술적-경제적 실행 가능한 시설을 제안하고 있다. 제안된 10개 시설 중 비용편익분석(cost-benefit analysis)과 순이익(net benefit)을 산정하였을 경우 R4(과림 저수지 운영개선), P2+S3(수압천의 차집관로 보수+복개구간 철거), U2(지하수 용출수 이용), W1(소규모 하수처리장 건설)의 사업이 편익대비 비용의 효율성을 갖는 것으로 분석되었다(<그림 1> 참조).

그림 1 안양천유역의 수계 및 행정구역과 시설 위치



비록 4개의 대안이 순이익과 B/C비율 분석을 통해 선택되었지만 보다 중요한 문제는 우수 대안이 적용되는 지역의 지자체들 간에 대안의 실행을 위한 비용을 어떻게 분배하는가 하는 것이다. 왜냐하면 각 지자체의 행정구역과 소유역(하부수계; sub-watershed)이 <그림 1>에 서와 같이 서로 일치하지 않는 문제가 발생하기 때문이다. 예를 들어, R4(과림 저수지 운영 개선) 대안의 경우 행정구역상에서는 시흥시 지역에 적용된 대안이지만 과림 저수지가 흘러 안양천과 합류하고 다시 한강과 합류하기까지의 구간에 5개의 지자체(KM, kr, yc, yd, ks)가 있어 이들 지자체에도 편익이 돌아가게 된다. 따라서 시흥시의 과림 저수지 운영개선사업으로 하류 5개 지자체에서 개선사업으로 인한 편익을 취하기 때문에 시흥시가 독립적으로 시행시 비용은 시흥시가 부담하지만 사업시행으로 인한 편익은 다른 5개의 지자체도 같이 향유하게 되는 정(+)의 외부성 문제가 발생하는 것이다. 이는 시장에 방치하는 경우 사업의 시행이 어려워지는 전형적인 시장 실패의 예이다.<sup>1)</sup> 이러한 문제점을 개선하기 위해 유역내 13개 지자체간 ‘안양천유역관리기구’를 구성하여 어떻게 비용을 분담할 것인지 논의하고 있

다. 본 연구의 목적은 이러한 비용분담의 문제를 해결하기 위해 공조적<sup>2)</sup> 게임의 解인 Shapley value를 이용하여 적정 비용분담체계를 설계-제안하는 것이다.

## II. 문헌 연구

이길성 외(2008)는 안양천의 수질개선과 수량확보를 위한 대안을 선택하고 21개의 대안에 대해 기술적·경제적 분석을 수행하였다. 이 연구는 각 하천별 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)과 건천잠재능(Potential Streamflow Depletion, PSD), 수질오염잠재능(Potential Water Quality Deterioration, PWQD)을 적용하여 유역평가지수(Watershed Evaluation Index, WEI)를 산정하고, 계층화 분석과정(Analysis of Hierarchical Process, AHP) 방법을 이용하여 각각의 인자에 대한 가중치를 산정하였다. 이길성 외(2008)는 이를 이용하여 수질개선과 수량의 확보를 위해 20개의 소유역에 대한 32개의 대안을 분석하였고 이 중 21개의 대안을 기술적·경제적·환경적으로 실행가능한 대안으로 선택하였다. 또한 Simon(1960)과 Fassio et al.(2005)이 제안한 대안의 효과지수(Alternative Evaluation index, AEI)를 산정하여 제시된 대안에 대해 AEI가 0.5 이상인 10개의 대안을 선택하였다. 이렇게 선택된 10개의 대안에 대해 이길성(2007)과 공기서 외(2006)가 제안한 실험계획법(Choice Experiment, CE)을 적용하여 비용편익분석을 실시하여 10개의 대안 중 4개의 대안이 비용대비 경제적 효율성을 갖는 것으로 보고하고 있다. 하지만 이길성 외(2008)의 연구에서는 4개의 대안에 대한 건설 및 운영비용에 대해 지자체 별로 비용을 어떻게 분담해야 하는지에 대한 구체적 논의가 이루어지지 않았다.

게임이론은 환경 및 자원규제 정책과 관련된 문제를 해결하는데 유용한 분석 도구이며(Dinar et al. 2008; Carraro and Fragnelli, 2004; Hanley and Folmer, 1998), 게임이론을 수자원의 배분문제에 적용할 수 있다(Sumaila et al. 2008). Fisher and Huber-Lee(2008)와 Fernandez(2008)의 연구에서는 자원과 환경문제에 있어서의 비용분담에 공조적 게임의

1) 이는 Dixit and Skeath(2004)에서 언급된 공동 화단가꾸기 게임에서, 화단 설치를 시장에 맡겨 놓을 경우 각 참가자들이 화단을 만드는 데 비용을 부담하지 않는 전략이 내쉬균형이 되므로, 화단이 만들어지지 않게 되는 경우와 유사하다.

2) 일반적으로 cooperative game은 협조적(協調的) 게임으로 번역되고 있다. 하지만 cooperation의 어원(Latin)은 com- "with" + operari "to work"이며 이는 'a working together'의 의미를 가지므로, 피동적으로 '협조'한다는 의미보다 능동적으로 '서로 돕는다'는 의미가 강하다. 따라서 본 연구에서는 '공조적(共助的) 게임으로 번역하였다. 또한 '협조'는 대가가 없는 경우에도 가능하지만, '공조'는 대가가 있는 경우에만 가능하므로, 게임적인 측면을 보다 잘 수용하는 용어라고 할 수 있다.

解가 광범위하게 적용되었으며 공조적 문제를 해결하기 위해 Shapley Value를 분담 원칙으로 사용하였다(Botteon and Carraro, 1997; Finus, 2008). Ambec과 Ehlers(2008), Dinar et al.(2008) 등은 수자원 운영에 대한 비용분담에 Shapley Value를 적용하기도 하였다. Shapley Value를 국내의 비용분담 문제 등에 대해 적용한 국내 논문으로는 Song(1998)과 강동주(2001), 허기형(2005), 성숙경(2008) 등이 있다.

### Ⅲ. 모형의 설정

안양천 유역 유역통합관리를 위한 개선사업에 대한 비용분담게임의 참여자는 12개 지자체(13개 지자체 중, 제안된 4개 시설 중 아무것도 건설되지 않거나 혜택을 받지 않는 BC(봉천구)를 제외)이며 이 지자체는 4개의 소유역 그룹으로 나누어진다. 각 하천과 해당 소유역 및 유역통합관리를 위한 시설사업, 그리고 관련 지자체를 표로 나타내면 <표 1>과 같다. 예를 들면, R4(과림 저수지 운영개선) 사업은 안양천의 지천(sub-stream)인 계수천(GS)에 건설되며 해당 지자체는 시흥시(SH)이다. 시설 W1과 U2는 도림천(DR)에 설치되며, 수혜를 받는 지자체들은 하류의 KW, DJ, 그리고 YD이다. 같은 이유로 안양천 가장 하류의 3개 지자체(KC, YC, YD)들은 상류에 어떠한 시설이 들어서던지 혜택을 받는 것으로 표시되고 있다.

표 1 제안된 시설과 관련 하천, 수계 및 지자체

하천	소유역 (지자체)	시설 (대안)	지자체												
			KS	KW	KM	KR	KP	KC	DJ	BC	SH	AY	YC	YD	EW
안양천본류	IV	없음													
지류	GS	I	R4	0		0	0			0	Δ		0	0	
	DR	V	W1	0	Δ		0			0				0	0
			U2	0			0						0	Δ	
SA	II	P2+S3	0		0	0		0				Δ	0	0	

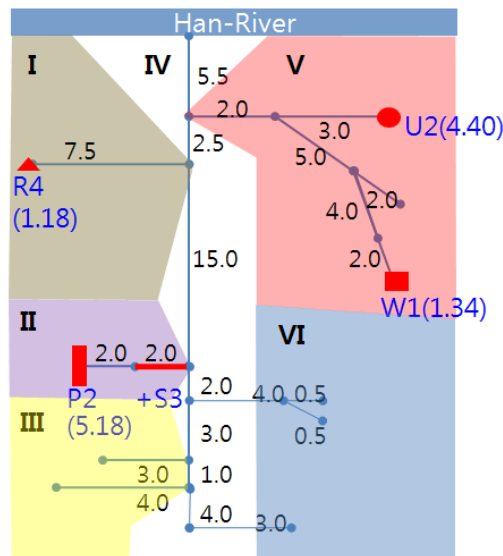
주: Δ - 시설이 설치될 지자체.

0 - 시설 설치된 지자체 이외에 해당 시설로 혜택을 받게 되는 하류의 지자체.

12개 지자체가 이 게임에 참여할 경우 가능한 공조체제(coalitions)의 수는  $4,095(=2^{12}-1)$ 개이다. 예를 들어 시설에서부터 한강 본류까지 거리가 가장 짧은 U2의 경우(따라서 수혜 지자체 수가 가장 적은 경우)만 보더라도 4개 지자체가 관련되어 있으며, 이 경우에도 가능한 공

조체제는  $15(=2^4-1)$ 개로서 분석이 간단하지 않으며,<sup>3)</sup> 다른 시설들을 위한 공조체제도 각 6~7개 지자체가 관련되므로, 63 또는 127개의 공조체제를 고려하여야 한다. 따라서 이를 보다 간략히 구성하기 위하여 다음과 같은 가정을 도입한다. 지자체가 같은 소유역에 있는 경우, 같은 교섭력을 가지고 있고, 따라서 같은 소유역에 위치한 지자체는 비용을 균등하게 배분할 수 있다.<sup>4)</sup> 이 경우, 시설이 설치되는 4개의 지자체 그룹과 4개의 소유역이 있고 <그림 2>와 같은 상황에서 비용분담 게임을 하게 된다고 가정할 수 있다.<sup>5)</sup> <그림 2>에서 직선들은 하천을 나타내며, 직선에 근접해 있는 숫자들은 두 점 간의 길이를 나타낸다. 로마자는 소유역 또는 지자체 그룹을 나타내며 시설 옆의 괄호안의 숫자는 각 시설의 B/C비율을 나타낸다. 예를 들어 시설 W1(소규모 하수처리장 건설)에서 흐르기 시작하는 하천은 총 18.5km( $=2+4+5+2+5.5$ )의 안양천 지류(소하천) 및 본류를 지나 한강본류에 흘러들어가게 된다.

그림 2 단순화된 4개 지자체 비용분담 게임 개요도



3) 가능한 공조체제는 1) 단독으로 부담하는 경우: {KS}, {KR}, {YC}, {YD}; 2) 2개 지자체가 부담하는 공조체제의 경우: {KS, KR}, {KS, YC}, {KS, YD}, {KR, YC}, {KR, YD}, {YC, YD}; 3) 3개 지자체의 공조체제: {KS, KR, YC}, {KS, KR, YD}, {KS, YC, YD}, {KR, YC, YD}; 4) 4개 지자체가 모두 참여하는 공조체제(Grand Coalition): {KS, KR, YC, YD} 로 모두 15개의 가능한 공조체제를 생각할 수 있다. 물론 시설이 들어서게 되는 YD가 포함되지 않는 공조체제는, YD가 공조하지 않은 경우 시행조차 불가능할 것으로 판단된다.

4) 지자체 내 소유역의 길이에 따라 공조체제 내에서 지자체가 비용을 자체 부담할 수도 있다.

5) 수역 III과 VI에는 시설이 설치되지 않으므로 시설의 혜택을 받지 않게 되고 비용을 부담하지 않게 되며, 따라서 분석에서 제외되었다. 따라서 분석 대상 수역은 I, II, IV, V로 한정하였다.

본 연구에서는 3개의 분담방안을 제시하고 이를 비교하고자 한다. ‘분담방안 1’은 가장 간단하지만 상류 지자체의 반발이 가장 클 것으로 예상되는 방안으로, 시설이 설치되는 소유역의 지자체들이 비용을 부담하는 것이다. 예를 들어 R4를 설치-운영하는 데 소요되는 비용을 소유역 I이 부담하는 방안이다. 하지만 <그림 2>에서 보여진 바와 같이, R4의 설치로 소유역 I은 약 7.5km 구간의 수질 및 수량이 개선되는 효과를 가져 오지만, 약 8km 구간에서 소유역 IV의 지자체들은 무임승차(free-ride)하게 된다. 따라서 이 분담방안은 소유역 I의 지자체들로부터 불공정하다는 반발을 가져오게 될 것이다. 본 연구에서는 이 분담방안에 의한 분담비율의 계산 방법은 자명하므로 생략하였다.

‘분담방안 2’는 하천의 길이에 따라 시설 설치-운영 비용을 분담하는 방안으로 다음과 같이 구성되어 있다. 단순히 하천의 길이만을 가지고 비용을 분담하는 경우, 예를 들면, 소유역 V에 있는 지자체들은 13km 구간에서 W1의 건설로 인한 편익을 보게 되고, 소유역 IV에 있는 지자체들은 5.5km 구간에서 편익을 보게 되므로, 비용을 13:5.5로 분담하는 방법이 제안될 수 있다.

‘분담방안 3’의 경우는 소유역별 지자체 그룹의 교섭력에 의하여 분담비율을 결정하는 것으로 Shapley Value 모형을 사용하는 것이다. 12개 지자체가 위와 같이 4개 소유역별로 그룹화되면, Shapley Value를 이용하여 소유역 지자체 그룹별 비용분담비율을 계산할 수 있다.

참여자(player)  $i$ 의 공조체제(coalition)에의 기여, 즉, Shapley Value(Shapley, 1951, 1953)  $sh_i$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(Owen, 1982; Roth, 1988; Friedman, 1990; Shubik, 1991).

$$sh_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{c(k)} \sum_{\substack{i \in K \\ |K|=k}} [v(K) - v(K/i)] \quad (1)$$

여기서  $c(k)$ 는 참가자(player)  $i$ 가 포함된  $k$ 개의 공조체제 수이며  $n$ 은 전체 공조체제(grand coalition)의 수,  $K$ 는 부분 공조체제,  $v^*$ 는 공조체제의 특성함수(characteristic function)이다.  $c(k)$ 는 다음 식 (2)에 의하여 계산된다.

$$c(k) = \binom{n-1}{k-1} = \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!} \quad (2)$$

식 (1)에서  $[v(K) - v(K/i)]$ 은  $K$ 의 공조체제에서 참여자  $i$ 의 한계가치(또는 기여. 본 연구에서는 참여자  $i$ 가 불참하게 될 경우 다른 참여자들이 부담하여야 하는 한계비용의 값)를 나타낸다. 참여자  $i$ 의 Shapley Value는 모든 가능한 공조체제에 대한 참여자  $i$ 의 가중치와 한계기여의 곱의 합으로 계산된다. 특성함수(characteristic function)는 다음과 같이 超可法的(superadditive) 성질을 가지며, 공조가 무산되는 경우에는 값이 0이 된다 ( $v(\{\}) = 0$ ).

$$v(\{A\}) + v(\{B\}) \leq v(\{A, B\}) \quad (3)$$

초가법적 성질은 공조가 이루어지지 않았을 때의 각 선수의 편익의 합(식 (3)의 좌변)이 공조가 이루어졌을 때의 공동편익(식 (3)의 우변)보다 작거나 같다는 의미로, 식 (3)이 성립하지 않으면 선수들은 공조할 유인이 없어지게 되는 것을 의미한다. 주의할 것은 일반적으로 Shapley Value는 정(+)의 편익을 분배하는 데 사용된다. 하지만 본 연구에서는 비용 또는 부(-)의 편익을 분담하는 방안을 제시하므로 식 (3)의 해석에 주의를 요한다. 즉, 식 (1)에서 가중치는 선수들의 수가 같은 모든 게임에서 동일하게 계산된다. 하지만 한계기여 부분은 전술하였듯이 본 연구에서는 선수  $i$ 가 참여함으로 인해서 발생하는 비용에 대한 한계기여(추가비용)이며 이 한계기여가 큰 참여자가 결국 비용을 더 부담하게 되는 것으로 해석할 수 있다. 이는 식 (3)의 해석에도 변화를 가져오는데, 특성함수가 비용이므로 식 (3)의 좌변(공조하지 않았을 때 비용의 합)은 우변(공조하였을 때 비용)보다 커야 하므로, 식 (3)의 부등호는 편익이 아닌 비용분담의 경우 반대가 되어야 한다.<sup>6)</sup>

<표 2>에는 본 연구에서 사용된 특성함수(현재가치화한 건설비용+유지비용; 이길성 외 (2008))<sup>7)</sup>와 식 (1)의 일부인 가중치가 제시되어 있다.

6) 보다 자세한 Shapley Value의 계산 방법 및 특성함수의 계산 방법, 가중치의 의미 등은 부록에 수록하였다.

7) 본 연구에서 고려한 4개 시설은 유역의 인구수 등을 고려한 수질오염잠재능, 홍수피해잠재능 및 건천잠재능을 가중치로 집약하여 편익을 계산하고 이를 비용과 대비하여 시설 설치의 B/C비율이 1 이상인 대안들이다. 따라서 본 연구의 특성함수에 명시적으로 드러나 있지는 않지만, 환경적 편익 및 비용이 이미 고려되어 있다고 할 수 있다.



표 2 특성함수와 가중치

(단위: 천 원)

공조체제 번호	K	공조체제 K의 i					v(K)	v(K)-v(K/i)				계산된 가중치
								1	for i=2	for i=4	for i=5	
1	1	I					152,645	152,645				0.2500
2	1		II				7,722,111		7,722,111			0.2500
3	1			IV			26,140,793			26,140,793		0.2500
4	1				V		18,266,036				18,266,036	0.2500
5	2	I	II				7,874,756	152,645	7,722,111			0.0833
6	2	I		IV			26,140,793	0		25,988,147		0.0833
7	2	I			V		18,418,681	152,645			18,266,036	0.0833
8	2		II	IV			26,140,793		0	18,418,681		0.0833
9	2		II		V		25,988,147		7,722,111		18,266,036	0.0833
10	2			IV	V		26,140,793			7,874,756	0	0.0833
11	3	I	II	IV			26,140,793	0	0	18,266,036		0.0833
12	3	I	II		V		26,140,793	152,645	7,722,111		18,266,036	0.0833
13	3	I		IV	V		26,140,793	0		7,722,111	0	0.0833
14	3		II	IV	V		26,140,793		0	152,645	0	0.0833
15	4	I	II	IV	V		26,140,793	0	0	0	0	0.2500

공조체제가 이루어지지 않을 경우(|K|=1) 소유역 I, II, V 지자체들은 각각의 건설유지비용만 현재가치로 지불한다.<sup>8)</sup> 하지만 IV 소유역의 지자체들은 안양천 본류의 수질개선을 위하여 4개 시설에 대해 건설유지비용을 모두 부담해야 목표 수질 및 수량을 달성할 수 있다. 두 개 지자체 그룹들이 공조체제(|K|=2)를 이룰 경우에는 두 가지 특성함수 계산방법이 적용되었다. 첫째, I, II, V 그룹 간 공조하는 경우 각 특성함수(비용)가 독립적이므로 특성함수는 두 그룹의 건설-유지비용의 단순 합이 된다. 둘째, IV 그룹과 다른 그룹들이 공조하는 경우 특성함수는 소유역 IV는 모두 4개의 시설을 필요로 하게 되므로 모든 건설비용의 합이 된다. 3개 그룹 공조체제와 4개 그룹 공조체제도 이와 같은 방식이 적용된다.

‘분담방안 2’의 경우는 ICPRB(Interstate Commission on the Potomac River Basin)에서 이용된 방안으로 하천의 길이 또는 유역면적을 이용하여 각 주체간 비용을 분담하는 방

8) R4, U2, W1의 수명은 25년으로 가정하였다. 하지만 P2+S3의 경우 수명은 100년으로 가정하였다(이길성 외, 2008). 수명이 다른 시설의 비용을 비교하기 위하여, 25년의 수명을 가진 시설은 매 25년마다 개축되는 것으로 가정하였다. 또한 이길성 외(2008)의 설치 및 운영비를 이용하여 100년간 순현재가치를 5.5%의 할인율로 계산하였다. 이 할인율은 한국개발연구원(2004)의 국가 대형 건설사업의 평가지침에 사용되는 할인율이며 2009년 현재까지 사용되고 있다.

안이다.) Shapely Value가 단순 하천길이에 의한 비용분담 방안보다 우월한 이유는 하천에는 상류와 하류가 반드시 존재하고, 상류에 있는 선수가 하류에 있는 선수들보다 교섭력이 우월하다는 사실을 모형에 반영시킬 수 있다는 것이다. 이러한 이유로 자연적 또는 사회적 상황에 의하여 교섭력에 차이가 발생하는 경우, Shapely Value가 이를 반영한 비용분담 또는 편익의 분배에 대한 ‘협상력을 반영한 공평한’ 기준을 제시할 수 있으며, 많은 환경개선사업의 비용분담 모형에 Shapely Value가 사용되고 있는 것이다(Finus, 2008).

#### IV. 분석결과와 정책적 함의

각 그룹의 Shapely Value와 비용분담 비율과 다른 2개의 비용분담 방안들의 분담비율과의 비교는 <표 3>에 정리되어 있다. <표 3>에서 Shapely Value의 분담비율은 총건설비용에 대한 각 지자체의 분담액의 비율이며 교섭력(Bargaining Power)을 반영한다.

표 3 Shapely Value와 비용분담 비율

Division Schemes	분담방안 1: 시설 설치지역 지자체 부담*		분담방안 2: 하천 길이에 따른 분담		분담방안 3: Shapely Value	
	설치 비용	분담비율	길이	분담비율	Shapely Value	분담비율 (교섭력)
소유역 (지자체 그룹)						
I	152,645	0.0058	7.5	0.1376	76,323	0.0029
II	7,722,111	0.2954	4.0	0.0734	3,861,056	0.1477
IV	-	-	25.0	0.4587	13,070,396	0.5000
V	18,266,036	0.6988	18.0	0.3303	9,133,018	0.3494
Total	26,140,793	1.0000	54.5	1.0000	26,140,793	1.0000

주: 시설이 설치된 지자체가 부담하는 경우임. 즉, 시설이 설치된 지자체가 모든 비용을 부담한다는 의미이고 따라서 비용을 부담하지 않는다(No Division)는 의미임.

Shapely Value에 의한 분담방안의 경우(분담방안 3), 소유역 IV 내의 지자체 그룹은 하류에 위치하여 열등한 교섭력을 가지고 있고, 따라서 4개의 시설에 대해 50% 비용을 분담

9) 효용이 이전가능하지 않은 경우(non-transferable utility game: 효용의 이전시 비선형적으로 효용이 이전되는 경우. 예를 들어 선수 1이 선수 2에게 100의 효용을 이전하는 경우, 처음 100을 이전시에는 90만큼만 2에게 이전시킬 수 있지만, 추가적으로 100을 더 이전시키려고 할 경우 70만 이전시킬 수 있는 경우에는  $\lambda$ -transfer value 모형을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 효용이 금액으로 대변되고 있고, 모든 지자체들의 돈에 대한 효용이 선형적이라고 가정하였으므로 Shapely Value모형의 적용에 문제가 없다.

하는 것을 제안하고 있다. 다른 소유역 I, II, V의 3개 지자체 그룹은 각각 0.29%, 14.77%, 34.94%의 비용을 각각 부담하게 된다. 이러한 결과들은, 비록 소유역 IV 지역에는 아무런 시설이 투입되지 않지만 열등한 교섭력을 가지고 있기 때문에 50%의 비용을 부담해야 하며, 다른 그룹들의 경우 서로 간에 우월한 교섭력을 가지고 있지 않다는 것을 의미한다(공조체제의 구성여부가 상호 특성함수에 영향을 주지 않으며 따라서 독립적이라는 의미임). 즉, 다른 그룹은 건설비용만으로 계산한 비용분담률과 일치하는 비율(152,645 : 7,722,111 : 18,266,036 = 76,323 : 3,861,056 : 9,133,018 = 0.0029 : 0.1477 : 0.3494)로 그 비용을 부담하게 되며, 각 소유역의 건설비용의 50%는 소유역 IV지역(안양천 본류의 지자체 그룹)에서 부담하게 된다.

Shapley Value에 의한 비용분담 비율(분담방안 3)과 하천의 길이를 고려한 부담비율(분담방안 2)과 비교해보면, 소유역 I은 교섭력을 고려한 Shapley Value에 의한 부담방안을 적용시 시설건설비용의 부담 비율이 현저히 낮아지며, 소유역 II는 시설건설비용이 현저히 높아지게 된다. 하천의 길이나 면적을 적용한 단순한 비용분담체계는 불공평한 비용분담비율로 인해 협조 가능성이 사라질 수 있다. 실제 소유역 I 지역 내 지자체들은 안양천유역협의체 구성에 있어 자발적 참여가 타유역의 지자체에 비해 저조한 실정이다. 연구결과로서 Shapley Value를 적용한 비용분담 계획을 실제 적용하여 재정분담방안으로 제안한다면 소유역 I 내의 지자체들이 관심을 가질 수 있을 것이지만, 이 경우에도 정책결정자들과 지자체 전문가들의 Shapley Value에 대한 적어도 직관적인 이해가 필요하다.

만일 공조체제가 이루어지지 않고 각 소유역의 지자체가 안양천 수질개선 사업을 시행하도록 한다면 상류의 지자체들은 사업을 시행할 유인이 희박하다. 왜냐하면 상류는 하류보다 일반적으로 수질이 양호하며 시설 설치의 편익이 하류에 대부분 돌아가기 때문이다.

## V. 요약 및 결론

2010년 현재 안양천 수질개선 사업 비용의 부담을 위하여 13개 지자체가 참가하는 유역 협의체가 구성되어 운영되고 있고, 안양시가 이를 주도하고 있다. 모든 지자체들이 공조하여 비용을 부담하여야 한다는 데 의견을 같이하고 있지만, 비용의 부담방안을 확정하는 것에 어려움을 겪고 있다. 하지만 이미 지자체간 MOU도 작성되었고, 시설 설치에 소요되는 비용을 충당하기 위한 지자체 예산 확보를 위해서는 지자체간 공조할 것을 정부가 요구하

고 있어, MOU의 구속력은 있는 것으로 판단된다. 따라서 참가자들 간의 구속력 있는 협정이라는 공조적 게임모형의 기본 가정은 충족된 것으로 볼 수 있다.

안양천의 물순환을 건전화시키고 수질개선과 수량확보를 위한 4개의 대안이 비용편익분석과 순이익 산정을 통해 선정되었으나 4개의 대안 적용시 발생하는 편익과 비용에 따라 유역내 지자체들이 어떻게 분담할지에 대하여서는 연구된 바가 없었다. 본 연구에서는 교섭력(bargaining power)을 고려하여 이러한 공조체제하의 비용분담방안을 제안하였다. 그러나 하천의 길이와 면적을 적용한 비용분담의 경우, 본 연구와 달리 계산과정과 이해가 쉽기 때문에 이해당사자간 합의가 쉽게 이루어질 수 있을 것이다. 하지만 상류의 지자체가 교섭력을 고려하여야 한다고 주장하는 경우, 본 연구의 결과가 유용한 기준을 제시해 줄 수 있다. 본 연구에서는 교섭력을 고려한 Shapley Value를 적용하여 안양천의 물순환 건전화를 위한 4개의 대안 설치에 따른 비용을 교섭력을 고려하여 공평하게 분담하는 방안을 제시하였으며, 소유역 IV 지역에는 어떠한 시설도 건설되지 않지만 안양천 물순환 건전화를 위해서, 또한 소유역 내 주민들의 복지를 위하여 시설건설에 따른 비용의 50%를 분담하는 것이 공정한 비용의 분담이라는 것을 설득하여야 한다.

본 연구의 가장 큰 한계는 본 연구에서는 식(3)이 부등식이 아니라 등식이라는 것이다. 즉, 다수의 지자체가 참여하는 공조체제의 경우, 총비용이 각각 사업을 진행했을 때보다 작아지거나 같아야 하는 2가지 경우가 있는데, 본 연구에서는 같은 것으로 가정하였다는 것이다. 향후 이길성 외(2008) 등과 같은 연구가 수행되어 본 연구에서 제시된 모든 가능한 공조체제 시나리오에 대한 비용이 계산될 수 있고, 따라서 모든 시나리오에 따른 특성함수가 구해진다면, 보다 현실에 접근하는 분담방안이 도출될 것이다. 본 연구의 두 번째 한계는 분석의 편이를 위하여 13개 지자체를 4개 그룹으로 소유역별로 묶어 분석하였다는 것이다. 즉, 본 연구에서는 소유역 내에서는 교섭력이 같고(같은 수계에 있으므로) 따라서 동등하게 비용을 분담하는 것으로 가정하였다. 만일 이 가정이 적절하지 않다는 사실이 밝혀지면, 13개 각 지자체가 과연 얼마씩 비용을 분담하여야 하는가에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 〈부 록〉 Shapley Value의 계산 방법 및 의미

Dixt and Skeath(2004)의 공동화단가꾸기 게임을 이용하여 Shapley Value의 의미를 설명하면 다음과 같다.

### A.1. Non-cooperative Game Version(Dixit and Skeath, 2004)

3인의 아줌마들(D, S, Y)이 동네 어귀에 공동화단을 만들기 위하여 비용을 분담시키려고 하고 있다. 혼자만 참가하는 경우, 비용을 적게 들인 초라한 화단이 만들어지게 되는데, 참가한 아줌마는 화단도 초라하고 자신은 비용을 지불했으므로 보상이 1이다. 반면 참가하지 않은 다른 2명의 아줌마들은 초라한 화단이 만들어졌지만 비용을 지불하지 않았으므로 이 경우 보상은 각각 4라고 하자. 둘만이 참가한 경우, 보다 예쁜 화단이 만들어지므로 참가한 2인의 보상이 3이고 불참한 아줌마는 더 예쁜 화단이 만들어졌지만 자신은 비용을 지불하지 않았으므로 보상이 6으로 증대되게 된다. 모두 참가하는 경우는 가장 예쁜 화단이 만들어지므로 보상이 5로 증가하게 된다. 마지막으로 모두 불참하는 경우는 화단이 만들어 지지 않았지만 아무도 비용을 지불하지 않았으므로 보상이 각각 2로 주어지게 된다. 이를 보상표로 구성하여 내쉬균형을 구하면 다음과 같으며, 내쉬균형은 모두 불참하는 것이다. 즉, 시장에 공동화단의 설치를 맡기면 실행가능하지 않으며 따라서 정부의 시장개입이 다음 예에서와 같이 필요하게 된다.

표 A.1. 공동화단 만들기 게임(Non-cooperative Game)

		D 참가		Y	
		참가	불참	참가	불참
S	참가	5, 5, 5	3, 6, 3		
	불참	6, 3, 3	4, 4, 1		
		D 불참		Y	
		참가	불참	참가	불참
S	참가	3, 3, 6	1, 4, 4		
	불참	4, 1, 4	2, 2, 2		

**A.2. Cooperative Game(Shapley Value) Version(저자 강의노트, 2009)**

위의 Non-cooperative 게임에서는 참가하지 않는 선수를 참가하도록 강제할 방법이 없다고 가정하였다. 하지만 세금 등을 걷어 지자체가 화단을 만들어 준다고 가정하면(참가자들의 협정이 구속력이 있다고 가정하면) <표 A.2.>와 같이 Shapley Value를 계산할 수 있다.

우선 위의 non-cooperative game에서 정의된 보상을 각 공조체제의 특성함수로 표시하면 다음과 같다.

$$v\{D\}=v\{S\}=v\{Y\}=1 \text{ (혼자만 참가하는 경우; } |K|=1)$$

$$v\{D, S\}=v\{D, Y\}=v\{S, Y\}=6 \text{ (둘만 참가하면 각각 보상이 3이므로; } |K|=2)$$

$$v\{D, S, Y\}=15 \text{ (3인 모두 참가하면 각각 보상이 5이므로; } |K|=3)$$

이 경우 Shapley Value는 다음과 같이 계산된다.

표 A.2. 공동화단 만들기 게임(Cooperative Game; Shapley Value)

참가자	가능한 공조 체제			Shapley Value
	$ K =1$ 공조확률=1/3	$ K =2$ 공조확률=1/6	$ K =3$ 공조확률=1/3	
D	$v\{D\}-v\{\}=1-0=1$	$v\{D,S\}-v\{S\}=(3+3)-1=5$ $v\{D,Y\}-v\{Y\}=6-1=5$	$v\{D,S,Y\}-v\{S,Y\}=(5+5+5)-6=9$	$=1/3*1+1/6*10+1/3*9=5$
S	$v\{S\}-v\{\}=1-0=1$	$v\{S,D\}-v\{D\}=6-1=5$ $v\{S,Y\}-v\{Y\}=6-1=5$	$v\{S,D,Y\}-v\{D,Y\}=15-6=9$	$=1/3*1+1/6*10+1/3*9=5$
Y	$v\{Y\}-v\{\}=1-0=1$	$v\{Y,S\}-v\{S\}=6-1=5$ $v\{Y,D\}-v\{D\}=6-1=5$	$v\{Y,D,S\}-v\{D,S\}=15-6=9$	$=1/3*1+1/6*10+1/3*9=5$

주: 공조 크기별로 특성함수가 동일한 경우.

우선 독자적으로 화단을 만드는 1인 공조체제의 경우 선수 I의 공조체제에 대한 한계기여(marginal contribution of i to the coalition) 값은 1이다. 왜냐하면 단독으로 화단을 설치할 경우 자신의 보상은 1이며 자신이 빠진 경우(화단만들기에 참여한 사람이 하나도 없을 경우)의 보상은 0이기 때문이다 ( $v\{D\}-v\{\}=1-0=1$ ). 식 (2)에 의하면 이러한 1인 공조체제가 구성되는 경우는 각각 1개씩이며, 각 경우의 한계기여값은 따라서 1/3의 가중치를 가

지게 된다. 2인이 참가하는 경우는 각각 자신이 참가하는 2개씩의 공조체제를 구성할 수 있으므로, 각 공조체제의 가중치(또는 공조확률)는 1/6이다. 3인이 공조하는 경우에는 다시 공조확률이 1/3이다. 따라서 각 참가자들의 가중평균된 보상(Shapley Value)은 5가 된다. 이는 non-cooperative game에서는 성취가능하지 않았던 결과이다.

특이한 것은 Shapley Value가 모두 5로 계산되었는데 이는 특성함수들이 (1, 6, 15)로 공조 크기(|K|) 별로 동일하기 때문이다. 따라서 이 경우 각 참가자들의 교섭력은 1/3로 동일하다. 하지만, 예를 들어, D가 공동화단이 만들어지는 토지를 소유하고 있어, D의 참여 없이는 공동화단이 만들어질 수 없다고 한다면, D가 참여하지 않는 경우의 모든 특성함수 값은 0이 된다(D의 사업 참여 없이는 사업이 이루어질 수 없으므로). 즉, 특성함수가

$$v\{D\}=1, v\{S\}=v\{Y\}=0$$

$$v\{D, S\}=v\{D, Y\}=6. v\{S, Y\}=0$$

$$v\{D, S, Y\}=15,$$

와 같이 주어지는 경우, <표 A.3.>에서와 같이 Shapley Value는  $Sh_D=44/6$ ,  $Sh_Y=23/6$ ,  $Sh_S=23/6$  로 나타나고(Shapley Value들의 합은 전체 공조 시 특성함수 값 15로 동일), 이에 따른 교섭력을 계산하여 보면,  $BP_D=44/90$ ,  $BP_S=23/90$ ,  $BP_Y=23/90$ 으로 계산되어 토지를 소유한 D의 교섭력이 다른 참가자들보다 2배가량 월등한 것으로 나타난다. 즉, Shapley Value의 계산에서 결정적인 요소는 바로 특성함수가 어떻게 정의되고 계산되는가 하는 것임을 알 수 있다.

표 A.3. 공동화단 만들기 게임(Cooperative Game; Shapley Value)

참가자	가능한 공조 체제			Shapley Value
	K =1 공조확률=1/3	K =2 공조확률=1/6	K =3 공조확률=1/3	
D	$v\{D\}-v\{\}=1-0=1$	$v\{D,S\}-v\{S\}=(3+3)-0=6$ $v\{D,Y\}-v\{Y\}=6-0=6$	$v\{D,S,Y\}-v\{S,Y\}=(5+5+5)-0=15$	$=1/3*1+1/6*12+1/3*15$ <b>= 44/6=7.33</b>
S	$v\{S\}-v\{\}=1-0=0$	$v\{S,D\}-v\{D\}=6-1=5$ $v\{S,Y\}-v\{Y\}=0-0=0$	$v\{S,D,Y\}-v\{D,Y\}=15-6=9$	$=1/3*0+1/6*5+1/3*9$ <b>=23/6=3.83</b>
Y	$v\{Y\}-v\{\}=1-0=0$	$v\{Y,S\}-v\{S\}=0-0=0$ $v\{Y,D\}-v\{D\}=6-1=5$	$v\{Y,D,S\}-v\{D,S\}=15-6=9$	$=1/3*0+1/6*5+1/3*9$ <b>=23/6=3.83</b>

주: 공조 크기별로 특성함수가 상이한 경우

## 참고문헌

- 강동주. 2001. *The application of game theories to power transaction analysis*. 홍익대학교 대학원 박사학위논문.
- 공기서, 정은성, 유진채, 이길성. 2006. “물순환 건전화 대안 적용을 위한 안양천의 속성별 가치추정”. 「한국수자원학회논문집」 39(12): 1031-1042. 한국수자원학회.
- 성숙경. 2008. “게임이론 접근법에 의한 부산항 컨테이너 부두의 비용배분에 관한 연구”. 「한국항만경제학회」 24(3): 23-35.
- 이길성. 2007. 「안양천 유역의 물순환 건전화 기술개발」. 서울대학교, 과학기술부.
- 한국개발연구원. 2004. 「예비타당성 조사 수행을 위한 일반지침」.
- 허가형. 2005. 「기후변화협약과 온실가스저감에 관한 게임이론적 분석」. 서울대학교 환경대학원 박사학위논문.
- Ambec, Stefan and Lars Ehlers. 2008. “Cooperation and equity in the river-sharing problem”. Essay in Hanley, essay in *Game Theory and Policymaking in Natural Resources and the Environment*. Ariel Dinar, José Albiac and Joaquín Sánchez-Soriano eds. Routledge.
- Botteon, M. and C. Carraro. 1997. “Burden-sharing and coalition stability in environmental negotiations with asymmetric countries”. *International Environmental Negotiations: Strategic Policy Issues*, ch. 3, pp. 26-55. C. Carraro ed. Cheltenham: Edward Elgar.
- Carraro, C. and V. Fragnelli eds. 2004. *Game Practice and the Environment*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Dinar, A., J. Albiac, and J. Sanchez-Soriano eds. 2008. *Game Theory and Policy Making in Natural Resources and the Environment*. London: Routledge.
- Dinar, Ariel, Stefano Farolfi, Fioravante Patrone, and Kate Rowntree. 2008. “To negotiate or to game theorize: evaluating water allocation mechanisms in the Kat basin, South Africa”. Essay in *Game Theory and Policymaking in Natural Resources and the Environment*. Ariel Dinar, José Albiac and Joaquín Sánchez-Soriano eds. Routledge.
- Fernandez, Linda. 2008. “Wastewater pollution abatement across an international border”. *Environment and Development Economics*, 14: 67-88.
- Finus, Michael, M. Elena Sa’ iz, and Eligius M. T. Hendrix. 2008. “An empirical test of new developments in coalition theory for the design of international



- environmental agreements”. *Environment and Development Economics*, 14: 117-137.
- Fisher, Franklin and Annette Huber-Lee. 2008. “WAS-guided cooperation in water: the grand coalition and sub-coalitions”. *Environment and Development Economics*, 14: 89-115.
- Friedman, James W. 1990. *Game Theory with Application to Economics*. Oxford University Press.
- Hanley, N. and H. Folmer eds. 1998. *Game Theory and the Environment*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Owen, Guillermo. 1982. *Game Theory*, 2nd edition. Academic Press, Inc.
- Roth, Alvin eds. 1999. *The Shapley Value: Essays in honor of Lloyd S. Shapley*. Cambridge University Press.
- Shapley, L. S. 1951. *Notes on the n-person games, II: The value of an n-person game*. RAND Publication RM-670.
- \_\_\_\_\_. 1953. “A value for n-person games”. *Contribution to the Theory of Games*, vol. 2. H. Kuhn and A. W. Tucker eds. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Shubik, Martin. 1991. *Game Theory in the Social Sciences*. MIT Press.
- Song, Yanghoon. 1998. *A Game Theoretic Approach to the Political Economy of the Korean Rice Market*. Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, USA.
- Sumaila, Rashid, Ariel Dinar, and Jose Albiac. 2008. *Environment and Development Economics*, 14: 1-5.