

상류지역 개발과 오염총량관리제를 고려한 하천수질관리 비용배분 방안

Cost Allocation of River Water Quality Management Considering Development
in Upper Basin and Total Pollution Load Management System

여규동 Yeo Kyudong	인하대학교 수자원시스템연구소 연구교수(제1저자) Research Prof., Institute of Water Resources System, Inha Univ.(Primary Author) (yeokd94@gmail.com)
김길호 Kim Gilho	인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정 Ph.D. Candidate, Graduate School of Civil Engineering., Inha Univ. (kgh0518@gmail.com)
정영훈 Jung Younghun	인하대학교 수자원시스템연구소 연구교수 Research Prof., Institute of Water Resources System, Inha Univ. (yjung@inha.ac.kr)
이상원 Lee Sangwon	인하대학교 경제학부 교수 Prof., Dept. of Economics, Inha Univ. (swlee@inha.ac.kr)

목 차

- I. 서론
- II. 비용배분 원칙 설정과 기본환경 분석
 - 1. 비용배분을 위한 원칙 설정
 - 2. 대상지역 기본환경 분석
- III. 수질관리를 위한 비용 산정
 - 1. 수질오염총량관리제 및 산업단지 구성에 따른 유기물 삭감량 산정
 - 2. 유기물(BOD) 처리를 위한 시설용량 결정
 - 3. 하수처리장 건설비
 - 4. 하수관거 건설비
 - 5. 하수처리장 연간유지관리비
 - 6. 총비용 산정을 위한 기준
- IV. 이해당사자 간 비용배분
 - 1. 협조적 게임의 해법
 - 2. 지자체별 비용배분을 산정
 - 3. 이해당사자별 비용배분
- V. 결론

I. 서론

우리나라는 지난 1995년 지방자치제도의 실시로 중앙정부의 일방적 행정에서 벗어나 지자체의 자율성과 지역주민의 영향력이 증대되었다. 지방자치제도의 특성상 해당 지자체는 혜택을 극대화하기 위해 각종 사업을 추진하고, 이로 인해 오염 부하량이 증가하며, 이는 하천의 수질에 직·간접적인 영향을 미치게 된다. 2001년부터 최근 10년간 중앙 및 지방환경분쟁조정위원회에서 처리된 수질 관련 평균 분쟁 건수는 7.9건으로, 중앙정부와 지방정부뿐만 아니라 지방정부 간에도 꾸준히 분쟁이 발생하고 있다. 여러 지자체를 관통하는 하천의 특성상 수질관리는 하천 전체적인 관점에서 이루어져야 한다. 이러한 수질오염에 대한 수질관리사업은 막대한 비용을 필요로 하는데, 수질오염의 원인지역과 피해지역은 서로 상반된 입장을 취하는 경우가 대부분이다. 이는 결국에는 비용의 증가를 초래하므로 국가적으로도 손실이 발생할 수밖에 없다. 따라서 하천수질관리의 효율화와 지자체 간의 분쟁을 예방하기 위해서라도 합리적인 비용배분의 틀이 필요하다.

수자원 관련 문제는 하나의 하천을 다수의 지자체가 공유하며, 물은 상류에서 하류로 흐르는 특성이 있기 때문에 하천수질과 관련한 비용배분의 방법론을 수립하기가 쉽지 않다는 것이다. 이러한 문제와 관련하여 「환경정책기본법」 제7조 ‘오염원인자 책임원칙’에서는 활동으로 환경오염 원인을 야기한 자가 피해구제에 소요되는 비용을 부담하도록 한다. 이러한 비용과 관련한 문제는 게임이론(game theory)의 전통적인 적용대상이다. 특히 협조적 게임에 참가하는 이들은 자신이 게임에 임하지 않을 때보다 임했을 때 이익이 커진다면 당연히 게임에 참가할 것이며 모든 참가자들은 최소의 비용을 투자하거나 최대의 이익을 얻기 위해 노력할 것이다. 본 논문에서는 다양한 물분쟁 중에

서도 상류의 이익행위에 의해 오염물이 하천으로 유입됨에 따라 하류의 수질이 악화되는 경우, 다수의 지방정부와 중앙정부를 포함한 이해당사자 간의 수질관리에 따른 비용배분을 대상으로 하였다.

비용배분 연구의 큰 흐름은 게임이론을 기반으로 이루어져왔으며, 최근 공공사업의 비용배분을 중심으로 협조적 게임이론의 적용이 주를 이루고 있다. 수자원사업 분야에서의 초기 연구는 Tennessee Valley Authority(TVA) 사업과 관련하여 활발히 수행되었다. Ransmeier(1942)와 Parker(1943)는 TVA 사업에 대해 게임이론을 적용하여 다양한 비용배분 연구를 수행하였다. Parker(1943)는 다목적댐의 비용배분 연구에서 공통비용에 대한 배분의 차가 클수록 용수공급, 홍수조절 등의 개별 목적에 부과되는 비용은 적어진다는 결론을 얻었다. 이러한 연구들을 통해 1940년대에 다목적댐 사업 비용배분과 관련하여 분리비용잔여편익법(Separable Cost Remaining Benefit: SCRB)이 사용되기 시작하였으며, Federal Inter-Agency River Basin Committee(1950)는 SCRB법을 높이 평가하여 다목적댐 사업의 비용배분에 이 방법을 추천하기도 하였다. 협조적 게임이론을 바탕으로 한 수자원사업 비용배분은 Straffin and Heaney(1981)의 TVA 사업 관련 비용배분 연구를 그 시초로 볼 수 있다. Young 외(1982)는 스웨덴 남부에 위치한 스캐인 지방을 대상으로 용수공급 비용배분의 다양한 방법[(인구비율, 수요량비율, SCRB법, 샤플리법(Shapley method), 중핵법, 약중핵법(Weak nucleolus), 중핵비율법 등)]을 적용하였다. Driessen(1988)은 T -value, 중핵법, 샤플리법 등을 이용하여 TVA 사업에 대한 비용배분 방법론을 연구하였으며, 이와 비슷한 연구가 다수 존재한다(Driessen and Tijs, 1986; Young, 1994a, 1994b). Kolpin and Aadland(2001)는 미국 몬태나주 관개수로의 비용분담체계에서 환경적 요인의 영향을 연구

하였다. Serghini(2003)는 샤플리법과 중핵법을 적용한 FDC(Fully Distributed Costs) 모형을 개발하여 다목적댐 사업 비용배분을 연구하였다. 국내에서는 김상우(2004), 김상우·이정전(2006)이 SCRB법과 샤플리법을 이용하여 광역상수도 건설의 비용배분 문제를 다룬 바 있다. 김종원·한동근(2010)은 광역상수도 요금에 대해 지자체와 한국수자원공사가 협조하는 것이 그렇지 않는 것보다 양자에 더 좋은 결과를 가져옴을 밝힌 바 있다. 또한 이충성 외(2010)는 유역내 치수관리를 위한 사업계획 시 발생하는 비용배분에 대해서 상류인 인천시와 하류인 김포시를 대상으로 SCRB법과 샤플리법을 적용하였다.

본 논문의 목적은 다수의 지자체를 관통하는 하천의 수질관리를 위한 사업비용을 각 지자체별로 합리적으로 배분하는 방법을 제시하는 것이다. 이를 위해 본 논문은 영산강 본류의 수질오염총량관리제의 단위유역인 영본B와 영본C를 대상지역으로 선정하여 상류지역인 영본B에 조성된 평동산업단지와 광주광역시 오염총량관리제의 목표수질 달성과 하류지역인 영본C의 오염총량관리제의 목표수질 달성을 위한 비용배분을 적용하였다. 우리나라는 1966년 제정된 「특정다목적댐법」에서는 다목적댐의 비용배분을 위해 SCRB법을 원칙으로 하였으며, 1999년 동 법이 폐지되고 새로 제정된 「댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률」에서도 이 원칙이 계속 유지되고 있다. 이에 SCRB법을 적용하여 각각의 이해당사자가 분담해야 할 비용을 산정하였다. 본 논문에서 제시한 수질관리 비용의 배분 방안은 향후 수질과 관련한 다양한 분쟁에 있어서 지자체 간의 타협점을 마련하는 데 기여할 수 있을 것이다.

비용배분에 있어서 기초적이고 근본적인 형평성의 기준을 먼저 마련해야 한다고 생각할 수 있으나, 이해당사자의 인문·사회·자연적 상황이 다르고, 무엇보다 서로 간의 재정능력과 같은 경제적 상황의 차이가

있다면 수많은 분쟁을 아우르는 형평성을 정의하기가 더욱 어려워질 수 있다. 따라서 본 논문은 하나하나의 분쟁 사안에 대하여 개별적으로 접근하여 해결함으로써 추후에 형평성에 대한 큰 틀을 마련하는 것이 적절하다고 판단하고, 이론적인 측면에서 중앙정부와 지자체 간 하천수질관리의 비용배분을 파악하여 비용배분 방법을 실제 사례에 적용 가능한 방향을 제시하고자 하였다. 이에 향후에는 다양한 상황의 분쟁을 해결하기 위해 도출한 개별적 비용배분 원칙을 통합적 관점에서 접근할 수 있는 대원칙을 마련하고자 한다.

참고로 본 논문은 이충성 외(2010)의 연구와 같이, 유역 내에서 발생하는 수자원과 관련한 문제를 대상으로 비용배분을 연구하였다. 협조를 통한 비용배분 관련 문제는 협조 전보다 협조 후에 게임 참가자들의 이익이 커지고, 이때 발생한 이익을 적절한 방법으로 배분하여 비용을 절감한다는 큰 틀을 벗어날 수 없다. 그러나 비용배분의 본질인 하천치수와 하천수질만 비교하더라도 공학적으로 분석하는 방법 자체가 완전히 다르며, 또한 협조 전·후의 비용 산정에 있어서도 완전히 다른 시설물을 대상으로 하므로 연구의 차이점은 크다고 할 수 있다. 또한 기존의 하천수질관리는 유역 내에 위치한 지자체 간의 상황은 고려하지 않고, 일괄적으로 오염자부담원칙을 기본원칙으로 한 오염총량관리제에 의해 지자체가 개별적으로 대처하도록 하고 있으나, 본 논문에서 제시한 방법론을 통해 지자체 간 공동적 대처를 유도하고, 이를 통해 동일 비용으로 수질개선 효율을 높일 수 있는 계기가 될 것으로 판단된다.

II. 비용배분 원칙 설정과 기본환경 분석

1. 비용배분을 위한 원칙 설정

주거지역이든 공단지역이든 상류의 대규모 개발은

오염량의 증가를 초래하며, 완벽하게 사업 전과 같은 상황으로 오염방지를 하지 않는 한, 하류지역은 수질 오염이라는 피해를 입을 수밖에 없다. 그러나 현실적으로 완벽한 오염저감은 기술적으로나 경제적으로 불가능하다. 따라서 하류지역은 피해보상이나 피해방지를 위한 개발계획의 취소를 주장하게 된다. 이때 상류는 개발에 따라 추가적으로 발생하는 오염량에 대하여 최대한 처리하거나 하류지역이 만족할 만한 피해보상을 부담하는 방식을 취할 수 있으나, 상류지역은 적은 비용을, 하류지역은 많은 보상(오염원 처리 또는 보상금)을 원하기 때문에 원활한 합의가 이루어지기는 매우 어렵다.

이러한 상류지역 개발에 따른 수질오염과 관련한 분쟁 시에는 실제 정책을 고려해야 한다. 그중에 하나는 오염총량관리제다. 상·하류만의 관계를 떠나서 하천은 모든 국민이 누려야 할 공공재이기 때문이다. 즉, A라는 유역에서 상·하류의 합의하에 낮은 등급의 수질을 유지하더라도 그 외의 지역 주민들이 대한민국의 쾌적한 하천을 공유할 권리에 영향을 미치기 때문이다. 또한 오염총량관리제가 오염부하의 총량적 목표를 정하고 이를 지자체 간에 분배한 후 각 지자체의 오염부하발생량을 할당된 오염부하량 이하로 관리하도록 하는 총량규제방식이기 때문에 그 자체만으로 개발사업에 따른 수질오염분쟁을 해결하는 역할을 한다.

협조적 게임에 의한 비용배분을 위해서는 협조 이전의 상태에 비해 당사자 모두가 이익을 얻어야 한다. 효율성을 만족하기 위해서는 기존의 상태보다 관련 당사자의 이익의 합이 증가하여야 하는데, 이를 위해서는 갈등 이전 상태보다 오염물이 증가할 경우 이에 따른 피해보다는 상응하는 개발 등으로 인한 이익이 커야 하며, 오염물이 감소할 경우에는 이에 필요한 저감비용보다 오염피해 감소량이 더 커야 함을 뜻한다. 따라서 협조 이전의 기준 상태에 따라 경제활동의 권

리를 분배하고, 이를 기준으로 오염물의 증가에 대해서는 오염자부담원칙을, 감소에 대해서는 수혜자 부담원칙을 적용한다면 상호 혜택을 가지는 비용배분을 보장할 것이다. 대부분의 하천은 여러 지자체를 통과하며, 해당 지자체가 최상류 또는 최하류가 아닌 이상 상류도 하류도 될 수 있기 때문에 행위 이전의 자연발생적 오염과 행위 이후의 인위적 오염의 구분이 가능하다면 상황에 따라 합리적인 오염자부담원칙을 기반으로 한 협조적 게임이론에 따른 비용배분 원칙이 성립 가능하다.

2. 대상지역 기본환경 분석

대상지역은 영산강 오염총량관리제에서 단위유역인 영본B와 영본C이다. 오염총량관리제란 과학적 토대 위에 수계구간별 목표수질을 설정하고, 그 목표수질을 달성 및 유지하기 위한 허용 부하량을 산정하여 해당 총량관리단위유역 내에서 배출되는 오염물질의 총량이 목표수질을 달성할 수 있는 허용 부하량 이내로 규제 또는 관리하는 제도다. 농도가 아닌 부하량을 지표로 하는 관리제도로 개별 오염원보다는 유역을 관리한다. 영본B는 총면적 543km² 중에서 광주광역시 관할은 389km²이며 나머지는 각각 전라남도 나주시 3km², 담양군 5km², 장성군 143km², 함평군 3km² 관할이다. 영본C는 총면적 629.1km² 중에서 광주광역시 관할은 55km²이며 나머지는 각각 전라남도 나주시 473km², 화순군 56.3km², 영암군 44.8km² 관할이다. 1단계 수질오염총량관리의 계획기간은 2004~2010년이며, 대상물질은 BOD로 한다. 본 연구에서는 수질개선을 위한 기준 대상물질을 BOD로 하며, 과거 10년 평균저수량을 기준유량으로 계산한다. 2010년 기준 목표수질(BOD)은 영본B 5.6mg/L, 영본C 5.2mg/L이다. 하류에 위치한 영본C의 목표수질이 좋은 이유는 영본C 구간에 영산

강 분류보다 상대적으로 깨끗한 지석천과 같은 지류들이 유입돼 오염물의 희석효과가 있기 때문인 것으로 판단된다.

단위유역별 기준유량은, 영본B 단위유역의 저수기 기준유량은 영본A 단위유역 유입량 1,928m³/sec와 황룡강A 단위유역 유입량 1,645m³/sec를 고려하고, 하수종말처리장 방류량을 고려하여 12,845m³/sec로 설정하였다. 또한 영본B 단위유역의 평수기 기준유량은 영본A 단위유역 유입량 3,520m³/sec와 황룡강A 단위유역 유입량 3,056m³/sec를 고려하고, 하수종말처리장 방류량을 고려하여 17,580m³/sec로 설정하였다 (광주광역시, 2009). 여기서 저수량은 1년 동안 매일 측정된 하천의 수량자료를 기준으로 1년 365일 중에서 275일(9개월) 이상 유지유량, 평수량은 185일(6개월) 이상 유지유량을 의미한다. <그림 1, 2>는 각각 영본B와 영본C의 월평균 BOD와 연평균 BOD로 꾸준한 수질개선 활동을 통해 점차 수질이 좋아지고 있음을 알 수 있다.

상류의 개발행위는 광주광역시 광산구 평동 일원에 위치한 평동산업단지를 대상으로 한다. 평동산업단지는 총면적 373만 1천m²로 산업시설구역, 201만 5천m², 지원시설구역 38만 9천m², 공공시설구역 81만 6천m², 녹지구역 44만 9천m², 기타구역 6만 2천m²이다. 2010년 말 현재 가동업체는 298개사이며, 고용인원 5,615명, 생산액 5,755억 원이다. 산업단지에 사용되는 취수원은 장성호이며, 상수도사업본부 광산사업소에서 공급한다. 공업용수 공급능력은 42만 톤/일, 사용량은 3만 9천 톤/일, 생활용

수 5천 톤/일이다. 오폐수는 업체별 1차 처리 후 광주 제2하수처리장에서 2차 처리하며, 광주 제2하수처리장의 처리능력은 12만 톤/일이고 방류수역은 영산강 본류다(한국산업단지공단, 2011).

평동산업단지의 폐수처리방식은 ‘개별처리 후 하수종말처리시설 유입처리’ 방식이다. 공단에 사용되는 공업용수는 주로 원료 및 보일러용수, 공정용수, 희석수, 냉각 등의 용도로 쓰인다. 이때 폐수가 발생하는데, 폐수발생량은 산업단지에서 발생하는 폐수

그림 1 _ 영본B와 영본C의 월평균 BOD

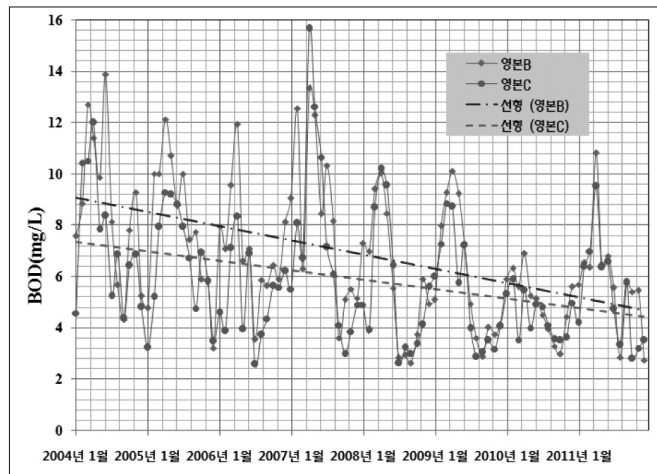


그림 2 _ 영본B와 영본C의 연평균 BOD

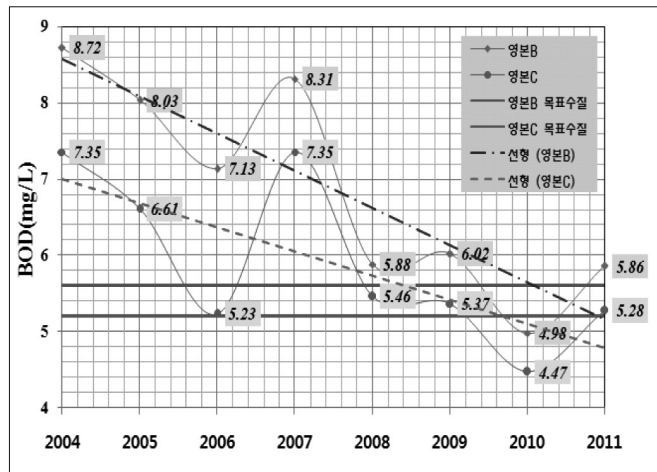


표 1_ 평동 일반산업단지의 폐수와 유기물 발생량 및 방류량

구분	업소수 (개)	폐수(m ³ /일)		유기물(BOD)(kg/일)	
		발생량	방류량	발생량	방류량
평동일반 산업단지	46	331	300	28	3

자료: 환경부, 2010.

그림 3_ 대상지역 하천, 산업단지, 수질관측점



처리 후 최종방류구에서 재이용하는 폐수를 포함한 총 발생량을 말하며, 폐수처리장 유입 전 또는 폐수처리장 중간에서 순환 재이용하는 양은 제외한다. 폐수발생량 중 재이용수, 증발량 등을 제외하고 실질적으로 공공수역으로 배출되는 폐수의 양을 폐수방류량이라고 하며, 실제로 처리해야 하는 양이다. 폐수는 물과 오염물질이 혼합되어 있기 때문에 폐수의 방류량(m³/일)과 BOD 방류농도(mg/l)를 알면 역으로 유기물질 부하량(kg/일)을 산정할 수 있다.

환경부에서는 매년 「공장폐수의 발생과 처리」를 발간해 환경오염 배출업소를 조사한 결과를 발표한다. 가장 최근 자료인 「2008 공장폐수의 발생과 처리」(환경부, 2010)는 2008년 12월 말 기준으로 작성되었다. 평동일반산업단지의 사업장수, 폐수발생량, 폐수방류량,

유기물질 부하량은 <표 1>과 같으며, 영산강 본류의 유기물 방류량은 3kg/일이다. <그림 3>은 대상지역의 하천, 주요 수질 관측점, 산업단지의 오염원이동 경로를 나타낸다.

III. 수질관리를 위한 비용 산정

III장에서는 앞서 산정한 삭감량을 처리하기 위한 방법은 하수처리장을 대상으로 하며, 그 비용을 산정하는 방법을 제시하였다. 단, 지자체 간 수질과 비용의 관계에 있어서 협조적 해 도출을 위해 필요한 각종 비용들을 정확히 산정하기 위해서는 매우 세부적인 공학적 분석이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 분석을 수행하는 데 한계가 있으므로 개략적인 비용을 사용하였다. 그러나 비용산정의 근거는 기존의 실제 자료들을 활용하였음을 밝힌다. 또한 평동산업단지 개발에 따른 이익은 평동산업단지의 수질관리비용을 넘는 것으로 가정한다. 공

단에 소속된 업종별로 유기물 배출량에는 차이가 있으나, 공단전체의 유기물 배출량을 사용한다. 지자체 유출부 수질은 오염총량관리기본계획상의 기준을 반드시 지켜야 하는 것으로 가정한다.

1. 수질오염총량관리제 및 산업단지 조성에 따른 유기물 삭감량 산정

오염총량관리제에 의해 평동산업단지의 BOD 방류량은 영본B에 포함되어 광주광역시 관리를 받으나, 본 논문에서는 상류지역에 개발할 경우도 수질관리 비용배분에 포함하기 위해, 평동산업단지는 오염총량관리계획과 별도의 오염원으로 간주하였다. <표 2>는 평동산업단지와 오염총량관리제의 기준을

표 2 _수질관리 대상별 삭감량 산정

수질관리 대상 및 관리 주체		삭감계획량(g/sec)
광주광역시	평동산업단지 조성	0.035
	오염총량관리제-영본B	81.837
	오염총량관리제-영본C	3.730
	소계	85.602
전라남도	오염총량관리제-영본B	2.177
	오염총량관리제-영본C	23.544
	소계	25.721

고려한 광주광역시와 전라남도의 수질관리 대상별 삭감량이다.

2. 유기물(BOD) 처리를 위한 시설용량 결정

BOD 삭감량을 처리하기 위한 하수처리장의 규모

를 결정하기 위해 환경부에서 매년 발간하는 「하수도통계」와 “공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과”(환경부, 2011)의 자료를 이용하였다. 영산강 유역의 16개 공공하수처리시설을 대상으로 하였으며, <표 3>은 영산강 유역에 위치한 16개의 하수처리장과 낙동강 유역에 위치한 35개의 하수처리장 시설용량, BOD처리량, 총건설비, 유지관리비 현황이다.

<그림 4>는 영산강 유역에 설치된 하수처리장의 시설용량, 유입수 BOD 농도, 방류수 BOD 농도 자료를 이용하여 도출한 BOD처리량(g/sec)과 시설용량의 관계를 나타내고 있다. 16개의 하수처리장 자료를 이용하여 회귀분석을 실시하여 비교한 결과는 <표 4>와 같다. <식 1>의 조정결정계수는 94.1%로 설명변수 R의 변동으로 설명할 수 있으며, $\ln Q_{STP}$ 와

표 3 _영산강유역 하수처리장 현황(2010년 기준)

하수처리장	시설용량 (m³/일)	BOD처리량 (g/sec)	총건설비 (백만 원)	유지관리비 (백만 원)	하수처리장	시설용량 (m³/일)	BOD처리량 (g/sec)	총건설비 (백만 원)	유지관리비 (백만 원)
광주제1	600,000	822.17	667,833	14,749	담양	7,000	5.36	21,346	379
광주제2	120,000	169.03	220,633	2,934	나주	22,500	10.60	27,641	1,526
임실	3,400	5.66	23,571	569	산포	3,000	1.63	16,095	298
화순읍	19,000	23.62	55,407	1,143	무안	4,500	5.88	9,421	508
화순온천	2,000	0.88	3,372	66	일로	3,000	2.19	15,137	184
영암	5,500	6.03	33,231	549	공산	500	0.18	5,256	73
함평	9,000	8.02	38,610	673	오수	1,700	2.25	26,851	342
장성	11,000	16.93	32,357	625	도곡온천	6,000	2.69	6,053	67

자료: 환경부, 2011.

그림 4 _ 영산강 하수처리장 BOD 처리량-시설용량 관계

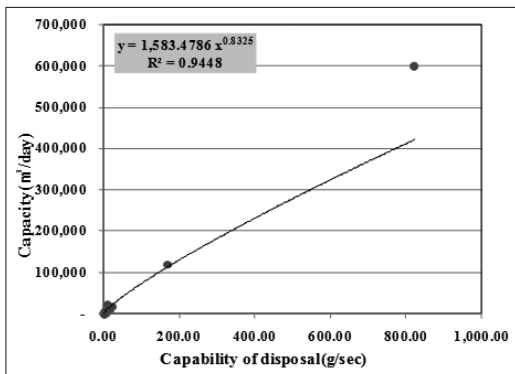


표 4 _ BOD 처리량과 시설용량 관계의 회귀분석

구분	Coefficients Estimates	95% Confidence Interval		T-Value	P-Value
		Min.	Max.		
$\ln Q_{STP}$	7.3670	7.0559	7.6780	50.798***	0.000
$\ln R$	0.8325	0.7175	0.9477	15.515***	0.000
F-Statistics	240.721***				
R² / Adj. R²	0.945 / 0.941				
Num. of obs.	16				

주: ***significant at 0.01 significance, **significant at 0.05 significance, *significant at 0.10 significance

lnR은 모두 95% 신뢰구간에 포함된다.

$$\ln Q_{STP} = 7.3670 + 0.8325 \ln R$$

$$Q_{STP} = 1,583.4786R^{0.8325} \quad <식 1>$$

여기서, $Q_{STP}(m^3/일)$ 는 하수처리장 용량, R 은 BOD 처리량(g/sec)을 나타낸다.

3. 하수처리장 건설비

하수처리시설의 총 건설비용을 산정하기 위해서는 시설용량과 건설비용의 관계를 알아야 한다. 영산강 유역에 설치된 하수처리장의 BOD 처리량과 총사업비의 관계를 산정하기 위하여 환경부에서 발간하는 「하

수도통계」 연보를 이용하여 초기 사업, 시설확장을 위한 사업비 등을 조사하였다. 각 하수처리장은 설치시기와 확장시기가 상이하고, 비용배분을 적용하고자 하는 시점의 경제적 가치를 반영해야 하므로 건설업 디플레이터(deflator)를 이용하여 과거의 사업비를 2010년 말의 사업비로 환산하였다. 16개의 하수처리장 자료를 이용하여 회귀분석을 실시하여 비교한 결과는 <표 5>와 같다. <식 2>의 조정결정계수는 76.8%로 설명변수 R의 변동으로 설명할 수 있으며, F값은 50.551로 큰 값을 가지며, 유의확률 역시 1% 유의수준보다 작게 나와 통계적으로 의미가 있다고 볼 수 있다.

$$\ln C_c = 3.9495 + 0.6919 \ln Q_{STP}$$

$$C_c = 51.9092Q_{STP}^{0.6919} \quad <식 2>$$

여기서, C_c 는 건설비용, Q_{STP} 는 하수처리장 용량을 나타낸다.

그림 5_ 영산강유역 하수처리장의 시설용량-총건설비 관계

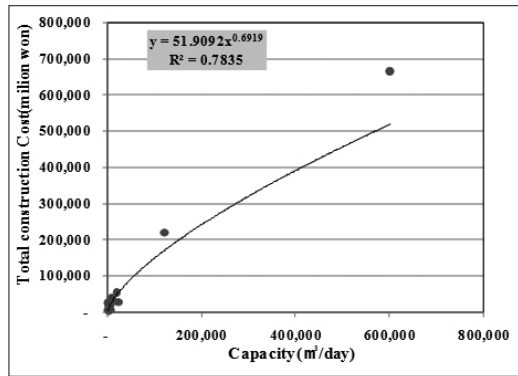


표 5_ 시설용량과 총건설비 관계의 회귀분석

구분	Coefficients Estimates	95% Confidence Interval		T-Value	P-Value
		Min.	Max.		
lnC _c	3.9495	2.0496	5.8494	4.459***	0.001
lnQ _{STP}	0.6919	0.4832	0.9006	7.110***	0.000
F-Statistics	50.551***				
R ² / Adj. R ²	0.783 / 0.768				
Num. of obs.	16				

주: ***significant at 0.01 significance, **significant at 0.05 significance, *significant at 0.10 significance

4. 하수관거 건설비

하수처리장의 경우 시설을 사용하기 위해서는 우선 하수관거가 설치되어야 한다. 따라서 비용 산정 시 하수처리장 건설비용뿐만 아니라 하수관거의 건설비용도 포함되어야 한다. 국내에는 개개의 하수처리장별 하수관거비용 자료가 없기 때문에, 「국가 하수도종합계획(2007~2015)」(환경부, 2007)에 제시된 하수관거 건설비를 사용하였다. 이는 대상 유역에 투입된 하수처리시설과 하수관거의 실제 투자액 비율을 이용하여 산정한 값으로 수계별로 제시되어 있다. 제시된 하수처리시설 대비 하수관거 투자액의 비율로 하수관거 건설비를 산정하면 <표 6>과 같다.

표 6_ 유역별 하수처리시설 대비 하수관거 투자액

(단위: 백만 원)

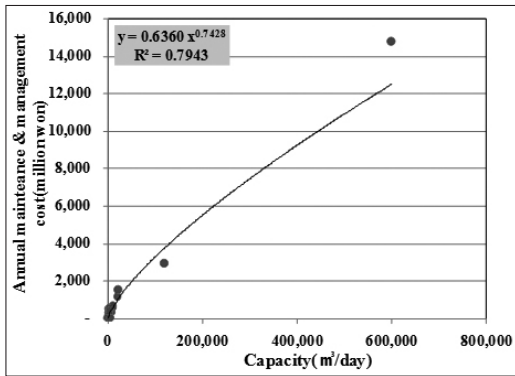
구분	하수처리시설(A)	하수관거(B)	B/A(%)	투자기간
전국	4,911,423	3,425,113	69.74	
한강수계	1,737,613	1,276,820	73.48	1998~2005
낙동강수계	1,957,942	1,285,407	65.65	1999~2005
금강수계	922,660	532,442	57.71	2001~2005
영산강수계	293,208	330,444	112.70	2001~2005

5. 하수처리장 연간유지관리비

하수관거와 하수처리시설을 건설한 후 수질관리를 위해서 하수처리비용이 필요하다. 이러한 하수처리 비용에는 인건비, 전력비, 약품비, 슬러지처리비, 개보수비 등 많은 유지관리비가 소요된다. 따라서 건설비뿐만 아니라 유지관리비도 고려해야 한다. 본 논문

에서는 “공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과”(환경부, 2011)를 참고로 영산강 유역 하수처리장의 시설용량과 유지관리비의 관계(〈그림 6〉 참조)를 도출한 〈식 3〉을 이용하여 연평균 유지관리비용을 산정하였다. 회귀분석을 실시하여 비교한 결과는 〈표 7〉과 같으며, lnA와 lnR은 모두 95% 신뢰구간에 포함된다.

그림 6_ 영산강유역 하수처리장의 시설용량-유지관리비



$$\ln C_M = 0.4526 + 0.7428 \ln Q_{STP}$$

$$C_M = 0.6360 Q_{STP}^{0.7428} \quad \text{<식 3>}$$

여기서, C_M 은 유지관리비용, Q_{STP} 는 하수처리장 용량을 나타낸다.

표 7_ 시설용량과 유지관리비 관계의 회귀분석

구분	Coefficients Estimates	95% Confidence Interval		T-Value	P-Value
		Min.	Max.		
$\ln C_M$	-0.4526	-2.4282	1.5230	-0.4914	0.6308
$\ln Q_{STP}$	0.7428	0.5257	0.9598	7.3400	0.000
F-Statistics	53.875***				
R ² / Adj. R ²	0.794 / 0.779				
Num. of obs.	16				

주: ***significant at 0.01 significance, **significant at 0.05 significance, *significant at 0.10 significance.

6. 총비용 산정을 위한 기준

오염물을 처리하는 하수처리장은 수명이 짧다는 특성이 있으며, 토목, 전기, 기계 등의 다양한 구조물 및 설비로 구성되어 있다. 따라서 비용배분의 대상이 되는 하수처리장의 내구연수와 실제로 내구연수까지 운행하기 위해 수선되는 비용을 고려해야 한다. 「법인세법」 시행규칙(2008년 3월 31일 개정)에서 ‘기획재정부령이 정하는 기준내용연수’ 및 ‘기획재정부령이 정하는 내용연수범위’는 철골·철근콘크리트조나 철근콘크리트조로 건설되는 폐수 및 폐기물처리용 건축물의 내용연수는 20년으로 하고, 내용연수범위를 15~25

표 8_ 하수처리장 분야별 적용기준

구분	공사비 비율(%)	내용연수(년)	대수선비 비율(%)
기계	26	14	26
전기	15	14	15
계장		10	
토목	38	10	0.05
건축	17	10	2.3
조경	4	-	-

출처: 박경애 외, 2007.

표 9 _ 원인별 수질관리 비용 산정

구분		삭감량 (g/sec)	하수처리장 시설용량 (m ³ /day)	총건설비(백만 원)			유지관리비 (백만 원)	20년간 총비용 (백만 원)	
				하수처리장 건설비	하수관거 건설비	합계			
광주 (p_c)	평동산단(S_1)	$C(p_c, S_1)$	0,035	96.5	1,225.8	1,381.5	2,607.4	19.0	3,381.3
	오염총량(S_2)	$C(p_c, S_2)$	85,567	64,306.9	110,173.7	124,165.7	234,339.4	2,371.5	311,465.6
	개별	$C(p_c, S_1) + C(p_c, S_2)$	85,602	64,403.5	111,399.5	125,547.3	236,946.8	2,390.5	314,846.9
	공동	$C(p_c, S_{(1+2)})$	85,602	64,328.6	110,199.4	124,194.8	234,394.2	2,372.1	311,538.9
전남 (p_j)	오염총량(S_3)	$C(p_j, S_3)$	25,721	23,641.6	55,130.5	62,132.1	117,262.6	1,127.8	155,188.7
개별	$C(p_c, S_{(1+2)}) + C(p_j, S_3)$	111,323	87,970.3	165,329.9	186,326.8	351,656.8	3,499.9	466,727.6	
공동	$C(p_{(G+J)}, S_{(1+2+3)})$	111,323	80,056.0	128,204.3	144,486.2	272,690.5	2,790.6	362,789.4	

년으로 하여 신고내용연수를 선택적으로 적용할 수 있도록 하고 있다. <표 8>은 하수처리장의 분야별 공사비 비율 및 내용연수 적용기준과 분야별 대규모 수선비 산정기준 및 비율을 나타내고 있다. 이에 본 연구에서는 하수처리장의 내용연수를 20년으로 하고, 하수처리장의 건설기간은 2년으로, 총 건설비가 2년에 나누어 투입된다고 가정하였으며, 하수처리장 분야별 해당공종별 공사비 비율을 고려하여 하수처리장의 전체대수선기간을 주구조물의 내용연수인 10년으로 볼 수 있고, 총공사비 대비 대수선비율의 총합이 43.35%로, 최초 시설설치 후 10년이 되는 시점에 총공사비의 43.35%가 재투입되어 총 20년 동안 기능을 유지하는 것으로 가정하였다.

본 논문의 비용배분을 위한 기준연도는 사업시작 시점을 2010년으로 가정하여 2009년으로 설정하였다. 현재 가치화하기 위해 할인율은 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)」(안상훈 외, 2008)의 것을 이용하였으며, 5.5%를 적용하였다. <표 9>는 원인별 수질관리 비용을 산정한 결과다.

IV. 이해당사자 간 비용배분

1. 협조적 게임의 해법

<표 9>에서 보는 바와 같이, 광주광역시와 전라남도가 단독으로 수질관리를 할 경우보다 공동으로 대처할 경우 비용이 절감되므로 상·하류 지자체 모두 비용배분에 참여할 협조적 상황이 마련됨을 알 수 있다. 1절에서는 상류의 이탈동기를 최소화하면서 상·하류 모두의 협조적 동기를 최대한 이끌어내기 위한 협조적 해법을 제시하고자 한다.

1) 협조적 게임의 성립 조건

비용배분의 대상이 되는 사업들의 사업비용은 <식 4>와 같이 표현할 수 있다.

$$C(p_i, S_j) - B(q_i, q_o, ed) \quad <식 4>$$

여기서, p_i 는 수질관리사업 추진 주체(또는 사업대상지역)를 의미하는데, $i=G$ 은 광주광역시이고, $i=J$ 는 전라남도다. S_j 는 <표 9>에서 제시한 오염물질(BOD 기준) 삭감 대상이며, $C(\cdot)$ 는 비용배분 주체

표 10_ 삭감계획량 기준 수질관리사업 비용의 산정

구분	지자체	비용(백만 원)	
개별적 사업비용	광주	$C(p_G, S_{(1+2)})$	311,538.9
	전남	$C(p_J, S_3)$	155,188.7
	소계		466,727.6
공동적 사업비용	광주+전남	$C(p_{(G+J)}, S_{(1+2+3)})$	362,789.4
부가적 사업비용	광주	$C(p_{(G+J)}, S_{(1+2+3)}) - C(p_G, S_3)$	207,600.7
	전남	$C(p_{(G+J)}, S_{(1+2+3)}) - C(p_G, S_{(1+2)})$	51,250.5
	소계		258,851.2

와 오염물질 삭감 대상에 따른 비용을 의미한다. 또한 추가적으로 발생한 수질개선 정도에 대한 편익은 $B(q_1, q_0, ed)$ 로 표현된다. 즉, 편익은 그 지역의 시작 하천수질인 q_1 , 그 지역의 최종 하천수질인 q_0 , 그리고 그 지역의 Endowments(인구수, 소득, 자산, 경제 활동 등)인 ed 의 함수로 표현된다. 이러한 비용이 관련 지자체 각각에 대해 분리가 가능하다고 가정한다면 개별적 혹은 공동적 관리에 따라 분류할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 기준 수질을 오염총량관리제의 목표수질로 설정하였기 때문에 추가적인 수질개선에 대한 부분은 없는 것으로 한다.

총비용을 상류인 광주광역시와 하류인 전라남도로 분리 가능하다고 가정한다면 <표 10>과 같이 개별적 혹은 공동적 건설 가정에 따라 분류할 수 있다. 개별적 사업비용이란 상·하류가 개별적으로 수질관리사업을 실시하여 자신의 지역에서 발생하는 오염물에 대하여 단위유역 출구점의 수질기준에 적합하도록 처리하는 데 소요되는 비용을 의미한다. 즉, 현재 광주광역시와 전라남도에서 각각 처리해야 할 오염물질만을 처리할 수 있는 규모로 건설될 경우를 가정하여 개별적으로 비용을 산출하는 것이다. 광주광역시의 경우 평동산업단지 조성과 수질오염총량제 기준에 따른 처리를 공동으로 하게 되면 개별로 할 경우보다 2010년 현재가치 기준으로 20년간 33억 805만 원이 절감되므로 당연히 $C(p_G, S_{(1+2)})$ 를 취

할 것이다.

공동적 사업은 상·하류가 공동으로 수질관리사업을 실시하여 비용을 절감하는 것이다. 이는 ‘규모의 경제(economy of scale)’ 논리에 따르는 것으로, 하수처리용량이 증가함에 따라 건설비 및 유지관리비에 비해 하수처리능력이 크게 증가함으로써 생기는 경제적 이익을 얻는 것이다.

즉, 상·하류가 하수처리장을 공동으로 건설함으로써 ‘규모의 경제’에 대한 효과를 서로 가지는 것이다. 부가적 사업비용이란 상·하류 지자체 중 최소의 비용이 투입되는 공동적 사업비용 $C(p_{(G+J)}, S_{(1+2+3)})$ 에서 상대편의 개별적 사업비용을 제외한 만큼을 비용으로 계산하는 방식이다.

<표 10>과 같이 분리된 비용은 일반적으로 저가산적(sub-additive) 비용인 경우가 대부분이다. 만일 비용의 성격이 저가산적이라면, 이는 하천의 전형적 특성인 상·하류 간 일방적 구조에서 벗어나 협조적 게임 성립을 위한 출발점이 된다. 따라서 협조적 게임의 성립을 위해서는 <식 5>의 조건이 만족되어야 한다.

$$C(p_2, S_3) + C(p_2, S_1 + S_2) > C(p_2, S_1 + S_2 + S_3) > C(p_2, S_1 + S_2 + S_3) - C(p_2, S_1 + S_2) + C(p_2, S_1 + S_2 + S_3) - C(p_2, S_3) \quad <식 5>$$

<식 5>와 같은 조건의 성립 여부는 직관적으로도 해석될 수 있다. 즉, 개별적 사업비용이든지 공동적 사업비용이든지 최종적으로 그 합에 의한 결과는 동일하게 오염물 양을 저감시킬 수 있는 규모의 수질관리사업이다. 그러나 상·하류가 개별적으로 사업을 실시할 경우에는 사업에 투자되는 고정비용(fixed cost)이 중복될 가능성이 있으므로 일반적으로 공동

적 사업비용보다 더 큰 비용이 발생한다. 이는 상·하류 전체적인 관점에서 협조적 게임의 성립을 위한 필요조건이다. 어차피 수행되어야 할 개별적 건설비용에 비하면 저가산성에 의해 규모의 경제가 적용되는 공동적 비용배분이 비용 효과적(cost-effective)이라는 전제하에서 상·하류의 협조적 동기는 필연적으로 발생하게 된다.

비용적으로 공동적 사업비용이 개별적 사업비용의 합보다 1,039억 3,820만 원 절감되는 것 외에도 본 연구의 비용배분 상황에서 상·하류가 협조적 게임에 임할 가능성이 매우 높다. 왜냐하면, 상류인 영본B의 목표수질은 BOD 5.6mg/L, 하류인 영본C의 목표수질은 BOD 5.2mg/L이며, 이는 하류에 비해 광주광역시라는 매우 큰 오염원이 상류에 자리하고 있기 때문이다. 일반적으로 상류에 비해서 하류로 내려갈수록 하천으로 유입되는 오염물질 부하량이 증가하기 때문에 하류의 수질이 나빠다. 그러나 본 연구의 대상지역은 그 반대이므로 하류의 입장에서는 상류에 공동으로 하수처리시설을 건설함으로써 상류로부터 유입되는 수질이 5.6mg/L보다 더 좋게 할 수 있다. 단, 협조적 게임이 될 가능성이 높더라도 상류인 광주광역시 입장에서는 하수처리장의 규모가 커짐에 따른 손해 부분을 하류에 요구할 수 있기 때문에 비용배분에 있어서 복잡한 상황이 발생할 수 있다.

2) 협조적 게임하의 협의대상 비용

앞에서 살펴본 조건들의 가능성을 감안한다면, 비용 배분을 위한 협조적 게임의 양상은 하류인 전라남도가 상류인 광주광역시에 사업 대행을 요구하고, 광주광역시는 사업 대행을 위해 전라남도에 적절한 협의대상 비용을 제안하는 방식이 된다. 협조적 게임하에서 상류가 사용할 수 있는 이상적 전략은 공동적 사업비용을 협의대상 비용의 출발점으로 하여 협의에 따라 더 큰 비용부담의 가능성을 제시해나가는 것이다. 따라서 협조적 게임하에서 협의대상이 되는 비용은 <식 6>과 같이 최대 및 최소비용의 사이에서 결정된다.

$$C(p_G, S_{(1+2)}) > \text{광주분담액} > C(p_{(G+J)}, S_{(1+2+3)}) - C(p_J, S_3) \\ C(p_J, S_3) > \text{전남분담액} > C(p_{(G+J)}, S_{(1+2+3)}) - C(p_G, S_{(1+2)}) \\ < \text{식 6} >$$

2. 지자체별 비용배분을 산정

본 논문에서는 광주광역시와 전라남도의 수질관리에 대한 비용을 배분하기 위해 SCRB법을 이용하여 비용배분율을 도출하였다. SCRB법은 협조적 게임이론에 근거한 비용배분 방법론으로 각 참여자가 자신에게 가장 유리한 조건의 한계비용을 먼저 부담하고

표 11 _ SCRB법에 의한 지자체별 비용배분을 산정

(단위: 백만 원)

SCRB 절차	광주광역시	전라남도
① 개별적 사업비용(대체건설비)	311,538.9	155,188.7
② 분리비용(부가적 사업비용)	207,600.7	51,250.5
③ 잔여편익(분리불가능비용)	311,538.9-207,600.7 = 103,938.2	155,188.7-51,250.5 = 103,938.2
④ 잔여편익률(총잔여편익에 대한 구성비율)	103,938.2/(103,938.2+103,938.2) = 50%	103,938.2/(103,938.2+103,938.2) = 50%
⑤ 분리비용 제외 부담액	[362,789.4-(207,600.7+51,250.5)]×50% = 51,969.1	[362,789.4-(51,250.5+207,600.7)]×50% = 51,969.1
⑥ 배분된 사업비	207,600.7+51,969.1 = 259,569.8	51,250.5 + 51,969.1 = 103,219.6
⑦ 비용배분율	259,569.8/(259,569.8+103,219.6) = 71.55%	103,219.6/(259,569.8+103,219.6) = 28.45%

잔여 비용은 첫 번째 부담에 따라 얻게 된 이익에 비례해 부담하도록 배분한다는 논리다. <표 10>에서 제시한 바와 같이 총사업비용이 분리가능하다고 하면 본 연구의 비용배분 문제에 대해 <표 11>과 같은 절차에 따라 SCRB법을 적용할 수 있다. SCRB법을 적용하기 위한 첫 단계는 총사업비에 대해 상·하류 각자가 독립적으로 대응하는 대체건설비를 산정하는 것이다. 두 번째 단계는 총사업비에서 상대방의 대체건설비를 제외한 분리비용을 산정하는 것인데, 이는 사업에 참여함으로써 자신이 부담하여야 할 최소의 비용이다. 따라서 분리비용은 상·하류가 각기 자신에게 유리한 부가적 사업비용을 자신의 분담액으로 제시하는 과정으로 생각할 수도 있다.

그러나 상·하류 분리비용의 합은 <식 5>에서 나타냈듯이 총사업비보다 적게 되므로 추가적인 협상에 의해서 잔여액을 재배분하여야 한다. 이러한 잔여액을 SCRB법에서는 편의의 개념으로 해석한다. 따라서 세 번째 단계인 잔여편익은 각자의 대체건설비에서 분리비용을 제외하여 산정할 수 있다. 잔여편익이 산정되면 네 번째 단계로 이를 상·하류 모두의 잔여편익 합에 대한 백분율로 나타내 잔여편익률을 계산하게 된다. 다섯 번째 단계에서는 이렇게 계산된 잔여편익률에 따라 총사업비용에서 분리비용의 합을 제한 나머지 비용을 배분하게 된다. 마지막으로 상

·하류의 분리비용 제외 부담액과 분리비용을 합하여 최종적인 상·하류의 분담액을 결정할 수 있다. 최종적으로는 SCRB법을 적용하여 산정된 분담액 중에서 상류 분담액이 <식 6>의 조건을 만족하는지 여부에 따라 도출된 해의 적합성을 검증할 수 있다. 즉, 지자체 각각의 분담액이 독립적 사업비용보다 적으면 도출된 해는 SCRB의 해로서 적합하다고 할 수 있다.

3. 이해당사자별 비용배분

큰 틀에서 상·하류에 대한 비용배분액이 결정되었으면 상·하류에 속해 있는 각 비용배분 주체를 대상으로 사업시행을 위한 재원에 대해 논의해야 한다. 따라서 도출된 비용배분율을 기본으로 해서 중앙정부의 재정보조를 고려하여 재원조달 방안을 결정할 수 있다. 하수처리장, 하수관거, 우수지 및 펌프장, 기타 운영비 등으로 지출되는 비용에 대한 2001년부터 2010년까지 10년간 하수도 세입현황은 <표 12>와 같다. 표에서 보는 바와 같이, 하수도 관련 사업을 시행함에 있어서 중앙정부의 지원은 총사업비의 약 29.22% 정도다. 여기서 금액은 2010년 기준으로 현재가치화한 것이다. 본 논문에서는 하수도사용료와 원인가부담금 등은 해당 지역에서 세입이 발생하므로 지방비를 포함한 광주광역시와 전라남도의 분담

표 12 _ 2001~2010년 하수도 세입현황

(단위: 억 원, %)

구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	합계
총계	44,059	49,743	47,944	49,041	52,043	53,524	52,602	58,776	65,395	63,299	536,427
중앙정부지원비	15,054 (34.17)	16,778 (33.73)	14,694 (30.65)	11,762 (23.98)	15,069 (28.96)	15,458 (28.88)	14,260 (27.11)	14,956 (25.45)	18,443 (28.20)	20,256 (32.00)	156,732 (29.22)
지방비	16,807 (38.15)	18,239 (36.67)	18,700 (39.00)	21,202 (43.23)	18,061 (34.70)	18,513 (34.59)	18,372 (34.93)	20,959 (35.66)	23,330 (35.68)	22,155 (35.00)	196,338 (36.60)
하수도사용료	8,704 (19.76)	9,616 (19.33)	9,428 (19.67)	10,304 (21.01)	10,366 (19.92)	12,046 (22.51)	12,427 (23.62)	14,073 (23.94)	14,253 (21.80)	12,027 (19.00)	113,246 (21.11)
원인가부담금	3,494 (7.93)	5,109 (10.27)	5,121 (10.68)	5,772 (11.77)	8,546 (16.42)	7,508 (14.03)	7,543 (14.34)	8,787 (14.95)	9,368 (14.33)	8,862 (14.00)	70,111 (13.07)

표 13 _ 비용배분율에 따른 상·하류 비용분담액

(단위: 백만 원)

비용배분		광주 관할		전남 관할	
		광주	정부	전남	정부
정부분담률 최소 (23.98%)	협조 전	236,819.1	74,719.8	117,968.1	31,497.0
	협조 후	197,314.3	62,255.5	78,463.3	25,725.5
	차액(편익)	39,504.8	12,464.3	39,504.8	12,464.3
정부분담률 평균 (29.22%)	협조 전	220,514.3	91,024.6	109,846.1	45,342.6
	협조 후	183,729.4	75,840.4	73,061.2	30,158.4
	차액(편익)	36,784.9	15,184.2	36,784.9	15,184.2
정부분담률 최대 (34.17%)	협조 전	205,094.1	106,444.8	102,164.8	53,024.0
	협조 후	170,881.5	88,688.3	67,952.2	35,267.5
	차액(편익)	34,212.6	17,756.5	34,212.6	17,756.5

금으로 간주하였다. 따라서 <표 11>에서 산정한 광주광역시와 전라남도의 분담비율을 적용하면 중앙정부, 광주광역시, 전라남도의 분담률은 각각 29.22%, 50.64%, 20.14%가 된다. 20년간 수질관리비용인 3,627억 8,940만 원 중에서 정부의 부담금은 1,059억 9,880만 원, 광주광역시와 전라남도의 분담률을 적용하면 각각 1,837억 2,940만 원, 730억 6,120만 원이다. <표 13>은 비용배분율에 따른 상·하류 비용분담액을 산정한 결과이며, 각각의 분담비율은 이해 당사자 간에 협의·조정도 가능할 것이다.

V. 결론

상류 지자체의 경제활동과 더불어 원인자부담원칙을 기본으로 하는 오염총량관리기본계획을 고려한 하천 수질관리는 현재 지자체 개별적으로 이루어지고 있는 실정이다. 그러나 하천으로 유입되는 수질오염물은 상류에서 하류로 일반적으로 흐르고, 하천에 다수의 지자체가 연관되어 있으며, 일반적인 하수처리시설은 ‘규모의 경제’를 따르는 시설물임을 감안한다면 지자체의 개별적 대처는 결국 비용의 증가를 초래하므로 국가적으로도 손실이 발생할 수밖에 없다. 이에 본 논

문은 상류의 개발행위와 더불어 현재 수질관리의 기준이 되는 오염총량관리제를 대상으로 ‘규모의 경제’의 논리를 따른다는 가정하에, 지자체 간에 협조를 통해 비용을 절감하여 서로 혜택을 볼 수 있도록 상·하류 지자체와 중앙정부 등 관련 당사자들 간의 비용배분 방안을 도출하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해서 광주광역시에 위치한 평동산업단지과 영본B, 영본C를 대상으로 광주광역시, 전라남도, 중앙정부를 이해 당사자로 하여 협조적 상황하에서 대상 비용배분 문제를 정의하였고, 협조적 게임이론에 근거한 SCRB법을 적용하여 비용배분 결과를 제시하였다.

우선 광주광역시와 전라남도가 각각 삭감해야 할 오염량을 산정하고, 해당 삭감량만큼을 처리하기 위한 하수처리시설의 규모를 설정하였다. 또한 하수처리시설의 건설비와 하수관거 공사비, 유지관리비를 산정하였으며, 하수처리시설의 내용연수인 20년간의 총비용을 2010년 현재가치 기준으로 산정하였다. 상·하류 지자체가 공동으로 대처할 경우 20년간 총비용은 3,627억 8,940만 원, 개별로 대처할 경우 4,667억 2,760만 원이며, 공동 대처가 1,039억 3,820만 원 절감되므로 양 지자체 모두 협조적 게임에 응할 기본배경은 성립되었다. SCRB법에 의한 지자체

별 비용배분율을 산정한 결과, 광주광역시 71.55%, 전라남도 28.45%로 산정되었으며, 2001~2010년 하수도 세입현황을 기준으로 중앙정부의 지원 비율은 10년간 최소 23.98%, 평균 29.22%, 최대 34.17%로, 각각의 비율별로 중앙정부, 광주광역시, 전라남도의 비용분담액을 도출하였다.

본 논문의 수질기준은 오염총량관리제에서 제시하는 목표수질을 대상으로 하였으나, 지자체의 정책에 따라 친수활동 증대와 생태·자연환경 개선 등과 같은 수질개선에 따른 간접적인 효과를 고려하여 오염총량 관리제의 목표수질보다 더 좋은 수질을 원할 수도 있을 것이다. 향후 연구를 통해 수질개선에 의한 다양한 효과를 편익으로 산정할 수 있는 방법론이 마련된다면 이를 협조적 게임에 적용하여 전반적인 수질개선에 대한 지자체의 적극적 활동을 유도할 수도 있을 것이다.

하천과 관련하여 수질뿐만 아니라 용수이용, 치수 사업 등에 있어서도 하천의 특성상 여러 지자체가 하나의 하천을 행정구역 단위로 관리하였기 때문에 서로 간의 협조를 통해 최소의 비용으로 최대의 효과를 발휘할 수 있는 기회를 가질 수 없었다고 할 수 있다. 분쟁을 해결하기 위한 비용배분의 문제이든, 하천관리를 위한 비용배분의 문제이든 다양한 환경에 처한 실제 사례들에 대하여 적절한 비용배분 방안을 제시함으로써 향후에는 비용배분에 대한 원칙을 통합적 관점에서 접근할 수 있는 대원칙을 마련하는 것이 중요할 것으로 생각된다. 본 논문에서는 개략적으로 비용을 산정하였다는 한계가 있을 수 있으나, 실제로 지자체가 협조하여 비용배분을 하게 된다면 하수처리 시설의 수질개선효과, 하수처리시설 위치선정, 사업 비용 등을 세밀하게 분석해야 할 것이다.

참고문헌

- 광주광역시. 2009. 제2단계 광주광역시 영산강 수질오염총량 관리 기본계획.
- 김상우. 2004. “합리적인 광역상수도 비용배분 방안 연구”. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김상우·이정진. 2006. “광역상수도 비용배분문제에 대한 게임이론접근법 도입방안 연구”. 국토계획 제41권, 제3호, pp203-216.
- 김종원·한동근. 2010. “광역상수도 요금결정에 대한 게임이론적 접근”. 국토연구 제64권, pp113-125.
- 박경애·이원석·김태형 외. 2007. 환경분야 민간투자사업 적격성조사 지침연구. 서울 : 한국개발연구원.
- 안상훈·심상달·장준경 외. 2008. 예비타당성조사 수행을 위한 일 반지침 수정·보완 연구. 제5판. 서울 : 한국개발연구원.
- 이충성·유재영·여규동·이상원. 2010. “하천 치수관리를 위한 상·하류 지역 간 비용배분”. 국토연구 제64권, pp39-58.
- 한국산업단지공단. 2011. 한국산업단지총람. 서울 : 한국산업단지공단 산업입지경쟁력연구소.
- 환경부. 1985~2010 하수도통계.
- _____. 2007. 국가하수도종합계획('07~'15).
- _____. 2010. 공장폐수의 발생과 처리.
- _____. 2011. 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과.
- Driessen, T. S. H. and Tijs, S. H. 1986. “The Cost Gap Method and Other Cost Allocation Methods for Multipurpose Water Projects”. *Water Resources Research* vol.21, no.10. pp1469-1475.
- Driessen, T. S. H. 1988. *Cooperative Games, Solutions and Applications*. Massachusetts : Kluwer Academic Publishers.
- Federal Inter-Agency River Basin Committee. 1950. *Proposed Practices for Economic Analyses of River Basin Projects*. Washington, D.C. : Federal Inter-Agency River Basin Committee.
- Kolpin, V. and Aadland, D. 2001. Environmental Determination of Cost Sharing: An Application to Irrigation, Report Department of Economics. University of Oregon.
- Parker, T. 1943. “Allocation of the Tennessee Valley Authority Projects”. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* vol.108. pp174-187.
- Ransmeier, J. S. 1942. *The Tennessee Valley Authority: A Case Study in the Economics of Multiple Purpose Stream Planning*. Nashville, U.S.A : Vanderbilt University Press.
- Serghini, M. 2003. “La Problematique de l'Allocation des Coûts

- de Mobilisation des Ressources en Eau". *Hommes Terre & Eaux* vol.32, no.124, pp20-24.
- Straffin, P and Heaney, J. 1981. "Game Theory and the Tennessee Valley Authority". *International Journal of Game Theory* vol.10, no.1, pp35-43.
- Young, H.P. 1994a. "Cost Allocation". eds. Aumann, R.J. and Hart, S. *Handbook of Game Theory with Economic Applications* vol.2, pp1215-1217.
- _____. 1994b. *Equity: in Theory and Practice*. New Jersey : Princeton University Press.
- Young, H.P., Okada, N. and Hashimoto, T. 1982. "Cost Allocation in Water Resources Development". *Water Resources Research* vol.18, no.5, pp1597-1597.

-
- 논문 접수일: 2012. 3. 29
 - 심사 시작일: 2012. 5. 3
 - 심사 완료일: 2012. 6. 13

Cost Allocation of River Water Quality Management Considering Development in Upper Basin and Total Pollution Load Management System

Keywords: Cost Allocation, Cooperative Game Theory, Water Quality, TPLM System, SCRB

Unlike the motion of the air contaminants, the polluted contaminants in a river move from upstream to downstream, and a river can affect to districts more than two. In addition, a decision making on the construction of a sewage treatment facilities follows the concept of 'economy of scale'. These reasons support the collaboration among local governments in order to reduce the costs in improving water quality. The purpose of this study is to suggest an alternative for the solution of a cost allocation issue that usually occurs at planning projects for river water quality management. As a case study, the target of reduction of BOD pollutant loadings to achieve water quality standard are BOD discharge of Pyeongdong industrial complex in Gwangju and pollutant reduction volume of Yeongbon-B watershed and Yeongbon-C watershed. The stakeholder of cost allocation are Gwangju, Jeonnam and national government. We suggested the inter-local governments cost allocation method from the case study. The theoretical approach for the cost allocation was based on the cooperative game theory, and in terms of methodology, we used the SCRB method which are comparatively easy to apply. From the study, the financial contribution of cost between Gwangju, Jeonnam and national government are approximately 183,729.4 million won (50.64%), 73,061.2 million won (20.14%), 105,998.8 million won (29.22%). This study is expected to provide an alternative for solving the similar problems of cost allocations for river water quality management in the future.

상류지역 개발과 오염총량관리제를 고려한 하천수질관리 비용배분 방안

주제어: 비용배분, 협조적 게임이론, 수질, 오염총량관리제, SCRB

하천으로 유입되는 수질오염물은 공기오염물과 달리 상류에서 하류로 일방적으로 흐르고, 하나의 하천에 다수의 지자체가 연관되어 있으며, 일반적인 하수처리시설은 '규모의 경제'를 따르는 시설물임을 감안한다면 지자체 간 협조를 통해 수질관리비용을 절감할 수 있다. 본 논문의 목적은 유역 내 하천수질관리를 위한 사업계획 시 발생하는 비용배분 문제 해결의 대안을 제시하는 것이다. 이를 위한 사례연구로서 광주에 위치한 평동산업단지과 영본B, 영본C의 오염총량관리제 삭감량을 대상으로 하수처리시설 비용배분 문제를 통해 지자체 간 비용배분 방안을 제시하였으며, 광주, 전남, 중앙정부를 이해당사자로 하였다. 비용배분의 해법을 위한 이론적 전개는 협조적 게임이론을 바탕으로 하였고, 방법론 측면에서는 비교적 적용이 간편한 분리비용잔여편익법을 사용하였다. 분석결과, 광주, 전남, 중앙정부의 20년간 비용분담액은 1,837억 2,940만 원 (50.64%), 730억 6,120만 원(20.14%), 1,059억 9,880만 원(29.22%)으로 나타났다. 본 논문은 향후 발생할 유사한 하천 수질관리 비용배분 문제의 해결을 위한 대안으로 좋은 사례가 될 것으로 기대된다.