지자체간 협조를 통한 하천수질관리 비용절감 방안 : 영산강을 대상으로

Cost Reduction Measure for River Water Quality Management by Cooperation between Local Governments : a Case of the Youngsan River

여규동* · 조은희** · 정영훈*** · 이충성****

Yeo, Kyu Dong · Jo Eun Hui · Jung, Young Hun · Yi, Choong Sung

Abstract

Current TMDL based on the 'Polluter Pays Principle' in Republic of Korea is individually operated by each local government for the designed allocated pollution load of unit watershed and unit district. However, 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. This study suggested a method to reduce water quality management cost by redistributing reduction load considering cost-effectiveness for an entire watershed. The assessment on the suggested method is conducted in Youngsan river watershed. Without variation in total load, reduction load assigned for unit watershed and unit district is retributed in the region where pollutant source is concentrated, and then water quality and cost reduction improved from the redistribution of reduction load is analyzed. The results show that the cost saved by the suggested method is KRW 124 billion for scenario-1 and 172 billion for scenario-2 considering total cost of KRW 788 billion for the existing plan. We expect that the suggested method is a good example to reduce water quality management cost in local governments for TMDL.

Keywords : total maximum daily load, cost allocation, cooperative game, polluter pays principle, reduction load

요 지

현행 수질오염총량관리제는 원인자부담원칙을 기본으로 설정된 단위유역별 지자체별 할당부하량을 해당 지자체가 개별적으로 대처하도록 하고 있다. 그러나 하천으로 유입되는 수질오염물은 공기오염물과 달리 상류에서 하류로 일방적으로 흐르고, 하나의 하천에 다수의 지자체가 연관이 되어 있으며, 일반적인 하수처리시설은 '규모의 경제'를 따르는 시설물임을 감안한다면 지자체간 협조를 통해 수질관리비용을 절감할 수 있다. 본 연구는 유역 전체의 관점에서 비용효과를 가질 수 있도록 삭감량을 재배분함으로써 수질관리비용을 절감하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 영산강 유역을 대상으로 현재 단위유역별 지자체별로 할당된 계획삭감량을 총량의 증감없이 오염원이 집중된 지역으로 재배분하여 발생하는 수질개선 효과와 비용절감 효과를 분석하였다. 분석결과, 기존 계획에 의한 영산강 유역 전체의 비용은 787,575.0 백만원이며, 시나리오-1과 2는 각각 123,671.8 백만원, 171,433.5 백만원의 비용이 절감되었다. 본 연구는 오염총량관리제를 준수하기 위한 지자체의 수질관리비용을 절감하는 방안으로서 사례가 될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 오염총량관리제, 비용배분, 협조적 게임, 오염자부담원칙, 삭감량

1. 서 론

수질오염총량관리제도는 하천의 목표수질을 정하고 이를 달성하기 위해, 오염물질의 허용부하량을 산정하여 해당 유역에서 배출되는 오염물 배출총량을 허용치 이하로 관리하는 제도로써 배출농도 규제방식의 수질관리로는 4대강 상수

원의 수질개선이 어려워 4대강 특별법 제정과 함께 도입하게 되었다. 오염총량관리기본계획에서는 단위유역별 시군별로 배출부하량을 할당하고, 오염총량관리시행계획을 통해 기본계획에서 정해진 단위유역별, 시군별 할당량을 충족하기 위한 실질적인 계획을 수립한다. 그러나 이 과정에서 실행주체가 시군단위이기 때문에 하천수질의 특성을 제대로 고려

*정회원 · 교신저자 · 인하대학교 수자원시스템연구소 연구교수 · 공학박사 (E-mail : yeokd94@gmail.com)

**경기개발연구원 환경연구부 연구원 (E-mail : vipjeh@gri.re.kr)

***인하대학교 수자원시스템연구소 연구교수 · 공학박사 (E-mail : yjung@inha.ac.kr)

****정회원 · 한국수자원공사 기술지원센터 선임위원 · 공학박사 (E-mail : sung@kwwater.or.kr)

하지 못 하고 있는 실정이다. 즉, 하나의 하천에 다수의 지자체가 공유하며, 물은 상류에서 하류로 흐르는 특성이 있기 때문에 수질관리는 하천 전체적인 관점에서 이루어져야 하나, 개별 지자체별로 삭감계획을 수립하기 때문에 유역 내에서 동일한 양의 오염물을 삭감하더라도 효율적이지 못함을 의미한다. 이는 결국에는 비용의 증가를 초래하므로 국가적으로도 손실이 발생할 수밖에 없다.

오염부하량 할당에 관한 기술적 연구는 다수 있으나, 유역 내의 상하류 지자체간 협조를 통한 오염부하량 조정에 관한 연구는 현재 국내외적으로 없으며, 주로 수질 오염물 배출권 거래제에 관한 연구는 국외에 다수 소개되었다. 배출권거래제는 Crocker(1966)에 의해 처음 소개되었으나 이는 대기오염물에 관한 것이며, 수질과 관련해서는 Dales(1968)에 의해 처음 소개되었다. 이후 수질과 관련한 많은 연구들이 수행되었으며(Eheart, 1980; O'Neil, 1983; Brill 등, 1984; Eheart 등, 1987; Tao, 1995, 1996; Xu, 1996 등), 2000년대에 들어 수질오염총량관리제를 시행하는 국가가 증가함에 따라 이와 관련한 연구(Tao 등, 2000; Karamouz, 등 2003; Ng and Eheart, 2005; Ning and Chang, 2007; Sado 등, 2009)가 활발히 진행되고 있다. Eheart(1980)은 동일한 수질에 도달하기 위해 BOD 조절을 위한 배출권거래제도를 최소비용처리(least-cost treatment)전략과 최소균등처리(minimum uniform treatment)전략으로 각각 수립하여 비용효과를 비교하였다. O'Neil(1983)은 Wisconsin주의 Fox River를 대상으로 배출권거래시장의 신설을 위해 경험적 분석을 수행하였다. Tao 등(2000)은 Nanpan강 상류에 수질오염물질 배출권거래제도를 적용하였으며, 중국 전체에 COD에 대해 잠재적으로 10 개 정도의 거래가 발생할 수 있으며, 이를 통해 연간 364.8 백만원 또는 18.4%의 비용절감 효과를 볼 수 있다고 하였다. Hung and Saw(2005)는 최저수위에 있어서 하천의 배출권거래를 위한 Trading Ratio System을 제안하였다. Ng and Eheart(2005)는 배출량을 어떻게 거래하느냐에 따라 수질기준에 도달하기 위한 거래제에 미치는 영향을, Ning and Chang(2007)은 다양한 거래비율을 적용하여 계절적으로 변하는 처리비용을 분석하였다. Sado 등(2009)은 Passaic강 유역의 인(Phosphorus)에 대한 수질기준을 만족하기 위해 Trading Ratio System을 적용하여 22개 하수처리시설 간에 처리량을 거래함으로써 인해 발생하는 비용절감효과를 산정하였다. 국내에서는 한국환경정책·평가연구원(2008)이 오염총량관리제에 배출권거래제 도입의 필요성에 관한 연구를 수행하였다.

배출권거래제도의 초기도입은 대기오염물을 대상으로 하였으며, 시장원리에 의해 오염물 관리의 유연성을 제공한다는 측면이 있다. 그러나 대기오염물은 거래주체 간에 공간적 구분에 영향을 적게 받는 반면에, 상류의 하천 오염행위 혹은 하천 수질관리행위가 하류에 일방적으로 영향을 주는 하천 수질의 특성을 고려한다면 시장원리에 맡긴 배출권거래제가 수질에 관해서는 최선의 비용효과를 얻는다고 보장할 수 없다. 또한 수많은 거래자들의 오염부하량거래에 따른 수질 변화를 모두 조사·분석하는 것은 매우 어렵고, 거래가 증가할수록 하천 전구간을 고려할 때 훨씬 복잡한 상황이 발생할 수도 있다. 게다가 우리나라는 국가가 오염총량관리제를

관리하고, 실제 삭감 주체는 오염원자인 개별 지자체이다. 즉, 추진절차를 큰 틀에서 보면 일종의 top-down에 가깝다. 따라서 유역 또는 국가 전체의 입장에서 최소비용으로 수질 목표를 달성하기 위해서는 하천 전구간을 대상으로 오염량관리계획을 수립하는 것이 비용적으로 효율성을 높일 수 있다.

일반적으로 상류에 비해서 하류로 내려갈수록 하천으로 오염물질 부하량이 증가하기 때문에 하류의 수질이 나쁘다. 그러나 주요 오염원인 대도시(하류보다 상대적으로 큰 상류 도시)는 규모별로 상류부터 하류까지 확일적으로 분포된 것이 아니며, 중간에 상대적으로 깨끗한 하천이 합류하기 때문에 실제로는 하천수질은 그 반대인 구간이 많다. 하천수질의 특성상, 하류의 삭감량 만큼을 인접한 상류지역의 삭감량에 추가한다면 총삭감량에는 변동이 없으나, 하천수질측면에서는 개별적으로 삭감하는 것 보다 좋은 결과를 얻을 수도 있다. 게다가 계획삭감량의 목표치를 달성하기 위해서는 수질관리 사업에 막대한 비용이 필요한데, 상하류가 공동으로 계획삭감량에 도달하기 위해 수질관리를 실시한다면, 비용절감의 효과도 얻을 수 있을 것이다. 삭감을 위한 주요 시설인 하수처리장을 건설한다고 가정했을 경우, '규모의 경제(economy of scale)'의 논리에 따르는 것으로서 하수처리용량이 증가함에 따라 건설비 및 유지관리비에 비해 하수처리능력이 크게 증가함으로써 생기는 경제적 이익을 얻는 것이다. 즉, 상하류가 하수처리장을 공동으로 건설함으로써 '규모의 경제'에 대한 효과를 서로 가지는 것이다.

본 논문에서는 위의 두 가지 특성을 고려하여 상하류 지자체간 협조를 통해 오염총량관리제에서 제시한 목표수질을 달성하는데 필요한 하천수질관리 비용의 절감방안을 제시하고자 한다. 이를 통해 오염총량관리제의 근본적인 목적인 하천수질관리의 비용효율화에 기여할 것으로 생각된다. 이를 위해, 영산강오염총량관리제에서 제시된 단위유역별, 시군별 할당량을 조사하고, 인접한 상류의 단위유역이 하류의 단위유역보다 수질이 나쁜 구간을 대상으로 하류의 삭감량을 상류의 삭감량에 재배분하여 수질개선효과를 모의하였다. 오염량이 집중된 유역에 삭감량을 재배분한 후의 모의 결과, 하천구간 전체의 입장에서 더 좋은 수질개선효과가 나타났다. 또한, 지자체별로 협조 전과 후의 삭감을 위한 비용을 산정하여 비교한 결과, 협조에 참가하는 각각의 지자체는 참가하지 않을 때보다 비용이 감소하였으며, 영산강 전체의 총비용에서도 감소하였다.

2. 대상지역 비용배분의 기본환경 분석

2.1 유역 현황과 오염총량관리기본계획

영산강유역의 면적은 3,455 km², 유로연장은 129.5 km이며, 유역형태는 직사각형 형태이다. 유역의 평균경사는 19.5°로 비교적 완만하고, 하천에 인접하여 농경지가 발달해 있다. 전체 유역면적 3,455 km² 중 임야와 종경지가 각각 1,749 km²(51%)와 1,161 km²(34%)로 전체 유역면적의 85%를 점유하고 있으며, 도시지역이 242 km²(7%)를 차지하고 있다. 영산강 본류와 황룡강 합류부에는 광주광역시와 도심지 및 인구밀집지역이 위치하고 있다. 본류로 풍영정천, 광주천, 고막원천, 함평천 등이 유입되고 있다. 영산강유역의 오염총량

Fig. 1 영산강유역 오염총량관리 단위유역도(한국개발연구원, 2010)

관리 단위유역은 Fig. 1과 같으며, 영본A~영본E, 황룡A, 지석A으로 구성되고, 단위유역은 소유역으로 세분된다.

오염총량관리제는 농도가 아닌 부하량을 지표로 관리하는 제도로 개별 오염원 보다는 유역을 관리하는 제도이다. 즉, 배출총량이 허용총량 이하가 되도록 오염물질 삭감계획과 지역 개발계획을 함께 수립하는 제도이다. 따라서 오염물질 다량 배출자에게는 많은 부담을, 소량 배출자에게는 적은 부담

을 주게 된다. 오염총량관리제의 절차는 다음과 같다. 첫째, 단위유역 말단부에서 달성하고자 하는 목표수질과 기준유량을 정하고, 유역의 환경관리상태, 개발계획 등을 고려하여 목표연도에 유역에서 배출되는 배출부하량을 추정한다. 둘째, 목표수질을 만족하기 위해 유역에서 배출할 수 있는 허용총량을 수질모델링기법을 이용하여 산정한다. 이때 허용총량이 목표지점에 유달되어 기준배출부하량이 되어야 한다. 기준배출부하량은 “목표수질×기준유량”으로 산정한다. 셋째, “오염부하량-허용총량”으로 목표삭감량을 산정한다. 넷째, 개별 지자체는 배출부하량이 허용총량보다 적게 되도록 관리한다. 본 논문은 “영산강·섬진강수계 수질오염총량관리 업무편람(영산강물환경연구소, 2009)”의 지자체별 오염총량관리 시행계획 자료를 이용하였으며, 삭감목표량에서 자연감소분은 인위적으로 배분할 수 없기 때문에 계획삭감량을 대상으로 하였다. 단위유역별 지자체별 현황은 Table 1과 같다.

Table 2는 Table 1을 참고하여 단위유역별 배출부하량과 계획삭감량의 분포 정도를 정리한 것으로, 광주광역시를 관통하는 영본B 유역에 배출부하량이 집중되어 있고, 삭감량도 전체의 63.25%임을 알 수 있다. 삭감을 많이 함에도 불구하고 최종배출량은 37.06%이며, 유역면적 대비 최종배출량도 다른 유역에 비해 높다. 영산강 유역의 중상류에 위치한 영본B에 오염원이 많고 하류에 상대적으로 오염원이 적다는 것은 유역 전체에 동일한 양을 삭감하더라도, 상·하류 간의 협조를 통해 ‘규모의 경제’에 대한 효과도 얻을 수 있으며, 목표수질을 달성하면서 수질개선효과도 증가한다는 것을 예상할 수 있다. 또한 ‘규모의 경제’에 의한 수질관리

Table 1. 현행 단위유역별 지자체별 배출부하량, 계획삭감량 (kg/일)

단위유역	지자체	면적(km ²)		목표수질(mg/l)	기존배출부하량(a)	삭감목표량			기존오염원최종배출부하량(c=a-b)	할당부하량(d)	지역개발할당부하량(e=d-c)	최종년도배출부하량(f=a+e-b)
		총유역	지자체관할			합계(b)	계획삭감량	자연감소				
영본A	광주	428	49	2.1	646.6	260.2	242.6	17.6	386.4	419.9	33.5	419.9
	담양		379		4,883.1	1,308.4	1,109.4	199.0	3,574.7	3,872.4	297.7	3,872.4
황룡A	담양	407	23	2.2	92.0	11.4	9.3	2.1	80.6	99.3	18.7	99.3
	장성		340		3,184.7	558.0	399.5	158.5	2,626.7	2,727.8	101.1	2,727.8
영본B	광주	543	389	5.6	19,051.1	7,434.7	7,070.7	364.0	11,616.4	15,077.6	3,461.2	15,077.6
	나주		3		64.7	5.6	2.0	3.6	59.1	64.7	5.6	64.7
	담양		5		54.3	16.4	12.9	3.5	37.9	43.0	5.1	43.0
	장성		143		1,942.4	271.6	173.2	98.4	1,670.8	1,902.0	231.2	1,902.0
	함평		2.4		16.8	1.2	-	1.2	15.6	30.2	14.6	30.2
영본C	광주	629	55	5.2	948.5	367.2	322.3	44.9	581.3	772.1	190.8	772.1
	나주		473		10,127.7	2,527.2	1,934.1	593.1	7,600.5	8,120.0	519.5	8,120.0
	화순		56.3		416.8	100.8	83.4	17.4	316.0	359.3	43.3	359.3
	영암		44.8		368.2	27.2	16.7	10.5	341.0	363.9	22.9	363.9
영본D	광주	465	9	5.2	153.4	3.6	2.6	1.0	149.8	239.5	89.7	239.5
	나주		44		857.4	115.5	43.2	72.3	741.9	852.5	110.6	852.5
	장성		34		436.6	45.3	35.2	10.1	391.3	399.2	7.9	399.2
	함평		322.9		5,081.0	220.6	19.8	200.8	4,860.4	4,966.9	106.5	4,966.9
	무안		22.6		577.1	7.2	-	7.2	569.9	650.6	80.7	650.6

¹⁾수질오염총량관리제도(환경부, 2011)

비용의 절감효과를 도출한다면 관련 지자체 모두 비용배분에 참여할 협조적 상황이 마련됨을 알 수 있다.

2.2 단위유역별 지자체의 계획삭감량 재분배

삭감량 등은 우선 단위유역별로 구분하여 분석한 후에, 지자체별로 할당하게 되나, 최종적으로 오염총량관리제를 시행하는 주체는 지자체이다. 따라서 삭감량을 재배분할 때에는 상·하류 단위유역간의 오염원 배출 정도와 더불어 해당 단위유역 내에서도 어느 지자체가 배출부하량, 삭감량, 최종배출량 등이 많은지를 파악해야 한다. 본 논문은 하류에 위치한 지자체의 삭감량이 유역 전체의 삭감량에 비해 적을 경

우에는 동일유역 또는 상류유역에 위치한 주요 삭감 지자체에 위탁하는 것으로 가정하였다.

영본A와 황룡A는 유역의 상류에 위치하고, 하류보다 오염배출량이 적으며, 목표수질 또한 직하류인 영본B에 비해 좋기 때문에 기존의 계획삭감량을 유지하는 것으로 하였다. Table 2에서 알 수 있듯이, 영본B와 영본C 단위유역이 현행 배출부하량과 계획삭감량의 대부분을 차지한다. 영본B에서 광주광역시는 배출부하량의 90.16%, 계획삭감량의 97.41%를 차지하며, 영본C에서 나주시는 배출부하량의 85.39%, 계획삭감량의 82.08%를 차지한다. 따라서 본 논문에서는 이를 염두에 두고, 두 가지의 시나리오로 삭감량을 재배분하였다.

Table 2. 단위유역별 삭감량

단위유역	유역면적(a)	기준유량(m³/sec)		배출부하량(b)			계획삭감량(c)				최종배출량(b-c)		
		평수기	저수기	부하량(b)	부하량 비율	부하량/면적(b/a)	삭감량(c)	삭감량 비율	삭감량/면적(c/a)	삭감율(c/b)	배출량(d)	배출량 비율	배출량/면적(d/a)
영본A	428	3.520	1.928	5,529.7	11.31%	12.92	1,352.0	11.78%	3.16	24.45%	4,177.7	11.16%	9.76
황룡A	407	3.056	1.645	3,276.7	6.70%	8.05	408.8	3.56%	1.00	12.48%	2,867.9	7.66%	7.05
영본B	543	17.580	12.845	21,129.3	43.21%	38.91	7,258.8	63.25%	13.37	34.35%	13,870.5	37.06%	25.54
영본C	629	25.240	16.689	11,861.2	24.25%	18.86	2,356.5	20.53%	3.75	19.87%	9,504.7	25.40%	15.11
영본D	465	28.234	18.540	7,105.5	14.53%	15.28	100.8	0.88%	0.22	1.42%	7,004.7	18.72%	15.06
합계	2,472			48,902.4	100%	19.78	11,476.9	100%	4.62		37,425.5	100%	15.14

Table 3. 단위유역별 배출부하량과 삭감량

단위유역	지자체	배출부하량(kg/day)	기존 계획		시나리오-1(영본B, 영본C 중심)				시나리오-2(영본B 중심)			
			삭감량	삭감율	삭감량	삭감율	증감	비고	삭감량	삭감율	증감	비고
영본A	광주	646.6	242.6	37.52%	220.4	34.09%	-22.2		220.4	34.09%	-22.2	
	담양	4,883.1	1,109.4	22.72%	1,131.6	23.17%	22.2	영본A 삭감 주체	1,131.6	23.17%	22.2	
	소계	5,529.7	1,352.0	24.45%	1,352.0	24.45%	0.0		1,352.0	24.45%	0.0	
황룡A	담양	92.0	9.3	10.11%	0.0	0.00%	-9.3	영본A-담양으로	0.0	0.00%	-9.3	
	장성	3,184.7	399.5	12.54%	607.9	19.09%	208.4	황룡A 삭감 주체	607.9	19.09%	208.4	
	소계	3,276.7	408.8	12.48%	607.9	18.55%	199.1		607.9	18.55%	199.1	
영본B	광주	19,051.1	7,070.7	37.11%	7,417.8	38.94%	347.1	영본B 삭감 주체	9,517.0	49.96%	2,446.3	
	나주	64.7	2.0	3.09%	0.0	0.00%	-2.0	영본C-나주로	0.0	0.00%	-2.0	
	담양	54.3	12.9	23.76%	0.0	0.00%	-12.9	영본A-담양으로	0.0	0.00%	-12.9	
	장성	1,942.4	173.2	8.92%	0.0	0.00%	-173.2	황룡A-장성으로	0.0	0.00%	-173.2	
	합평	16.8	0.0	0.00%	0.0	0.00%	0.0		0	0.00%	0	
	소계	21,129.3	7,258.8	34.35%	7,417.8	35.11%	159.0		9,517.0	45.04%	2,258.2	시나리오-1에서 영본C를 영본B-광주로
영본C	광주	948.5	322.3	33.98%	0.0	0.00%	-322.3	영본B-광주로	0.0	0.00%	-322.3	
	나주	10,127.7	1,934.1	19.10%	2,099.2	20.73%	165.1	영본C 삭감 주체	0.0	0.00%	-1,934.1	
	회순	416.8	83.4	20.01%	0.0	0.00%	-83.4	영본C-나주로	0.0	0.00%	-83.4	
	영암	368.2	16.7	4.54%	0.0	0.00%	-16.7	영본C-나주로	0.0	0.00%	-16.7	
	소계	11,861.2	2,356.5	19.87%	2,099.2	17.70%	-257.3		0.0	0.00%	-2,356.5	
영본D	광주	153.4	2.6	1.69%	0.0	0.00%	-2.6	영본B-광주로	0.0	0.00%	-2.6	
	나주	857.4	43.2	5.04%	0.0	0.00%	-43.2	영본C-나주로	0.0	0.00%	-43.2	
	장성	436.6	35.2	8.06%	0.0	0.00%	-35.2	황룡A-장성으로	0.0	0.00%	-35.2	
	합평	5,081.0	19.8	0.39%	0.0	0.00%	-19.8	영본C-나주로	0.0	0.00%	-19.8	
	무안	577.1	0.0	0.00%	0.0	0.00%	0.0		0.0	0.00%	0.0	
	소계	7,105.5	100.8	1.42%	0.0	0.00%	-100.8		0.0	0.00%	-100.8	
전체		48,902.4	11,476.9	23.47%	11,476.9	23.47%	0.0		11,476.9	23.47%	0.0	

하나는 영본B의 광주광역시와 영본C의 나주시에 집중하여 삭감하는 시나리오-1이고, 다른 하나는 영본B의 광주광역시에 집중하는 시나리오-2이다. 참고로 현재 대부분의 지자체별 오염총량관리 시행계획에서 주요 삭감방안은 하수처리시설 개선 및 신설, 하수관거 정비 등으로 주로 점오염원에 대한 대책이 주이며, 이는 상대적으로 오염물을 삭감하는데 있어서 점오염원이 밀집한 지역에 비용을 투입함으로써 비용효과를 높이기 위함이다. 따라서 관련 지자체 간에 삭감량을 시나리오와 같이 재배분하는 것은 현실가능한 상황이다.

시나리오-1은 다음과 같은 단계를 거쳐 단위유역별 지자체별 삭감량을 재배분하였다. 첫째, 영본A와 황룡A는 각각 목표수질이 BOD 2.1 mg/L, 2.2 mg/L 이므로 목표수질을 달성하기 위해 단위유역에 할당된 총삭감량은 기존계획의 값을 유지하는 것으로 하였다. 따라서 영본A의 계획삭감량 1,352 kg/day 중 82.06%를 차지하는 담양군, 황룡A의 계획삭감량 408.8 kg/day 중 97.73%를 차지하는 장성군은 오염물 삭감처리 시행지역으로 확정하였다. 참고로 전체 삭감량 11,476.90 kg/day 중에서 영본A는 1,352.0 kg/day(11.78%), 황룡A는 408.8 kg/day(3.56%)이다. 둘째, 영본B는 전체 삭감량 11,476.90 kg/day 중에서 7,258.8 kg/day(63.25%)이며, 그 중에서도 광주는 7,070.7 kg/day로 영본B의 97.41%를 차지한다. 따라서 반드시 삭감해야 할 주요 대상이다. 셋째, 영본C의 삭감량은 전체 삭감량 중에서 2,356.5 kg/day (20.53%)이며, 나주의 삭감량이 1,934.1 kg/day(82.08%)를 차지한다. 광주 322.3 kg/day, 화순 83.4 kg/day, 영암 16.7 kg/day는 각각 영본B-광주, 영본C-나주 등으로 재배분한다. 넷째, 영본D는 전체 배출부하량의 14.53%, 삭감량의 0.88%를 차지하며, 광주 2.6 kg/day, 나주 43.2 kg/day, 장성 35.2 kg/day, 함평 19.8 kg/day는 각각 영본B-광주, 황룡A-장성, 영본C-나주 등으로 재배분하였다. 시나리오-2는 영본A, 황룡A, 영본D에서는 시나리오-1을 따르며, 영본C의 삭감량을 영본B-광주로 전부 인계하는 것으로 설정하였다. 이를 고려하여 각 단위유역별 지자체별 삭감량을 재산정한 결과는 Table 3과 같다. 황룡A의 기존 삭감량은 408.8 kg/day에서 607.9 kg/day로 증가하나, 장성군의 영본B와 영본D할당량을 상류인 황룡A로 집중한 것으로 기존 배출부하량이 3,184.7 kg/day이므로 실현가능한 상황이다.

2.3 수질분석

삭감량의 재배분을 통해 기존 계획에서 설정한 효과에 비해 어느 정도 개선되는지를 수질모형을 통해 분석하고자 하였다. 이를 위해 본 논문은 영산강 수질오염총량기본계획의 자료를 참고로 수질모의 입력자료를 보완하여 구축하였다. 하천 수질 모의를 위한 수질 모델은 정상상태 모델과 비정상상태 모델로 구분될 수 있고, 이 중 국내실정에 맞게 개발한 QUALKO2 모델은 기존의 정상상태의 하천 수질모델로 주로 사용하고 있는 QUAL2E 모형에 WASP 모형을 접목하여 만든 한국형 수질모형으로 하천 구간에 보나 댐으로 인한 호소구간이 많은 하천실정에 적합한 수질모형이다. 본 논문에서는 영산강 수질오염총량관리계획에서 사용되고 있는 QUALKO2 모형을 이용하여 삭감량 재배분에 의한 수질을 모의하였다. 영산강의 모의구간은 영산강 국가하천 최상류부

터 하구까지이며, Reach는 영산강본류 14개, 풍영정천 1개, 광주천 2개, 황룡강 4개, 지석천 4개, 고막원천 2개, 함평천 1개로 나누었고, Element는 총 285개로 1,000 m 간격으로 구분하였다. 주요하천은 대부분 모의구간으로 구분하였고 소유역 및 공공하수처리장 등 주요 점배출시설은 PointSource로 유입된다.

2.3.1 모델의 보정

본 논문은 비홍수기의 수질개선효과에 초점을 맞추었으므로, 환경부 수질측정지점의 2005년부터 2007년까지 3년간 비홍수기(11, 12, 1~4월) 평균자료를 이용하여 보정하였으며, 영본A, 영본B, 영본C, 영본E, 황룡A, 지석A의 각 단위유역 말단지점과 나주, 무안1 지점의 수질측정자료이다. 영산강에는 풍영정천, 광주천, 황룡강, 지석천, 고막원천, 함평천 등 6개의 주요 지류가 있으나 황룡강, 지석천 외에는 수질측정망이 없으므로 이들에 대해서만 보정을 실시하였다. 황룡강의 경우 인구밀집지역을 지날 때마다 오염원의 농도가 급격하게 증가하고, 지석천의 경우 나주댐에서 흘러들어오는 지류와 만나면서 농도의 변화가 나타났다.

적합도 검증에는 평균제곱근오차, 상관계수 r , 결정계수를 사용하였으며, 각각 0.70419, 0.88591, 0.78484로 분석되었다. 평균제곱근오차의 경우 모의결과가 평균적으로 어느 정도의 오차가 발생하는지를 나타내는 지표로 일종의 평균치라고 할 수 있다. 상관계수는 모의값과 관측값의 상관관계를 나타내고, 결정계수는 상관계수의 제곱으로 표현된다. Fig. 2를 보면 BOD는 영본B 출구부와 나주에서 모의값이 실측값에 비하여 과소 추정되었다. 이는 모델이 지석천유입부의 유량을 잘 반영하지 못하여 발생한 오차로 판단된다. 모의값과 실측값의 경향은 비슷하게 나타내고 있으며, 적합도 검증 결과로 오염정도의 경향성을 반영하는데 적합할 것으로 판단된다.

2.3.2 수질개선 효과 분석

본 논문은 영산강 전체를 모의구간으로 구성하고, 현재 배출부하량을 고려한 수질에 비해 오염총량관리기본계획에서 제시한 삭감량을 적용한 후의 수질, 시나리오-1에 의한 수질, 시나리오-2에 의한 수질을 모의하였다. 이를 위해 Table 3에서 산정한 기존 계획, 시나리오-1, 시나리오-2 각각의 단위유역별 삭감율을 QUALKO2의 입력자료에 적용하여 “Headwater source data”와 “Point load and Withdrawals”를 수정하였다. 예를 들어, 황룡A의 “Headwater source data”의 삭감전 BOD가 0.701 mg/L였다면, 시나리오-2의 BOD는 $\{0.701 \times (1 - 0.1855)\}$ mg/L로 0.571 mg/L을 적용하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 기존 계획의 삭감량과 시나리오별 삭감량 재배분에 따른 영산강 본류의 BOD 농도의 변화와 구간별 수질개선 정도를 나타낸 것이며, Table 4는 단위유역별 수질개선효과를 모의한 결과이다. 삭감전의 BOD는 광주광역시 지나면서 급격한 증가가 보이고 지류의 합류점에서 유량이 증가함에 따라 일시적으로 오염원의 농도가 작아지는 것을 볼 수 있다. 기존 계획에 의한 수질개선효과 시나리오-1은 큰 차이가 없으나, 시나리오-2는 수질이 확연히 개선되었음을 알 수 있다. 시나리오-1은 수질개선효과는 크지

Fig. 2 BOD 보정결과

Fig. 3 영산강 본류 수질모의 결과

Fig. 4 구간별 수질개선 정도

않으나 ‘규모의 경제’ 효과에 의해 수질관리비용이 절감되며, 시나리오-2는 수질개선효과도 뚜렷하게 나타났고, ‘규모의 경제’ 효과에 의해 수질관리비용도 절감됨을 알 수 있다.

시나리오-2의 경우, 영산강유역의 총삭감량이 동일하더라도 오염원이 집중한 영본B에 삭감량을 집중함으로써 하류의 수질이 현저히 개선되었다. 이를 바꿔 생각하면, 삭감량 재배분을 통해 기존보다 삭감을 적게 하더라도 목표수질에 도달할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 오염총량관리제는 배출농도 규제방식이기 때문에 오염물 배출총량을 허용치 이하로 관리하는 제도이다. 따라서 본 논문에서도 목표수질에 부합하도록 삭감총량을 조절하는 것이 아니라 오염총량관리제에서 영산강 유역에 책정한 삭감량을 재배분하고, 이를 통한 규모의 경제에 대한 효과를 지자체가 나눠가지는 것으로 하였다.

3. 단위유역별 지자체의 삭감량과 처리비용 산정

3.1 삭감량 처리를 위한 비용 산정

여주군, 이천시, 가평군, 전주시, 익산시, 군산시, 정읍시, 김제시, 남원시 등의 오염총량관리시행계획에서 제시한 총계

확삭감량 중에 하수처리시설 증설 및 신설과 하수관거정비에 의한 삭감은 약 74.04%로 조사되었다. 이는 현재 수질 관리의 기술적 수준, 경제적 효율성 등을 감안한다면 점오염원에 집중할 할 수 밖에 없음을 짐작할 수 있다. 본 논문에서도 삭감량을 처리하기 위한 방법으로 하수처리장을 설정하였으며, 그 비용을 산정하는 방법을 제시하였다. 단, 지자체간 수질과 비용의 관계에 있어서 협조적 해 도출을 위해 필요한 각종 비용들을 정확히 산정하기 위해서는 매우 세부적인 공학적 분석이 필요하다. 그러나 이러한 분석을 수행하는 것은 한계가 있으므로 개략적인 비용을 사용한다. 비용산정의 근거는 기존의 실제 자료들을 활용하였음을 밝힌다.

3.1.1 유기물(BOD) 처리를 위한 시설용량 결정

하수처리시설의 비용은 시설용량에 비례한다는 점을 고려하여 Table 3에서 제시한 기본 계획, 시나리오-1, 시나리오-2의 삭감량을 처리하기 위한 하수처리장의 규모를 결정하기 위해 환경부에서 매년 발간하는 하수도통계와 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과(환경부, 2011)의 자료를 이용하였다. 영산강 유역의 16개 공공하수처리시설을 대상으로 하였으며, Table 5는 영산강유역에 위치한 16개

Table 4. 단위유역별 수질개선효과

구분	구간길이	유량	삭감전	기존계획		시나리오-1		시나리오-2	
영본A	20	0.1325	2.036	1.776(▼0.260)	14.27%	1.776(▼0.260)	14.27%	1.776(▼0.260)	14.27%
황룡A	16	0.3744	1.130	1.058(▼0.072)	8.33%	1.023(▼0.107)	12.43%	1.023(▼0.107)	12.43%
영본B	35	4.6754	3.814	3.159(▼0.655)	16.28%	3.151(▼0.663)	16.48%	3.061(▼0.753)	18.57%
영본C	28	10.1864	5.784	4.801(▼0.983)	16.91%	4.782(▼1.003)	17.25%	4.590(▼1.195)	20.57%
영본D	9	10.6533	4.514	3.441(▼1.073)	23.80%	3.419(▼1.095)	24.29%	3.203(▼1.310)	29.00%
영본E	39	11.2000	4.918	3.737(▼1.182)	24.86%	3.708(▼1.210)	25.45%	3.417(▼1.501)	31.54%

Table 5. 영산강유역 하수처리장 현황(2010년 기준)

하수처리장	시설용량 (m ³ /일)	유입수 (mg/L)	방류수 (mg/L)	BOD처리량		총건설비 (백만원)	유지관리비 (백만원)
				(mg/L)	(g/sec)		
광주제1	600,000	122.3	3.9	118.4	822.2	667,833.4	14,749.2
광주제2	120,000	124.2	2.5	121.7	169	220,633.1	2,933.8
임실	3,400	145.2	1.4	143.8	5.7	23,570.8	568.9
오수	1,700	117.1	2.5	114.6	2.3	55,407.0	1,142.7
도곡온천	6,000	42.3	3.5	38.8	2.7	3,372.4	66.1
회순읍	19,000	110.8	3.4	107.4	23.6	33,230.8	549.0
회순온천	2,000	41.9	4.0	37.9	0.9	38,610.3	673.4
영암	5,500	99.2	4.5	94.7	6	32,357.0	624.9
함평	9,000	82.1	5.1	77.0	8	21,346.0	379.4
장성	11,000	149.0	16.0	133.0	16.9	27,641.0	1,526.4
담양	7,000	68.7	2.6	66.1	5.4	16,095.0	297.9
나주	22,500	43.9	3.2	40.7	10.6	9,421.0	507.8
산포	3,000	52.7	5.9	46.8	1.6	15,137.0	183.8
공산	500	36.0	4.7	31.3	0.2	5,256.0	73.0
무안	4,500	117.3	4.5	112.8	5.9	26,850.9	342.4
일로	3,000	65.9	2.8	63.1	2.2	6,052.9	67.4

출처: ‘하수도통계’, ‘2010년도 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과’

Fig. 5 영산강 하수처리장 BOD처리량-시설용량 관계

의 하수처리장의 시설용량, BOD 처리량, 총건설비, 유지관리비 현황이다.

Fig. 5는 영산강 유역에 설치된 하수처리장의 시설용량, 유입수 BOD 농도, 방류수 BOD 농도 자료를 이용하여 도출한 BOD 처리량(g/s)과 시설용량과의 관계를 나타내고 있다. 16개의 하수처리장 자료를 이용하여 다양한 형태로 회귀분석을 실시하여 비교한 결과, 식 (3)의 형태가 가장 적합하였다.

$$Q_{STP} = 726.281R + 1,962.056 \quad (3)$$

여기서, Q_{STP} (m³/일)는 하수처리장 용량, R은 BOD 처리량 (g/sec)

3.1.2 건설비와 유지관리비 산정

하수처리시설의 총 건설비용을 산정하기 위해서는 시설용량과 건설비용의 관계를 알아야 한다. 영산강 유역에 설치된 하수처리장의 BOD처리량과 총사업비의 관계를 산정하기 위하여 환경부에서 발간하는 ‘하수도통계연보’를 이용하여 초

Fig. 6 영산강유역 하수처리 시설용량-총건설비 관계

기사업, 시설확장을 위한 사업비 등을 조사하였다. 각 하수처리장은 설치시기와 확장시기이 상이하고, 비용배분을 적용하고자 하는 시점의 경제적 가치를 반영해야 하므로 건설업 디플레이터(deflator)를 이용하여 과거의 사업비를 2010년 말의 사업비로 환산하였다. 영산강유역의 하수처리장의 시설용량과 건설비의 관계(Fig. 6)를 도출한 식 (4)를 이용하여 하수처리장 건설비를 산정하였다.

$$C_C = -0.00000116Q_{STP}^2 + 1.789Q_{STP} + 10,828.277 \quad (4)$$

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

하수처리장의 경우 시설을 사용하기 위해서는 우선 하수관거가 설치되어야 한다. 따라서 비용산정 시 하수처리장 건설비용뿐만 아니라 하수관거의 건설비용도 포함되어야 한다. 국내에는 개개의 하수처리장별 하수관거비용 자료가 없기 때문에, ‘국가하수도종합계획(07~15)(환경부, 2007)’에 제시된 하수관거 건설비를 사용하였다. 이는 대상 유역에 투입된 하수처리시설과 하수관거의 실제 투자액 비율을 이용하여 산

Table 6. 유역별 하수처리시설 대비 하수관거 투자액(단위 : 백만원)

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	'98~'05
낙동강수계	1,957,942	1,285,407	65.65	'99~'05
금강수계	922,660	532,442	57.71	'01~'05
영산강수계	293,208	330,444	112.70	'01~'05

Fig. 7 영산강유역 하수처리 시설용량-유지관리비

정한 값으로 수계별로 제시되어 있다. 제시된 하수처리시설 대비 하수관거투자액의 비율로 하수관거 건설비를 산정하면 Table 6과 같다.

하수관거와 하수처리시설을 건설한 후 수질관리를 위해서 하수처리비용이 필요하다. 이러한 하수처리비용에는 인건비, 전력비, 약품비, 슬러지처리비, 개보수비 등 많은 유지관리비가 소요된다. 따라서 건설비뿐만 아니라 유지관리비도 고려해야 한다. 본 연구에서는 ‘공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과(환경부, 2011)’를 참고로 영산강유역의 하수처리장의 시설용량과 유지관리비의 관계(Fig. 7)를 도출한 식 (5)를 이용하여 연평균 유지관리비용을 산정하였다.

$$C_M = 0.024Q_{STP} + 318.262 \quad (5)$$

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

3.1.3 총비용

오염물을 처리하는 하수처리장의 특성상 수명이 짧으며, 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(개정 2008.3.31)에서 “기획재정부령이 정하는 기준내용연수” 및 “기획재정부령이 정하는 내용연수범위”는 철골·철근콘크리트조나 철근콘크리트조로 건설되는 폐수 및 폐기물처리용 건축물의 내용연수는 20년으로 하고, 내용연수범위를 15년~25년으로 하여 신고내용연수를 선택적으로 적용할 수 있도록 하고 있다.

Table 7은 하수처리장의 분야별 공사비 비율 및 내용연수 적용기준과 분야별 대규모 수선비 산정기준 및 비율을 나타

Table 7. 하수처리장 분야별 적용기준 (한국개발연구원, 2007)

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	-	-

내고 있다. 이에 본 논문은 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. 비용배분을 위한 기준연도는 사업시작 시점이 2010년도로 가정하여 기준연도를 2009년도로 설정하였다. 현재가치화하기 위해 할인율은 ‘예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)(한국개발연구원, 2008)’의 것을 이용하였으며, 5.5%를 적용하였다.

3.2 삭감량 처리를 위한 비용 산정

개별 지자체 내에서 목표수질에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 오염량이 많은 단위유역에 집중하여 처리하는 것으로 가정하였다. 즉, 지자체 내에서 하류 단위유역에서 상류 단위유역으로의 삭감량 이동을 기본으로 한다. 예를 들어, 장성군은 황룡A, 영본B, 영본D 단위유역에서 각각 399.52 kg/day, 173.22 kg/day, 35.2 kg/day를 삭감해야하나 개별적으로 처리하면 초기비용이 증가하기 때문에 가장 상류에 위치한 황룡A에 집중하여 처리하는 것으로 한다. Table 8은 기존의 계획에서 수립된 삭감량을 지자체별로 개별적으로 처리하는데 필요한 수질관리비용을 산정한 결과이다. 광주는 영본C와 영본D의 삭감량을 영본B로 나누는 영본B와 영본D를 영본C로 담양은 영본B와 황룡A를 영본A로, 장성은 영본B와 영본D를 황룡A로 지자체 내부 공동적 사업을 수행하는 것으로 한다. Table 9는 시나리오-1과 시나리오-2에서 재배분된 삭감량을 처리하기 위한 비용을 나타내고 있다. 기존 계획을 따르면 20년간 영산강유역의 총비용이 787,575.0 백만원으로 산정되었으나, 시나리오-1과 2는 각각 663,903.2 백만원과 616,141.5 백만원으로 산정되었다.

참고로 여주군, 이천시, 가평군은 오염총량관리시행계획에서 각각 1,661.1 kg/일, 1,963.2 kg/일, 894.1 kg/일을 삭감하는 것을 목표로 하고 있으며, 주요 삭감시설에 대한 예상비용은 3,192억원, 3,978억원, 2,098억원으로 계획하고 있다. 이를 고려한다면 본 논문에서 산정된 수질관리비용은 시행계획에 비해 과소산정되었음을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 산정한 비용의 금액에 대한 정확도를 떠나서 지자체간 협조를 통해 비용을 절감할 수 있다는 점을 강조하기 위한을 밝힌다.

Table 8. 기존 계획삭감량에 의한 지자체별 비용 산정

지자체	단위유역		계획삭감량		하수처리장용량 (m ³ /day)	건설비(백만원)			유지관리비 (백만원)	20년간 총비용 (백만원)	비고
			(kg/day)	(g/sec)		하수처리장 건설비	하수관거 건설비	소계			
광주(p_{GJ})	영본A	$C(p_{GJ}, S_1)$	242.6	2.81	4,001.4	17,969.2	20,251.3	38,220.6	414.3	51,111.3	
	영본B	$C(p_{GJ}, S_{(2+3+4)})$	7,395.6	85.6	64,129.7	120,803.3	136,145.3	256,948.6	1,857.4	333,100.0	영본C, D로부터 인수
니주(p_{NJ})	영본C	$C(p_{NJ}, S_{(6+5+7)})$	1,979.3	22.91	18,600.1	43,707.7	49,258.6	92,966.2	764.7	121,568.0	영본B, D로부터 인수
담양(p_{DY})	영본A	$C(p_{DY}, S_{(8+9+10)})$	1,131.6	13.1	11,474.3	31,206.3	35,169.5	66,375.7	593.6	87,336.9	영본B, 황룡A로 부터 인수
화순(p_{HS})	영본C	$C(p_{HS}, S_{11})$	83.4	0.97	2,663.1	15,585.1	17,564.4	33,149.5	382.2	44,588.7	
장성(p_{JS})	황룡A	$C(p_{JS}, S_{(12+13+14)})$	607.9	7.04	7,072.10	23,424.2	26,399.0	49,823.2	488	66,037.3	영본B, D로부터 인수
합평(p_{HP})	영본D	$C(p_{HP}, S_{15})$	19.8	0.23	2,128.5	14,631.5	16,489.7	31,121.2	369.3	41,980.0	
영암(p_{YA})	영본C	$C(p_{YA}, S_{16})$	16.7	0.19	2,102.4	14,585.0	16,437.3	31,022.3	368.7	41,852.8	
전체 합계										787,575.0	

Table 9. 시나리오-1, 2의 삭감량 재배분에 따른 지자체별 비용 산정

구분	지자체	단위유역	계획삭감량		하수처리장용량 (m ³ /day)	건설비(백만원)			유지관리비 (백만원)	20년간 총비용 (백만원)
			(kg/day)	(g/sec)		하수처리장 건설비	하수관거 건설비	소계		
시나리오-1	광주(p_{GJ})	영본A(S_{17})	220.4	2.55	3,814.7	17,637.0	19,876.9	37,514.0	409.8	50,202.4
		영본B(S_{18})	7,417.8	85.85	64,316.3	121,109.4	136,490.3	257,599.7	1,861.9	333,941.5
	니주(p_{NJ})	영본C(S_{19})	2,099.2	24.30	19,608.0	45,466.4	51,240.6	96,707.0	788.9	126,385.1
	담양(p_{DY})	영본A(S_{20})	1,131.6	13.10	11,474.3	31,206.3	35,169.5	66,375.7	593.6	87,336.9
	장성(p_{JS})	황룡A(S_{21})	607.9	7.04	7,072.1	23,424.2	26,399.0	49,823.2	488.0	66,037.3
	전체 합계									663,903.2
시나리오-2	광주(p_{GJ})	영본A(S_{22})	220.4	2.55	3,814.7	17,637.0	19,876.9	37,514.0	409.8	50,202.4
		영본B(S_{23})	9,517.0	110.15	81,962.2	149,688.6	168,699.1	318,387.7	2,285.4	412,564.9
	담양(p_{DY})	영본A(S_{24})	1,131.6	13.10	11,474.3	31,206.3	35,169.5	66,375.7	593.6	87,336.9
	장성(p_{JS})	황룡A(S_{25})	607.9	7.04	7,072.1	23,424.2	26,399.0	49,823.2	488.0	66,037.3
	전체 합계									616,141.5

4. 지자체간 비용배분

4.1 제자체간 협조의 성립 조건

지자체간 비용배분의 대상이 되는 비용은 (식 4)와 같이 표현할 수 있다.

$$C(p_i, S_j) - B_i(q_i, q_o, ed) \quad (4)$$

여기서, p_i 는 수질관리사업 대상 지자체를 의미하는데 i 는 비용배분 주체인 지자체이다. S_j 는 오염물질(BOD) 삭감 대상이며, $C(\cdot)$ 는 비용배분 주체와 오염물질 삭감 대상에 따른 비용을 의미한다. 또한 추가적으로 발생한 수질개선 정도에 대한 편익은 $B_i(q_i, q_o, ed)$ 로 표현된다. 즉, 편익은 그 지역의 시작 하천수질인 q_i , 그 지역의 최종 하천수질인 q_o , 그리고 그 지역의 Endowments(인구수, 소득, 자산, 경제활동 등)인 ed 의 함수로 표현되어진다. 이러한 비용이 관련 지자체 각각에 대해 분리가 가능하다고 가정한다면 개별적 혹은 공동적 관리에 따라 분류 할 수 있다. 개별적 사업비용이란 지자체가 개별적으로 수질관리사업을 실시하여 자신의 지역에서 발생하는 오염물에 대하여 단위유역 출구점의 수질기준

에 적합하도록 처리하는데 소요되는 비용을 의미한다. 즉, 현재 지자체가 각각 처리해야 할 오염물질만을 처리할 수 있는 규모로 건설될 경우를 가정하여 개별적으로 비용을 산출하는 것이다. 공동적 사업은 지자체가 공동으로 협조를 통한 수질관리사업으로 비용을 절감하는 것이다.

Fig. 8은 지자체간 협조를 통해 공동적으로 처리함으로써 비용을 저감하는 개념도를 나타내고 있다. 협조적 게임의 성립을 위해서는 게임에 참가한 모든 참가자들이 지자체별로 독립적으로 대처했을 때(기존 계획)에 비해, 협조를 통해 삭감량을 재배분(시나리오-1,2)하고 이에 따른 적절한 비용배분을 함으로써 모든 참가자가 비용이 절감이 되어야 한다. 이러한 조건의 성립 여부는 직관적으로도 해석될 수 있다. 즉, 개별적 사업비용이든 공동적 사업비용이든 최종적으로 그 합에 의한 결과는 동일하게 오염물량을 저감시킬 수 있는 규모의 수질관리사업이다. 그러나 상·하류가 개별적으로 사업을 실시할 경우에는 사업에 투자되는 고정비용(fixed cost)이 중복될 가능성이 있으므로 일반적으로 공동적 사업비용보다 더 큰 비용을 발생시킨다. 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 전제 하에서 상·하류의 협조적 동기는 필연적으로 발생하게 된다.

또한 비용적으로 공동적 사업비용이 개별적 사업비용의 합보다 절감되는 것 이외에도 본 연구의 비용배분 상황에서 상·하류가 협조적 게임에 임할 가능성이 매우 높다. 왜냐하면, 상류인 영본B의 목표수질은 BOD 5.6 mg/L, 하류인 영본C와 D의 목표수질은 BOD 5.2 mg/L이며, 이는 하류에 비해 광주광역시라는 매우 큰 오염원이 상류에 자리하고 있기 때문이다. 따라서 하류의 입장에서는 상류에 공동으로 하수처리시설을 건설함으로써 상류로부터 유입되는 수질이 5.6 mg/L보다 더 좋게 할 수 있다.

4.2 협조적 게임하의 지자체별 비용배분을 산정

하천수질의 상태는 인간이 활동을 영위하기 위해 하천에 부과하는 행위의 결과로 볼 수 있다. 일상생활 또는 경제활동을 하면서 어떠한 형태로든 인간은 하천에 부정적 영향을

미치게 된다. 따라서 오염총량관리제에서의 지자체별 삭감량 산정도 원인자부담원칙에 따르는 것으로 오염부하량이 많은 지자체는 그 만큼 더 삭감을 해야 함을 의미한다. 앞에서 살펴본 조건의 가능성을 감안한다면, 비용배분을 위한 협조양상은 하류 지자체가 상류 지자체에 사업 대행을 요구하고, 상류는 사업 대행을 위해 하류에 적절한 협의대상 비용을 제안하는 방식이 된다.

Fig. 8에서 추가 수질개선에 대한 편익을 산정한다면, 이 편익을 음(-)의 비용으로 상정할 수 있을 것이다. 영산강 유역의 경우에는 시나리오-2의 수질모의를 통해 알 수 있듯이, 주로 하류에서의 많은 개선효과를 가지므로 그에 상응하는 편익의 적절한 부분을 상류(광주)에 투자할 여지가 발생하게 된다. 또한, 광주의 입장에서는 시나리오별로 수질개선효과는 크지 않고, 하수처리시설의 규모만 커지기 때문에 협조적 게임에서 이러한 점을 부각시킬 수 있다. 그러나 본 논문에서는 이러한 점들은 고려하지 않고, 단순히 삭감량에 대한 처리비용만을 대상으로 하였다.

협조상황에 대한 비용배분 방법론에는 SCRB법, 샤플리법

Fig. 8 지자체 협조를 통한 비용 저감의 개념도

Table 10. 광주 영본 A, B 개별 대처 시

지자체	개별적 사업		공동적 사업							
	기존 사업비용 (a)	비용 부담율 (a/b)×100=(c)	비용 (d)		비용 재배분 (e)×(c)=(f)		비용 저감 (a-f)=(g)		비용 절감율 (g/a)×100	
			S-1	S-2	S-1	S-2	S-1	S-2	S-1	S-2
광주-영본A	51,111.3	6.49%	50,202.4	50,202.4	43,085.4	39,985.8	8,025.9	11,125.5	15.70%	21.77%
광주-영본B	333,100.0	42.29%	333,941.5	412,564.9	280,793.8	260,593.3	52,306.2	72,506.7		
나주	121,568.0	15.44%	126,385.1	0.0	102,478.3	95,106.0	19,089.7	26,462.0		
담양	87,336.9	11.09%	87,336.9	87,336.9	73,622.5	68,326.0	13,714.4	19,010.9		
화순	44,588.7	5.66%	0.0	0.0	37,587.0	34,883.0	7,001.7	9,705.7		
장성	66,037.3	8.38%	66,037.3	66,037.3	55,667.6	51,662.8	10,369.7	14,374.5		
함평	41,980.0	5.33%	0.0	0.0	35,387.9	32,842.1	6,592.1	9,137.9		
영암	41,852.8	5.31%	0.0	0.0	35,280.7	32,742.6	6,572.1	9,110.2		
전체	787,575.0	100.00%	663,903.2 (e)	616,141.5 (e)	663,903.2	616,141.5	123,671.8	171,433.5		

Table 11. 2001~2011년 하수도 세입현황(단위:억원(%))

구분	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	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)
원인지부담금	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)

Table 12. 비용배분율에 따른 상·하류 비용분담액(단위: 백만원)

구분	지자체	사업비용	정부분담율 최소 (23.98%)		정부분담율 평균 (29.22%)		정부분담율 최대 (34.17%)	
			정부	지자체	정부	지자체	정부	지자체
협조전 (기존 계획)	광주-영A	51,111.3	12,256.5	38,854.8	14,934.7	36,176.6	17,464.7	33,646.6
	광주-영B	333,100.0	79,877.4	253,222.6	97,331.8	235,768.2	113,820.3	219,279.7
	나주	121,568.0	29,152.0	92,416.0	35,522.2	86,045.8	41,539.8	80,028.2
	담양	87,336.9	20,943.4	66,393.5	25,519.8	61,817.1	29,843.0	57,493.9
	화순	44,588.7	10,692.4	33,896.3	13,028.8	31,559.9	15,236.0	29,352.7
	장성	66,037.3	15,835.7	50,201.6	19,296.1	46,741.2	22,564.9	43,472.4
	함평	41,980.0	10,066.8	31,913.2	12,266.6	29,713.4	14,344.6	27,635.4
	영암	41,852.8	10,036.3	31,816.5	12,229.4	29,623.4	14,301.1	27,551.7
	전체	787,575.0	188,860.5	598,714.5	230,129.4	557,445.6	269,114.4	518,460.6
협조후 (시나리오-1)	광주-영A	43,085.4	10,331.9	32,753.5	12,589.5	30,495.8	14,722.3	28,363.1
	광주-영B	280,793.8	67,334.3	213,459.4	82,047.9	198,745.8	95,947.2	184,846.5
	나주	102,478.3	24,574.3	77,904.0	29,944.2	72,534.2	35,016.9	67,461.5
	담양	73,622.5	17,654.7	55,967.8	21,512.5	52,110.0	25,156.8	48,465.7
	화순	37,587.0	9,013.4	28,573.6	10,982.9	26,604.1	12,843.5	24,743.5
	장성	55,667.6	13,349.1	42,318.5	16,266.1	39,401.5	19,021.6	36,646.0
	함평	35,387.9	8,486.0	26,901.9	10,340.4	25,047.6	12,092.1	23,295.9
	영암	35,280.7	8,460.3	26,820.4	10,309.0	24,971.7	12,055.4	23,225.3
	전체	663,903.2	159,204.0	504,699.2	193,992.5	469,910.7	226,855.7	437,047.5
협조후 (시나리오-2)	광주-영A	39,985.8	9,588.6	30,397.2	11,683.8	28,301.9	13,663.1	26,322.6
	광주-영B	260,593.3	62,490.3	198,103.0	76,145.3	184,447.9	89,044.7	171,548.5
	나주	95,106.0	22,806.4	72,299.6	27,790.0	67,316.0	32,497.7	62,608.3
	담양	68,326.0	16,384.6	51,941.5	19,964.9	48,361.2	23,347.0	44,979.0
	화순	34,883.0	8,364.9	26,518.0	10,192.8	24,690.2	11,919.5	22,963.5
	장성	51,662.8	12,388.7	39,274.1	15,095.9	36,566.9	17,653.2	34,009.6
	함평	32,842.1	7,875.5	24,966.6	9,596.5	23,245.6	11,222.1	21,620.0
	영암	32,742.6	7,851.7	24,890.9	9,567.4	23,175.2	11,188.1	21,554.4
	전체	616,141.5	147,750.7	468,390.8	180,036.5	436,105.0	210,535.6	405,605.9

등이 다양하게 있으나, 본 연구의 상황은 재배분 전에 정해진 삭감량은 지자체별로 반드시 준수해야하며, 고정된 값이다. 또한 영산강유역 전체의 관점에서 삭감량을 재배분하였기 때문에 지자체간 비용 배분율은 협조 전의 영산강 유역의 총사업비 대비 지자체별 사업비 비율을 적용하였다. 지자체 각각의 분담액이 독립적 사업비용보다 보다 적으면 도출된 해는 협조적 게임의 해로서 적합하다고 할 수 있다. Table 10은 지자체별로 단위유역별 여건에 따라 공동적 대응을 할 경

우의 비용을 산정한 것이다. 시나리오-1은 123,671.8 백만원, 시나리오-2는 171,433.5 백만원의 비용을 절감하였다. <식 4>에서 언급하였듯이 목표수질보다 추가로 개선된 수질효과를 화폐화한다면 시나리오-2의 비용 저감효과는 더욱 크게 산정된다.

4.3 이해당사자별 비용배분

큰 틀에서 상하류 지자체에 대한 비용배분율이 결정되었으

면 상하류에 속해있는 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, 유수지 및 펌프장, 기타 운영비 등으로 지출되는 비용에 대한 2001년부터 2010년까지 10년간 하수도 세입현황은 Table 11와 같다. Table 11에서 보는 바와 같이, 하수도 관련 사업을 시행함에 있어서 중앙정부의 지원은 총사업비의 약 29.22% 정도이다. 여기서 금액은 2010년 기준으로 현재가치화한 것이며, 본 논문에서는 하수도사용료와 원인자부담금 등은 해당 지역에서 세입이 발생하므로 지방비를 포함한 지자체의 부담금으로 간주하였다. Table 12은 비용배분율에 따른 상하류 지자체의 비용분담액을 산정한 결과이며, 각각의 분담비율은 이해당사자 간에 협의·조정도 가능할 것이다.

5. 결 론

현행 수질오염총량관리제는 오염총량관리기본계획에서 원인자부담원칙을 기본으로 설정된 단위유역별 지자체별 할당부하량을 지자체별 오염총량관리시행계획을 통해 해당 지자체가 개별적으로 대처하도록 하고 있으며, 그 비용 또한 막대하다. 그러나 하천으로 유입되는 수질오염물은 공기오염물과 달리 상류에서 하류로 일방적으로 흐르고, 4대강별로 다수의 지자체가 연관이 되어 있으며, 일반적인 하수처리시설은 '규모의 경제'를 따르는 시설물임을 감안한다면 지자체간 협조를 통해 수질관리비용을 절감할 수 있다.

본 연구는 단위유역별 지자체별 할당부하량에 대하여 유역전체의 관점에서 비용효과를 가질 수 있도록 삭감량을 재배분하였다. 이를 위해 영산강 유역의 오염총량관리제를 대상으로 현재 단위유역별 지자체별로 할당된 계획삭감량을 총량의 증감없이 오염원이 집중된 지역으로 재배분함으로써 발생하는 수질개선 효과와 이에 대한 비용절감 효과를 분석하였다. 또한 이에 대한 비용을 지자체별로 배분하는 방법을 제시하였다.

영산강 오염총량관리기본계획에서 개별 지자체가 삭감해야 할 오염량을 산정하고, 해당 삭감량 만큼을 처리하기 위한 하수처리시설의 규모를 설정하였다. 또한 하수처리시설의 건설비와 하수관거 공사비, 유지관리비를 산정하였으며, 하수처리시설의 내용연수인 20년간의 총비용을 2010년 현재가치 기준으로 산정하였다. 기존 계획에 의한 영산강 유역 전체의 비용은 787,575.0 백만원이며, 시나리오1-과 2는 각각 123,671.8 백만원, 171,433.5 백만원의 비용을 절감되는 것으로 산정되었다. 본 논문에서는 개략적으로 비용을 산정하였으나 막대한 예산이 투입되는 사업이기 때문에 실제로 두 지자체가 협조하여 비용배분을 하게 된다면 하수처리시설의 수질개선효과, 하수처리시설 위치선정, 사업비용 등을 세밀하게 분석해야 할 것이다. 또한 누구나 수용할 수 있는 결과를 도출하기 위해서는 비용 산정의 객관성과 정확성이 반드시 필요하므로 비용배분의 이론뿐만 아니라 공학적·경제적 분석의 높은 수준도 전체가 되어야 할 것이다.

본 논문에서 지자체간 협조에 있어서 단순 삭감량만으로 비용을 산정하였으나, 실제 지자체간의 비용배분을 위해서는

수질개선에 대한 편익, 재배분에 의해 하수처리시설의 설치에 따른 혐오시설에 대한 부(-)편익, 재배분에 의해 하수처리시설을 설치하지 않음에 따른 토지의 기회비용 등을 포함하여 협상을 할 수 있는 모델을 개발하는 등의 추가연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 영산강물환경연구소(2009) 영산강섬진강수계 수질오염총량관리 업무편람.
- 한국개발연구원(2008) 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판).
- 한국개발연구원(2010) 2009년도 예비타당성조사 보고서 영산강 유역 농업용저수지 독농임사업.
- 한국환경정책·평가연구원(2008) 수질오염총량관리를 위한 배출권거래제 도입방안.
- 환경부(1985-2010) 하수도통계.
- 환경부(2007) 국가하수도종합계획('07-'15).
- 환경부(2011) 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과.
- 환경부(2011) 수질오염총량관리제도.
- Brill, E.D., Eheart, J.W., Kshirsagar, S.R., and Lence, B.J. (1984) Water quality impacts of biochemical oxygen demand under transferable discharge permit programs. *Water Resources Research*, 20(4), 445-455.
- Crocker, T.D. (1966) The structuring of atmospheric pollution control systems. In H. Wolozin (Ed.), *The economics of air pollution*, 61-68.
- Dales, J.H. (1968) Land, water, and ownership. *The Canadian Journal of Economics*, 1(4), 791-704.
- Eheart, J.W. (1980) Cost efficiency of transferable discharge permits for the control of BOD discharges. *Water Resources Research*, 16, 980-989.
- Eheart, J.W., Brill, E.D., Jr., Lence, B.J., Kilgore, J.D., and Uber, J.D. (1987) Cost efficiency of time varying discharge permit programs for water quality management. *Water Resources Research*, 23(2), 245-251.
- Hung, M. and Shaw, D. (2005) A trading-ratio system for trading water pollution discharge permits. *Journal of Environmental Economics and Management*, 49, 83-102.
- Karamouz, M., Zahraie, B., and Kerachian, R. (2003) Development of a master plan for water pollution control using MCDM techniques: A case study. *Water International IWRA*, 28(4), 478-490.
- Ng, T.N. and Eheart, J.W. (2005) Effects of discharge permit trading on water quality reliability. *Journal of Water Resources Planning and Management ASCE*, 31(2), 81-88.
- Ning, S. and Chang, N. (2007) Watershed-based point sources permitting strategy and dynamic permit trading analysis. *Journal of Environmental Management*, 84(4), 427-446.
- O'neil, W.B. (1983) Transferable discharge permits trading under varying stream conditions: A simulation of multi-period permit market performance on the Fox River, Wisconsin. *Water Resources Research*, 19, 608-612.
- Sado, Y., Boisvert, R.N., and Poe, G.L. (2009) Potential cost savings from discharge permit trading to meet TMDLs for phosphorus in the passaic river watershed. *Water Resources Research*, 46, W02501, 12 pp.
- Tao, W. (1995) Water Pollution control and sustainable development in the upper nanpan river basin in yunnan province, china. *Asian Journal of Environmental Management*, 3(2), 119-127.
- Tao, W. (1996) Review of tradeable discharge permit system and its prospective application. *Advances in Environmental Science (in*

Chinese), 4(6), 22-31.

Tao, W., Zhou, B. Barron, W.F., and Yang, W. (2000) Tradeable discharge permit system for water pollution-case of the upper nanpan river of china. *Environmental and Resource Economics*, 15, 27-38.

Xu, H. (1996). Policy and preliminary practices of water pollutant discharge trading. *Shanghai Environmental Science (in Chinese)*, 15(3), 1-3.

(접수일: 2012.5.10/심사일: 2012.7.29/심사완료일: 2012.8.7)