

수질오염총량관리 시행계획에서 수립된 삭감계획의 평가

박재홍[†]

국립환경과학원 수질총량관리센터

Evaluation of the Established Reduction Scheme in Implementation Plan of Total Maximum Daily Loads

Jae Hong Park[†]

Watershed Management Research Division, National Institute of Environmental Research

(Received 22 February 2008, Accepted 22 April 2008)

Abstract

It is necessary to select proper reduction methods and to calculate reasonably reduction amount for making good practice of the reduction scheme. Moreover, it is suggested that the reduction amount have to be distributed properly during the planning period. In other words, it has not to be concentrated on the specific year (especially final year of the planning period). The reason why, if the reduction amount concentrate on the final year of the planning period, allotment loading amount could not be achieved in some cases (e.g., insufficiency of budget, extension of construction duration). Even though much of the budget have been supported from national treasury (about 50%), it is thought the role of the local government must be strengthened gradually.

keywords : Annual BOD reduction scheme, Enforcement plan, Financial plan, Reduction methods

1. 서론

1999년 한강수계 특별법, 2002년 3대강(낙동강, 금강, 영산강·섬진강)수계 특별법에 의해 수질오염총량관리제가 본격적으로 시행되었다. 3대강수계와는 달리 한강수계의 경우는 임의제로 시작되었지만 현재 의무제로의 전환을 위해서 다각적인 노력을 기울이고 있다.

우리나라의 수질오염총량제는 선진외국의 TMDL(Total Maximum Daily Loads)에 근거하여 시행된 제도이며 1차년도(3대강 : 2004~2010, 한강 : 2003~2007)의 관리대상 물질로 4대강수계(한강 및 3대강) 모두 BOD가 채택되었다. 전 국가적으로 동시에 추진되며 제도의 시행초기인 관계로 많은 어려움과 시행착오, 지자체와의 이견조율 등을 거쳐 기본계획이 수립되었으며, 단위유역의 수질평가를 통해 시행계획수립대상 단위유역이 결정되었다.

법적기한인 2006년 8월까지 시행계획을 수립하여야 하는 자치단체는 낙동강수계의 경우 부산광역시 등 18개 시·군, 금강수계의 경우 대전광역시 등 13개 시·군, 영산강·섬진강수계의 경우 광주광역시 등 7개 시·군으로 계획서에 대한 검토와 보완기간이 다소 소요되어 승인이 지연되었으나 총 38개 시군의 시행계획이 수립되어 현재 이행평가과정을 거치고 있다.

시행계획의 수립과정에서 자치단체는 할당부하량을 준수하기 위하여 다양한 삭감계획을 수립하였는데 삭감시설 각각의 합리적인 삭감량 산정 뿐 아니라 전체적인 삭감계획의 합리성에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 시행계획수립 대상 자치단체가 제출한 시행계획보고서를 바탕으로 연차별 삭감계획의 타당성, 삭감방법의 타당성, 재정계획의 타당성을 검토하여 시행계획이 얼마나 합리적으로 수립되었는지를 살펴보고자 하였다.

2. 삭감계획의 평가

2.1. 연차별 삭감계획

각 수계별로 계획된 연차별 삭감계획(Table 1)을 살펴보면(거창군, 2006; 경기도 광주시, 2004; 계룡시, 2006; 고령군, 2006; 고성군, 2006; 공주시, 2006; 광양시, 2005; 광주광역시, 2007; 군산시, 2006; 군위군, 2006; 금산군, 2006; 김제시, 2006; 김천시, 2006; 김해시, 2005; 나주시, 2007; 남원시, 2006; 논산시, 2006; 담양군, 2006; 대구광역시, 2005; 대전광역시, 2005; 부산광역시, 2004; 상주시, 2006a, 2006b; 성주군, 2006; 안동시, 2005; 영천시, 2006; 의성군, 2006; 익산시, 2006; 전주시, 2006; 정읍시, 2006; 진주시, 2005; 창녕군, 2006; 천안시, 2006; 청도군, 2006; 청원군, 2007; 청주시, 2006; 칠곡군, 2006a, 2006b, 2006c; 화순군, 2006), 한강수계 광주시의 경우 2003~2007년까지의 1단계

[†] To whom correspondence should be addressed. jhng02@me.go.kr

수질오염총량관리 기간 중 중반기 이후에 모든 삭감계획이 추진되었으며 특히 삭감계획의 약 50%가 1단계 계획기간의 마지막 년도인 2007년도에 계획되어 있다. 낙동강수계의 경우 1단계 기간의 시행대상 16개 시·군 중 부산광역시, 진주시, 상주시, 고창군, 고성군, 군위군, 성주군의 경우 삭감계획이 비교적 연차적으로 분산되어 있으나 대구광역시, 경산시, 창녕군, 고령군, 의성군 등 4개 시군의 경우는 삭감계획이 2009~2010년에 50% 이상 집중되어 있다. 금강수계의 경우 1단계 기간의 시행대상 12개 시·군 중 청주시를 제외한 11개 시군이 삭감계획의 50% 이상을 2009~2010년에 추진하도록 계획하고 있다. 그러나 이중에서 7개

시군의 경우는 1단계 계획기간의 마지막 년도인 2010년에 전체삭감계획의 약 60% 이상을 계획하고 있어 연차별 삭감계획의 연도별 불균형(특정년도의 편중)이 심하였다. 영산강·섬진강수계의 경우 1단계 기간의 시행대상 7개 시·군 중 5개 시·군이 전체삭감계획의 50% 이상을 2009~2010년에 수립하도록 계획하고 있다. 이중 2개 시군의 경우는 1단계 계획기간의 마지막 년도인 2010에 전체삭감계획의 약 50% 이상을 계획하고 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 시행계획수립대상 시·군의 대부분이 삭감계획을 1단계 계획수립기간의 후반기에 수립하도록 계획하고 있다. 물론 삭감계획수립의 준비기간, 예산확보, 시·군의 재정도 등

Table 1. Annual BOD reduction scheme of each watershed

Watershed	City	Annual BOD reduction rate (%)							
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Han River	Gwangju			40.6	7.5	48.1			
	Busan				29.2	9.7	26.4	20.6	14.2
Nakdong River	Daegu	0.1		0.6	1.6	10.6	18.2	14.3	54.6
	Jinju			36.7	11.8	13.3	26.0	6.4	5.8
	Gyeongsan			0.4	9.7	8.0	12.9	60.5	8.5
	Gimhae			27.4	4.1	13.0	9.4	42.4	3.7
	Gimcheon			13.1	4.3	4.2	71.4	3.4	3.6
	Sangju			13.6	16.6	13.8	21.0	13.2	21.9
	Yeong Cheon			1.0	3.4	11.4	36.0	35.4	12.8
	Geochang-gun				64.0	12.4	5.3	6.9	11.3
	Goseong-gun				14.0	19.4	31.5	12.2	22.9
	Changnyeong-gun				11.0	9.6	9.6	30.1	39.7
	Goryeong-gun				7.8	4.1	3.2	57.3	27.5
	Gunwi-gun					100			
	Seongju-gun				35.3	7.7	18.6	23.0	15.5
	Uiseong-gun				20.4	12.9	13.2	46.7	6.8
	Chilgok -gun				47.1	3.0	7.2	15.8	30.1
	Total	0.02		12.2	8.8	12.1	17.5	23.3	26.0
Guem River	Daejeon				0.4	3.5	1.1		95.0
	Cheongju			0.3	0.1	0.1	52.0	45.8	1.7
	Gyeryong					87.7			12.3
	Gongju						35.9	4.4	59.8
	Geumsan-gun							71.1	28.9
	Nonsan						11.3	4.6	84.1
	Cheonan								100
	Gimje			5.0	3.0		0.3	2.7	89.0
	Iksan				24.4	3.3	6.3		66.0
	Jeonju							75.3	24.7
	Jeongeup			18.6	3.7	6.3	6.8	26.8	37.8
	Gunsan								100
		Total			3.3	4.3	2.8	10.8	25.5
Yeongsan · Sumjin River	Gwangju			2.5	1.5	1.1	1.0	1.6	92.3
	Hwasun-gun				9.7	2.0	34.7	16.6	37.0
	Damyang-gun				12.2	15.1	12.6	24.8	35.4
	Suncheon			12.5	17.6	23.4	20.4	17.4	8.7
	Naju			13.4	3.2	8.5	18.0	1.9	55.1
	Gwangyang			4.6	4.0	3.5	42.2	45.0	0.7
	Namwon			5.0	5.4	15.4	10.3	18.2	45.7
	Total			4.7	3.8	6.0	7.1	6.4	71.9

해당지자체의 여건상 삭감계획이 1단계 계획년도의 후반기로 미루어질 수 밖에 없는 요인들도 존재하고 있는 것이 현실이다. 하지만 삭감계획이 1단계 계획기간의 후반부에 집중될 경우 예산집행의 차질, 삭감시설의 계획공사기간 연장 등의 원인으로 인하여 삭감이 당초의 계획대로 진행되지 못할 경우 단위유역의 할당부하량 초과로 이어질 수 있으며 이에 따라 단위유역의 목표수질도 달성되기 어렵게 될 가능성이 매우 크다. 한 예로 하수관거정비사업을 통해 삭감을 계획하는 경우 국고보조금이 광역시의 경우 30% (전면보수시 30%, 개량보수시 10%), 도의 경우 50%, 시의 경우 70% 지원되나 나머지 부분에 대한 예산이 확보되지 못할 경우 사업의 지속성이 불투명해지며, BTL 사업의 경우는 법적인 절차에 소요되는 시간이 2~3년, 공사기간 2년 정도가 소요되어 계획기간 5년에 모든 사업을 완료하여 계획된 삭감량을 달성하기가 시간적으로 어려울 수 있을 것이다.

또한 수질오염총량관리제는 목표수질 달성도 중요하지만 할당부하량관리를 우선으로 하는 제도로서 해당단위유역의 배출부하량을 할당부하량 이내로 관리하는 것이 중요한데 상류 단위유역의 할당부하량이 초과되었을 경우 이로 인한 하류 단위유역의 부하량초과와 목표수질 미 달성시 이에 대한 책임분쟁의 문제도 발생될 가능성이 클 것으로 판단된다. 물론 할당부하량을 초과한 단위유역은 초과된 부하량만큼 총량부과금을 지불하는 것으로 할당부하량 초과에 대한 책임을 다 하였다고 생각될지 모르겠지만 상류의 유달 부하량이 하류단위유역의 목표수질에도 영향을 미치기 때문에 각 단위유역의 할당부하량 준수는 수질오염총량제의 성공여부를 판단하는 척도로 작용될 만큼 중요한 요인으로 간주될 수 있다. 따라서 각 단위유역의 해당 자치단체는 배출부하량이 할당부하량 이내로 달성될 수 있도록 합리적인 연차별 삭감계획을 세울 필요가 있다. 또한 가능한 삭감계획량이 특정년도에 집중되지 않도록 하고 예기치 못한 변수등을 고려하여 계획기간의 종료년도 이전에 많은 삭감이 이루어질 수 있도록 연차별 삭감계획을 수립하여야 할 것으로 판단된다. 이것은 선삭감 후개발의 총량제 원칙에도 부합되며 해당 자치단체의 개발부하량을 미리 확보해 놓을 수 있는 방법이기도 하다.

2.2. 삭감방법

각 수계별 삭감계획에서 제시된 삭감방법을 Table 2에 나타내었다. 한강수계(광주시)의 경우 하수처리장 증설 및 방류수의 수질개선을 통해 전체 삭감량의 79.5%, 하수관거정비를 통해 14.3%, 산업폐수의 하수처리장 연계처리를 통해 2.8%, 비점저감시설을 통해 1.9%, 가축분뇨 수거를 증대를 통해 1.5%의 삭감계획을 수립하였다. 낙동강수계의 경우 하수처리장의 신·증설 및 고도처리를 통해 전체삭감량의 63.0%, 마을하수도의 신설과 기타 오·폐수처리시설을 통해 13.2%, 하수관거정비를 통해 10.2%, 비점처리시설을 통해 9.6%, 가축분뇨처리시설을 통해 2.7%, 기타 방법에 의해 1.3%의 삭감계획을 수립하였다. 금강수계의 경우 하수처리장의 신·증설 및 방류수처리수질의 개선을 통해 전체삭감량의 42.7%, 하수관거정비를 통해 25.5%, 가축분뇨처리시설(자원화 포함)을 통해 19.9%, 비점삭감시설을 통해 5.4%, 마을하수도 및 기타 오폐수처리시설을 통해 4.5%, 분뇨처리시설을 통해 0.4%, 기타 처리방법을 통해 1.6%의 삭감계획을 수립하였다. 영산강·섬진강수계의 경우 하수관거정비를 통해 33.9%, 하수처리시설(신·증설, 방류수수질개선, 고도처리)을 통해 25.1%, 하천정화사업 등 비점처리시설을 통해 20.5%, 마을하수도와 기타 오·폐수처리시설을 통해 13.3%, 가축분뇨처리시설(신·증설, 액비화, 직접이송)을 통해 4.95%, 인공습지를 통해 0.03%, 기타 처리방법에 의해 2.22%의 삭감계획을 수립하였다.

4대강 모두 가장 큰 비중을 차지하는 삭감방법은 하수처리시설의 신·증설, 방류수수질개선, 고도처리시설도입과 하수관거정비사업을 들 수 있다.

2.2.1. 하수처리시설을 통한 삭감

고도처리공법을 적용하지 않는 하수처리장 신설의 경우 K시, D군 등 대부분이 BOD 방류수수질을 10 mg/L로 계획하고 있다. 고도처리시설을 적용하지 않은 기존(2007년 기준)의 하수종말처리장 170개소의 연평균 BOD 방류수수질을 살펴본 결과 24개소(14.1%)는 10 mg/L를 초과하고 있으나 평균 6.1 mg/L로 방류되고 있어 계획방류수질(10 mg/L)의 달성은 가능할 것으로 판단된다. 하지만 2011년부터 시작되는 2단계 계획기간부터는 BOD와 더불어 T-P가

Table 2. BOD reduction rate using by various methods

Methods	BOD reduction rate (%)			
	HR	NR	GR	YR
Sewage treatment plants (establishment, enlargement, improve effluent water quality)	79.5	63	42.7	25.1
Sewage treatment plants (rural), etc.		13.2	4.5	13.3
BMP (non-point sources)	1.9	9.6	5.4	20.53
Livestock wastewater treatment plants	1.5	2.7	19.9	4.95
Sewer system maintenance	14.3	10.2	25.5	33.9
Industrial wastewater transfer to sewage treatment plants	2.8			
Nightsoil treatment plants			0.4	
Etc.		1.3	1.6	2.22

HR : Han River, NR : Nakdong River, GR : Guem River, YR : Yeongsan · Sumjin River

관리대상물질로 설정되어 있기 때문에 하수처리장의 신설을 계획중인 경우는 2단계 기간의 T-P를 고려하여 고도처리공법을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

고도처리공법의 적용을 계획하고 있는 처리장은 N 하수처리장이 SBR 공법을 통해 BOD 14.1 mg/L를 9.0 mg/L로, K 하수처리장의 경우(처리공법 미제시) BOD 14.8 mg/L를 8.0 mg/L로, C 하수처리장의 경우(처리공법 미제시) BOD 16.1 mg/L를 9.2 mg/L로, J 하수처리장의 경우(처리공법 미제시) BOD를 5.0 mg/L로 처리하도록 계획하고 있다. 고도처리계획의 타당성을 평가하기 위하여 기존에 고도처리공법으로 운전중인 76개 처리장의 수질현황(환경부, 2005c)을 살펴본 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 처리공법에 따라 처리수질이 다양하며 전체 평균 BOD 방류수수질은 5.7 mg/L로 나타났다. 지자체의 계획방류수질이 비교적 높기 때문에 수질 달성에 큰 문제는 없을 것으로 판단되나 J하수처리장의 경우는 SBR 계열이나 A₂O공법을 적용하지 않을 경우 계획 방류수수질 5.0 mg/L를 달성하기 어려울 수도 있기 때문에 고도처리공법을 적용하고자 하는 처리장은 계획방류수질을 고려하여 적정 공법을 설정하여야 할 것으로 판단된다.

한편 수질오염총량관리제에서 할당대상시설의 배출부하량 산정을 위해서는 방류수수질을 평균값을 적용하는 것이 아니라 해당 처리장 배출수의 수질을 일정한 주기(특정요일에 수질자료가 집중하지 않도록 8일 간격)로 30회 이상 측정된 자료를 이용하여 방류수의 기준배출수질을 식 (1)에 나타난 바와 같이 정규분포화된 상위 95% 확률 순위수질로서 평가하도록 하고 있다(환경부, 2002a, 2002b, 2002c).

$$\text{기준배출수질} = e^{(\text{변환평균} + 1.645 \times \text{변환표준편차})} \quad (1)$$

$$\text{변환평균} = \frac{\ln(\text{배출수수질}) + \ln(\text{배출수수질}) + \dots}{\text{측정횟수}} \quad (2)$$

$$\text{변환표준편차} = \sqrt{\frac{\{(\ln(\text{배출수수질}) - \text{변환평균})^2 + \dots\}}{\text{측정횟수} - 1}} \quad (3)$$

그러나 하수처리장이 불안정하게 운영되어 방류수의 수질변화 폭이 클(대수정규분포를 나타내지 않을) 경우 산술평균값은 낮을 지라도 표준편차가 커지게 되어 기준배출수질이 계획방류수질 10 mg/L에 근접하거나 경우에 따라서는 계획방류수질 보다 높게 평가될 수 있기 때문에 적절한 처리공법의 선정과 더불어 안정적인 수질을 유지할 수 있도록 운영관리에도 세심한 주의가 필요시 된다.

삭감계획의 일환으로 마을하수도 신설의 경우는 법적 방류수수질기준 BOD 10 mg/L로 삭감계획을 수립하였다. 마을하수도는 지방환경관서에서 년 2회(반기) 지도점검을 수행하고 있어 삭감계획의 타당성을 분석하기 위한 운영자료가 충분치 않으나 마을하수도 지도점검결과 자료(환경부, 2004, 2005a, 2005b, 2007a, 2007b)를 바탕으로 살펴볼 때 점검대상 2,544개소 중 16.7%인 424개소가 BOD 방류수수질기준 10 mg/L을 초과하는 것으로 조사되었다. 수질기준을 초과하여 운영을 중단한 경우와 미 점검대상 마을하수도 까지 고려한다면 수질기준을 초과한 수는 더욱 증가하리라 생각된다. 또한 시설용량 대비 60%미만의 저유량 마을하수도(2005년 전국 1,153개 마을하수도 중 13.2%)와 유입수질이 20 mg/L(기타지역 방류수 수질기준)미만의 저농도 유입 마을하수도(2005년 전국 1,153개 마을하수도 중 11.3~15.2%)도 상당부분 존재하여 마을하수도의 운영관리에 많은 장애 요인으로 작용하고 있다. 이처럼 마을하수도는 하수발생량 및 시설의 규모가 작은 편이며 지역적인 특성에 따라서 농도의 편차가 심하기 때문에 운영관리가 매우 중요하다. 삭감량확보를 위해 많은 수의 마을하수도 신설을 계획하고 있는 경우가 빈번하지만 마을하수도를 신설하고자 할 경우는 시설입지여건, 하수특성, 지역적 특성, 인구, 물 사용량 등 지리적/지역적 여건, 오염원에 대한 정확한 예측과 적정 공법의 선정을 통해 최적처리시스템이 될 수 있도록 철저한 사전분석과 유지관리에 중점을 두어야 최대의 삭감효과를 달성할 것으로 판단된다. 또한 상당수의 마을하수도는 국고지원 등 소요예산에 대한 근거가 미약하여 서류상의 계획에 그칠 가능성이 매우 큰 것으로 판단된다.

방류수수질개선을 위해 대부분의 하수처리장은 생물학적 처리 후 여과시설의 설치를 통해 추가적인 삭감계획을 수립하였다. K 하수종말처리장의 경우 BOD 7.7 mg/L에서 6.0 mg/L, C 하수처리장의 경우 9.2 mg/L에서 7.0 mg/L, J 하수처리장의 경우 9.0 mg/L에서 8.0 mg/L, S 하수처리장의 경우 10.0 mg/L에서 8.2 mg/L 등 다양한 계획수질을 설정하였다. 여과시설의 설치를 통해 각 처리장에서 계획하고 있는 방류수수질의 달성가능성을 파악하기 위하여 현재 사여과시설을 운영하고 있는 D, S, K 하수처리장의 2006~2007년 2년간의 운영자료를 파악하였다(Fig. 1). 사여과 전 BOD의 평균 농도는 4.4 mg/L, 사여과 후 BOD의 평균 농도는 1.6 mg/L로 평균 65.2%의 제거율을 나타내었다. Fig. 1에서 도출된 회귀식을 바탕으로 각 처리장의 계획 방류수질을 살펴본 결과 여과 전 BOD 농도에 따라 1.8~2.9 mg/L의 처리수질을 나타내는 것으로 분석되어 각 처리장의 계획방류수질은 사여과 시설을 통해 달성가능하리라 판단된다.

Table 3. BOD removal efficiency of various nutrient removal process

Type	A ₂ O series			SBR series			Media series		Special microbe
	A ₂ O	BNR	AO	SBR	KIDEA	ICEAS	CNR	Denipho	B3
BOD _{inf} (mg/L)	142.7	94.5	80	85.2	67	53.3	120.9	95.4	214.5
BOD _{eff} (mg/L)	4.7	5.1	7.4	3.2	3	3.1	7.2	6.9	10.8
Removal efficiency (%)	96.3	94.9	90.8	94.5	94.6	94.6	91.3	92.9	95

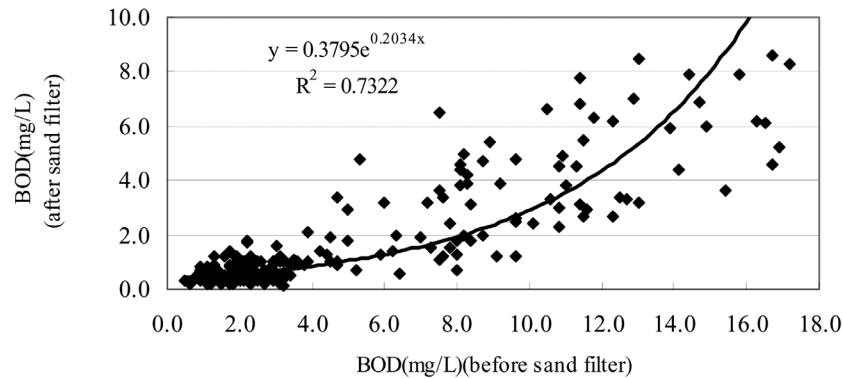


Fig. 1. BOD removal efficiency of sand filter process.

2.2.2. 가축분뇨 처리시설 설치, 자원화, 하수처리시설로의 연계를 통한 가축분뇨의 삭감

가축분뇨의 제어를 위해 액비화 등 자원화방법(금강수계 J시, 영산강·섬진강수계 NW시)을 통한 삭감방안도 수립되어 있으나, 지자체에서 계획중인 삭감계획의 대부분은 환경 및 수질보전 차원에서 자원화보다 바람직한 가축분뇨처리시설의 신·증설(금강수계 C·J·K시, C·G군, 낙동강수계 J·K·Y시, C·G군, 영산강·섬진강수계 N시, D군), 환경기초시설로의 연계 및 통합처리방법(한강수계 G시, 금강수계 G·N시, 영산강·섬진강수계 S·H시), 방류수수질 개선(금강수계의 I·G·N시)에 의한 삭감방안이 수립되어 있다.

그럼에도 불구하고 가축분뇨는 발생량에 비해 부하량이 매우 크며, 다양한 처리방법들이 제시되고 있으나 명확한 처리공법 또한 부족한 실정이다. 또한 가축분뇨처리시설의 신·증설을 계획하고 있는 각 자치단체의 시행계획서상에는 삭감량의 제시에만 중점을 두고 있으며 적용하고자 하는 공법 등에 대한 언급은 결여되어 있다. 현재 가축분뇨 공동처리장에 적용되고 있는 공법들도 많은 문제점을 내포하고 있어 최적의 처리공법 선정을 위해 기존에 운영중인 시설들에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

가축분뇨의 하수처리시설로의 연계처리 경우에도 가축분뇨의 발생량과 성상의 변화가 매우 커서 사실상 연계처리에 많은 문제점을 지니고 있다. 가축분뇨공동처리장은 유기물은 비교적 처리가 잘 되는 편이지만 영양소는 처리가 잘 되지 않으며(Table 4, 최의소와 음영진, 2001), 연계처리는 생물학적처리만을 거치기 때문에 가축분뇨를 하수처리장으로 연계처리할 경우 단순히 가축분뇨내의 영양소(질소, 인)를 저농도의 하수에 희석 방류하는 결과를 초래하기 쉬워 연계하지 않을 경우에 비해 처리수의 수질이 높아지고 처리효율이 감소될 수 있다(Fig. 2). Fig. 2는 가축분뇨를 연계한 경우와 연계하지 않은 경우의 처리공법별 처리수질(평균값)과 처리효율(평균값)을 나타내었다. 대부분의 경우 가축분뇨를 연계한 경우 처리수질이 높게 나타났으며 처리효율은 낮게 나타났다(환경부, 2007d). 현재의 규정은 가축분뇨의 연계처리시 하수처리시설의 정상 운영에 지장을 주지 않도록 총질소 및 총인의 오염부하량을 설계시 유입하수 오염부하량의 10%이내(설계치가 없을 경우 실제 유입 오염부하량의 10%이내)까지 전처리한 후 연계처리하도록 되어 있다(환경부, 2007c). 하지만 가축분뇨의 연계처리시 질소·인의 영양소 항목 뿐 아니라 COD 항목과 색도에 대한 부분도 고려되어야 할 것이다(Table 5). 난분해성 COD

Table 4. Removal efficiency (%) of unit operation in livestock wastewater treatment plants

Items	Influent (g/L)	Biological treatment		Physical/Chemical treatment			
		Aerobic	Anaerobic	Ammonia stripping (pre-treatment)	Coagulation (post-treatment)	Ozone/Activated carbon (post-treatment)	Membrane (post-treatment)
BOD	20	90	80	20	65	99	98
COD	40	95	75	15	70	97	95
TN	5.2	70	27	60	50	86	60
TP	0.7	60	50	-	98	-	-

Table 5. Possible problems of wastewater treatment facility combined with livestock wastewater

Items	Possible problems
COD loads	- It needs to consider livestock wastewater COD loads combined with sewage.
NBDCOD	- Livestock wastewater which contains NBDCOD is difficult to treat in wastewater treatment facility. - NBDCOD is mainly consisted of NOM (i.e., humic & fulvic acid). - NOM is THM precursor.
Color problem	- Color contained in livestock wastewater is difficult to be removed through wastewater treatment process. The reason why, it is consisted of non-biodegradable organic matter (i.e., NOM). - Color contained in effluent → popular complaint

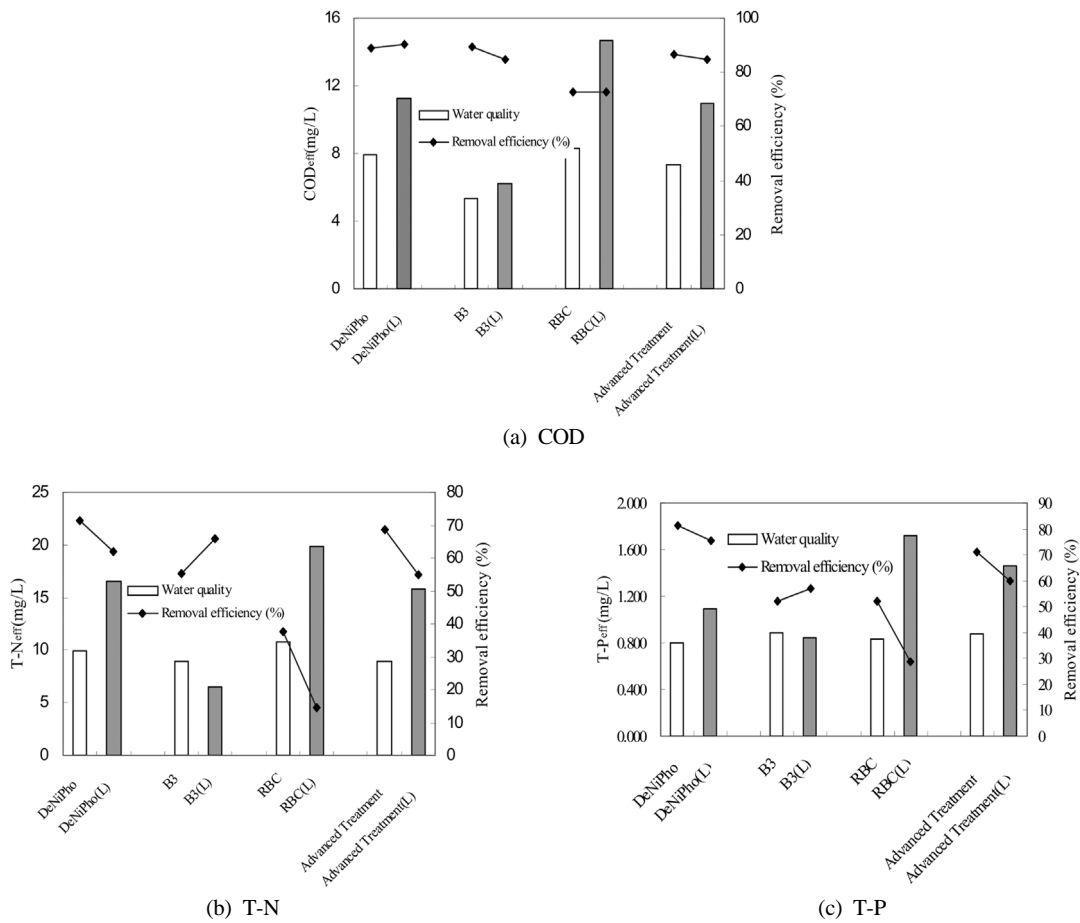


Fig. 2. Effluent water quality and removal efficiency of wastewater treatment facilities combined with (L) and w/o livestock wastewater.

가 다량 함유(생물 분해 불가능 COD_{Mn} 40~300 mg/L, 처리후 생물분해 불능한 COD_{Cr} 3~5.5%)되어 있는 가축분뇨의 특성상 연계처리시 하수처리장에서 제거가 불가능하다(최의소와 음영진, 2001). 따라서 난분해성 COD를 제거하기 위하여 고도산화시스템 등 불필요한 추가적 시설도입이 필요할 수 있다. 가축분뇨 고유의 색도 또한 난분해성 유기물에 기인하여 COD의 경우와 마찬가지로 하수처리장에서 제거가 불가능하다. 또한 가축분뇨를 연계처리할 경우 하수처리장의 유기물/영양소비가 불균형하게 되어 하수처리장의 수질개선에 부정적인 요인으로 작용할 가능성이 매우 크다. 고농도일수록 처리비용이 절감되는 것을 생각할 때 연계처리는 비경제적일 수도 있을 것으로 판단된다(최의소와 음영진, 2001). 한편 지자체별로 하수관거정비를 계획하고 있는 경우가 많은데 관거정비 후 정상적인 생활하수(현재수질보다 고농도)가 유입될 경우 하수처리장의 운영에 큰 부담으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다(박완철, 2001).

자원화의 경우도 방법론에 대한 구체적인 언급이 결여되어 있는데 박완철(2001)은 가축분뇨의 자원화를 위해서는 축사형태를 감안하여 처리방안이 설정될 필요성이 있다고 제시하였다. 즉, 분·뇨 분리형축사의 경우 분은 퇴비화, 뇨와 세정수는 정화처리, 분·뇨 혼합형 축사의 경우는 분뇨의 톱밥발효를 통한 퇴비화 또는 액비화가 바람직할 것

으로 제안하였다. 이와 같이 자원화에 대한 방법론도 시행 계획보고서상에 구체적으로 기술하여 현재는 자원화시 축산계 오염원의 배출량은 "0"으로 계산되나 정화처리부분이 발생하는 등 자원화에 의한 삭감이 과도하게 산정되지 않고 합리적인 수준으로 제시되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 가축분뇨의 자원화 이전에 고려해야 할 사항으로 자원화의 실효성에 대한 검토가 선행되어야 할 것으로 판단된다. 왜냐하면 국내의 경우 축산퇴비 및 액비를 활용할 수 있는 충분한 활용처의 확보가 어려우며, 활용할 수 있는 농경지 등이 확보되더라도 활용할 수 있는 시기가 한정되어 있기 때문이다(박완철, 2001). 장래의 사용을 위해서는 대규모저장시설의 설치가 불가피하게 되며, 활용처를 찾지 못할 경우 높은 오염도를 가진 폐수로 전락될 가능성이 매우 크다(박완철, 2001). 또한 취급이 어려우며 화학비료가 충분하고 농촌지역에서의 농업규모가 점차 감소되고 있다는 점도 자원화를 통한 농경지 환원이 어려운 이유 중 하나일 것이다(박완철, 2001).

2.2.3. 비점오염원 처리시설을 통한 삭감

자치단체별로 지역적 특성을 고려하여 다양한 비점오염원 삭감시설들이 계획되어 있는데 K시, N시, J시 등은 하상여과 장치를 통한 삭감계획을 수립하였는데 J시의 경우

BOD 4.7 mg/L의 G천을 1.2 mg/L(75% 제거율), BOD 3.46 mg/L의 D강을 0.87 mg/L로 처리(75% 제거율)할 계획으로 있다. N시(삭감효율 30% 적용)와 C군의 경우는 식생군락과 식재등의 방법, B·D·K시와 C·K군은 연못형 또는 완충형의 저류시설, S시는 인공습지, J시는 도로의 비점저감시설을 통해 삭감계획을 수립하였다. 그 외 여러 방법에 의한 비점삭감계획이 지자체에 의해서 계획되어 있다.

비점오염원처리시설에 의한 삭감계획은 처리수질(효율) 및 삭감량 평가에 가용할 축적된 자료가 부족하여 비점오염원관리 업무편람 등 문헌상의 자료에 기초하여 평가하고 있으나 강우, 하천수의 수질, 수리학적 특성, 유지관리 등에 따라 문헌상의 자료와는 상이하게 다양한 결과가 도출될 가능성이 매우 크다.

시행계획서상에는 비점처리시설에 대한 상세한 현황 및 운영에 관련된 자료가 기술되지 않고 단순히 문헌상의 처리수질, 처리량만을 고려하여 계획삭감량의 기술에만 그치고 있는 경우가 많아 이행평가를 통해 산정된 실제 삭감량은 계획삭감량과 상당한 차이를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 강우패턴(강우강도 등), 비점시설을 설치하고자 하는 지역의 지목별 강우유출형태, 비점저감시설로 유입되는 유입수에 대한 수질/유량 모니터링 자료, 처리가능량, 저류시설 규모 등에 대한 충분한 사전분석을 통해 합리적으로 달성가능한 삭감량을 제시하여 비점저감시설의 설치 후 실제 삭감량과 계획삭감량에 큰 차이가 없도록 삭감계획을 세워야 할 것으로 판단된다.

실제 탄천에 설치된 하상여과장치의 적용 예(정읍시, 2006)에서 제시된 바와 같이 하상여과수의 처리수질이 1~4 mg/L로 다양하게 나타나고 있어 경우에 따라서 자치단체가 수립한 계획수질(J 시 D강의 계획수질)보다 실제 처리수질은 크게 상회할 가능성이 크다. 따라서 실제 적용사례가 있을 경우 이를 최대한 활용하고 합리적인 삭감량이 산정될 수 있도록 가능한 불확실성을 고려해야 할 것으로 판단된다. 삭감량을 가능한 많이 확보하기 위해서 처음부터 과도하게 삭감량을 산정해 놓을 경우 이행평가과정에서 인정되는 삭감량이 감소되어 연차별 삭감량이 충족되지 못할 뿐만 아니라 삭감해야하는 총량의 달성이 불가능하게 되어 추가적인 삭감계획의 수립이 필요시 될 수도 있을 것이다.

현재 환경부에서는 4대강 비점오염원관리 종합대책의 일환으로 비점오염원으로 부터의 배출부하량을 저감하기 위한 시범사업(한강수계 : '04~'08(27개 sites), 낙동강수계 : '05~'08(5개 sites), 금강수계 : '06~'09(7개 sites), 영산강수계 : '06~'09(5개 sites))을 추진해 오고 있으며, 비점시설별 효율평가를 위해 유입수 및 유출수에 대한 모니터링을 수행하고 있어 2008년도에 시행계획을 수립하는 금강수계 및 영산강수계의 군 지역은 자료의 확보가 가능한 경우 지금까지 수행된 시범사업추진 결과를 반영하여 삭감계획을 수립함으로써 비점저감시설의 삭감량산정에 따른 불확실성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2.2.4. 관거정비를 통한 삭감

한강수계의 K시, 금강수계의 D·C·J·K·N·G시, 낙동강수계의 G·J·K·S·Y시(군), 영산강·섬진강수계의 K·N·D시(군) 등 많은 자치단체는 관거정비를 통해 전체 삭감량의 상당부분을 해소할 계획으로 있다. 즉 기존의 하수미처리 구역을 하수처리구역으로 편입시키거나 합류하수관거를 분류식화하여 최대의 삭감효과를 유도하고 있다. 또한 기존관거의 노후화로 인한 파손, 용량부족, 관거경사의 비정상, 연결관의 불량, 관거의 오접합 등을 관거정비를 통해 보완함으로써 누수율감소, 불명수율 감소 하수처리장으로 유입되는 하수의 유량 및 수질개선 효과를 유도하여 삭감효과를 극대화할 수 있다.

하지만 관거정비는 사업기간이 타 삭감시설의 설치에 걸리는 시간보다 더욱 많이 소요될 뿐만 아니라 막대한 사업비가 소요되기 때문에 재정자립도가 낮은 대부분의 해당시군들은 BTL사업추진, 예산의 우선투자등을 통해 사업을 달성하고자 부단한 노력을 기울이고 있지만 예산확보의 어려움, 재정부담의 가중, 수계기금 및 국비지원의 불충분 등 재정적인 부분이 현실적인 어려움으로 대두되고 있다. 따라서 충분하지 않은 재원확보의 현실성을 고려하여 관거정비구역을 선정할 때 인근지역과 블록화가 가능하거나 기존에 설치되어 있는 삭감시설들과의 연계 등 관거정비효과를 극대화할 수 있는 지점에 대한 사전 분석을 철저히 해야 할 것으로 판단된다. 또한 2010년까지의 삭감량 확보를 위해 기존의 하수도정비기본계획에 반영되어 있는 지역과 확대가 필요한 지역의 완공시기를 기존계획보다 앞당겨 1단계 수질오염총량관리 기본계획의 계획년도인 2010년까지 마무리 할 수 있도록 추진하고 있는 경우가 있는데 공사기간을 무리하게 조정하게 될 경우 부족한 재원과 기간단축에 따른 부실공사, 관거의 오접 등 관거정비효과를 훼손시킬 수 있는 결과를 초래할 수 있기 때문에 2010년까지 가능한 수준으로 추진해 나가는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 결론적으로 재정이 뒷받침되지 못하고 있는 상황에서 무리한 계획으로 인해 재정압박이 더욱 가중될 수 있으며 실제로 달성이 어려운 서류상의 계획에 머무를 수 있기 때문에 가능한 범위내에서 사업의 효과를 극대화할 수 있는 방안의 모색이 더욱 필요시 된다.

2.3. 재정계획

삭감시설 설치에 따른 재정계획의 현황(Table 6)을 살펴본 결과 한강수계의 경우 전체 소요예산 중 국비가 차지하는 비율이 59.7%로 가장 높았으며, 시비 18.6%, 도비 11.3%, 수계기금 10.4%의 순으로 나타났으며 낙동강수계의 경우 국비 48.1%, 원인자부담 14.9%, 시비 10.6%, 구비 8.5%, 수계기금 7.8%의 순으로 나타났다. 금강수계의 경우는 국비 43.8%, 구비 13.7%, 시비 12.0%, 수계기금 3.3%, 기타 0.8%의 순으로 나타났으며 영산강수계의 경우도 전체 소요예산에서 국비가 차지하는 비중이 49.5%로 가장 높게 나타났으며 광주광역시외의 관거정비사업에 소요되는 예산으로 인해 시비가 45.1%로 국비와 비슷한 비중을 차지하고 있으며, 군비 3.5%, 도비 0.9%, 구비 0.7%, 원인자부담

Table 6. Financial plan of the watersheds for BOD reduction

Watershed	Expenditure (%)							
	National	Municipal/City	Province	County	District	Watershrd fund	Polluter pays	Etc.
Han River	59.7	18.6	11.3			10.4		
Nakdong River	48.1	10.6			8.5	7.8	14.9	10.0
Guem River	43.8	12.0			13.7	3.3		0.8
Yeongsan River	49.5	45.1	0.9	3.5	0.7	0.1	0.3	0.01

0.3%, 수계기금 0.1%, 기타 0.01% 순으로 나타났다. 4대강 수계 공히 국비의 의존도가 전체예산의 약 50%에 달하는 것으로 파악되었다. 현재 삭감시설의 설치에 소요되는 재정의 많은 부분이 국비에 의존하고 있으나 많은 자치단체들이 현재 삭감시설에 따라 10~30%로 설정되어 있는 국비 지원비율을 대폭 상향 조정해줄 것을 요구하고 있는 실정이다. 따라서 국비지원이 원활하지 않을 경우 자치단체는 삭감시설 설치에 필요한 재원마련을 위해 하수도세를 비롯한 관련 세금 인상 등의 자구책을 마련하여야 하나 주민들의 반대가 심할 경우 계획된 삭감시설의 설치가 원활하지 못하게 될 가능성이 매우 크다. 또한 현재 지자체가 부담하기로 계획되어 있는 비용의 경우도 시행계획 보고서상에 재원조달에 관한 상세한 내역이 제시되지 못하고 전체 금액만을 기술하고 있어 계획대로 재원이 마련될 수 있을지에 대한 우려가 크다.

우리나라의 수질오염총량관리제는 전 국가적으로 시행되는 수질정책이며, 제도의 시행초기인 점을 감안하여 제도의 정착이 이루어질 때까지는 불가피하게 국가적인 지원에 많은 비중을 두어야 할 것으로 판단된다. 또한 장래에는 국가의 지원가능한 예산규모와 지자체의 재정도 등을 고려하여 가용예산 계획을 수립하고 실질적인 삭감이 이루어질 수 있도록 예산의 범위내에서 목표수질을 설정하고 삭감시설의 확충 등이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 다른 한편으로는 점차 시행계획을 수립하는 자치단체의 (재정 등) 역할이 강화되어야 할 것으로 판단되며 삭감계획을 계획대로 잘 수립하여 궁극적으로 수질개선에 기여한 경우에는 그에 상응하는 인센티브를 부여하여 지자체의 동기유발을 유도할 필요성도 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

시행계획의 연차별 삭감계획에 대한 타당성 검토결과 대다수의 지자체가 삭감량의 대부분을 계획기간의 후반부에 집중시켜 할당부하량 준수의 불확실성을 가중시키고 있다. 할당부하량의 미준수는 결국 단위유역별 목표수질의 달성을 불가능하게 한다. 따라서 삭감량이 특정시기에 집중되지 않도록, 삭감시설의 설치등을 연도별로 분산시키거나 가능한 계획수립 초기에 많은 삭감이 이루어지도록 연차별 삭감계획을 수립하여야 할 것으로 판단된다. 삭감방법의 타당성에 대해 살펴본 결과 상당수의 마을하수도 신설의 경우 소요예산에 대한 근거가 미약하여 삭감량 확보가 어려울 것으로 예상된다. 가축분뇨의 자원화 경우는 액비·퇴비에 대한 수요파악이 결여되어 있어 수요가 부족할 경우 사업

의 지속성을 확보할 수 없을 것으로 판단된다. 또한 비점오염원 삭감시설의 경우는 가용자료의 부족으로 삭감계획을 수립하는 자치단체나 삭감계획을 검토하는 기관 모두 어려움이 있는데 가능한 많은 삭감량을 확보하려는 지자체의 의지가 강한 것으로 판단된다. 환경부가 추진하고 있는 비점저감 시범사업의 결과와 1단계 수질오염총량관리 이행평가가 이루어지면 보다 합리적인 비점삭감시설에 대한 삭감량 산정과 평가가 가능하리라 판단된다. 재정계획은 수질오염총량관리제가 국가정책이며 제도시행의 초기인 관계로 국고지원의 비중이 크게 나타나고 있으나 궁극적으로는 원인자 부담원칙에 기인하여 시행계획수립대상 지자체의 역할강화가 필요하며 할당부하량을 준수하였을 경우 국고지원금의 증액, 시범지역 지정 등을 통한 지원강화 등 그에 상응하는 인센티브도 고려하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

거창군(2006). 낙동강수계 황강A 단위유역 경상남도 거창군 오염총량관리 시행계획.
 경기도 광주시(2004). 경기도 광주시 수질오염총량관리 시행계획(안).
 계룡시(2006). 계룡시 오염총량관리 시행계획.
 고령군(2006). 낙동강수계 경상북도 고령군 낙본G유역 오염총량관리 시행계획.
 고성군(2006). 낙동강수계 남강D 단위유역 경상남도 고성군 오염총량관리 시행계획.
 공주시(2006). 공주시 오염총량관리 시행계획.
 광양시(2005). 전라남도 광양시 섬본E 오염총량관리 시행계획.
 광주광역시(2007). 광주광역시 영본A-B-C-D 오염총량관리 시행계획 변경(안).
 군산시(2006). 군산시 수질오염총량관리 시행계획.
 군위군(2006). 낙동강수계 경상북도 군위군 위천B유역 오염총량관리 시행계획.
 금산군(2006). 금산군 수질오염총량관리 시행계획.
 김제시(2006). 김제시 수질오염총량관리 시행계획.
 김천시(2006). 낙동강수계 경상북도 김천시 낙본F유역 오염총량관리 시행계획.
 김해시(2005). 낙동강수계 낙본N 단위유역 경상남도 김해시 오염총량관리 시행계획.
 나주시(2007). 전라남도 나주시 영본 B-C-D 오염총량관리 시행계획 변경(안).
 남원시(2006). 남원시 수질오염총량관리 시행계획.
 논산시(2006). 논산시 수질오염총량관리 시행계획.
 담양군(2006). 전라남도 담양군(영본A, 영본B, 황룡A) 오염총량관리 시행계획(안).
 대구광역시(2005). 대구광역시 오염총량관리 시행계획.

- 대전광역시(2005). 대전광역시 금강 오염총량관리 시행계획.
- 박완철(2001). 축산폐수의 합리적인 처리방안 및 처리기술 현황. 우리나라의 현안문 제: 축산폐수 문제해결을 위한 기술 및 정책 심포지엄, (사)한국환경기술단체연합회 · 고려대학교 부설 환경기술정책연구소, pp. 125-135.
- 부산광역시(2004). 부산광역시 낙동강수계 오염총량관리 시행계획.
- 상주시(2006a). 낙동강수계 경상북도 상주시 병성A유역 오염총량관리 시행계획.
- 상주시(2006b). 낙동강수계 경상북도 상주시 유천B유역 오염총량관리 시행계획.
- 성주군(2006). 낙동강수계 경상북도 성주군 낙본F유역 오염총량관리 시행계획.
- 안동시(2005). 낙동강수계 경상북도 안동시 위천B유역 오염총량관리 시행계획.
- 영천시(2006). 낙동강수계 경상북도 영천시 금호BF유역 오염총량관리 시행계획.
- 의성군(2006). 낙동강수계 경상북도 의성군 위천B유역 오염총량관리 시행계획.
- 익산시(2006). 익산시 수질오염총량관리 시행계획.
- 전주시(2006). 전주시 수질오염총량관리 시행계획.
- 정읍시(2006). 정읍시(섬본C)수질오염총량관리 시행계획.
- 진주시(2005). 낙동강수계 남강D 단위유역 경상남도 진주시 오염총량관리 시행계획.
- 창녕군(2006). 경상남도 창녕군 낙본G 오염총량관리 시행계획.
- 천안시(2006). 천안시 오염총량관리 시행계획.
- 청도군(2006). 낙동강수계 경상북도 청도군 낙본G유역 오염총량관리 시행계획.
- 청원군(2007). 청원군 오염총량관리 시행계획.
- 청주시(2006). 청주시 오염총량관리 시행계획.
- 최의소, 음영진(2001). 지속발전을 위한 축산분뇨의 문제점과 개선방향. 우리나라의 현안문제: 축산폐수 문제해결을 위한 기술 및 정책 심포지엄, (사)한국환경기술단체연합회 · 고려대학교 부설 환경기술정책연구소, pp. 153-163.
- 칠곡군(2006a). 낙동강수계 경상북도 칠곡군 금호CF유역 오염총량관리 시행계획.
- 칠곡군(2006b). 낙동강수계 경상북도 칠곡군 낙본F유역 오염총량관리 시행계획.
- 칠곡군(2006c). 낙동강수계 경상북도 칠곡군 낙본G유역 오염총량관리 시행계획.
- 화순군(2006). 전라남도 화순군 영본C 오염총량관리 시행계획(안).
- 환경부(2002a). 금강수계 물관리 및 주민지원등에 관한 법률.
- 환경부(2002b). 낙동강수계 물관리 및 주민지원등에 관한 법률.
- 환경부(2002c). 영산강·섬진강수계 물관리 및 주민지원등에 관한 법률.
- 환경부(2004). 2004년 하수도시설 지도·점검결과(상반기).
- 환경부(2005a). 2005년 하반기 하수처리시설 지도·점검결과.
- 환경부(2005b). 2005년 하수도시설 지도·점검결과(상반기).
- 환경부(2005c). 하수종말처리장 고도처리시설 실태점검 결과.
- 환경부(2007a). 2007년 상반기 마을하수도 수질분석결과.
- 환경부(2007b). 2007년 하반기 마을하수도 수질분석결과.
- 환경부(2007c). 하수도시설 설치사업 업무처리 일반지침.
- 환경부(2007d). 하수도통계.