

개별배출시설 삭감잠재량 분석을 통한 수질오염총량제의 민간참여 활성화 방안 연구

김홍태* · 신동석[†] · 김현정 · 최인욱 · 이미선 · 김용석

국립환경과학원 유역총량연구과

A Study on the Activation of Non-government Participation in Total Maximum Daily Load System using Private Discharge Facilities Reduction Potential Analysis

Hongtae Kim* · Dongseok Shin[†] · Hyeonjeong Kim · Inuk Choi · Miseon Lee · Yongseok Kim

National Institute of Environmental Research Watershed Pollution Load Management Research Division

(Received 29 October 2015, Revised 26 November 2015, Accepted 27 November 2015)

Abstract

Four major river basin in Korea has been managed with Total Maximum Daily Load(TMDL) System. Water quality indicators as targeted pollutants for TMDL were BOD and TP. In order to satisfy water quality criteria, government allocation using public treatment facilities and its action plan has been used. However, the role to improve water quality were recently faced to its limitation. It is time to require the role of non-government allocation in private discharge facilities to control good water quality. This study investigated three different scenarios in reduction demands of non-government allocations about industry and private sewages. The three different scenarios were discharge under 1) legal water quality standard, 2) water quality level in 2011 and 3) current water quality level with maximum value in group. The results showed that reduction potential in water discharge for TP indicator was 1,118kg/day, under second scenario with 20% of deduction. This results arrived at 42% of whole reduction potential costs and 0.012mg/L improvement in water quality. In conclusion, to intrigue voluntary participation in non-government allocation, various benefits such as tax reduction, tax exemption, and water quality trading should be provided.

Key words : Non-government allocation, Private discharge facilities, Reduction potential, Total Maximum Daily Load (TMDL)

1. Introduction

현재, 우리나라에서 시행중인 수질오염총량제도는 4대강 본류를 중심으로 수계구간별 BOD 및 T-P 목표수질을 설정하고 목표기준 초과시 시행계획을 수립하고 연차별로 계획 이행 여부를 평가하고 있다. 3대강수계는 2단계(2011~2015년) 총량계획을 이행 중에 있으며, 한강수계는 강원, 충북을 제외한 서울, 인천, 경기도 지역을 대상으로 2013년 6월부터 2020년까지 의무제 총량제 1단계 계획을 이행중에 있다. 3대강 1단계 수질오염총량제 시행성과평가(NIER, 2011)에서 2010년 BOD기준 오염물질 배출량은 기준년도('02년) 대비 60.4% 수준으로 감소하였으나, 주로 감소요인이 환경기초시설을 통한 오염물질 저감이므로 지속가능한 총량관리를 위해서는 오염물질 배출원에 대한 추가적인 관리대책

이 필요한 실정이다. 또한, 2011년 하수도통계(MOE, 2012a)에 따르면, 전국 하수도 보급률은 2011년 90.9%로서 더 이상 환경기초시설의 신·증설에 의한 추가 삭감량 확보는 어려운 실정으로 나타났다. 또한 현행 수질오염총량제에서 오염물질 저감 책임은 지자체가 부담하고 있으며, 지정할 당시 시설은 전국 286개로써 공공부분 276개, 민간부분 10개 시설로 조사되어 개별배출시설도 공공위주로 관리되고 있다(MOE, 2013). 개인하수처리시설의 배출특성조사에서 관리의 필요성과 관리방안에 대한 연구가 수행되었으나 제도적 장치 마련 미흡과 재원 부족 등으로 여전히 민간참여의 한계를 나타내고 있다(Ahn et al., 2007; Lee et al., 2004). 또한 최적화 모델을 이용한 저비용 고효율 삭감효과 검토를 위한 총량관리 할당기법 연구에서는 도시지역과 농촌지역을 구분하여 삭감방안을 제시하였으나 도시지역의 경우 할당부하량 준수를 위한 삭감수단이 환경기초시설 등 기존의 관 주도 이행방안 만이 제시되어 추가적인 수질개선 대책에는 한계가 있다(Choi et al., 2015).

한편, 개별배출시설 중 민간시설의 규모를 파악하고 민간 참여시 추가적으로 확보 가능한 삭감량, 수질개선 및 경제적 효과 등의 분석이 필요하며, 민간참여 활성화를 위한

* To whom correspondence should be addressed.
sds8488@korea.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인센티브 부여 방안 강구 및 민간할당 관리방안 마련이 필요한 실정이다. 민간수도 수질개선사업 참여를 통해 공공위주 정책의 제도적 한계와 수질개선효과의 정체성을 벗고 수질오염총량제의 지속가능한 확대와 안정적인 제도 정착을 유도할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 수질오염총량제에 민간 참여 유도 및 활성화 방안을 모색하고자 하였다. 또한 개별배출시설 조사자료를 이용하여 민간참여 대상시설의 규모를 판단하고 다양한 삭감시나리오를 적용하여 삭감잠재량 및 수질개선 효과를 분석하였으며, 추가 삭감량에 대한 인센티브 부여, 배출권거래제 등 제도적 기술적 민간참여 유도방안을 검토하였다.

2. Materials and Methods

본 연구는 수질오염총량제 관련 법령 및 규정상의 할당 대상시설 기준으로 민간시설을 할당시 삭감잠재량을 추정하고 이로 인한 수질개선효과를 분석함으로써 제도적 기술적 적용 가능성, 민간 및 공공 참여시설 인센티브 부여 방안을 검토하였다.

우선, 현재 국내에서 시행되는 수질오염총량제의 민간참여에 대한 법적근거와 3대강 2단계 총량계획에 반영된 민간할당시설을 조사하고 제도상의 문제점 등을 검토하였다.

그리고 3대강수계 2단계 시행계획 최초연도(2011년) 대비 최종연도(2015년)의 개별배출시설 삭감효과는 2011년 기준 전국오염원조사(NIER, 2012) (이하 “전국오염원조사”) 개별배출시설 현황자료를 이용하여 분석하였다. 총량관리 대상물질인 BOD, T-P에 대해 다양한 삭감시나리오로 삭감잠재량을 산정하고, 공공 및 민간 개별배출시설의 T-P삭감잠재량과 이에 따른 수질개선효과, 공공시설 대비 비용편익 분석도 수행하였다.

이를 토대로 민간 참여대상 시설규모를 판단하고 민간시설 삭감잠재량 분석 등을 통해 민간참여 및 배출권거래제도 도입을 위한 제도적, 기술적 기반마련과 인센티브 방안을 검토하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 민간할당 삭감잠재량 및 삭감효과 분석

3.1.1. 4대강수계 삭감대상시설 범위

현재 우리나라의 점/비점의 구분은 기술적으로 강우의 영

향 여부에 따라 구분되나 미국의 TMDL의 경우 법적으로 규제 가능여부에 따라 점/비점 오염원을 구분하고 있는 점을 고려하여, 본 과제에서 개별배출시설의 범위는 법적규제를 받고 있는 시설로 규정하였다(NIER, 2014; U. S. EPA, 1999).

오염총량관리시행계획 이행평가기준(MOE, 2014b)(이하 “이행평가기준”) <별표 1>(수질 유량의 조사대상 및 주기) 상의 시설을 기준하여 Table 1과 같이 공공과 민간으로 개별배출시설을 구분하였다. 공공은 공공하수1, 공공하수2, 폐수종말, 가축분뇨로 구분하고 민간은 산업1, 산업2, 오수1, 오수2로 각각 구분하였다.

개별배출시설의 현황은 전국오염원조사의 환경기초시설, 오수처리시설, 산업계자료 등을 기준으로 파악하였다.

3.1.2. 개별배출시설의 현황 조사 결과

개별배출시설 중 할당대상으로 고려되는 시설은 직접 방류 시설로서, 각 수계별 환경기초시설, 산업체, 오수처리시설에서 직접방류 시설을 Table 2 및 Fig. 1과 같이 정리하였다. 각 수계별 개별배출시설 중 직접방류 시설현황은 4대강 모두 공공하수1, 공공하수2를 제외하면 “오수2”가 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 수계별 오수처리 시설은 한강이 가장 많고, 다음으로 낙동강, 금강, 영산강·섬진강 순으로 나타났다.

3.1.3. 개별배출시설 삭감잠재량 분석 방법

3.1.3.1. 저감가능량 분석 절차

저감가능량 산정방법은 수질오염총량관리기술지침(NIER, 2014)에서 제시한 여러 할당원칙 중 3가지로 구분하였는데 모든 시설이 현재조건에서 동일한 비율로 저감하는 동일률 수질개선<1>, 모든 시설이 그룹내 최소수질로 배출(기술적 최대)하는 적용처리기술에 따른 저감법<2>, 오염원별 배출 구분 없이 모니터링 일최대값의 20%를 일괄 저감하는 환경용량 균등배분에 의한 저감법<3>을 각각 선정하였다.

특히, 환경부보고서(MOE, 2013)에 따르면 동일률 삭감 방법은 수질 측면에서 삭감량을 달성할 만큼의 기술 수준 이라면 가장 효과적이라 할 수 있으며, 할당시설의 2015년 할당량과 2011년 할당시설 배출량의 차이가 20~30%로 나타나, 동일률 삭감 시 20%를 기준으로 하였다.

3.1.3.2. 개별할당의 삭감잠재량 시나리오

개별할당의 삭감잠재량은 저감 대상량 중 저감 가능량을 제한 값이 되며, 삭감잠재량을 분석하기 위한 방법은 시나

Table 1. Investigation target and discharge volume for public, private, and industry facilities

Section		Category	Investigation targets	etc
Public	Public facilities	Public Sewage1	Public sewage treatment plants (above 500 m ³ /day)	
		Public Sewage2	Public sewage treatment plants (below 500 m ³ /day)	
		Waste water	Industry or agricultural waste water treatment plants	
		Animal · human waste	Human or animal waste treatment plants	
Non-public	Industry facilities	Industry1	Daily discharge more than 700 m ³	
		Industry2	Daily discharge between 200 m ³ and 700 m ³	
	Private facilities	Private Sewage1	Daily discharge more than 700 m ³	
		Private Sewage2	Daily discharge between 200 m ³ and 700 m ³	

Table 2. The number of direct discharge facilities in four major river

Section	Public Sewage1	Public Sewage2	Waste water	Animal · human waste	Industry1	Industry2	Private Sewage1	Private Sewage2	Sum
Han river	137	480	14	10	53	100	122	765	1,681
Nakdong river	80	547	37	7	38	56	150	500	1,415
Geum river	71	427	37	11	43	55	31	236	911
Youngsan·Seomjin river	41	533	6	3	12	23	13	168	799
Sum	289	1,456	88	28	146	234	316	1,669	4,226

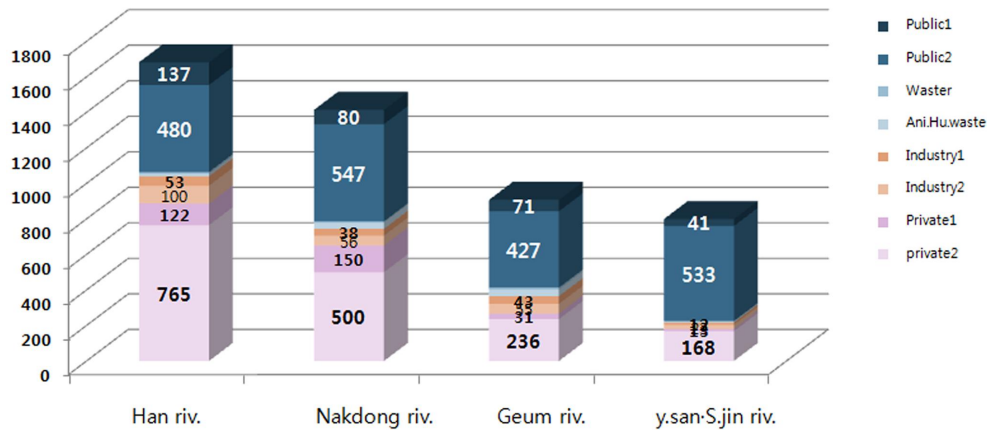


Fig. 1. The number of direct discharge facilities in four major river.

리오 I-III으로 각각 구분하였으며, 시나리오별 산정방법은 아래 식 (1)~(3)으로 같다.

$$\text{시나리오 I (삭감잠재량)} = A(\text{저감 대상량}) - 1, 2, 3(\text{저감 가능량}) \quad (1)$$

$$\text{시나리오 II (삭감잠재량)} = B(\text{저감 대상량}) - 1, 2, 3(\text{저감 가능량}) \quad (2)$$

$$\text{시나리오 III (삭감잠재량)} = C(\text{저감 대상량}) - 1, 2, 3(\text{저감 가능량}) \quad (3)$$

(여기서, A: 시설용량 × 법적기준농도(법적 최대배출 잠재량), B: 시설별 배출유량 × 방류수질(현재 배출량 '11년 기준), C: 시설별 배출유량 × 그룹 최대 방류수질(현재 최대배출 잠재량)), 1; 현재조건에서 동일률 수질개선(20%), 2: 그룹내 최소수질로 배출하는 처리기술 적용, 3: 관측치의 일최대값의 20%를 일괄 저감)

시나리오 I에서 시설규모는 시설용량을 적용하되 산업배출시설의 시설용량이 명확하지 않은 경우 1~3종 규모의 최소값을 적용하였고, 방류수질은 2012년 이후 강화된 법적 기준 수질농도를 적용하였다. 시나리오 II에서 시설별 배출유량의 적용은 환경기초시설과 산업배출시설의 경우 오염원자료의 방류량, 오수처리시설은 2011년 이행평가모니터링 자료(NIER, 2011)의 시설용량대비 배출유량비로 보정하였는데 오수1은 0.41, 오수2는 0.58을 각각 적용하였다. 방류수질의 적용에서 환경기초시설은 일최대방류수질, 오수처

리시설은 모니터링 자료상 그룹별 일최대 방류수질을 일괄 적용하되 오수1은 (BOD : 10.2, T-P : 2.42), 오수2는 (BOD : 13.6, T-P : 2.43)을 적용하였고, 산업배출시설은 모니터링 자료상 평균수질을 일최대수질비로 보정하였는데 산업1은 (BOD : 2.0, T-P : 2.09), 산업2는 (BOD : 1.5, T-P : 1.53)를 각각 적용하였다. 시나리오 III에서 그룹최대방류수질은 8개의 그룹별로 상위 95% 수준의 일최대방류수질을 적용하였다. 그리고 저감가능량<2>의 적용처리기술에 따른 그룹최소방류수질 저감은 8개의 그룹별로 하위 95% 수준의 일평균방류수질을 적용하였다.

3.1.4. 개별배출시설 삭감잠재량 분석 결과

3.1.4.1. BOD

시나리오 I, II, III의 BOD 저감 대상량은 Table 3과 같이 각각 177,561 kg/일, 96,606 kg/일, 187,658 kg/일로 나타났다. BOD의 경우 1단계 시행성과 등으로 법적방류수질보다 강화되어 방류되므로 현재 배출량 기준으로 산정하는 시나리오 II가 합리적이라 판단되며 BOD 삭감잠재량(동일률 수질개선 20% 적용<1>)의 우선순위는 “공공하수1 > 산업1 > 오수2 > 폐수종말 > 오수1 > 산업2 > 공공하수2 > 가축분뇨” 순으로 나타났다.

3.1.4.2. T-P

시나리오 I, II, III의 T-P 저감 대상량은 Table 4와 같이 각각 13,245 kg/일, 19,116 kg/일, 37,544 kg/일로 나타났다. T-P의 경우 2단계 최소시행으로 최소년도 2011년 이후 2012년에 법적기준이 강화되어 법적기준을 적용한 시나리오 I가 합리적이라 판단되며 T-P 삭감잠재량(동일률 수질개선 20% 적용

Table 3. The results of BOD reduction potential analysis with three different scenarios

Section	Scenario I				Scenario II				Scenario III			
	Reduction target (kg/day) (A)	Reduction potential (kg/day)			Reduction target (kg/day) (B)	Reduction potential (kg/day)			Reduction target (kg/day) (C)	Reduction potential (kg/day)		
		1	2	3		1	2	3		1	2	3
Public Sewage1	132,916	26,583	114,900	65,742	73,790	14,758	62,952	37,592	133,249	26,650	122,412	37,592
Public Sewage2	1,477	295	1,322	625	1,046	209	925	506	1,634	327	1,513	506
Industry1	20,831	4,166	20,626	3,612	7,784	1,557	7,595	3,414	14,785	2,957	14,596	3,414
Industry2	5,155	1,031	5,060	1,246	1,444	289	1,359	1,112	2,439	488	2,354	1,112
Private Sewage1	6,941	1,388	6,029	5,017	2,919	584	2,544	2,067	7,213	1,443	6,837	2,067
Private Sewage2	5,537	1,107	4,838	4,002	4,327	865	3,925	2,307	15,440	3,088	15,037	2,307
Animal·human waste	128	26	121	29	34	7	28	23	576	115	570	23
Waste water	4,575	915	3,633	1,436	4,262	852	3,671	958	12,321	2,464	11,730	958
Sum	177,561	35,512	156,529	81,709	95,606	19,121	82,998	47,980	187,658	37,532	175,049	47,980

Table 4. The results of TP reduction potential analysis with three different scenarios

Section	Scenario I				Scenario II				Scenario III			
	Reduction target (kg/day) (A)	Reduction potential (kg/day)			Reduction target (kg/day) (B)	Reduction potential (kg/day)			Reduction target (kg/day) (C)	Reduction potential (kg/day)		
		1	2	3		1	2	3		1	2	3
Public Sewage1	6,994	1,399	3,938	5	15,887	3,177	14,049	3	22,478	4,496	20,640	3
Public Sewage2	363	73	311	155	254	51	214	124	432	86	391	124
Industry1	2,568	514	2,563	412	884	177	879	391	1,562	312	1,558	391
Industry2	523	105	520	80	132	26	130	72	641	128	638	72
Private Sewage1	1,388	278	1,153	810	693	139	596	334	1,746	349	1,649	334
Private Sewage2	1,107	221	554	646	776	155	457	372	1,991	398	1,671	372
Animal·human waste	34	7	34	1	3	1	3	1	88	18	88	1
Waster water	268	54	233	8	486	97	464	4	8,607	1,721	8,585	4
Sum	13,245	2,649	9,306	2,117	19,116	3,823	16,792	1,301	37,544	7,509	35,220	1,301

<1>의 우선순위는 “공공하수1 > 산업1 > 오수1 > 오수2 > 산업2 > 공공하수2 > 폐수종말 > 가축분뇨” 순으로 나타났다.

3.1.5. 개별시설 할당에 따른 수질 개선효과 분석

3.1.5.1. 삭감량 대비 수질개선효과 및 사업비용 분석

환경부 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과(MOE, 2012b)에 의하면 지속적인 하수관거 정비사업 등으로 평균 유입수질 농도는 2010년에 비해 증가하고 분류식 하수관거 정비사업으로 BOD 계획수질 대비 유입수질이 증가하고 있으며 가동율은 78.6%로 평가되었다. 일반적으로 ‘계획1일 평균오수량’은 하수량의 일간변화를 고려하여 중소규모의 경우 ‘계획1일 최대오수량’의 70%, 대규모의 경우 80%를 적용한다.

또한, 공공하수처리시설 투자계획 검토에서(MOE, 2008a) 소규모하수도의 처리장 공사비를 기준으로 처리공법별(접촉산화법, 고효율합병정화시설, 모관침윤트랜치법, 활성슬러지법, A2/O법, 담체 및 막공법, SBR공법, 기타 공법)로 구분하고 소규모하수도 신설 및 개량시설 486개 마을하수도를 대상으로 처리장 건설비를 추정하였다. 개량 시설에 비해서 신설 시설의 평균 처리용량이 더 컸으며, 처리용량 당

평균건설비용도 2배 정도 더 높으며 처리장 용량과 건설비와의 관계를 추정하면 Table 5와 같다(MOE, 2008b).

낙동강수계 2단계 오염총량관리 기본계획상의 물금지역 T-P 목표수질을 0.119 mg/L에서 0.074 mg/L로 0.045 mg/L 수질개선시 적용된 삭감량과 사업비용을 이용해 개별배출 시설의 삭감에 따른 수질개선효과를 Table 6과 같이 추정하였다. 낙동강수계의 경우 T-P 1,000 kg/일 삭감시 물금지역 수질개선효과는 0.01 mg/L, 소요비용은 약 450,800백만원으로 산정되었다.

3.1.5.2. 4대강수계 개별배출시설 삭감잠재량에 따른 수질개선효과 및 사업비용 분석(T-P)

수질개선효과 분석에서 민간시설(산업1·2, 오수1·2)의 시나리오 I의 삭감잠재량을 분석한 결과 Table 7과 같이 동일수질개선(20%)<1> 방법에서 0.012 mg/L의 수질개선이 가능할 것으로 판단되며 이는 낙동강 전체 기본계획 수립시 저감하고자 하였던 0.045 mg/L의 26.7%에 이르는 것으로 산정되었다.

삭감잠재량 대비 수질 개선효과는 Table 8과 같이 산업1 0.005 mg/L, 오수1 0.003 mg/L, 오수2 0.002 mg/L, 산업2

Table 5. The estimation of construction expense for small facilities (Q : design volume (tons/day))

Section	Whole (n=486)	New (n=300)	Modify (n=186)
Construction expense (million won)	$30.5215 \cdot Q^{0.6437}$	$30.1840 \cdot Q^{0.6982}$	$36.5049 \cdot Q^{0.4591}$

Table 6. The results of water quality improvement analysis for Nakdong river

TMDL goal and plan			T-P 1000 kg/day reduction	
Reduction target water quality (T-P, mg/L)	Reduction target load (kg/day)	Total expense (million won)	Water quality improvement effect (mg/L)	Required money (million won)
0.045	4,356	2,028,581	0.010	450,800

Table 7. The results of water quality improvement analysis with scenario I (T-P)

Section	Scenario I			Etc
	1	2	3	
Reduction potential (kg/day)	1,117	4,790	1,948	
Water quality improvement effect (mg/L)	0.012	0.049	0.020	
Expense (million won)	520,277	2,230,293	907,305	

※ 1 : Equal rate of water quality improvement (20% deduction), 2 : BAT reduction, 3 : Equal rate reduction

Table 8. The results of reduction potential and water quality improvement effect with scenario I<1>(T-P)

Section	Public Sewage1	Public Sewage2	Waster water	Animal · human waste	Industry1	Industry2	Private sewage1	Private sewage2
Reduction potential (kg/day)	1,399	73	54	7	514	105	278	221
Water quality improvement effect (mg/L)	0.014	0.0007	0.0006	0.0001	0.005	0.001	0.003	0.002

Table 9. The results of reduction potential and construction expense with scenario I<1>(T-P)

Section	Public					Private				
	Public Sewage1	Public Sewage2	Waster water	Animal · human waste	Sum	Industry1	Industry2	Private sewage1	Private sewage2	Sum
Reduction potential (A, kg/day)	1,399	73	54	7	1,533	514	105	278	221	1,118
Money (B, million won)	651,378	33,786	24,935	3,181	713,282	239,177	48,671	129,294	103,136	520,278
B/A (million won/kg/day)	466	463	462	454	465	465	464	465	467	465

0.001 mg/L 으로 공공하수1이 0.014 mg/L에 비해 효과는 상대적으로 낮게 평가되었으나 시설규모 크기에 따른 차이로 추후 삭감수단으로 필요할 것으로 사료된다(Fig. 2). 또한, 본 연구에서는 삭감량이 수질 개선에 미치는 영향을 단순히 산술적으로 제시하였으며, 수질모델 분석을 통한 개별할당시설의 정밀한 공간적 저감효과 분석은 향후 추가 연구가 필요하다. 그리고 사업비용 분석결과, Table 9와 같이 삭감잠재량 대비 소요되는 시설용량에 따른 사업비(백만원)는 공공하수1이 651,378로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 산업1 239,177, 오수1 129,294, 오수2 103,136, 산업2 48,671 순으로 산정되어 민간시설이 공공시설의 대규모 비용투자 대비 경쟁력이 있는 것으로 판단된다(Fig. 2).

3.2. 민간참여 활성화방안 검토

3.2.1. 제도적측면

민간참여를 활성화하기 위해서 현재 지자체에서 일정규

모 이상 민간시설을 지정할당시설로 지정할 수 있도록하는 권고조항을 강제조항으로 변경이 필요하며, 지정규모는 현행 지자체와 협의하도록 되어있어 지역별로 차등 적용되는 부분을 시행계획 할당시설 지정기준 및 이행평가 모니터링 규모를 고려하면 오수 또는 폐수를 1일 200 m³ 이상 배출하거나 방류하는 시설로 일치시키는 것이 형평성 확보에 도움이 될 것으로 판단된다. 공공처리시설의 경우, 시행지역 외에 수질개선사업지역에도 시설규모 200 m³/일 이상은 지정할당시설로 관리하고 민간시설의 경우, 시행지역에 한해 시설규모 200 m³/일 이상은 지정할당시설로 관리하여 형평성을 유지할 필요가 있다.

지자체 시장·군수는 현행 총량제도시행상 지정할당권한이 있는 200 m³/일 이상 개별배출시설에 대해 모니터링비용을 지원하며, 200 m³/일 미만 개별배출시설은 공영제 등으로 지정할당 관리하고, 모니터링 결과에 따른 계획대비 삭감분에 대한 삭감량 인정 및 개발량 전환 등을 통하여

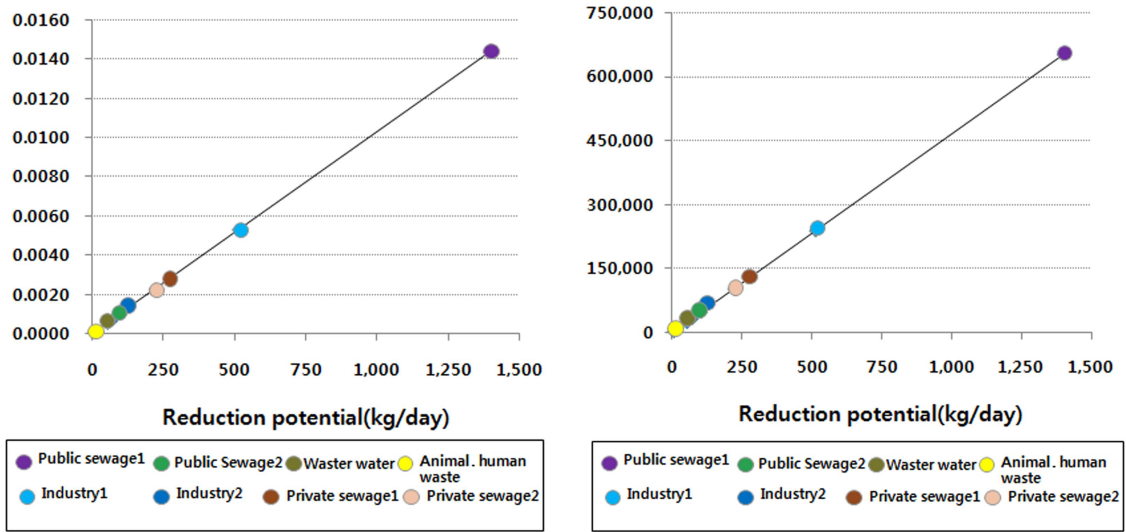


Fig. 2. The results of water quality improvement and construction expense against reduction potential in scenario I<1>(T-P)

총량관리제 시행을 지속가능하게 할 수 있다.

개별배출시설 지정할당시 지자체 및 민간에 대한 인센티브 방안 마련이 필요하며, 지자체의 경우, 민간할당에 따른 추가삭감량에 대한 개발량전환 인센티브 부여와 할당초과 부과금에 대한 지방세 편입 규정도 마련할 필요가 있다. 민간시설의 경우, 지정할당 대상시설로 선정하여 성실히 이행시 기존시설은 세금감면 또는 지도점검 면제 등을 제공하고 신규시설은 취·등록세 할인 등의 인센티브를 제공하되 불이행시 벌금부과 등 페널티 조치방안도 고려할 필요가 있다.

그리고 계획대비 초과삭감한 삭감량에 대해 공공-공공, 공공-민간, 민간-민간 간의 배출권거래가 가능하도록 규정을 마련하되 수질오염총량제 시행의 기본적인 원칙을 만족하는 범위내에서 민간 인센티브 및 초과삭감량에 대한 배출권거래 관련 기본방침, 기술지침, 이행평가기준 등 가이드라인을 제시할 필요가 있다(MOE, 2014a; MOE, 2014b).

3.2.2. 기술적측면

목표수질 설정 및 기본계획 수립시 사용된 기준삭감율을 공공처리시설 및 민간개별배출시설에도 적용하여 기존의 공공할당에만 적용된 계획수립시의 기준삭감율이 개별배출시설이 지정할당시설로 관리되도록 시행계획에 반영하여야 한다. 그리고 인센티브 및 배출권 거래제 시행에 앞서 기존의 일괄된 삭감량 정의에서 벗어나 의무적 삭감량과 거래가 가능한 추가 잉여삭감량에 대한 명확한 정의와 산정기준이 필요하며, 일반적으로 삭감량은 구매자 또는 판매자가 오염물질을 배출하는 위치에서 산정되므로 현 총량제의 삭감량 산정방식과 비교·검토하여야 한다.

삭감량거래를 위한 영향인자로서 유달률, 위치비용, 등가성비율 등을 고려할 수 있으며, 거래비(Trading ratio)는 구매자와 판매자간에 1:1비율이 성립되지 않고 수계별 특성과 주변 환경에 의존하기 때문에 거래비 설정이 필요하며 삭감계획에 따른 삭감량(kg/일)과 삭감량이 하천 수질에 미

치는 영향인자를 고려하여 거래비를 산정할 수 있는 가이드라인이 마련되어야 한다(U. S. EPA, 2008; U. S. EPA, 2009).

3.2.3. 경제적측면

현재 민간개별배출시설의 지정할당관리는 의무만 존재하고 참여기업의 인센티브나 배출권거래 등에 따른 경제적 혜택없이 이행에만 집중하고 있다. 하지만 배출권거래제 도입 및 시장구성방안 마련시에는 보다 저렴한 감축 수단을 선택할 수 있어 방류수질 개선에 따른 경영부담 완화가 가능하다. 그리고 비용 효과적인 방법으로 오염배출량 감소를 유도하는데 배출권거래제도 하에서 오염원인자는 할당받은 배출량 준수, 배출권 잉여분의 판매, 초과배출을 위한 매수 등의 방안을 선택하며, 개별오염원들로 하여금 여러 방안 중 가장 적은 비용이 소요되는 방안을 선택하게 함으로써 자연스럽게 비용경제적인 결과를 실현할 수 있다(U. S. EPA, 2003; U. S. EPA, 2004).

3.3. 결과 및 고찰

민간할당시설의 삭감대상규모, 삭감잠재량, 수질개선효과 및 사업비용 분석을 통해 목표수질 설정 및 기본계획 수립시 고려되어야 할 사항과 4대강수계에 적용시 개별배출시설 삭감을 통한 비용편익대비 수질개선효과를 검토하였다.

우선, 목표수질 설정시 기준삭감율이 공공삭감 뿐만 아니라 민간삭감에도 적용되어하며 할당대상시설의 합리적 지정할당부하량 산정을 위해 할당대상시설의 이행시기별 계획배출유량과 계획배출수질을 결정해야한다. 계획배출유량은 식 (4)와 같이 과거 3년 산술평균유량 및 이행시기별 예측 평균유량의 합으로 산정하며, 계획수질은 식 (5)와 같이 할당대상시설의 법적방류수질, 과거 3년간 기준배출수질, BAT 등 허가 농도 중 가장 낮은 수질을 기준수질로 지정하고 식 (6)의 할당율을 곱하여 산정한다.

본 연구에서 BOD저감대상량은 현재배출량 기준으로 시설별 배출유량에 방류수질을 곱하여 산정하고, T-P는 '12

년 이후 강화된 수질기준으로 시설용량에 법적기준수질을 곱하여 하였다. 또한, 삭감량 산정에 동일률 수질개선 20%를 적용하였는데 이는 예시와 같이 BOD 10 mg/L를 8 mg/L로 처리하는 할당율에 상당하고 삭감잠재량은 저감대상량에서 저감가능량을 차감한 값이다.

$$\text{계획배출유량} = A + B + C \quad (4)$$

(A: 과거 3년간의 산출평균유량, B: 이행시기별 예측된 자연증감에 따른 예상유입량, C: 이행시기별 계획된 지역개발사업 등에 따른 예상유입량)

$$\text{계획수질} = \text{기준수질} \times \text{할당율} \quad (5)$$

$$\text{할당율} = 1 - \text{기준삭감율}(\text{am}) \times (1 - \text{최대삭감수질} / \text{기준수질}) \quad (6)$$

(여기서, 기준삭감율(am): 최대삭감잠재량 중에 목표수질을 만족하는 삭감량의 비로 시행여건을 고려해 정책적으로 결정, 최대삭감수질: 기술적으로 낮출 수 있는 최대삭감 가능수질, 기준수질: 법적방류수질)

(예시) * 오수처리시설 BOD 할당율 = $1 - 0.4 \times (1 - 5/10) = 0.8$
 (여기서, 기준삭감율=0.4, 최대삭감수질: BOD 5mg/L, 기준수질: BOD 10mg/L)
 * 오수처리시설 T-P 할당율 = $1 - 0.4 \times (1 - 1/2) = 0.8$
 (여기서, 기준삭감율=0.4, 최대삭감수질: T-P 1mg/L, 기준수질: T-P 2mg/L)

그리고 민간개별시설의 삭감잠재량은 Table 10과 같이 전체 저감대상량 중 BOD 17%, T-P 42%로 T-P가 상대적으로 삭감 기대효과가 크게 나타났다. BOD 삭감잠재량은 “산업1(47%)>오수2(26%)>오수1(18%)>산업2(9%)” 순으로 삭감효과가 나타나고 T-P 삭감잠재량은 “산업1(46%)>오수1(25%)>오수2(20%)>산업2(9%)” 순으로 삭감효과가 나타났다.

따라서, 상대적으로 삭감효과가 큰 대상물질 T-P를 기준으로 개별배출의 91%를 차지하는 민간배출시설(산업1, 오수1, 산업2)을 지정할당시설로 관리하는 것이 수질개선에 효과가 클 것으로 예상된다.

낙동강수계 2단계 오염총량관리 기본계획에서 물금지역 T-P 수질개선효과(T-P, 0.119mg/L→0.074mg/L(0.045mg/L 개선))의 사례를 고려하면 Table 8과 같이 4대강수계 민간개별배출시설의 T-P 삭감잠재량 1,118 kg/일은 0.012 mg/L (1,000 kg/일 삭감시 0.010 mg/L 수질개선효과적용)의 수질개선효과가 있을 것으로 추정된다. 물금지역 T-P 수질개선에 따른 삭감비용을 민간개별배출시설에 적용시 Table 7과 같이 520,277백만원(1,000 kg/일 삭감시 450,800백만원 삭감비용적용)이 소요될 것으로 추정된다. 그리고 법적배출량 기준에서 일괄 20% 삭감 시나리오는 전체 삭감잠재량의 약 42%를 저감하는 것이며, 4대강 전체민간개별시설의 사업비는 Table 6의 낙동강수계 2단계기본계획 T-P 삭감비용 2,028,581백만원에 비하면 약 25.6% 수준이다.

4. Conclusion

본 연구에서는 개별배출시설에 대해 조사하고 저감잠재량 분석을 통해 지정할당시설 규모 및 삭감효과를 분석하였으며, 국내 수질오염총량제 적용방안에 대해 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지정할당시설의 적정규모는 삭감잠재량 분석, 유관 규정의 산업 및 오수처리시설을 고려할 때 200 m³/일 규모 이상을 대상으로 하는 것이 합리적인 것으로 판단되었다.
- 2) 4대강수계 민간개별배출시설을 지정할당시설로 관리시 수질개선은 T-P기준으로 0.012 mg/L의 수질개선효과가 있을 것으로 예측되었으며 개선비용은 520,277백만원으로 낙동강 2단계 총삭감비용 2,028,581백만원에 비하면 약 25.6% 수준으로 산정되었다.
- 3) 민간참여 활성화를 위하여 제안된 인센티브 방안을 이행하기 위해서 개별배출시설 지정할당 대상시설이 있는

Table 10. The results of reduction target load for BOD and T-P reduction potential analysis

Target		BOD			T-P			Cost (million won)	
		Reduction target (A) (kg/d)	Reduction potential (B) (%)	Reduction rate (B/total) (%)	Reduction target (C) (kg/d)	Reduction potential (D) (%)	Reduction rate (D/total) (%)		
Reduction target load	Public	Public sewage1	73,790	14,758 (93%)	77%	6,994	1,399 (91%)	53%	651,378
		Public sewage2	1,046	209 (1%)	1%	363	73 (5%)	3%	33,786
		Waster water	4,262	852 (5%)	4%	268	54 (4%)	2%	24,935
		Animal·Human waste	34	7 (0%)	0%	34	7 (0%)	0%	3,181
		Sum	79,132	15,826 (100%)	83%	7,659	1,533	58%	713,280
	private	Industry1	7,784	1,557 (47%)	8%	2568	514 (46%)	19%	239,177
		Industry2	1,444	289 (9%)	2%	523	105 (9%)	4%	48,671
		Private sewage1	2,919	584 (18%)	3%	1,388	278 (25%)	10%	129,294
		Private sewage2	4,327	865 (26%)	5%	1,107	221 (20%)	8%	103,136
		Sum	16,474	3,295 (100%)	17%	5,586	1,118 (100%)	42%	520,278
Total		95,606	19,121	100%	13,245	2,649	100%	1,233,558	

(): public and private STP reduction potential rate

지자체에는 민간 추가 삭감량의 개발량 전환 사용과 할당초과부과금의 지방세 편입에 필요한 규정 마련 등이 필요하며, 민간시설에는 성실히 이행시 기존시설은 세금 감면 또는 지도점검 면제 등을 고려하고, 신규시설은 취·등록세 할인 등의 인센티브와 불이행시 벌금부과 등의 페널티가 필요할 것으로 판단된다.

- 4) 또한 현 수질오염총량제도시행의 민간분야 적극적인 참여 및 지자체의 추가삭감 동기유발을 위해 계획대비 초과이행 삭감량은 공공-공공, 공공-민간, 민간-민간 간의 배출권거래를 허용하는 법적 근거 마련이 필요하며, 기존시설의 소급적용과 경제적 측면 형평성을 고려한 총량관리 기본방침, 기술지침, 이행평가기준고시 등에 인센티브 규정 및 배출권거래 관련 가이드라인이 후속 과제 등을 통해 마련되어야 할 것으로 판단된다.

References

- Ahn, T. U., Choi, I. C., Yu, S. J., Chung, H. M., Kwon, O. S., Son, D. H., Kim, W. K., Lee, D. H., and Yeom, I. T. (2007). The Characteristics and Management of the Individual Sewage Treatment System, *Korean Water Congress 2014*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 445-446. [Korean Literature]
- Choi, I. U., Shin, D. S., Kim, H. T., Park, J. H., Ahn, K. H., and Kim, Y. S. (2015). The Allocation Methods for Economical Efficiency Using an Optimized Model, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 31(3), pp. 295-303. [Korean Literature]
- Lee, H. S., Choi, I. S., and Oh, J. M. (2004). Investigation of out-flow Water Quality and Treatment Efficiency of Sewage Water with Business Types in Yang-Pyeong, *Korean Water Congress 2004*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 712-716. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2008a). *Sanitary Treatment Plant Investment Plan*, Ministry of Environment, pp. 28-45. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2008b). *Sewerage Plan Economical Efficiency Assessment Method*, Ministry of Environment, pp. 21-56. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2012a). *2011yr Statistics of Sewerage*, Ministry of Environment, pp. 3-10. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2012b). *2011yr Sanitary Treatment Plant Operating and Management Condition Analysis*, Ministry of Environment, pp. 3-8. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2013). *Private Discharge Facility Allocation Method and Economical Efficiency Analysis*, Ministry of Environment, pp. 6-94. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2014a). *TMDL Basic Guideline*, Ministry of Environment, pp. 10-11. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2014b). *TMDL Action Plan Assessment Guide*, Ministry of Environment, pp. 4-6. [Korean Literature]
- National Institute of Environment Research (NIER). (2011). *3-Major River 1st stage TMDL Action Plan Achievement Assessment*, National Institute of Environment Research, pp. 121-181. [Korean Literature]
- National Institute of Environment Research (NIER). (2012). *2011yr National Pollutant Source Survey*, National Institute of Environment Research, pp. 64-91. [Korean Literature]
- National Institute of Environment Research (NIER). (2014). *TMDL Technical Guideline*, National Institute of Environment Research, pp. 49-83. [Korean Literature]
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (1999). *Draft Guidance for Water Quality-based Decisions: The TMDL Process (Second Edition)*, United States Environmental Protection Agency, pp. 43-76.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2003). *Water Quality Trading Policy Statement*, United States Environmental Protection Agency, pp. 4-11.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2004). *Water Quality Trading Assessment Handbook*, United States Environmental Protection Agency, pp. 27-72.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2008). *EPA Water Quality Trading Evaluation Final report*, United States Environmental Protection Agency, pp. 16-26.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2009). *Water Quality Trading Toolkit for Permit Writers*, United States Environmental Protection Agency, pp. 28-33.