

낙동강수계 3단계 광역시·도 경계지점 목표수질 설정 방법 연구

황하선 · 박지형 · 김용석 · 류덕희 · 최유진 · 이성준[†]

국립환경과학원 물환경연구부

Research on How to Set 3rd Phase Target Water Quality on the Boundary between Metropolitan Cities/Dos Specified in Nakdong River Basin

Ha Sun Hwang · Ji Hyung Park · Yong Seok Kim · Doug Hee Rhew · Yu Jin Choi · Sung Jun Lee[†]

Water Pollution Cap System Division, National Institute of Environmental Research
(Received 18 October 2016, Revised 3 January 2017, Accepted 19 January 2017)

Abstract

Total Pollution Load Control (TPLC) is a system for managing the discharge load assigned by satisfying the Target Water Quality (TWQ) in Standard Flow Conditions (SFC). TWQ for a between Metropolitan Cities/Dos Specified (Cites/Dos TWQ) is very important to be the basis of each Unit Watershed TWQ. The purpose of this study was to establish a rational and scientific 'Calculation Method of Cites/Dos TWQ'. A methodology for the 3rd phase 'Cites/Dos TWQ' was proposed in this study based on review of the past phase (1st and 2nd) 'Cites/Dos TWQ' in Nakdong river. And utilized water quality model to estimate 3rd phase 'Cites/Dos TWQ'. The allocation method of individual discharge sources are important for estimating 'Cites/Dos TWQ'. In this case, the key point of the method of calculating the total allowable individual sources is the balance of the equity and the efficiency between individual sources of reduced pollutants. Thus, water quality shall be determined with regard to the current emission levels, the reduction capacity and the technical possibilities of individual sources. We estimate 3rd phase 'Cites/Dos TWQ' according to the 'Calculation Method of Cites/Dos TWQ'.

Key words : Boundary between Metropolitan Cities/Dos Specified, Nakdong River Basin, Target Water Quality (TWQ), Total Pollution Load Control (TPLC)

1. Introduction

우리나라의 수질오염총량관리제도(이하 총량관리)는 총오염부하량을 감소시키면서 지역개발의 자율적 조절을 유도하여 공공수역의 수질을 보전하고, 수질오염에 대한 지역간 책임소재를 분명히 하고, 수자원 이용과 지역발전에 대한 유역 전체의 형평과 상생을 목적으로 단위유역별로 정해진 목표수질 한도에서 각 지방자치단체에 허용 가능한 오염배출량을 할당하여 관리하는 제도이다(MOE, 2004).

허용 가능한 오염배출량은 기준유량조건에서 목표수질을 만족할 수 있도록 수질모델링을 사용하여 계산된 단위유역의 배출부하량에서 안전부하량을 제외한 배출부하량(이하 할당부하량)을 말하는데 할당부하량 산정을 위해서는 단위유역별 목표수질이 필요하다.

단위유역별 목표수질은 낙동강 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률(MOE, 2014)(이하 낙동강수계법) 제9조에 따라

환경부장관이 낙동강수계의 이용상황과 수질상태 등을 고려하여 주요 상수원의 수질이 환경정책기본법 시행령 별표 제3호(MOE, 2012)에 따른 약간 좋음 등급 이상을 달성·유지할 수 있도록 정하여 고시하거나, 광역시·도지사(이하 시·도지사)가 환경부장관이 고시하는 광역시·도 경계지점(이하 시·도 경계지점)의 목표수질을 달성할 수 있도록 관할 구역에 있는 단위유역의 목표수질을 정하여 환경부장관의 승인을 받아 공고할 수 있다. 지금까지 낙동강수계는 환경부 장관이 시·도 경계지점의 목표수질을 고시하면 이를 달성할 수 있는 범위 내에서 시·도지사가 관할구역에 있는 단위유역의 목표수질을 정하고 있다.

이처럼 시·도 경계지점의 목표수질은 단위유역별 목표수질의 기본이 되는 매우 중요한 요소이므로 그 설정원칙은 총량관리의 목적에 부합되어야 한다. 그 동안 낙동강수계의 1단계 및 2단계 목표수질 설정원칙을 보면 관리수질 목표를 낙동강수계 전체에 대하여 동일한 값으로 정하고 이를 달성하기 위해 노력해야 한다는 것이었다. 이는 물이용 목적 등을 토대로 권역의 목표수질을 정하고 측정수질이 목표수질을 초과하는 지류에 대해서만 총량계획을 수립하고 있는 미국의 총량제(U.S. Senate, 2002)와 전국에 국가 수질관리 목표를 정하고 이를 달성하기 위해 배출시설 허가, 폐수배출허가, 배출부과금 부과, 환경영향평가 등의 수질관

[†] To whom correspondence should be addressed.
ehyuk72@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.

리대책을 시행하고 있는 독일의 사례(Hwang, 2007)와 유사하다.

이 원칙은 공유 수자원의 이용 및 관리 등에 대한 상·하류의 이해가 상당히 다른 낙동강수계의 총량관리에 있어 형평성 측면에서는 합리적인 방법이라 할 수 있다. 그러나, 이 원칙에서 동일한 기준치 적용은 지역별 용수 이용목적 이 충분히 반영되고 수질 및 수생태 건강성을 해치지 않는 수준으로 설정되어야 한다. 또한, 오염물질 저감 및 수질개선을 위한 사항은 기술적으로 타당해야 하고 재정투자과 관련된 사항은 이해당사자의 협의 및 실현가능성이 뒷받침되어야 하는 등 기준치 결정 과정 및 조건이 매우 복잡하고 어렵다.

총량관리 목표수질 설정방법과 관련된 국내 선행연구를 살펴보면, Hwang et al. (2015)은 낙동강수계의 1단계 및 2단계 시·도경계 목표수질 설정 원칙을 재검토하고 이를 바탕으로 수계 내 대표지점 확대 및 중권역 목표기준 등 물관리 정책과의 연계, 악화방지원칙 등 총량관리 연속성을 고려하여 3단계 시·도 경계 목표수질 설정을 위한 관리권역 및 관리목표 설정방법을 마련한 바 있다. 또한, Bac (2008)는 충청북도 금강수계 수질오염총량관리 목표수질 타당성 평가 연구에서 외국 및 우리나라 수계별 목표수질 설정원칙을 언급하고 우리나라 총량관리 목표수질 설정원칙의 문제점이 물관리종합대책의 비현실성과 지역간 형평성 부족이라고 하였다. 그리고 Yi (2013)는 금강수계의 물환경기준과 목표수질 설정방안 연구에서 총량관리 목표수질은 하천수질 및 수생태계의 환경기준 농도 보다 같거나 높은 농도로 설정해야 한다고 한 바 있다.

본 연구는 낙동강수계의 1단계 및 2단계 시·도경계 목표수질 설정 방법과 3단계 시·도경계 목표수질 설정을 위한 관리권역 및 관리목표를 기반으로 3단계 시·도경계 목표수질 설정방법을 마련하였다.

2. Materials and Methods

2.1. 대상지역

본 연구 대상지역인 낙동강수계는 낙동강의 발원지인 강원도 태백시 황지에서 부산광역시 낙동강하구언까지 수계 구간으로 물이 흘러 유입되는 지역으로 면적은 약 23,687.85 km²이고 유로연장이 521.5 km로서 우리나라 국토의 1/4을 차지하고 있으며, 토지이용현황은 산지가 67.5%, 목초지가 0.9%, 농경지가 23.5%, 대지가 4.0%, 나지가 1.3%, 수체 2.8%로 대부분의 토지이용은 산지와 농경지이다. 행정구역으로는 강원도, 경상북도, 대구광역시, 경상남도, 부산광역시, 전라남도, 전라북도, 울산광역시의 전부 또는 일부가 포함되어 있다.

또한 환경부장관이 목표수질을 고시하는 시·도 경계지점은 강원도, 경상북도, 대구광역시, 경상남도, 부산광역시의 경계가 되는 8개 지점이며(MOE, 2003; MOE, 2008b) 시·도지사가 목표수질을 정하여 공고하는 단위구역은 41개이다(MOE, 2002; MOE, 2008a). 환경부장관은 단위구역별 목

표수질 설정 및 수질변화 측정의 용이성 등을 위해 낙동강수계를 41개의 수계구간으로 구분하는 과정에서 시·도경계를 사전에 고려하여 8개 경계지점 중 강원도와 경상북도 경계는 낙본A와 일치토록 하였으며, 경상북도와 대구광역시 경계는 낙본F 및 금호B, 금호C, 대구광역시와 경상남도의 경계는 낙본G, 경상북도와 경상남도의 경계는 회천A 및 밀양A, 경상남도과 부산광역시의 경계는 낙본L과 일치토록 하였다(Fig. 1).

2.2. 관리권역별 대표지점의 관리수질

환경부는 3단계(2016년~2020년) 시·도 경계지점 목표수질 설정을 위한 기반으로 낙동강수계 내 공공수역을 대표하는 권역을 금호강권역, 남강권역, 밀양강권역, 낙동강상류권역, 낙동강하류권역 등 5개 관리권역으로 구분하였다(Hwang et al. 2015). 각 유역의 특징을 보면 금호강권역의 경우 권역말단이 금호C 말단과 일치하며 권역 내 시·도 경계지점으로는 금호B, 금호C가 있으며 밀양강권역은 밀양B 말단과 일치하며 권역 내 시·도 경계지점으로는 밀양A가 포함되어 있다. 낙동강상류권역은 낙본F 말단과 일치하며 권역 내 시·도 경계지점으로는 낙본A, 낙본F가 있으며 낙동강하류권역은 낙본L 말단과 일치하며 권역 내 시·도 경계지점으로는 회천A, 낙본G, 낙본L이 있으며 남강권역은 남강E 말단과 일치하며 권역 내 시·도 경계지점은 없다.

또한 물환경관리정책 연계강화를 위해 낙동강수계법에 따른 주요 상수원의 목표기준과 수질 및 수생태 보전에 관한 법률에 따른 중권역 목표기준(MOE, 2016)을 동시에 달성하도록 하고, 현재수질 및 총량관리 2단계 목표수질에 대한 악화방지원칙을 적용하여 총량관리의 연속성이 고려될 수 있도록 한다는 설정원칙을 정하였다. 이러한 설정원칙에 따라 5개 관리권역의 대표지점(관리권역 말단)에 대하여 대상물질별 수질관리목표(이하 관리수질)를 설정하였는데 BOD는 낙본F 1.9 mg/L, 금호C 3.5 mg/L, 남강E 2.0 mg/L, 밀양B 1.6 mg/L, 낙본L 2.9 mg/L이며 T-P는 낙본F 0.058 mg/L, 금호C 0.149 mg/L, 남강E 0.070 mg/L, 밀양B 0.047 mg/L, 낙본L 0.065 mg/L이다(Table 1).

2.3. 개별배출원의 허용총량 및 배분원칙

오염물질을 발생시켜 관리권역으로 배출하는 오염원을 개별배출원이라 정의하면 관리권역 대표지점에 설정된 수질관리목표를 안정적으로 달성·유지하기 위해서는 관리권역 내 위치하고 있는 모든 개별배출원에 대한 최적의 배출계획(이하 허용총량(AL_i))을 수립하여 이를 달성하도록 노력해야 하는데 일반적 수질관리목표는 수질개선을 목적으로 하므로 허용총량은 수질관리목표 달성을 위해 필요한 권역 내 삭감부하량을 개별배출원에 적절히 배분하는 것을 의미한다.

허용총량(또는 삭감부하량)을 배분하는 방법으로는 동일비율 저감법, 동일농도 저감법, 대표지점 수질에 미치는 영향을 고려한 저감법 등이 있으며(U. S. EPA., 1999) 이는 일률적 적용과 차등적 적용으로 구분할 수 있다. 일률적

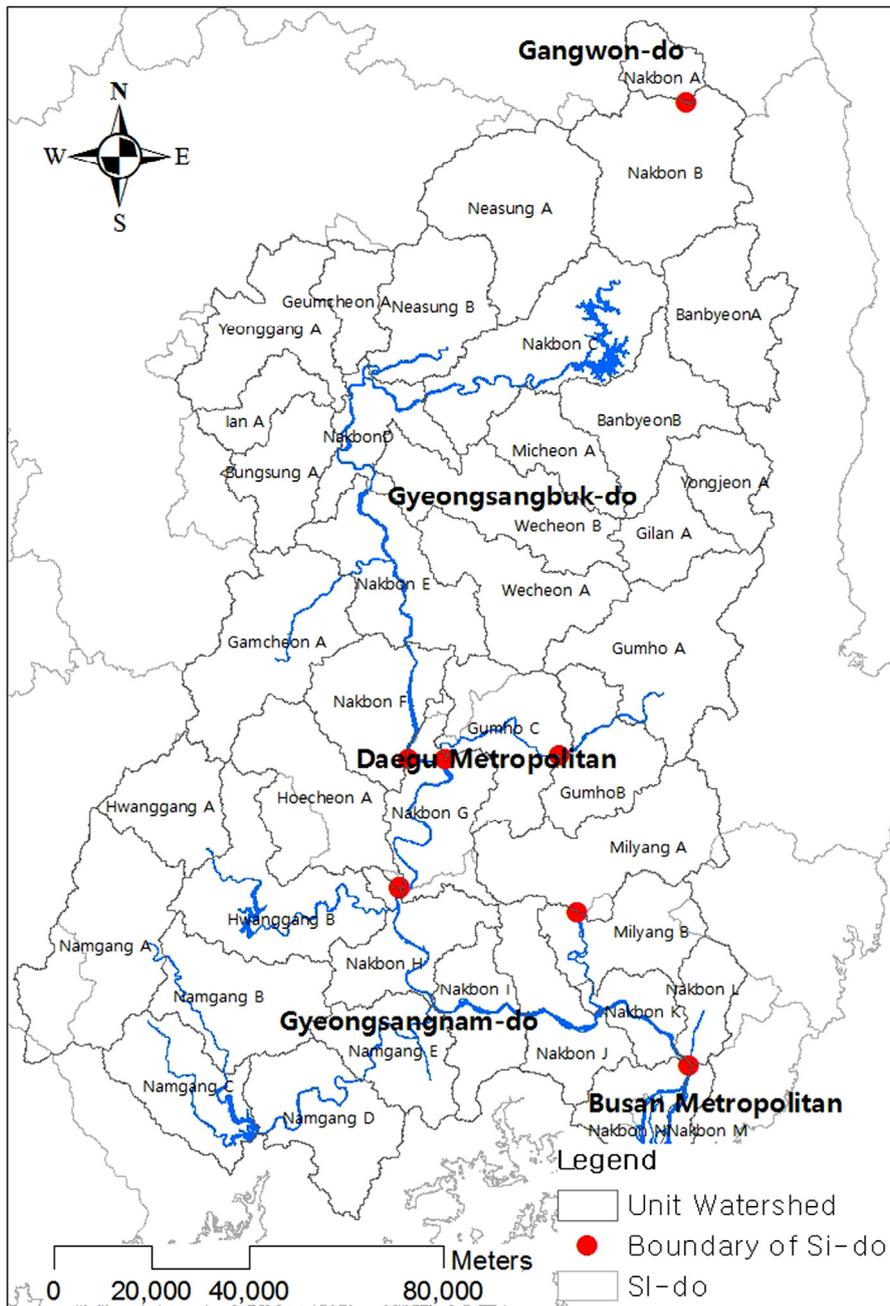


Fig. 1. Unit Watershed and Metropolitan Cities/Dos in Nakdong River Basin.

Table 1. Result of BOD and T-P Management Goal each Management Basin

Management Basin	End of Management Basin	Management Goal (mg/L)		Boundary between Cities/Dos		
		BOD	T-P	Up	Down	Unit Watershed
Geumho River	Gumho C	3.5	0.149	GyeongBuk	Daegu	Gumho B
				Daegu	GyeongBuk	Gumho C
Nam River	Namgang E	2.0	0.070	-	-	-
Miryang River	Milyang B	1.6	0.047	GyeongBuk	GyeongNam	Milyang A
Nakdong River Up stream	Nakbon F	1.9	0.058	Gangwon	GyeongBuk	Nakbon A
				GyeongBuk	Daegu	Nakbon F
Nakdong River Down stream	Nakbon L	2.9	0.065	Daegu	GyeongNam	Nakbon G
				GyeongBuk	GyeongNam	HeocheonA
				GyeongNam	Busan	Nakbon L

적용은 모든 개별배출원에 대해 동일 처리율 또는 동일 처리농도 등을 적용하는 방법으로 배출에 대한 기준만 필요하므로 행정적으로 매우 간단하고 공학적 적용이 쉽다. 하지만, 수체의 자정능력이 커서 높은 수준의 처리가 필요하지 않은 지역이나 반대로 높은 수준의 처리가 필요한 지역이 동일한 처리율을 적용하기 때문에 경제적인 효율성이 낮으며 오염도가 높은 지역에서는 충분한 삭감이 일어나지 않아 수질오염이 지속될 수 있다.

반면 차등적 적용은 개별배출원을 몇 개의 그룹으로 구분하여 각 그룹별에 해당하는 개별배출원에 동일한 처리율을 적용하여 그룹별로는 차등된 처리율이 적용되게 하는 방안이다. 이때 그룹은 공간적 구역, 오염원 규모, 종류 등이 있는데 일반적으로 수질관리에 있어서의 오염원이 하천을 따라 이동하기 때문에 지리적인 구획 분류법이 형평성과 경제적 효율성, 행정적 실현 가능성 간의 균형을 달성할 수 있다(KEI, 2001).

2.4. 시·도경계 목표수질 설정

낙동강수계의 8개 시·도 경계지점 중 낙분F, 금호C, 낙분L은 관리권역 말단과 일치하여 관리권역의 목표수질이 시·도 경계지점 목표수질이 된다. 그러나, 관리권역 말단과 일치하지 않는 금호강 권역 내의 금호B, 밀양강권역내의 밀양A, 본류상류권역의 낙분A, 본류하류권역의 낙분G 및 회천A의 경우는 시·도경계 목표수질 설정을 위한 추가 분석이 필요하다. 본 연구에서는 관리권역 말단과 일치하지

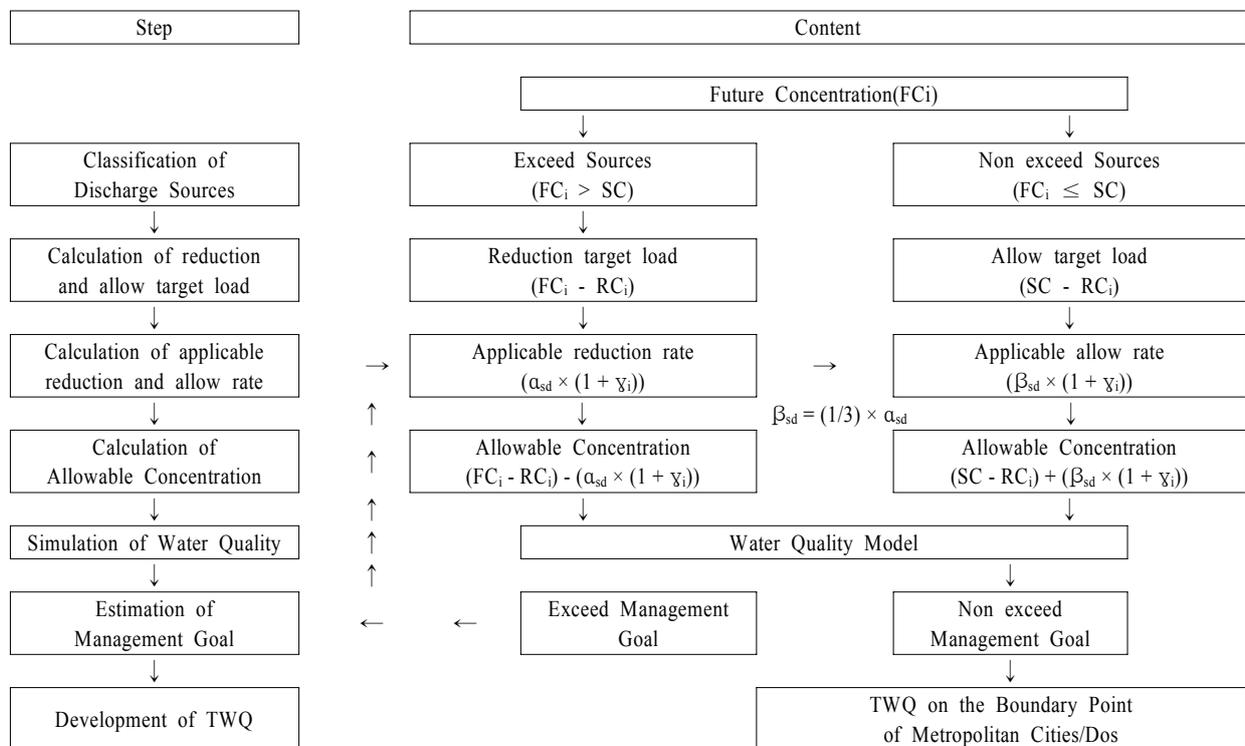
않는 시·도경계지점에 대해서는 관리권역의 수질관리목표를 만족하고 개별배출원간의 오염물질 삭감에 대한 형평성과 효율성이 고려된 개별배출원의 허용총량을 산정하였다. 그리고 산정된 허용총량이 수계구간으로 배출되었을 때, 시·도 경계지점에서 수질모델을 활용하여 예측된 수질을 시·도경계 목표수질로 정하였다(Fig. 2).

여기서 개별배출원의 허용총량은 개별배출원간의 형평성을 위해 관리수질 달성을 위한 동일수질을 개별배출원에 배분하는 것을 기본원칙으로 하되 개별배출원의 삭감여력 및 오염부하기여도 등을 고려하여 산정하였으며 수질모델은 NIER (2014)이 2012년 오염부하량과 실측수질을 이용하여 보·검증한 모델을 이용하였다. 기준유량은 오염총량관리기본방침(MOE, 2016)에 따라 BOD는 저수량, T-P는 저수량 및 평수량 중 수질악화 조건의 수량을 적용하였다. 또한 권역별 개별배출원은 금호강권역이 38개이며 밀양강권역이 18개, 낙동강상류권역이 176개, 낙동강하류권역이 114개이다(Table 2). 시·도경계지점이 없는 남강권역은 낙동강하류권역의 개별배출원 중 하나로 처리하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 기준수질 산정

총량관리는 기준유량조건에서 목표수질을 달성하는 허용부하량을 산정하고 이를 할당하여 관리하는 제도이므로 기준유량이 정해진 상태에서 개별배출원의 허용총량은 허



* FC_i : Future Concentration at 'i', SC : Standard Concentration, RC_i : Reduction possible Concentration at 'i', C_i : Allowable Concentration at 'i', α_{sd} : Standard reduction rate, β_{sd} : Standard allow rate, γ_i : Weight factor

Fig. 2. Framework of development 3th Target Water Quality on the Boundary Point of Metropolitan Cities/Dos.

Table 2. The Number of effluent data each Management Basin

Management Basin	Number of Discharge Point		
	Total	Environmental Treatment Facility	Tributary
Geumho River	38	12	26
Miryang River	18	3	15
Nakdong River Up stream	176	29	147
Nakdong River Down stream	114	24	90

용수질(AC_i)과 같은 의미를 가진다. 또한 관리권역내에 존재하는 개별배출원은 관리수질 달성을 위해 동일한 삭감의무를 가지므로 관리수질을 달성·유지하기 위해 모든 개별배출원에게 허용되는 동일 수질(이하 기준수질, SC)이 개별배출원의 허용수질이 된다(식 (1)).

$$AC_i = SC \quad (1)$$

여기서, AC_i 는 개별배출원의 허용수질, SC 는 기준수질

기준수질은 관리권역 내 환경기초시설 등 개별배출원 특성과 수체 특성 등을 고려하여 수질모델링을 통해 산정할 수 있는데 본 연구에서는 시·도 경계지점이 포함된 금호강 권역, 밀양강권역, 낙동강상류권역, 낙동강하류권역 각각 설정된 BOD, T-P 관리수질을 달성·유지하기 위해 관리권역 내 모든 개별배출원들이 동일하게 배출할 수 있는 기준수질을 수질모델링을 이용하여 기준유량 별로 각각 산정하였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

이 중 금호강권역의 기준수질을 보면 BOD는 저수량에서 3.0 mg/L, T-P는 저수량에서 0.164 mg/L, 평수량에서 0.128 mg/L로 나타났는데 이는 금호강 관리권역 내 38개의 개별배출원 모두가 기준유량인 저수량에서 3.0 mg/L를 배출하는 경우 말단의 BOD 관리수질 3.5 mg/L를 달성할 수 있음을 의미하며 T-P는 저수량에서 0.164 mg/L 또는 평수량에서는 0.128 mg/L를 배출하는 경우 말단의 T-P 관리수질 0.149 mg/L를 달성할 수 있음을 의미한다.

3.2. 개별배출원의 장래수질 및 삭감가능수질

개별배출원의 허용수질(AC_i)을 달성하기 위해 필요한 삭감노력의 주체는 중앙·지방 정부 및 민간으로 구성되는데, 이 중 중앙정부는 중장기 삭감계획을 수립하여 국고 투입 등의 방법으로 수질개선 노력을 하고 있다.

이러한 삭감노력 등에 따른 목표연도의 수질(이하 장래수질, PC_i)은 단순 수식 또는 수질모델링 등을 이용하여 예측할 수 있는데, 본 연구에서는 현재 배출부하량에 2020년까지 중앙정부가 계획한 삭감계획(하수도정비계획 및 2단계 총량관리계획 등), 소규모 개발, 자연적 인구이동 등에 따른 자연증감 그리고 국가균형발전계획에 따른 대규모 개발계획을 추가로 고려하여 수질오염총량관리기술지침에 따라 배출부하량을 산정 한 후, 산정된 배출부하량에 기준유량을 나누어 3단계 오염총량관리의 최종년도에 배출될 것으로 예상되는 기준유량별 개별배출원의 장래수질(PC_i)을 예측하였다.

개별배출원별로 산정된 장래수질과 기준수질을 비교해 보면 기준수질을 달성하고 있는 개별배출원(이하 달성배출원)과 그렇지 못한 개별배출원(이하 초과배출원)으로 구분되는데 식 (1)에 따르면 기준수질이 허용수질이므로 달성배출원은 기준수질까지 허용이 가능하고 초과배출원은 기준수질까지 삭감이 필요하다는 것을 의미한다.

그러나, 삭감량의 배분에 있어 동일농도범은 오염물질 배출에 대한 ‘원인자 책임 원칙’에서는 합리적인 방법이지만 개별배출원의 공간분포 특성, 삭감여력 등을 고려하지 못하므로 경제성 및 수질개선에 비효율적인 부분이 있으므로 수질 개선을 위한 합리적 형평성을 위해 삭감량 배분의 차등 적용이 필요하다. 특히, 초과배출원에서 안정적인 삭감은 관리수질 달성 및 달성배출원에 제공되는 허용량의 근간이 되므로 삭감계획에 대한 실현가능성은 무엇보다 중요하므로 무리한 삭감목표 설정으로 실현이 어려운 계획 수립은 자제해야 한다. 일반적으로 오염물질 삭감을 위해서는 기술적 가능성과 재정적 가능성이 필요한데 실제 초과배출원에서 기준수질까지 삭감하기에 현실적으로 어려운 경우도 많을 것이다.

이렇듯 개별배출원 각각은 오염원의 종류, 성장, 처리율 등에 따른 저감가능 정도가 다르므로 실현가능한 삭감계획 배분을 위한 방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 개별배출원별 예측수질에서 실현가능한 삭감정도(이하 삭감가능수질, RC_i)를 기준유량별로 산정하였다. 이때 삭감가능수질은 삭감계획의 수립 및 이행을 위한 재정투자 가능성은 고려하지 않고 오직 장래 기술수준에서 저감 가능한 배출수질로 정의하였으며 장래 기술수준은 ① 인구밀집 지역의 하수관거 접속율을 100%로 상향, 관거누수율을 10%로 개선하며 ② 하수·폐수종말처리시설의 방류수질은 BOD 1.0 mg/L, T-P 0.05 mg/L, 가축분뇨공공처리장 및 오수처

Table 3. Result of BOD and T-P Management Goal each Management Basin

Management Basin	Management Goal (mg/L)		Standard Concentration (mg/L)		
	BOD	T-P	BOD		T-P
			Low flow	Low flow	Middle flow
Geumho River	3.5	0.149	3.0	0.164	0.128
Miryang River	1.6	0.047	1.0	0.040	0.047
Nakdong River Up stream	1.9	0.058	1.2	0.085	0.061
Nakdong River Down stream	2.9	0.065	1.4	0.056	0.049

리시설 방류수질은 BOD 5.0 mg/L, T-P 0.2 mg/L까지 개선하고, ③ 산업계 개별배출시설의 처리효율은 BOD T-P 모두 90%로, 축산계 폐수 자원화 시설의 처리효율은 BOD 만 80%로 축산계 신고·허가시설의 농지유출 후단 처리효율을 BOD 10%, T-P 9%로 개선하며 ④ 면·동이상의 순수 대지와 주차장의 50% 대해 그린인프라, LID, 비점오염저감 시설을 설치하여 BOD 10%, T-P 9% 저감, 도로용지에 도로정소를 통해 BOD 44%, T-P 45% 저감하는 것으로 하였다.

삭감가능수질은 기술적으로 삭감가능한 수질을 형평성 있게 고려해야 하는데 삭감가능수질을 결정할 때 현실적 여건 보다 기술적 삭감 가능성에 무게를 두는 경우 삭감가능수질이 하향되어 초과배출원들의 삭감부담은 경감되거나 이중 배출수질이 삭감가능수질에 인접한 일부 개별배출원은 실현이 어려운 삭감부담을 가지게 된다. 반면, 현실적 여건에 무게를 두는 경우는 삭감가능수질이 상향되어 초과배출원 수가 줄어들어 초과배출원 모두에게 과도한 삭감부담을 주게 된다. 따라서 삭감가능수질은 개별배출원의 현재 배출수준과 삭감여력 그리고 기술적 가능성 등을 충분히 고려하여 결정해야 할 것으로 판단된다.

3.3. 개별배출원별 기준삭감율 및 단위유역별 가중치

본 연구에서는 허용과 삭감의 평형은 유지하되 초과배출원에 대해서는 실현가능한 삭감량을 차등하게 배분하고 달성배출원에서는 관리수질을 달성할 수 있는 최적의 허용수질을 산정하고자 하였다. 예측수질을 기준으로 개별배출원 중 삭감이 필요한 초과배출원은 식 (2)와 같이 삭감의 현실성을 고려하여 예측수질과 삭감가능수질의 차($FC_i - RC_i$)에 대하여 동일한 삭감율(이하 기준삭감율, α_{sd})을 적용하고 허용이 가능한 달성배출원에서는 식 (3)과 같이 예측수질과 기준수질의 차($SC - FC_i$)에 대하여 동일한 허용율(이하 기준허용율, β_{sd})을 적용하는 과정을 관리기준을 만족할 때까지 반복하여 산정한다.

$$IF FC_i \geq SC, AC_i = FC_i - (\alpha_{sd} \times (FC_i - RC_i)) \quad (2)$$

$$IF FC_i < SC, AC_i = FC_i + (\beta_{sd} \times (SC - FC_i)) \quad (3)$$

그러나, 총량관리에 있어 개별배출원의 특성뿐 아니라 개별배출원이 위치한 단위유역이나 지자체의 특성에 대해서도 추가적 고려가 필요하다. 즉, 지역별 오염부하에 대한 영향도, 수질개선 및 개발수준, 지역별 재정자립도 등에 따른 영

향 등에 대한 삭감과 허용의 차등적용이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 단위면적당 배출부하량을 가중치 (ρ_i)를 고려하였으며 가중치는 식 (4)~(5)과 같이 산정하였다.

$$IF \rho_i \geq \rho_m, \gamma_i = 0.25 \frac{\rho_i - \rho_m}{\rho_{max} - \rho_m} \quad (4)$$

$$IF \rho_i < \rho_m, \gamma_i = 0.25 \frac{\rho_i - \rho_m}{\rho_m - \rho_{min}} \quad (5)$$

여기서, ρ_i 는 단위유역별 오염부하 밀도이며, ρ_m 는 단위유역별 오염부하밀도의 평균값, ρ_{max} 는 단위유역별 오염부하 밀도 중 최대값, ρ_{min} 는 단위유역별 오염부하 밀도 중 최소값이다.

또한 식 (3)의 달성배출원에 대한 기준허용율은 삭감계획의 불확실성, 수질모형의 정확도, 수체 내 조류 이상증식 등의 가변성을 고려하여 기준삭감율의 1/3 만큼을 동일하게 허용하였다. 결국, 식 (2)와 (3)에 따른 개별배출원별 허용수질에 가중치를 고려한 개별배출원별 허용농도 산정하였으며 그 산정식은 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

$$IF FC_i \geq SC, AC_i = FC_i - (\alpha_{sd} \times (1 + \gamma) \times (FC_i - RC_i)) \quad (6)$$

$$IF FC_i < SC, AC_i = FC_i + (\beta_{sd} \times (1 + \gamma) \times (SC - FC_i)) \quad (7)$$

식 (1)~(7)의 과정으로 부터 관리권역 내 달성배출원의 추가 허용과 단위유역별 가중치가 고려된 상황에서 관리목표 달성을 위해 초과배출원에서 삭감해야 하는 비율인 기준삭감율을 산정하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

Fig. 2에서 나타나듯이 본 연구의 시·도경계 목표수질 설정방법은 기준삭감율을 조정하여 관리권역의 관리수질을 달성도록 하는 방법으로 여기서 기준삭감율은 유일한 독립변수로 적용된다.

금호강권역의 기준삭감율을 보면 BOD는 저수량에서 4%, T-P는 저수량에서 23%, 평수량에서 30%로 나타났는데 이는 BOD의 경우 저수량에서 금호강 관리권역 내 38개의 개별배출원 중 예측수질이 기준수질을 초과한 개별배출원은 예측수질과 삭감가능수질의 차이에 가중치와 기준삭감율인 4%를 곱한 값만큼 삭감하여 배출하고 예측수질이 기준수질을 달성한 개별배출원에 대해서는 예측수질과 기준

Table 4. Result of BOD and T-P Management Goal each Management Basin

Management Basin	Management Goal (mg/L)		Standard Reduction rate (%)			
	BOD	T-P	BOD		T-P	
			Dry		Dry	Middle
Geumho River	3.5	0.149	4		23	30
Miryang River	1.6	0.047	10		0	8
Nakdong River Up stream	1.9	0.058	31		25	46
Nakdong River Down stream	2.9	0.065	10		22	48

[†] Dry Flow Condition

수질의 차에 기준삭감율인 4%의 1/3인 약 1.33%와 가중치를 곱한 값을 추가 허용하는 경우 권역 말단의 관리수질인 BOD 3.5 mg/L를 달성할 수 있음을 의미한다.

T-P의 경우 저수량에서는 예측수질이 기준수질을 초과한 개별배출원은 예측수질과 삭감가능수질의 차이에 가중치와 기준삭감량 인 23%를 곱한 값만큼 삭감하고 예측수질이 기준수질을 달성한 개별배출원에 대해서는 예측수질과 기준수질의 차에 기준삭감율인 23%의 1/3인 약 7.67%와 가중치를 곱한 값을 허용하는 경우 권역 말단의 관리수질인 T-P 0.149 mg/L를 달성할 수 있음을 의미한다. 그리고 평수량에서는 예측수질이 기준수질을 초과한 개별배출원은 예측수질과 삭감가능수질의 차이에 가중치와 기준삭감량인 30%를 곱한 값만큼 삭감하고 예측수질이 기준수질을 달성한 개별배출원에 대해서는 예측수질과 기준수질의 차에 기준삭감율인 30%의 1/3인 10%와 가중치를 곱한 값을 허용하는 경우 권역 말단의 관리수질인 T-P 0.119 mg/L를 달성할 수 있음을 의미한다. 또한 이때 개별배출원의 수질은 허용수질이 된다.

3.4. 시·도 경계지점 목표수질

개별배출원이 식 (6)~(7)에 따라 산정된 개별배출원별 허용수질로 배출하였을 때 기준유량 조건에서 모의된 시·도 경계지점의 수질을 목표수질로 설정하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

오염총량관리기본방침에서 BOD는 저수량, T-P는 저수량 및 평수량 중 수질이 악화된 조건을 기준유량으로 정하고 있으므로 BOD는 저수량 수질을 목표수질로 설정하였으며 T-P는 저수량 및 평수량 중 더 악화된 수질을 목표수질로 설정하였다.

금호강권역의 BOD는 저수량 조건에서 관리권역 말단인 금호C의 관리목표 3.5 mg/L를 만족시키기 위해서는 금호B에서 3.3 mg/L을 달성·유지해야 하며 T-P는 저수량조건에서 금호C의 관리목표 0.149 mg/L를 만족시키기 위해서는 금호B에서 0.093 mg/L을 유지해야 하며 평수량조건에서 금호C의 관리목표 0.119 mg/L를 만족시키기 위해서는 금호B에서 0.087 mg/L을 유지해야 하는 것으로 나타나 금호B의 목표수질은 BOD 3.3 mg/L, T-P 0.093 mg/L으로 설정

하였다. 이 경우 금호B T-P 목표수질을 저수량 수질인 0.093 mg/L와 평수량 수질인 0.087 mg/L 중 악화된 수질인 0.093 mg/L을 목표수질로 설정하였으므로 향후 저수량 조건에서 목표수질인 0.093 mg/L를 달성하면 평수량에서의 수질은 항상 목표수질을 만족하게 될 것이다.

시도경계 목표수질은 금호B는 BOD 3.3 mg/L, T-P 0.093 mg/L이며 금호C는 BOD 3.5 mg/L, T-P 0.149 mg/L이며 밀양A는 BOD 1.4 mg/L, T-P 0.037 mg/L이며 회천A는 BOD 1.2 mg/L, T-P 0.047 mg/L이며 낙본A는 BOD 1.4 mg/L, T-P 0.068 mg/L이며 낙본F는 BOD 1.9 mg/L, T-P 0.058 mg/L이며 낙본G는 BOD 2.8 mg/L, T-P 0.077 mg/L이며 낙본L는 BOD 2.9 mg/L, T-P 0.065 mg/L이다.

4. Conclusion

본 연구는 낙동강수계의 1단계 및 2단계 시·도경계 목표수질 설정 방법과 3단계 시·도경계 목표수질 설정을 위한 관리권역 및 관리목표를 기반으로 3단계 시·도경계 목표수질 설정방법을 마련하고자 하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 낙동강수계의 1단계 및 2단계 시·도경계 목표수질 설정 방법을 참고하여 개별배출원간의 오염물질 삭감에 대한 형평성과 효율성이 고려된 개별배출원의 허용총량 산정 방법을 마련하였다.
- 2) 선행연구에서 도출된 3단계 시·도경계 목표수질 설정을 위한 관리권역 및 수질관리목표를 만족할 수 있는 개별배출원별 허용총량을 산정하였다.
- 3) 관리권역 내 모든 개별배출원이 산정된 허용수질로 배출하였을 때 기준유량 조건에서 모의된 시·도 경계지점의 수질을 목표수질로 설정하였다.
- 4) 오염총량관리를 위한 개별배출원의 허용총량 배분 시 삭감가능수질은 개별배출원의 현재 배출수준과 삭감여력 그리고 기술적 가능성 등을 충분히 고려하여 결정해야 할 것으로 판단되며, 향후 목표수질 설정을 위한 개별배출원의 허용총량 배분 방법에 대한 추가적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 5. Result of 3th TWQ on the Boundary Point of Metropolitan Cities/Dos

Management Basin	Unit Watershed	Management Goal (mg/L)		Target W.Q (mg/L)		
		BOD	T-P	T-P		
				Dry	Dry	Middle
Geumho River	Gumho B	-	-	3.3	0.093	0.087
	Gumho C	3.5	0.149	3.5	0.149	0.119
Miryang River	Milyang A	-	-	1.4	0.028	0.037
	Milyang B	1.6	0.047	-	-	-
Nakdong River Up stream	Nakbon A	-	-	1.4	0.068	0.050
	Nakbon F	1.9	0.058	1.9	0.056	0.058
Nakdong River Down stream	Nakbon G	-	-	2.8	0.077	0.068
	Hoecheon A	-	-	1.2	0.039	0.047
	Nakbon L	2.9	0.065	2.9	0.065	0.062

References

- Bae, M. S. (2008). *Assessment of Water Quality Standards of Geum River Basin in hungBuk Province*, ChungBuk Research Institute. [Korean Literature]
- Hwang, H. S. (2007). *Applicability Study of BASINS/WinHSPF on TMDL in Korea - Nakdong River Basin Case Study -*, Ph. D. dissertation, Konkuk University. [Korean Literature]
- Hwang, H. S., Park, J. H., Kim, Y. S., Rhew, D. H., Choi, Y. J., and Lee, S. J., (2015). Research on the Development Management Basin and Goal for 3th T.W.Q on the Boundary between Metropolitan Cities/Dos Specified in Nakdong River Basin, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 31(5), 569-575. [Korean Literature]
- Korea Research Institute (KEI). (2001). *A Study on Implementation of Total Maximum Daily Load in Nakdong River Basin*, Korea Research Institute. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2002). *Waterbody and Watershed on Target Water Quality in the Nakdong River Basin*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2003). *The Target Water Quality (BOD) on the Boundary between Metropolitan Cities/Dos Specified*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2004). *Guidebook for Total Maximum Daily Load Programs*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2008a). *The Target Water Quality(T-P) on the Boundary between Metropolitan Cities/Dos Specified*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2008b). *Waterbody and Watershed on Target Water Quality in the Nakdong River Basin*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2012). *Basic Environment Law*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2014). *Act on Water Management and Residents Support in the Nakdong River Basin*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2016). *Basic Policy on Total Pollution Load Control*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- National Institute Environmental Research (NIER). (2014). *Establishment of Target Water Quality in Nakdong River Basin*, National Institute Environmental Research. [Korean Literature]
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (1999). *Draft Guidance for Water Quality-based Decisions: The TMDL Process*, United States Environmental Protection Agency.
- U. S. Senate. (2002). *Federal water pollution control act*, United State Senate, Washington, D.C.
- Yi, S. J. (2013). Establishment of Water Quality Standards and Water Quality Target in the Geum-River Basin, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(3), 438-442. [Korean Literature]