

오염총량관리 할당부하량 초과지역의 최종 평가기준에 관한 연구

오승영 · 한미덕 · 김석규 · 안기홍 · 김옥선 · 김용석 · 박지형[†]

국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과

A Study on the Final Evaluation Criteria of Allocation Exceedance Regional in Total Maximum Daily Load

Seung Young Oh · Mideok Han · Seok Gyu Kim · Ki Hong Ahn · Oksun Kim ·
Yong Seok Kim · Ji Hyoung Park[†]

Watershed and Total Load Management Research Division, Water Environment Research Department,
National Institute of Environmental Research

(Received 31 August 2016, Revised 21 September 2016, Accepted 22 September 2016)

Abstract

The Total Maximum Daily Load (TMDL) is a watershed management system that involves the establishment of the target water quality, the calculation of permission loading (allocation loading), and the control of total pollutants for each unit watershed. Allocation loading is assessed through the comprehensive implementation assessment of the previous year's plan. Assessment results are used for follow-up management measures such as the limit of development and updating of TMDL Management Implementation Plans for the next planning period. Although detailed assessment criteria are important, they are not currently available. Therefore, we suggested assessment criteria by comparing two methods ('integration method' and 'separation method') using combination point and non-point discharge loading. We also examined the penalty criteria considering controllable load local government and updating methods of the TMDL Management Implementation Plan for the next planning period.

Key words : Allocation loading, Assessment method, Exceedance load, Penalty criteria, TMDLs

1. Introduction

오염총량제는 수계구간별 목표수질을 설정하고, 목표수질을 달성·유지하기 위한 할당부하량을 산정하고 할당부하량 이내에서 오염원에 의한 자연증감량, 개발계획량, 삭감계획량을 정하여 관리토록 하고 있다. 목표수질을 초과한 지역은 총량관리 시행계획을 수립하여 매년 이행사항에 대한 평가를 하고(MOE, 2013, 2014), 목표수질을 달성한 지역은 수질개선사업계획을 수립하여 매년 추진실적에 대한 평가를 한다(MOE, 2009). 평가결과에 따라 할당부하량을 초과한 지역은 추가적인 삭감계획 등을 마련하여 최종년도 할당부하량 범위내에서 관리토록 하고 있다. 매년 시행계획 수립지역에서의 이행평가 또는 수질개선 사업지역에서의 추진실적을 평가함에도 불구하고, 최종년도 종료시점에서 계획대비 불이행으로 인해 할당부하량 초과지역에 대해서는 불이행에 대한 제재, 차기단계와의 연계 등을 통해 지속적인 수질개선 및 지역발전의 균형·유지를 도모하게 된다.

낙동강, 금강, 영산강·섬진강 수계(이하 '3대강수계'라 한다)에서 1단계 최종년도(2010년) 이후 단계평가를 수행하였다(NIER, 2011a, 2011b, 2011c). 3대강수계 1단계 평가는 총량제 시행 이후 처음으로 실시하는 평가이므로 할당부하량 초과량에 대한 최종 평가기준, 차기단계와 연계 등에 대한 명확한 기준이 정립되지 않아 평가과정에서 혼선을 초래하였다(Kim et al., 2016). 단계평가 결과에 따라 할당부하량 초과 지자체는 도시개발사업 등 일부 대규모 개발사업에 대한 인·허가가 제한되는 오염총량관리 불이행 제재가 동반되는 만큼 할당부하량 초과지역에서 최종 평가를 위한 객관적인 기준 마련이 필요하다. 1단계 단계평가 이후 다수의 연구자들에 의해 할당부하량 초과원인(Choi et al., 2015; Park et al., 2012), 할당부하량 산정방법 및 초과현황 분석(Kim et al., 2014; Park et al., 2013) 등이 부분적으로 연구되고 있으나, 대체로 지역적인 접근으로 초과지역의 평가기준이 미흡하고, 할당부하량 초과로 인해 차기단계에 지속적으로 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고 차기단계와 연계 부분에 대해 제도적으로 활용하기에는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 오염총량관리 단계가 종료되는 시점의 할당부하량 초과지역에서 초과량 산정시 보다 실질적이고 객관적인 평가기준 마련과 차기단계와 연계될 수 있는 페널티 산정기준을 제시하는데 목적이 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
jpark01@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.

2. Materials and Methods

2.1. 조사대상 지역

조사대상지역은 수질오염총량관리제가 의무적으로 시행되고 있는 한강, 낙동강, 금강 및 영산강·섬진강수계 중 수질오염총량관리 시행계획을 수립하고, 이에 대한 이행평가를 실시하는 지역을 대상으로 하였다(Fig. 1).

2014년 기준으로 이행평가를 하는 단위유역은 한강수계 32개 단위유역(8,509 km²) 중 BOD는 29개 단위유역(7,514 km²), T-P는 31개 단위유역(8,249 km²)이고, 낙동강수계 41개 단위유역(23,668 km²) 중 BOD는 9개 단위유역(5,396 km²), T-P는 29개 단위유역(16,511 km²)이고, 금강수계 32개 단위유역(12,920 km²) 중 BOD는 17개 단위유역(5,945 km²), T-P는 5개 단위유역(2,757 km²)이고, 영산강·섬진강수계 23개 단위유역(8,975 km²) 중 BOD는 10개 단위유역(4,777 km²), T-P는 8개 단위유역(3,935 km²)이다(Table 1).

2.2. 평가기준 도출 방법 및 분석 자료

할당부하량 초과지역에서 초과원인은 계획대비 인구, 가축두수, 대지면적 등 오염원의 증가(자연증감 초과)하거나, 지역개발부하량 대비 개발실적량의 증가(개발 초과), 삭감 목표부하량 대비 미완공, 취소 등으로 인한 삭감실적 감소(삭감 미이행) 등 크게 3가지 요소에 의해 기인한다. 자연증감 초과 부분은 개발 및 삭감에 비해 관리자의 제어 가능성(controllability)이 낮은 점을 고려하여 초과량을 조정할 수 있는 방법을 도출하였다. 할당부하량 초과지역에서 최종 초과량 평가기준은 3대강수계 1단계 최종평가 시에 적용한 방법과 점과 비점배출부하량이 수계에 미치는 영향 및 목표수질 달성여부를 고려할 수 있는 방법을 마련하여 비교·분석하였다.

현(現) 단계 할당부하량 초과에 대해서는 불이행에 대한 제재를 적용하도록 하고 있으나, 현 단계의 초과가 당해 초과량에 대한 삭감과 차기단계 할당부하량 준수 조건(삭감)을 모두 이행하기 전까지 높은 부하량을 배출시켜 차기단계에 지속적으로 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고 해당 내용에 대한 페널티 규정이 미비한 상태이다. 이에 현 단계 할당부하량 초과원인 및 삭감여건을 고려하여 차기단계에 적용할 수 있는 기준이 필요하다. 3대강 수계 1단계 평가 시 할당부하량 초과지역의 초과량 해소를 위해 차기단계 삭감계획에 포함된 삭감실적을 활용할 경우, 이에 대한 20%의 페널티량을 산정하고 페널티량 만큼 개발할당량

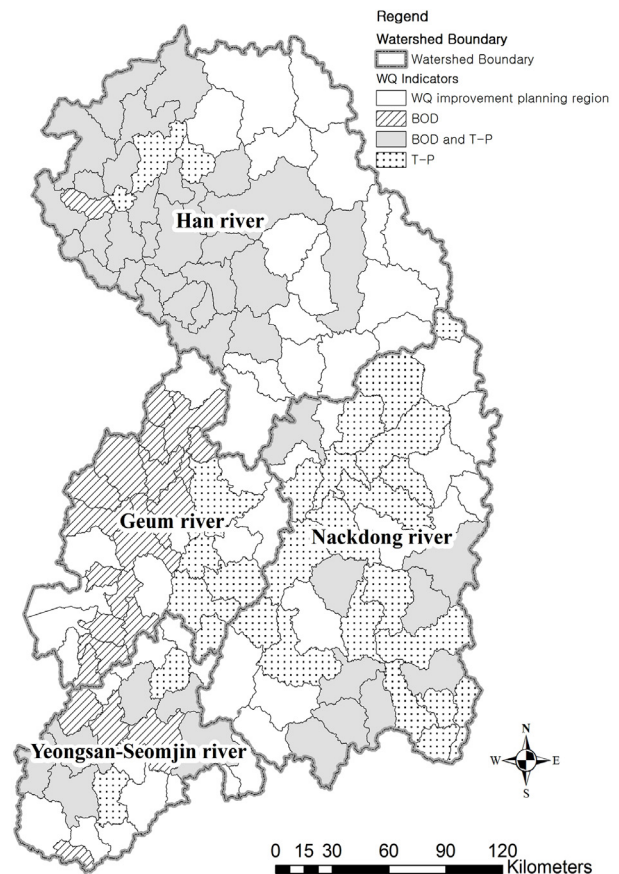


Fig. 1. Study area (implementation assessment region) in 4 river watersheds.

축소 또는 대체삭감계획 등을 통해 차기단계에 반영하였다 (Park et al., 2013). 3대강수계 1단계 페널티 적용방법은 일률적인 20%로 적용으로 인해 초과요인 등 지역여건을 충분히 반영하지 못한 부분이 있다. 지역별 초과율, 초과요인 등을 고려한 페널티 차등적용 방법을 제시하고, 이에 대한 페널티 부하량을 비교·분석하였다.

평가기준 도출에 필요한 분석 자료는 2014년도 한강, 낙동강, 금강 및 영산강·섬진강수계 시·군별 오염총량관리 시행계획 이행평가 자료를 활용하였다. 할당부하량(자연증감, 개발 및 삭감) 초과여부는 2014년도 연차별 할당부하량 대비 수질오염총량관리기술지침(NIER, 2012)에 따라 산정된 배출부하량과 비교하였으며, 목표수질 초과여부는 단위유역별 목표수질 대비 2014년 평균수질(NIER, 2014)과 비교하였다.

Table 1. Status of unit watersheds for implementation assessment regions in 4 river watersheds

River watershed	Number of unit watershed			Area of unit watershed (km ²)		
	Total	BOD	T-P	Total	BOD	TP
Han River (HR)	32	29(80) ^{a)}	31(82)	8,509	7,514	8,249
Nackdong River (NR)	41	9(24)	29(81)	23,668	5,396	16,511
Geum River (GR)	32	17(50)	5(14)	12,920	5,945	2,757
Yeongsan·Seomjin River (YR)	23	10(37)	8(30)	8,975	4,777	3,935
Total	96	65(191)	73(207)	54,072	23,632	31,452

^{a)} The numbers in parentheses are estimated according to each region when the local government area is divided into two or more unit watersheds.

3. Results and Discussion

3.1. 평가기준 도출

3.1.1. 점·비점 통합 평가법

점·비점 통합 평가법은 단계가 종료되는 시점에서 할당 부하량 초과지역의 최종평가를 위해 점과 비점으로 구분하지 않고 초과량을 조정하여 평가하는 방법이다. 이 방법은 3대강 수계에서 1단계가 종료되는 시점에 적용한 방법으로, 할당부하량 초과량은 자연증감, 개발, 삭감 등 3개의 부분으로 나누어 산정하고, 자연증감으로 초과된 양은 유역간 상쇄 후 최종 초과량을 조정하였다.

점·비점 통합 평가법에 의한 초과량 평가절차 및 방법은 첫째, 할당부하량 초과량은 점·비점배출부하량 구분 없이 전체 할당부하량에 대한 초과량을 산정하고 오염원에 의한 자연증감 초과량, 개발 초과량 및 삭감 미이행량으로 구분한다. 둘째, 할당부하량 초과지역에서 자연증감 초과량 부분은 기본계획에서 사용된 수질모델을 이용하여 모델 결과값이 단위유역의 목표수질을 달성하는 범위 및 단위유역간·지자체간 할당부하량을 달성하는 범위내에서 조정하여 상쇄시킨다. 셋째, 할당부하량 초과량 중 자연증감 초과량 상쇄 후 조정된 양과 개발 초과량 및 삭감 미이행량을 고려하여 최종 할당부하량 초과량을 조정한다. 넷째, 조정된 초과량에 상응하는 삭감량을 제시하여 초과량 해소에 사용하였다(Fig. 2).

3.1.2. 점·비점 구분 평가법

점·비점 구분 평가법은 단계가 종료되는 시점에서 할당 부하량 초과지역의 최종평가를 위해 점과 비점으로 구분하고 초과량을 조정하는 방법이다. 이 방법은 할당부하량을 초과할 경우 단위유역의 목표수질 달성여부, 점과 비점배출 부하량이 수계에 미치는 영향을 고려하여 평가하는 방법이다.

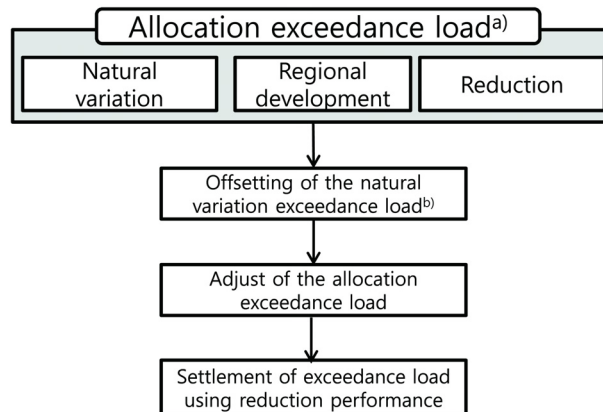
점·비점 구분 평가법에 의한 초과량 평가절차 및 방법은 첫째, 할당부하량 초과량은 점과 비점배출부하량으로 구분하여 초과량을 산정하고, 자연증감 초과량, 개발 초과량 및

삭감 미이행량으로 구분한다. 둘째, 할당부하량 초과지역 중 목표수질 달성지역과 초과지역으로 구분하고, 평가수질이 목표수질을 달성할 경우에는 할당부하량 초과량을 점·비점 전환 및 동일 단위유역간·동일지자체 간 할당부하량 범위 내에서 할당부하량 초과량을 조정한다. 평가수질이 목표수질을 초과할 경우에는 자연증감 할당부하량 범위내에서 점 자연증감 또는 비점 자연증감 초과량을 전환하여 초과량을 상쇄시킨다. 초과량 상쇄 시에는 기본계획에서 사용된 수질모델을 이용하여 모델 결과값이 단위유역의 목표수질을 달성하는 범위내에서 조정한다. 셋째, 목표수질 달성 여부에 따라 점 및 비점 초과량 상쇄 후 최종 점 및 비점 할당부하량 초과량을 조정한다. 넷째, 조정된 점 및 비점 초과량에 상응하는 삭감량을 제시하여 초과량을 해소한다(Fig. 3).

3.2. 할당부하량 및 초과량

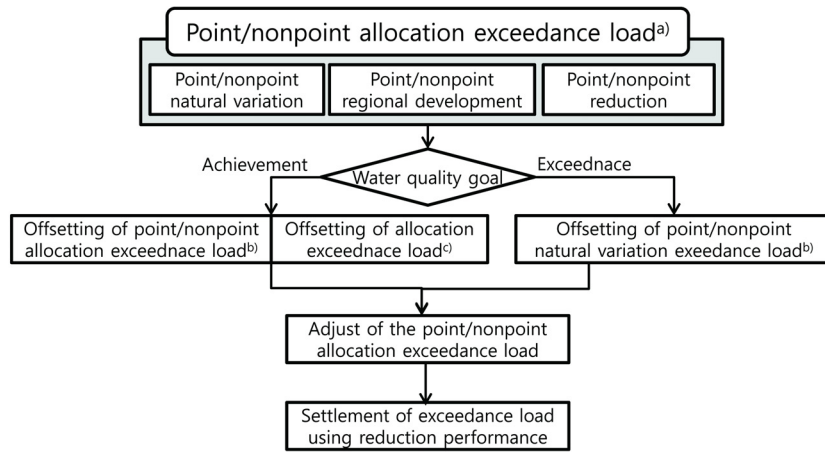
2014년도 이행평가 전체지역에서 BOD의 경우 4대강 모두 점과 비점 배출부하량은 할당부하량보다 감소하는 것으로 나타났으며, T-P의 경우 한강은 점 배출부하량이 점 할당부하량보다 증가하는 것으로 나타났다. 비점 배출부하량은 4대강 수계 모두 비점 할당부하량보다 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 4).

이행평가 대상지역(지자체가 2개 이상 단위유역으로 구분되는 경우 각각 하나의 지역으로 산정)에서 BOD는 191개 지역 중 초과지역은 점·비점 통합 평가법으로 산정한 결과 12개 지역, 점·비점 구분 평가법으로 산정한 결과 중 점 초과지역이 12개, 비점 초과지역이 22개 나타났다. T-P는 207개 지역 중 초과지역은 점·비점 통합 평가법으로 산정한 결과 18개 지역, 점·비점 구분 평가법으로 산정한 결과 중 점 초과지역이 22개, 비점 초과지역이 28개로 나타났다 (Table 2). 일반적으로 초과지역은 점·비점 통합 평가법으로 산정한 결과가 적게 나타났는데, 이는 점 또는 비점 배출부하량이 할당부하량을 초과하더라도 점과 비점배출부하량을 합산한 배출부하량은 달성하는 것으로 평가되기 때문이다.



a) The allocation exceedance load makes no distinction between point and nonpoint load
 b) Offsetting of natural variation exceedance load in the allocation load range of unit watershed or local government(in the range of achieving water quality goal)

Fig. 2. Adjustment processes of the exceedance load by 'integration method'.



- a) The allocation exceedance load makes distinction between point and nonpoint load
- b) In the range of achieving water quality goal
- c) Offsetting of natural variation exceedance load in the allocation load range of unit watershed or local government(in the range of achieving water quality goal)

Fig. 3. Adjustment processes of the exceedance load by 'separation method'.

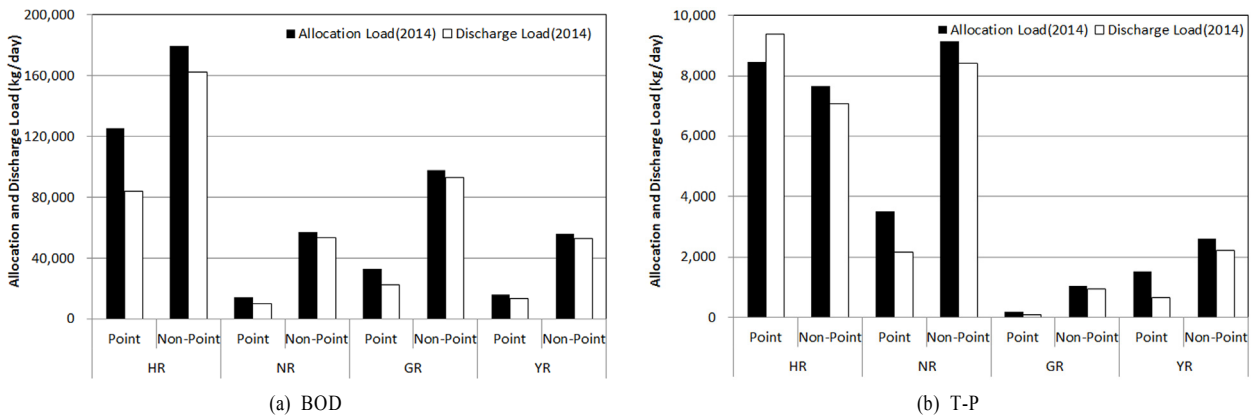


Fig. 4. The Allocation and discharge load of 2014 in 4 river watersheds.

Table 2. Exceedance regions of the BOD and T-P

River watershed	BOD				T-P			
	Implementation assessment region	Exceedance region			Implementation assessment region	Exceedance region		
		Integration method	Separation method			Integration method	Separation method	
			Point	Non-point			Point	Non-point
HR	80	5	5	6	82	5	8	6
NR	24	3	2	6	81	12	12	19
GR	50	0	1	6	14	0	0	2
YR	37	4	4	4	30	1	2	1
Total	191	12 (6.3%)	12 (6.3%)	22 (11.5%)	207	18 (8.7%)	22 (10.6%)	28 (13.5%)

할당부하량 초과지역 중 BOD 초과량은 점·비점 통합 평가법에 의한 방법이 1,113.4 kg/일, 점·비점 구분 평가법에 의한 방법으로는 점이 967.9 kg/일, 비점이 2,188.5 kg/일로 나타났으며, T-P 초과량은 점·비점 통합 평가법에 의한 방법이 3,318.6 kg/일, 점·비점 구분 평가법에 의한 방법으로는 점이 3,304.0 kg/일, 비점이 142.0 kg/일로 나타났다(Table 3). 주요 초과원인으로는 계획대비 오염원 증가(인구 및 물사용량 증가, 가축 사육두수 증가, 대지면적 증가 등)로 인한

자연증가 초과 및 삭감 미이행으로 인한 것으로 파악되었으며, 개발사업의 경우 개발할당부하량 범위내에서 사전관리를 함에 따라 초과될 우려가 적은 것으로 나타났다(Table 4).

3.2. 할당부하량과 목표수질 연계성

점과 비점 할당부하량 초과지역에서 목표수질을 초과한 지역은 BOD의 경우 34개 지역 중 10개 지역(29%), T-P의 경우 50개 지역 중 15개 지역(30%)에 불과해 나머지 지역

Table 3. Results from the application of methods for the exceedance load

River watershed	BOD (kg/day)			T-P (kg/day)		
	Integration method	Separation method		Integration method	Separation method	
		Point	Non-point		Point	Non-point
HR	834.2	913.0	701.8	3,249.9	3,240.1	35.4
NR	13.8	6.4	339.0	68.6	63.4	105.3
GR	0.0	8.4	786.3	0.0	0.0	0.0
YR	265.4	40.1	361.4	0.1	0.5	1.4
Total	1,113.4	967.9	2,188.5	3,318.6	3,304.0	142.0

Table 4. Natural variation, regional development, and reduction exceedance load in the exceedance region

Method	River watershed	BOD exceedance loading (kg/day)			T-P exceedance loading (kg/day)			
		Natural variation	Regional development	Reduction	Natural variation	Regional development	Reduction	
Integration method	HR	959.9	-411.8 ^{a)}	286.0	4,216.6	-160.9	-805.8	
	NR	43.1	-29.3	0.0	44.5	-2.5	26.6	
	GR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	YR	1,380.8	-195.8	-919.7	0.3	0.0	-0.3	
Separation method	Point	HR	909.6	-115.9	119.3	4,180.7	-140.7	-799.9
		NR	15.0	-11.0	2.4	35.2	-6.5	34.7
		GR	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		YR	32.5	-37.8	45.4	1.0	-0.1	-0.5
	Non-point	HR	718.9	-296.3	279.2	51.3	-30.1	14.2
		NR	480.9	-203.7	61.8	119.4	-27.7	13.6
		GR	719.8	-191.8	258.3	2.2	-0.3	0.0
		YR	1,491.4	-170.1	-960.0	1.6	-0.2	0.0

^{a)}The negative values represent the attainment load when compared to the plan

Table 5. Water quality evaluation of allocation exceedance load

River watershed	Exceedance region of allocation load	BOD			T-P			
		Water quality goal			Water quality goal			
		Exceedance	Compliance	Not-set	Exceedance	Compliance	Not-set	
HR	11	2	3	6	14	7	3	4
NR	8	2	6	-	31	7	24	-
GR	7	2	5	-	2	1	1	-
YR	8	4	4	-	3	0	3	-
Total	34	10	18	6	50	15	31	4

은 할당부하량을 초과함에도 불구하고 계획 수립당시와 다른 강우량 변동, 수체내부 작용, 상류의 목표수질 달성, 수문방류량의 변동 등으로 인해 목표수질을 달성하는 것으로 판단된다(Table 5).

할당부하량은 기본계획 수립당시의 조건(강우, 유량, 오염원, 수질 등)에서 수질모형을 이용하여 장래 예측된 결과를 토대로 산정하는 것으로 모델 기반에서는 수질과 배출부하량의 관계가 정립이 된다. 하지만 이행평가 시 수질은 유역에서 배출되는 오염원에 의한 배출량뿐만 아니라, 기본계획 수립당시와 다른 상류지역의 수문학적 영향, 수체에서의 내부생산성 등 다양한 원인으로 인해 유역에서의 배출부하량과 명확한 관계 설정이 어려울 수 있다. 3대강수계 1단계 평가 시에는 92개 단위유역 중 39개 단위유역(42%)에서 목표수질과 할당부하량의 상관성이 상이하게 나타났다(Park et al., 2012). 물환경정책 수단으로서의 총량관리는 수질개선이 궁극적 목적인 바, 최종년도 할당부하량 초과지

역에서 목표수질을 달성여부를 고려하여 초과량을 평가할 수 있는 기준을 마련할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

3.3. 할당부하량 초과량 조정

할당부하량 초과지역에서 점·비점 통합 평가법과 점·비점 구분 평가법에 따라 초과량을 상쇄하여 할당부하량 초과량을 조정한 결과는 Fig. 5와 같다. 점·비점 통합 평가법에 따라 초과량을 상쇄하여 조정한 결과 BOD 초과량은 1,113 kg/일에서 241 kg/일로 78%가 상쇄되었고, T-P 초과량은 3,319 kg/일에서 2,862 kg/일로 14%가 상쇄되었다. 점·비점 구분 평가법에 따라 점 초과량을 상쇄하여 조정한 결과 BOD 초과량은 968 kg/일에서 317 kg/일로 67%가 상쇄되었고, T-P 초과량은 3,304 kg/일에서 3,273 kg/일로 1%가 상쇄되었다. 점·비점 구분 평가법에 따라 비점 초과량을 상쇄하여 조정한 결과 BOD 초과량은 2,188 kg/일에서 406 kg/일로 81%가 상쇄되었고, T-P 초과량은 142 kg/일

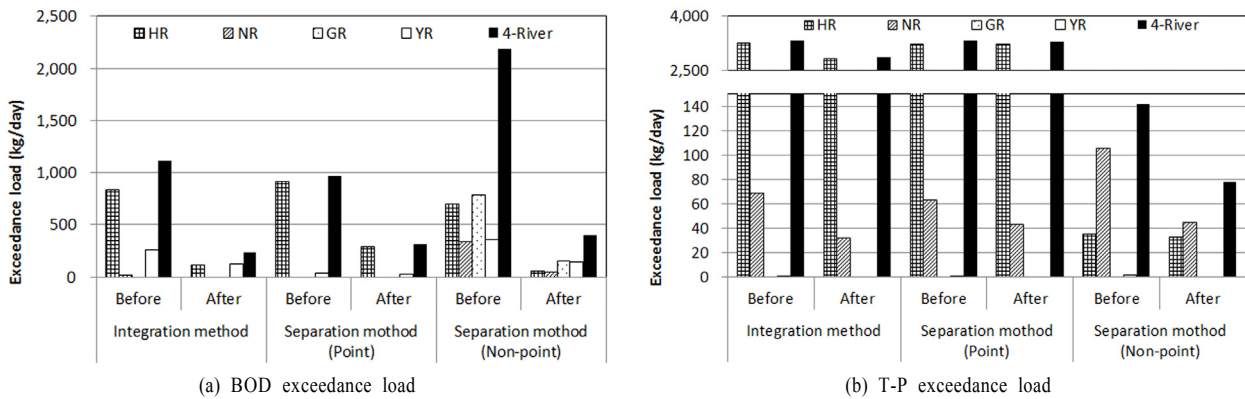


Fig. 5. Results from the applications of methods for allocation exceedance region.

Table 6. Change of exceedance regions from the application of methods

Target indicators	Region by the Integration method		Region by the Separation method					
	Before	After	Point (A)		Non-point (B)		A+B ^{a)}	
			Before	After	Before	After	Before	After
BOD	12	2	12	6	22	5	22	5
T-P	18	9	22	8	28	13	28	13

^{a)} If the point and non-point exceed the at the same time, the is estimated in one

에서 78 kg/일로 45%가 상쇄되었다.

초과량 조정 전과 후 초과지역은 BOD의 경우 점·비점 통합 평가법이 12개 지역에서 2개 지역으로 83% 감소, 점·비점 구분 평가법이 22개 지역에서 5개 지역으로 77% 감소하였고, T-P의 경우 점·비점 통합 평가법이 18개 지역에서 9개 지역으로 50% 감소, 점·비점 구분 평가법이 28개 지역에서 13개 지역으로 54% 감소하였다(Table 6). 점·비점 구분 평가법에 의해 초과량을 산정한 결과보다 많은 지역이 초과하는 것으로 나타났다.

점·비점 통합 평가법은 3대강수계 1단계 평가기준과 동일한 방법으로 제도적인 연속성을 고려할 수 있으며, 점·비점 구분 평가법은 점과 비점배출부하량이 수계에 미치는 영향 및 목표수질 달성여부를 고려하여 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

3.4. 페널티 산정 기준 및 결과

할당부하량 초과로 인해 해당지역에 적용할 페널티 산정 원칙은 첫째, 할당부하량 초과가 해당 단위유역 및 하류 수질에 미치는 영향정도를 고려하여 산정한다. 즉, 점과 비점배출부하량이 수계에 미치는 영향을 고려한 지자체별 할당부하량 초과율을 적용하여 산정할 수 있다. 둘째, 초과요인별 관리 및 제어 가능성을 고려하여 산정한다. 관리 및 제어 가능성은 자연증감, 개발 및 삭감부분에 대해 세분화하여 차등화 하였다. 자연증가 초과량 중 할당시설 방류수질 악화로 인해 초과한 부분, 개발 초과량 부분 및 삭감계획 취소, 자연, 축소 등에 의한 부분은 가중치를 높게 설정할 필요성이 있다. 자연증가 초과량 중 200 m³/일 이상의 환경기초 시설에 대해서 부하량 할당 및 배출량 지정이 가능함에도 불구하고 소극적 관리로 인해 초과한 부분에 대

해서는 가중치를 중간정도 고려하여 적용할 필요성이 있다 (Table 7). 이와 같은 산정원칙을 고려한 페널티 부하량 산정기준은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{페널티 부하량} = \text{페널티 대상부하량} \times \text{지자체별 할당부하량 초과율} \times \text{관리 및 제어가능성을 고려한 차등계수} \quad (1)$$

여기서 페널티 대상부하량, 할당부하량 초과율 및 차등계수는 식 (2)~(4)와 같이 산정할 수 있다.

$$\text{페널티 대상부하량} = \text{할당부하량 초과량} - \text{단계내 추가삭감량 (단계평가지 모니터링 횟수 등의 부족으로 인정하지 못한 양을 제시)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{할당부하량 초과율} = & \frac{\text{점 초과량} + \text{비점 초과량} \times 0.15 (\text{저수조건}) \text{ 또는 } 0.5 (\text{평수조건})}{\text{점 할당부하량} + \text{비점 할당부하량} \times 0.15 (\text{저수조건}) \text{ 또는 } 0.5 (\text{평수조건})} \end{aligned} \quad (3)$$

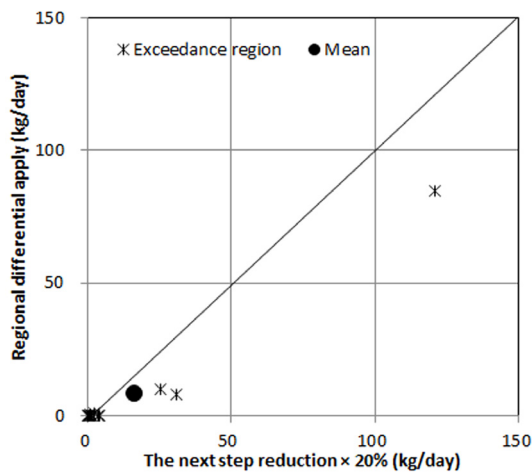
단, 할당부하량 초과율이 0보다 작은 경우 초과율은 없는 것으로 본다.

$$\begin{aligned} \text{관리제어 가능성을 고려한 차등계수} = & \frac{\sum (\text{세분류별 초과량} \times \text{가중치})}{\sum \text{세분류별 초과량}} \end{aligned} \quad (4)$$

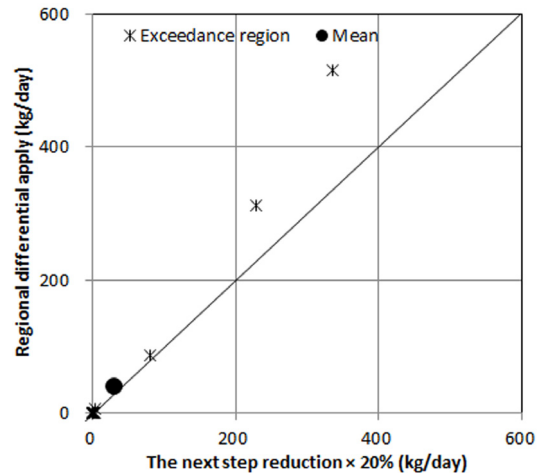
3대강수계 1단계 평가에 활용된 차기단계 삭감실적량의 20%로 산정한 페널티량과, 식 (1)과 같이 지역별 할당부하량 초과율 및 관리제어 가능성을 고려한 산정기준에 따라 산정한 페널티량(지역별 차등 적용)을 비교하였다(Fig. 6). 페널티량 분석은 삭감실적, 초과요인별로 다르기 때문에 다

Table 7. Load controllability coefficient for each load exceedance factor

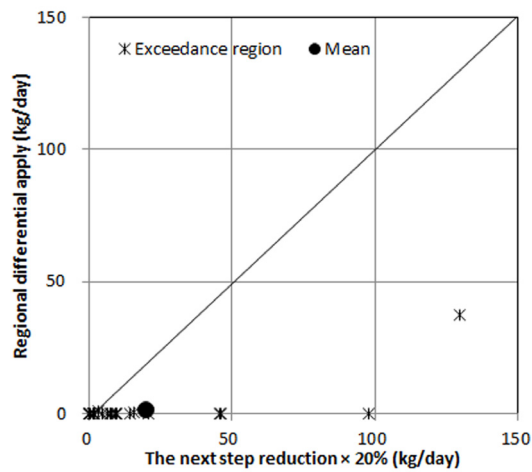
Sections	Load exceedance factors		Load controllability coefficient		
	Subsections		Good	Fair	Poor
Natural variation	Increase in discharge loading amount from allocation facilities	Deterioration of effluent water concentration	○		
		Increase in effluent discharge			○
	Increase in discharge loading amount from effluent facilities more than 200 m ³ /day			○	
	Increase in loading amount of other pollutant source (water used, livestock head, etc.)				○
Regional development	Actual exceedance discharge load for development projects		○		
Reduction	Nonperformance of reduction plan (cancellation, delay and reduction)		○		
	Decrease of reduction loading amount due to pollutant variation				○



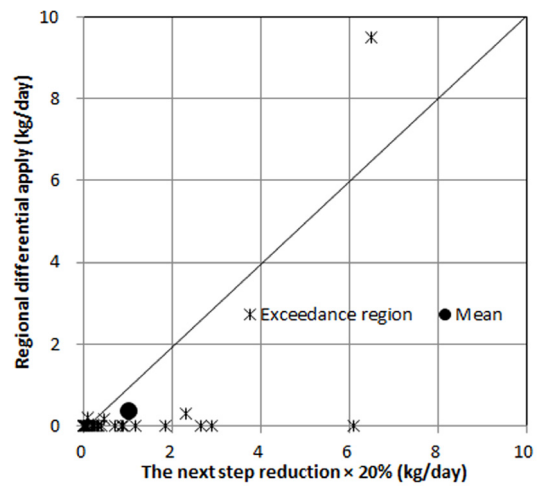
(a) BOD point exceedance region



(b) T-P point exceedance region



(c) BOD non-point exceedance region



(d) T-P non-point exceedance region

Fig. 6. Relationship between the next step exceedance region penalties and regional differential apply penalties.

음과 같은 가정을 하였다. 첫째, 차기단계 삭감실적량의 20%에 해당하는 페널티량 산정은 할당부하량 초과량 모두 차기단계에서 해소한다는 조건으로 산정하였다. 둘째, 지역별 차등 적용한 페널티량 산정은 할당부하량 초과량 모두 페널티 대상량으로 산정하였다. 셋째, 관리제어 가능성을 고려한 차등계수 산정은 자연증감에서 초과한 부분은 가중치 0.25, 개발 및 삭감에서 초과한 부분은 가중치 1.0을 적용하여 산정하였다.

점 초과지역에서 페널티량은 차기단계 삭감실적량의 20% 적용한 결과와 지역별 차등 적용한 결과와 유사한 경향을 보이나, 비점 초과지역에서 페널티량은 지역별 차등 적용한 결과가 차기단계 삭감실적량의 20%를 적용한 것보다 일반적으로 작게 나타났다. 이러한 원인은 수계에 미치는 영향이 점오염원 보다 비점오염원이 낮아 비점 할당부하량 초과율이 낮고, 비점 삭감 미이행량이 점 삭감 미이행량에 비해 상대적으로 적기 때문으로 판단된다. 이와 같이 차기

단계와 연계 시 3대강수계 1단계 평가시 적용한 페널티 산정기준 외에 할당부하량 초과율 및 차등계수를 적용함으로써 실효성 있는 총량계획이 수립될 것으로 기대된다.

4. Conclusion

오염총량관리 단계가 종료되는 시점에서 할당부하량 초과지역의 최종평가를 위해 본 연구에서는 점과 비점으로 구분하지 않고 초과량을 조정하여 평가하는 방법(점·비점 통합 평가법)과 점과 비점을 구분하고 초과량을 조정하는 방법(점·비점 구분 평가법)을 도출하고, 차기단계 오염총량제와 연계 될 수 있도록 페널티 산정방법을 제시하였다.

초과량을 조정으로 인해 초과지역은 점·비점 구분 평가법에 의해 초과량을 산정한 결과가 점·비점 통합 평가법에 의해 초과량을 산정한 결과보다 많은 지역이 초과하는 것으로 나타났다. 점·비점 통합 평가법은 3대강(낙동강, 금강 및 영산강·섬진강) 수계 1단계 평가 시 활용된 방법으로 제도적인 연속성을 고려할 수 있으며, 점·비점 구분 평가법은 점과 비점배출부하량이 수계에 미치는 영향 및 목표수질 달성여부를 고려하여 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

차기단계와 연계시 페널티 산정기준은 3단계 수계 1단계 방법 외에 현단계 할당부하량 초과가 해당 유역 및 하류수질에 미치는 영향정도(할당부하량 초과율) 및 초과요인별 관리 및 제어가능성을 고려(차등계수)함으로써 실효성 있는 총량계획이 수립될 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시된 초과지역은 2014년도 이행평가 결과를 기준으로 분석된 것으로 최종년도(오염총량관리 단계 말) 기준으로 평가 할 경우 배출부하량 변동, 수질의 변동 등으로 인해 초과지역 및 초과량은 변동될 수 있으며, 4대강수계법에 의한 정책적인 판단과는 무관한 연구 결과임을 밝힌다.

References

Kim, E. J., Park, B. K., Shin, D. S., Kim, Y. S., and Rhew, D. H. (2014). The Study on Methods for Setting of water Quality Goal and Estimation of Allocation Loads on TMDL System Using a Dynamim Water Quality Model, *Journal of Korea Society of Environmental Engineers*, 36(9), pp. 629-640. [Korean Literature]

Kim, S. G., Ahn, K. H., Oh, S. Y., Han, M. D., Kim, O. S., Kim, Y. S., and Park, J. H. (2016). A Study on the Criteria Setting of Assessment and Post Management in Total Maximum Daily Load, *Journal of Korean Society of Environmental Technology*, 17(3), pp. 214-221. [Korean Literature]

Choi, O. Y., Kim, K. H., and Han, I. S. (2015). A Study on the Spatial Strength and Cluster Analysis at the Unit Watershed for the Management of Total Maximum Daily Loads, *Journal*

of Korean Society on Water Environment, 31(6), pp. 700-714. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2009). *Su-jil-gae-seon-sa-eop-gye-hoek-jac-seong-ji-chim*. [Guidelines for Water Quality Improvement Planning, Ministry of Environment, pp. 1-9. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2013). *O-yeom-chong-ryang-gwan-ri-gi-bon-bang-chim*. [Basic Policy for the Total Maximum Daily Loads], Ministry of Environment, pp. 1-13. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2014). *O-yeom-chong-ryang-gwan-ri-si-heang-gye-hoek-lee-heang-pyeong-ga-gi-jun*. [Implementation assessment Criteria for Implementation Planning of the Total Maximum Daily Loads], Ministry of Environment, pp. 1-5. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2011a). *Geum-gang-su-gye-je-il-dan-gye-su-gil-o-yeom-chong-ryoung-je-si-haeng-sung-gwa-pyounge-ga*. [Performance Measurement of Total Maximum Daily Loads for the 1st phase in Guem River], National Institute of Environmental Research. pp. 1-588. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2011b). *Nack-dong-gang-su-gye-je-il-dan-gye-su-gil-o-yeom-chong-ryoung-je-si-haeng-sung-gwa-pyounge-ga*. [Performance Measurement of Total Maximum Daily Loads for the 1st phase in Nackdong River], National Institute of Environmental Research. pp. 1-550. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2011c). *Yeong-san-gang-seom-jin-gang-su-gye-je-il-dan-gye-su-gil-o-yeom-chong-ryoung-je-si-haeng-sung-gwa-pyounge-ga*. [Performance Measurement of Total Maximum Daily Loads for the 1st phase in Yeongsan·Seomjin River]. National Institute of Environmental Research. pp. I-1-VIII-18. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2012). *Su-jil-o-yeom-chong-ryang-gwan-ri-gi-sul-ji-chim*. [Technical Guideline for the Total Maximum Daily Loads], National Institute of Environmental Research. pp. 1-102. [Korean Literature]

National Institute of Environmental Research (NIER). (2014). Water Environment Information System (WEIS), <http://water.nier.go.kr/waterMeasurement/selectWater.do> (accessed Jul. 2016).

Park, J. H., Oh, S. Y., and Lee, J. K. (2012). Evaluation of Water Quality Goal and Load Allocation Achievement Ratio in Guem River Total Maximum Daily Loads. for the 1st Phase, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 28(6), pp. 859-865. [Korean Literature]

Park, J. H., Park, B. K., Oh, S. Y., Hwang, H. S., and Lee, J. K. (2013). Excessive State of Pollutant Load Allocation and Penalty Application Schemes based on Pollutant Reduction Plan Types for Solving Excessive Problem of Allocation, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(1), pp. 66-73. [Korean Literature]