

Research Paper

수질오염총량 측정망 자료를 활용한 금강수계 오염총량관리 취약성 평가

임상준 · 서동일
충남대학교 환경공학과

Vulnerability Assessment of Total Pollution Load Management System in the Geum River Basin National Monitoring Data

Sang-Jun Lim · Dongil Seo

Department of Environmental Engineering, Chungnam National University

요약: 그간의 수질오염총량관리 시행을 통한 우리나라 하천의 수질개선 성과는 분명하다. 하지만, 현행 오염총량관리 방식은 점오염원 관리에 치중되어 있어 비점오염원 관리에는 상대적으로 한계가 있다. 본 연구에서는 최근 4년간 금강수계 21개 단위유역 수질오염총량 측정망 수질 및 유량 자료를 활용한 부하지속곡선(LDC) 분석을 통해 고유량 조건과 밀접한 관련이 있는 비점오염원 측면의 현행 오염총량관리 문제점을 살펴보았다. 현행 오염총량관리는 저수기 평균유량을 적용하는 정적수체모델의 수질예측에 기반 하기 때문에 실측유량조건 의 삭감필요부하량이 기준유량 조건과 비교하여 연간 최대 140배에 달하는 등 고유량 조건 부하량이 반영되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 또한 다수의 단위유역에서 배출부하량과 수질의 비정상적 상관관계가 나타나고, 할당부하량 준수여부와 목표수질 달성여부가 일치하지 않는 비논리적인 상황이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 비정상적, 비논리적 상황의 발생 원인은 매우 다양하고 복합적이거나, 본 연구에서는 고유량 조건의 비점오염부하량이 수질모델링에 합리적으로 반영되어야 한다는 점에 주목하여 유역모델 및 동적수체모델 적용의 필요성을 대안으로 제시하였다.

주요어: 수질오염총량제, 기준유량, 배출부하량, 할당부하량, 부하지속곡선(LDC), 유역모델

Abstract: It is clear that the implementation of Total Pollution Load Management (TPLM) has contributed to the improvement of river water quality in Korea. However, it is also true that the TPLM has focused on point source pollution management, with limitations in addressing non-point source pollution. This study examined the issues of the current TPLM from the perspective of non-point source pollution, which is closely related to high-flow conditions, by analyzing Load Duration Curves (LDC) using water quality and flow data collected over the past four years from 21 sub-watersheds in the Geum River Basin. Since the current TPLM is based on water quality predictions using a static

water body model that applies the average flow of the dry season, we found that the reduction in loads required under actual flow conditions could be up to 140 times greater than under the reference flow condition, indicating that load amounts under high-flow conditions are not reflected. Additionally, there were abnormal correlations between discharge loads and water quality in several sub-watersheds, and illogical situations arose where compliance with allocated loads did not align with achieving the target water quality. While the causes of such abnormal and illogical situations are diverse and complex, this study highlights the need for rational reflection of non-point source loads under high-flow conditions in water quality modeling. As a solution, we propose the application of watershed models and dynamic water body models.

Keywords: TPLM Monitoring Network, Standard Flow, Water Quality by Flow Condition, Water Quality Trend, Load Duration Curve (LDC), Correlation Between Discharge Loads and Water Quality, Compliance with Allocated Loads, Achievement of Target Water Quality, Vulnerabilities in Total Pollutant Load Management system, Watershed Model

I. 서론

국가에서는 오염총량관리 시행지역의 수질현황 등 오염총량관리에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 총량측정망 운영을 통해 8일 간격으로, 연간 약 40회가 가까이 BOD, T-P 등 여러 수질 항목 및 부하량 관리와 수질 예측에 필수적인 유량 자료를 함께 확보하고 있다 (Ministry of Environment 2023b). 총량측정망은 보통 월 1회 측정하는 일반 수질측정망과 비교하여 측정 횟수가 많고 유량까지 측정하고 있어 적지 않은 재정이 투입되는 국가의 소중한 자산으로, 축적된 자료를 적극 활용하고 분석하여 그 효용성을 극대화할 필요가 있다. 남범식 등은 총량측정망의 시계열 수질 및 유량 자료를 활용하여 한강, 낙동강, 금강, 영산강·섬진강수계를 대상으로 유량조건별 수체손상율을 분석하였고 (Nam et al. 2018) 조용철 등은 총량측정망 자료를 활용하여 임진강 유역 오염물질 총량관리를 위한 유량·수질 자료 통계분석을 하였으며 (Cho et al. 2018) 정은정 등은 부하지속곡선(LDC)을 이용한 수질오염총량관리 목표수질 달성도 평가방법에 대하여 연구하였다 (Cheong et al. 2016). 한편, 수질오염총량관리제도는 농도규제 중심의 수질오염원 관리 방식의 한계를 극복하기 위하여 도입된 우리나라 지표수 수질관리의 중요한 정책 수단이다. 금강수계의 경우 2005년 1단계 기본계획을 시작으로 현재 4단계까지 약 20년간의 오염총량

관리를 통하여 금강 본류 및 지류 수질개선에 상당한 성과를 보인 것은 사실이지만, 지금까지 오염총량관리는 BOD 중심, 특히 점오염원 관리에 치중됨으로써 상대적으로 비점오염원 관리에 많은 문제점을 내포하고 있다. 본 연구에서는 총량측정망 운영 결과인 장기간 시계열 수질 및 수질자료를 활용하여 금강수계 21개 단위유역별 유량조건에 따른 수질특성을 부하지속곡선(LDC) 방법을 이용하여 분석하였고, 그 결과를 토대로 현행 오염총량관리의 취약성을 3가지로 나누어 평가하였다. 첫 번째는 기준유량 적용에 따른 문제점이며, 두 번째는 배출부하량과 수질의 상관관계가 비정상적인 상황, 세 번째는 할당부하량 준수여부와 목표수질 달성여부가 일치하지 않는 비논리적인 상황에 대해서 분석하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지역

본 연구는 4대강 수계중 중부지역에 위치한 금강수계 유역 중에서 만경·동진강 수계 유역을 제외한 21개 수질오염총량관리 단위유역(금본A, 금본B, 금본C, 금본D, 초강A, 금본E, 보청A, 금본F, 유등A, 갑천A, 금본G, 미호A, 병천A, 미호B, 미호C, 금본H, 금본I, 금본J, 논산A, 금본K, 금본L)을 대상으로 하였다.

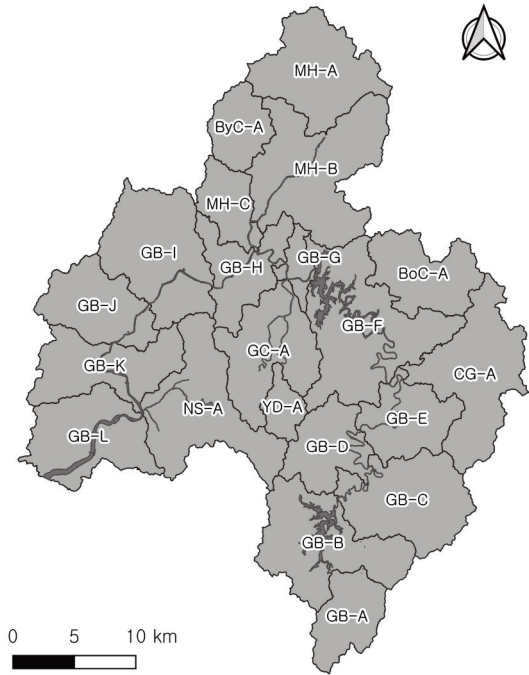


Figure 1. Study Area (Unit Watershed of Geum River Basin for Total Pollution Load Management System)

2. 현행 오염총량관리에서 기준유량의 적용

수질모델링을 통해서 부하량을 할당하는 오염총량 관리 기본 구조에서 유량은 허용부하총량을 결정하는

매우 중요한 인자이다. 유량변동이 매우 큰 우리나라 하천의 일반적인 특성에도 불구하고, 저수기 평균유량을 수질 예측에 적용하여 산정되는 삭감필요(또는 여유)부하량은 고유량 조건에 대한 부하량이 고려되지 않기 때문에 실측유량 조건과 차이가 있을 수밖에 없다. Figure 2의 (b)는 금본A 단위유역에서의 연간 실측부하량과 목표부하량을 나타내며 두 값의 차이를 삭감필요부하량으로 볼 수 있다. Figure 2의 (c)는 (b)를 부하지속곡선으로 변환한 그림으로, 저수기에 해당하는 초과부하량백분율 60~90% 범위의 평균값을 (d)로 가져와 연간으로 확장한 후, (c)와 (d)의 삭감필요부하량 차이를 비교하였다.

금강수계 4단계 오염총량관리 기본계획 기간인 2021년부터 2023년까지, 실측유량조건과 기준유량조건에서의 연간 삭감필요부하량의 차이를 아래 식으로 정량화하여 비교하였다. Figure 3과 4는 정량화 과정을 개념적으로 보여 주는데, Figure 3의 (a) 흰색, 검정색, 회색 막대그래프는 각각, (b)에서의 연간 실측부하량 합, 목표부하량 합 및 그 차이를 나타낸다.

① 실측유량 조건

$$\bullet \text{연간실측부하량} = \sum (\text{실측유량 } n \times \text{실측수질 } n)$$

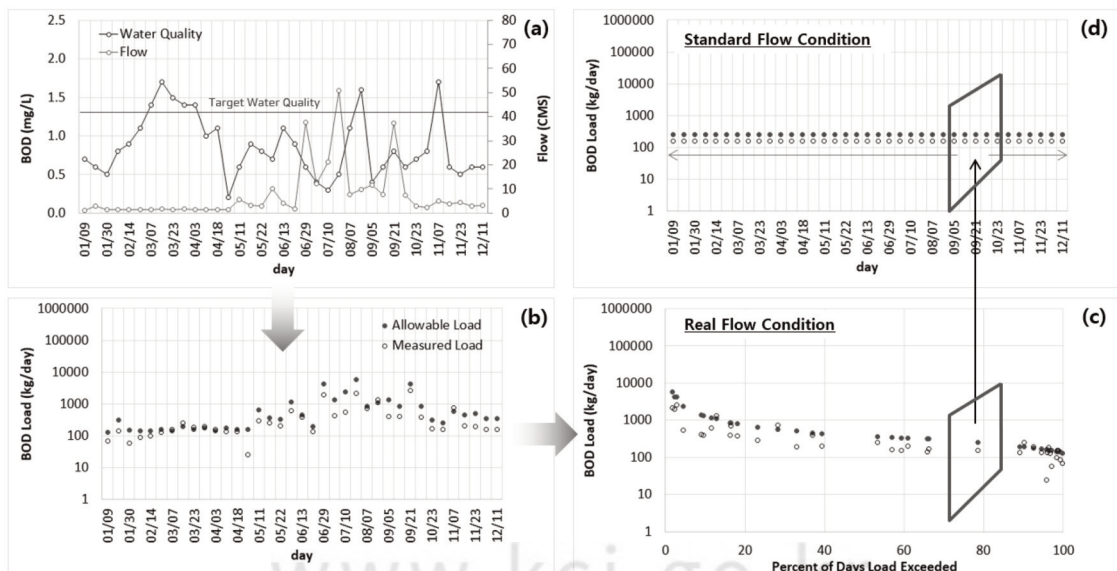


Figure 2. Comparison of Loads under Real Flow and Standard Flow Conditions (GB-A)

- 연간허용부하량 = Σ (실측유량 n × 목표수질 n) × 여유율(0.9)
- 연간삭감필요(또는 여유)부하량(㉑) = 연간실측부하량 - 연간허용부하량
- ② 기준유량 조건
- 연간실측부하량 = 기준유량 × 실측 연평균수질 × n

- 연간허용부하량 = 기준유량 × 목표수질 × n × 여유율(0.9)
- 연간삭감필요(또는 여유)부하량(㉒) = 연간실측부하량 - 연간허용부하량
- ③ 부하량 차이(배) = ㉑ > ㉒ 인 경우, ㉑ / ㉒
㉑ < ㉒ 인 경우, ㉒ / ㉑

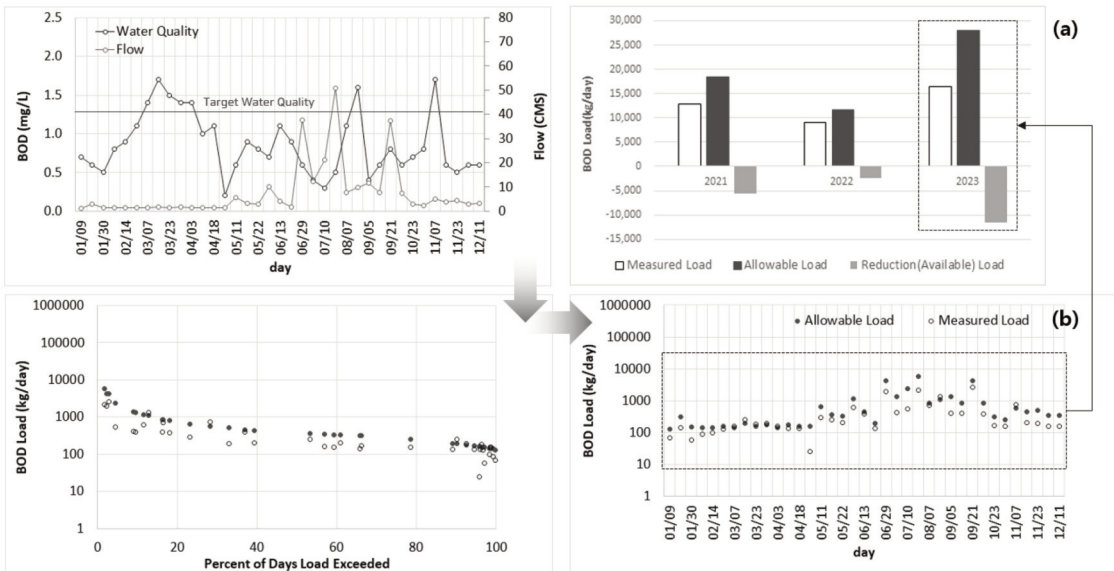


Figure 3. Calculation of Required Reduction (or Available) Load under Measured Flow Conditions (GB-A, 2023)

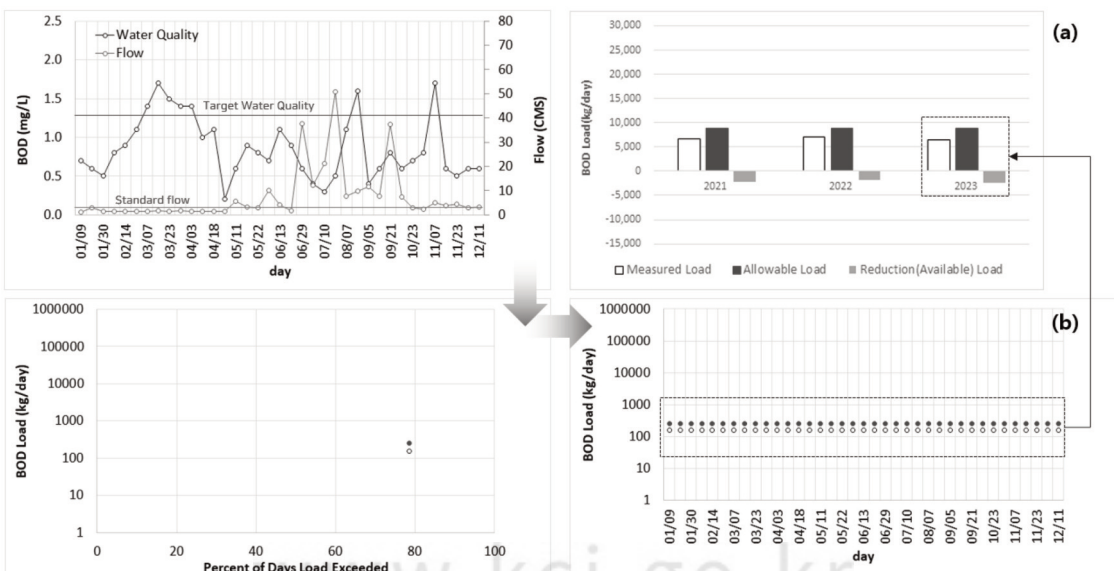
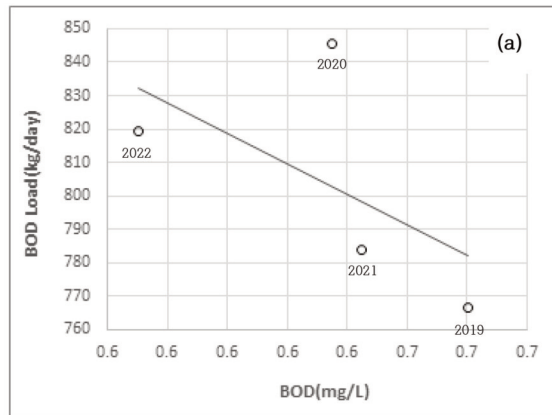


Figure 4. Calculation of Required Reduction (or Available) Load under Standard Flow Conditions (GB-A, 2023)

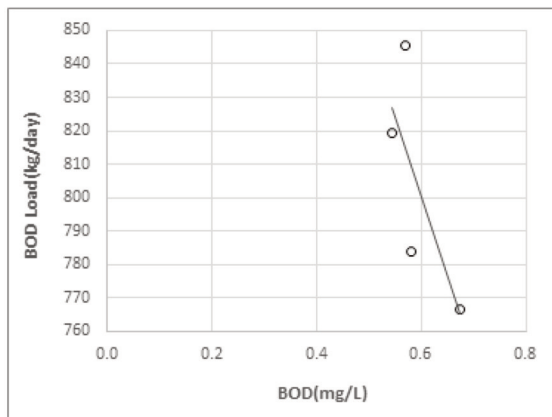
3. 배출부하량과 수질의 상관성

최근 4년간(2019~2022년) BOD와 T-P의 배출부하량을 y축으로, 평균수질을 x축으로 하여 상관성을 분석하였다. 여기서 단위유역별 배출부하량(점·비점배출부하량)은 시행계획수립대상지자체(대전광역시 외 17개 시·군)의 2021년, 2022년 기준 이행평가보고서에 제시된 각각의 배출부하량을 단위유역별로 합산하였다. 또한, 단위유역별 고유량, 저유량 연평균 수질은 유량지속곡선(FDC, Flow Duration Curve) 방법(Nevada Division of Environment Protection 2003)에 의한 유량조건별 분해과정을 통해 산정하였다. 과거 10년간의 유량자료를 이용하여 작성된 FDC곡선에서 초과유량 백분율 0~60% 범위를 고유량(평수기·풍수기·홍수기)

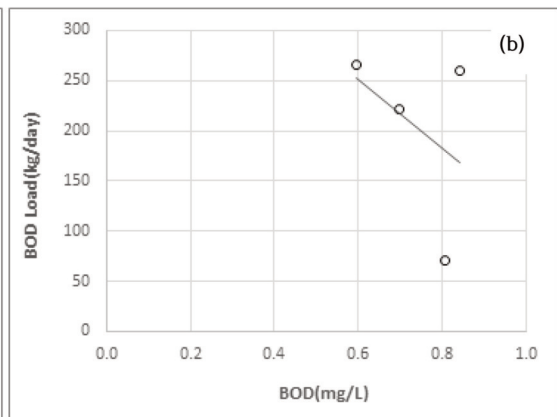
시기로 판단하였으며, 60~100% 범위를 저유량(갈수기·저수기) 시기로 판단하였다. Figure 5의 (a)는 유등A 단위유역 BOD에 대한 연간 배출부하량과 평균수질의 상관성 분석결과를 예시로 보여 주는 그림으로, 상관관계가 그림의 점선선과 같이 역(-)으로 나타나는 경우를 배출부하량 관리만으로는 수질관리가 어려운, 즉 오염총량관리에 취약한 상황으로 판단하였다. 지자체별 이행평가보고서 수집의 한계로 인해 최근 4년간의 제한된 자료만으로 상관성을 파악할 수밖에 없었다. 따라서 본 연구에서는 상관관계에 대한 정량적인 값도 출보다는 개략적인 정(+) 혹은 역(-) 상관관계로 분석하였다. Figure 5의 (b)는 연간 점·비점배출부하량과 유량조건별 평균수질의 상관성 분석결과를 보여주는 그



annual pollutant load vs ave. annual water quality



point and non-point source vs high-flow ave. annual water quality



point source vs low-flow ave. annual water quality

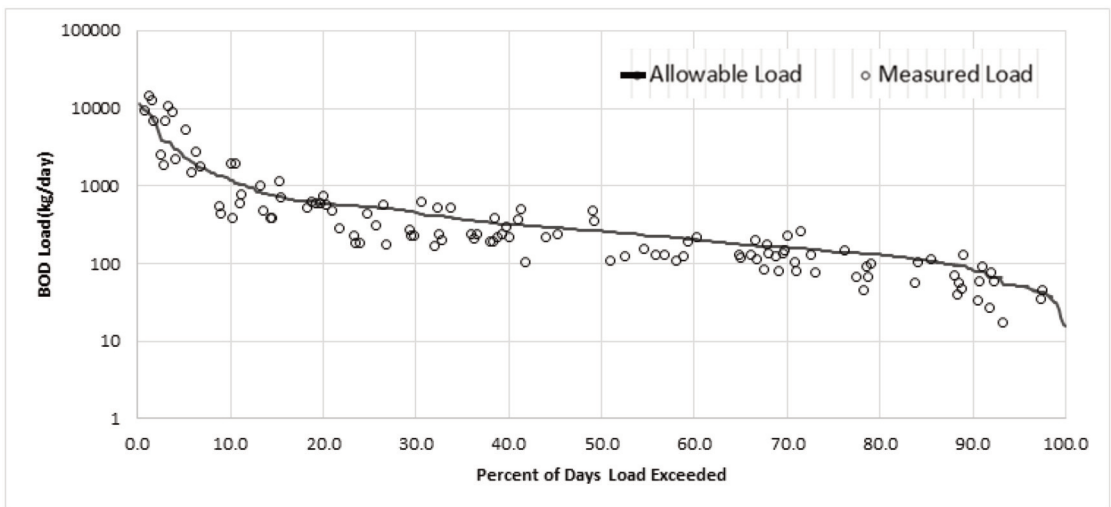
Figure 5. The correlation between annual pollutant loads and the average annual water quality (YD-A, BOD) (sample)

림으로, 저유량 시기의 수질은 주로 점오염원, 고유량 시기의 수질은 점오염원과 비점오염원 동시 영향이라고 간주하여 상관관계가 그림의 검정선과 같이 역(-)으로 나타나는 경우를 점오염원 또는 비점오염원 관리에 취약한 상황으로 판단하였다.

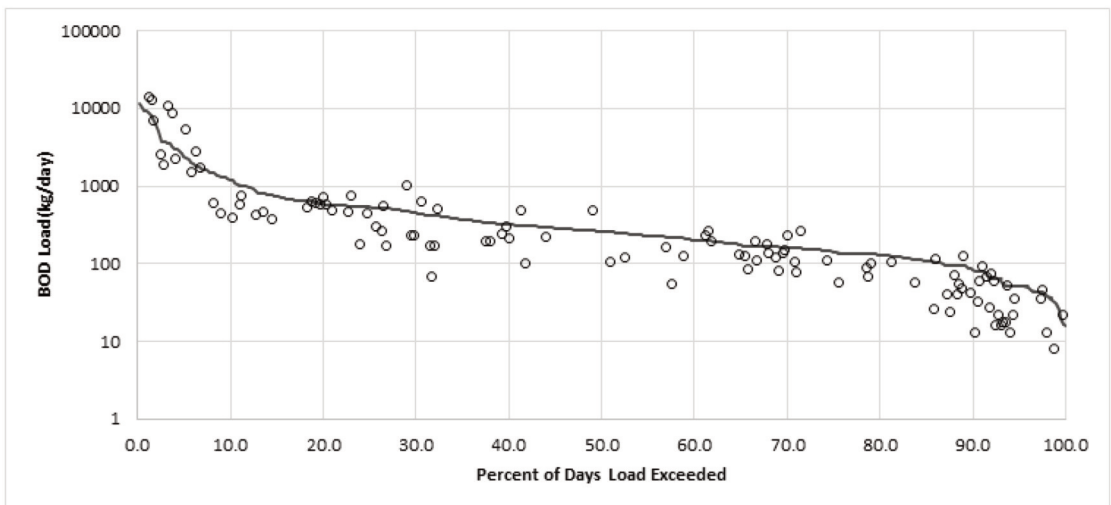
4. 할당부하량 준수와 목표수질 달성여부 관계

2021년도, 2022년도의 단위유역별 BOD, T-P 할당부하량 준수여부와 목표수질 만족여부를 비교하여 관계

가 일치하지 않는 단위유역은 오염총량관리에 취약한 것으로 평가하였다. 여기서 할당부하량 준수여부는 시행계획수립대상지자체의 2021년, 2022년기준 이행평가 보고서에 제시된 각각의 해당 단위유역 배출부하량 합과 할당부하량 합을 비교하여 판단하였다. 배출부하량 및 할당부하량은 점오염원과 비점오염원으로 구분하였으며, 단위유역별 목표수질 달성여부는 부하지속 곡선(LDC)에 의한 평가방법을 적용하여 판단하였다. Figure 6과 같이 10년간(2014~2023년) 실측된 8일 간격



2019~2021



2020~2022

* LDC(Load Duration Curve) : 2014~2023

Figure 6. Method for Evaluating the Excess Rate of Target Water Quality using Load Duration Curve (BoC-A) (sample)

Table 1. Target Water Quality Excess Rate (2019~2023, BoC-A) (sample)

Classification		2019	2020	2021	2022
All	Data	41	40	37	37
	Excess	12	13	7	6
	Rate (%)	29.3	32.5	18.9	16.2
I. High, II. Moist, III. Mid	Data	30	28	18	11
	Excess	9	9	3	2
	Rate (%)	30.0	32.1	16.7	18.2
IV. Dry, V. Low	Data	11	12	19	26
	Excess	3	4	4	4
	Rate (%)	27.3	33.3	21.1	15.4

Table 2. Target Water Quality Achievement Evaluation (2019~2023, BoC-A) (sample)

Classification		2021 ('19~'21)	2022 ('20~'22)
All	Data	118	114
	Excess	32	26
	ratio (%)	27.1	22.8
Evaluation (LDC ①)		achieve	achieve
I. High, II. Moist, III. Mid	Data	76	57
	Excess	21	14
	ratio (%)	27.6	24.6
	Evaluation	achieve	achieve
IV. Dry, V. Low	Data	42	57
	Excess	11	12
	ratio (%)	26.2	21.1
	Evaluation	achieve	achieve
Evaluation (LDC②)		achieve	achieve

Evaluation Standard : LDC Excess Rate 30%

의 유량 자료를 이용하여 작성된 부하지속곡선에 해당 년도(2021년, 2022년, 2023년)를 포함한 각각의 과거 3년간 실적 부하량자료를 도식한 후 부하지속곡선 기준으로 실적부하량 초과율을 계산하여 허용률을 초과하면 목표수질 달성을 하지 못하는 것으로 평가(LDC방법①: 전유량 조건 평가방법, Table 2 상단)하였다. 또한 유량조건에 따라 고유량 조건(평수기·풍수기·홍수기)과 저유량 조건(갈수량, 저수량) 각각의 실적부하량 초과율을 계산하여 어느 하나의 조건이라도 허용률을 초과하면 목표수질 달성을 하지 못하는 것으로 평가(LDC방법②: 다중 유량조건 평가방법, Table 2 하단)하였다. 초과율 계산결과에 따라 Table 2와 같이 어느 하나의 유량조건이라도 허용률을 초과하면 목표수질 달성을 하지 못하는 것으로 평가하였다.

목표수질 달성여부 평가시 실적된 부하량이 모두 기준부하량을 만족하는 것은 현실적으로 불가능하므로 허용률 개념을 도입하는 데 초과율이 허용률(30%)이하 이면 목표수질을 달성하는 것으로 간주하였다. 점오염원 할당부하량 준수여부는 저유량 목표수질 만족여부와 비교 가능하며, 비점오염원과 점오염원 모두의 할당부하량 준수여부는 고유량 목표수질 만족여부와 비교 가능하다.

III. 결과 및 고찰

1. 기준유량적용에 따른 오염총량관리 취약성

수질모델링을 통해서 부하량을 할당하는 오염총량관리 기본구조에서 유량은 오염총량관리의 중요한 인

자이다. 저수기(정확하게 BOD는 저수기, T-P는 평수기 또는 저수기) 평균유량을 적용하는 현행 방법은 연간 유량변동을 전혀 고려하지 못하므로 고유량 조건의 부하량은 수질모델링에 반영되지 않는다. 이것은 하천의 수질을 농도가 아닌 부하량으로 관리하고자 하는 오염총량관리제도의 취지에 부합하지 않으며 현행 오염총량관리 구조상 취약한 점으로 볼 수 있다. 금강수계 4단계 기본계획에 따른 목표수질과 기준유량이 적용되는 2021년부터 2023년까지 3개년간 실측유량조건에서의 연간 삭감필요(또는 여유)부하량과 기준유량 조건에서의 연간 삭감필요(또는 여유)부하량의 차이를 단위유역별로 정량화하여 Table 3과 Table 4에 제시하였다. BOD의 경우 본류, 지류 각각 최대 47.4배, 34.1배

로 나타났으며 T-P의 경우 본류, 지류 각각 최대 136.0배, 140.0배로 나타났다. 연도별로는 Table 5와 같이 BOD의 경우 2021년, 2022년, 2023년 각각 평균 5.9배, 2.4배, 6.7배로 나타났으며 T-P의 경우 2021년, 2022년, 2023년 각각 평균 11.8배, 7.8배, 28.5배로 나타나 Figure 7과 같이 연강수량이 비교적 크게 나타났던 해에 부하량 차이가 큰 것으로 분석되었다. 기준유량조건의 삭감필요(또는 여유)부하량이 실측유량조건과 비교해서 큰 차이를 보이는 것은 고유량조건의 부하량 즉 비점오염부하량이 적절히 관리 될 수 없다는 결정적인 근거이며, 현행 오염총량관리가 점오염원 위주로 관리될 수밖에 없는 이유이기도 하다.

Table 3. Difference in Required Reduction (or Available) Load between Measured Flow and Standard Flow Conditions for Each Unit Basin (BOD)

Unit Basin	Year	Real Flow Condition (a)			Standard Flow Conditions (b)			Load difference	
		Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	(a)-(b) (a)+(b)	(a)/(b) (b)/(a)
GB-A	2021	12,808	18,435	(5,626)	6,602	8,849	(2,246)	3,380	2.5
	2022	9,121	11,561	(2,440)	7,011	8,849	(1,838)	602	1.3
	2023	16,437	27,958	(11,521)	6,480	8,849	(2,369)	9,152	4.9
GB-B	2021	61,153	62,177	(1,025)	16,379	26,222	(9,843)	8,819	(9.6)
	2022	17,855	29,942	(12,087)	15,592	26,222	(10,631)	1,457	1.1
	2023	63,765	67,014	(3,248)	18,505	26,222	(7,717)	4,469	(2.4)
GB-C	2021	55,380	62,072	(6,691)	16,757	21,462	(4,705)	1,986	1.4
	2022	28,343	44,732	(16,389)	13,406	21,462	(8,056)	8,333	2.0
	2023	99,452	127,561	(28,108)	14,824	21,462	(6,639)	21,470	4.2
GB-D	2021	90,647	97,643	(6,996)	30,607	36,928	(6,321)	675	1.1
	2022	33,915	45,987	(12,073)	26,060	36,928	(10,868)	1,205	1.1
	2023	128,431	131,899	(3,468)	27,724	36,928	(9,204)	5,736	(2.7)
GB-E	2021	85,564	141,351	(55,787)	31,112	58,558	(27,446)	28,341	2.0
	2022	44,331	74,359	(30,028)	33,817	58,558	(24,741)	5,288	1.2
	2023	184,855	230,085	(45,230)	33,006	58,558	(25,552)	19,678	1.8
GB-F	2021	58,314	88,323	(30,010)	27,348	33,167	(5,819)	24,191	5.2
	2022	31,262	57,064	(25,803)	18,426	32,294	(13,868)	11,935	1.9
	2023	139,887	142,483	(2,596)	25,118	32,294	(7,176)	4,580	(2.8)
GB-G	2021	275,620	377,468	(101,848)	149,764	190,434	(40,670)	61,178	2.5
	2022	174,014	300,345	(126,332)	104,619	190,434	(85,815)	40,516	1.5
	2023	274,704	441,896	(167,191)	101,282	136,025	(34,742)	132,449	4.8
GB-H	2021	729,881	731,206	(1,325)	413,873	352,343	61,530	(62,856)	(47.4)
	2022	350,950	473,730	(122,781)	260,403	333,799	(73,396)	49,385	1.7
	2023	823,078	887,276	(64,197)	308,717	268,893	39,824	(104,022)	2.6

Table 3. Continued

Unit Basin	Year	Real Flow Condition (a)			Standard Flow Conditions (b)			Load difference	
		Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	a-b (a+b)	a/b (b/a)
GB-I	2021	842,514	813,694	28,820	514,505	412,186	102,319	73,499	3.6
	2022	486,235	533,540	(47,305)	403,126	390,492	12,634	(59,939)	4.7
	2023	910,441	1,148,942	(238,501)	477,933	444,727	33,206	(271,706)	8.2
GB-J	2021	1,089,365	1,065,379	23,986	471,860	421,404	50,456	26,469	2.1
	2022	666,946	684,809	(17,863)	447,025	399,225	47,800	(65,663)	(3.7)
	2023	939,960	1,120,862	(180,901)	459,443	410,315	49,128	(230,029)	4.7
GB-K	2021	1,336,329	1,248,199	88,130	662,317	512,472	149,846	61,716	(1.7)
	2022	647,629	806,428	(158,799)	410,077	485,500	(75,422)	83,377	2.1
	2023	1,038,756	1,318,287	(279,530)	472,513	498,986	(26,473)	253,058	10.6
GB-L	2021	1,292,573	1,307,775	(15,202)	589,027	535,918	53,109	(68,311)	(4.5)
	2022	766,272	863,736	(97,463)	486,564	521,434	(34,870)	62,594	2.8
	2023	1,246,585	1,437,357	(190,772)	575,079	550,402	24,677	(215,449)	8.7
CG-A	2021	13,416	19,892	(6,476)	3,194	4,465	(1,271)	5,204	5.1
	2022	5,147	7,342	(2,195)	3,498	4,465	(967)	1,228	2.3
	2023	57,561	62,491	(4,931)	3,157	4,465	(1,308)	3,623	3.8
BoC-A	2021	18,572	19,744	(1,172)	3,844	4,770	(926)	245	1.3
	2022	5,919	7,681	(1,762)	3,402	4,770	(1,368)	394	1.3
	2023	36,903	19,670	17,234	4,250	4,770	(520)	(17,754)	34.1
YD-A	2021	3,986	8,505	(4,518)	983	1,646	(663)	3,855	6.8
	2022	1,782	3,895	(2,113)	846	1,602	(756)	1,357	2.8
	2023	2,927	6,060	(3,133)	878	1,559	(681)	2,452	4.6
GC-A	2021	164,963	207,400	(42,437)	115,339	142,270	(26,932)	15,506	1.6
	2022	254,619	220,258	34,360	111,302	139,367	(28,065)	(62,425)	2.2
	2023	154,557	215,185	(60,628)	82,560	104,525	(21,965)	38,663	2.8
MH-A	2021	73,244	50,567	22,677	14,486	12,347	2,138	20,539	10.6
	2022	58,239	57,127	1,112	11,729	12,347	(618)	(1,730)	2.8
	2023	77,827	77,005	822	13,015	12,681	334	489	2.5
ByC-A	2021	37,481	19,340	18,142	11,429	6,650	4,780	13,362	3.8
	2022	16,599	18,128	(1,529)	7,414	6,475	939	(2,468)	2.6
	2023	25,643	17,179	8,464	11,801	6,300	5,502	2,962	1.5
MH-B	2021	397,260	351,200	46,061	184,164	154,373	29,791	16,270	1.5
	2022	439,180	444,177	(4,997)	155,727	150,310	5,417	(10,413)	(2.1)
	2023	314,305	376,529	(62,224)	140,493	146,248	(5,755)	56,469	10.8
MH-C	2021	597,635	527,162	70,472	257,646	244,899	12,747	57,726	5.5
	2022	402,266	485,941	(83,675)	212,057	244,899	(32,842)	50,833	2.5
	2023	309,779	353,316	(43,537)	167,502	164,932	2,570	(46,107)	17.9
NS-A	2021	120,790	115,129	5,661	49,931	52,642	(2,711)	(8,372)	3.1
	2022	60,092	77,555	(17,462)	48,891	51,545	(2,655)	14,808	6.6
	2023	117,956	112,532	5,424	40,569	42,772	(2,203)	(7,627)	3.5

Reduc.(Avail.) Load : Required Reduction(or Available) Load

(a+b) : When the load is calculated as a reduction target under measured flow conditions but as an available load under standard flow conditions (or vice versa)

(b/a) : When the absolute value of the reduction (available) load under standard flow conditions is greater than the absolute value of the reduction (available) load under measured flow conditions

Table 4. Difference in Required Reduction (or Available) Load between Measured Flow and Standard Flow Conditions for Each Unit Basin (T-P)

Unit Basin	Year	Real Flow Condition (a)			Standard Flow Conditions (b)			Load difference	
		Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	a-b (a+b)	a/b (b/a)
GB-A	2021	721	340	381	308	231	77	305	5.0
	2022	461	213	248	292	231	61	187	4.1
	2023	1,638	516	1,122	313	231	82	1,040	13.7
GB-B	2021	1,441	995	446	332	420	(87)	(533)	6.1
	2022	308	479	(171)	266	420	(153)	17	1.1
	2023	2,629	1,072	1,557	518	420	99	1,458	15.8
GB-C	2021	1,236	869	367	300	300	(0)	(367)	-
	2022	530	626	(96)	240	300	(61)	36	1.6
	2023	4,545	1,786	2,759	393	300	92	2,667	30.0
GB-D	2021	2,511	1,855	655	680	702	(22)	(677)	31.0
	2022	810	874	(64)	573	702	(128)	65	2.0
	2023	6,443	2,506	3,937	737	702	36	3,901	109.9
GB-E	2021	3,558	2,392	1,166	917	991	(74)	(1,240)	16.8
	2022	881	1,258	(378)	629	991	(362)	16	1.0
	2023	18,502	3,894	14,608	1,098	991	107	14,501	136.0
GB-F	2021	1,325	1,413	(88)	471	531	(59)	29	1.5
	2022	642	913	(271)	363	517	(154)	117	1.8
	2023	3,741	2,280	1,462	606	517	89	1,372	16.3
GB-G	2021	9,385	10,638	(1,253)	4,605	5,367	(762)	491	1.6
	2022	6,336	8,464	(2,128)	3,702	5,367	(1,665)	463	1.3
	2023	9,696	12,453	(2,757)	3,205	3,833	(628)	2,129	4.4
GB-H	2021	22,121	20,928	1,193	10,320	10,084	236	957	5.1
	2022	12,056	13,558	(1,502)	7,052	9,554	(2,502)	999	1.7
	2023	27,149	25,394	1,755	6,586	7,696	(1,109)	(2,864)	2.6
GB-I	2021	17,987	23,008	(5,021)	8,250	11,655	(3,405)	1,615	1.5
	2022	12,034	15,086	(3,052)	7,111	11,041	(3,931)	879	1.3
	2023	31,000	32,487	(1,488)	8,378	12,575	(4,197)	2,709	2.8
GB-J	2021	23,667	28,288	(4,620)	8,047	11,189	(3,142)	1,479	1.5
	2022	16,641	18,183	(1,542)	7,376	10,600	(3,224)	1,682	2.1
	2023	29,411	29,761	(350)	7,733	10,895	(3,162)	2,811	9.0
GB-K	2021	36,623	32,453	4,170	11,873	13,324	(1,452)	(5,621)	3.9
	2022	19,835	20,967	(1,132)	9,885	12,623	(2,738)	1,606	2.4
	2023	37,908	34,275	3,633	10,619	12,974	(2,355)	(5,987)	2.5
GB-L	2021	31,473	34,002	(2,530)	14,627	19,675	(5,048)	2,518	2.0
	2022	15,839	22,457	(6,618)	12,870	19,143	(6,273)	345	1.1
	2023	42,993	37,371	5,622	15,703	20,207	(4,504)	(10,126)	2.2
CG-A	2021	963	524	439	106	118	(12)	(450)	39.0
	2022	246	194	52	76	118	(41)	(93)	2.3
	2023	5,083	1,648	3,435	93	118	(25)	(3,460)	140.0
BoC-A	2021	1,300	773	526	141	187	(46)	(572)	12.5
	2022	281	301	(20)	123	187	(64)	45	3.3
	2023	3,783	770	3,012	189	187	2	3,010	-

Table 4. Continued

Unit Basin	Year	Real Flow Condition (a)			Standard Flow Conditions (b)			Load difference	
		Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	Measured Load	Allowable Load	Reduc.Load (Avail.Load)	(a-b) (a+b)	(a/b) (b/a)
YD-A	2021	137	227	(90)	18	44	(26)	64	3.5
	2022	47	104	(56)	15	43	(28)	29	2.0
	2023	196	162	34	19	42	(22)	(57)	2.5
GC-A	2021	6,230	5,969	261	4,052	4,095	(42)	(304)	7.2
	2022	8,852	6,339	2,513	4,087	4,011	76	2,437	33.2
	2023	6,251	6,193	58	3,148	3,008	140	81	2.4
MH-A	2021	2,918	1,551	1,367	445	379	67	1,300	20.5
	2022	2,909	1,752	1,157	404	379	26	1,131	44.9
	2023	3,301	2,361	939	471	389	82	857	11.4
ByC-A	2021	1,462	883	579	426	304	123	457	4.7
	2022	1,393	828	565	405	296	110	455	5.2
	2023	1,454	784	670	465	288	177	493	3.8
MH-B	2021	15,854	7,814	8,040	6,652	3,435	3,217	4,822	2.5
	2022	17,589	9,883	7,706	3,537	3,344	192	7,514	40.1
	2023	11,791	8,378	3,414	3,399	3,254	145	3,269	23.6
MH-C	2021	15,594	12,014	3,579	5,638	5,581	57	3,522	62.7
	2022	16,492	11,075	5,417	4,991	5,581	(590)	(6,007)	10.2
	2023	10,609	8,052	2,557	3,650	3,759	(109)	(2,666)	24.4
NS-A	2021	5,250	4,285	965	2,947	3,081	(134)	(1,099)	8.2
	2022	2,640	2,887	(246)	2,886	3,017	(131)	116	1.9
	2023	5,926	4,189	1,737	2,395	2,503	(109)	(1,846)	17.0

Table 5. Summary of Differences in Required Reduction (or Available) Load between Measured Flow and Standard Flow Conditions (unit : times)

		2021	2022	2023
BOD	Main Stream	1.1~47.4	1.1~4.7	1.8~10.6
	Tributary	1.3~10.6	1.3~6.6	1.5~34.1
	Average	5.9	2.4	6.7
T-P	Main Stream	1.5~31.0	1.0~4.1	2.2~136.0
	Tributary	2.5~62.7	1.9~44.9	2.4~140.0
	Average	11.8	7.8	28.5

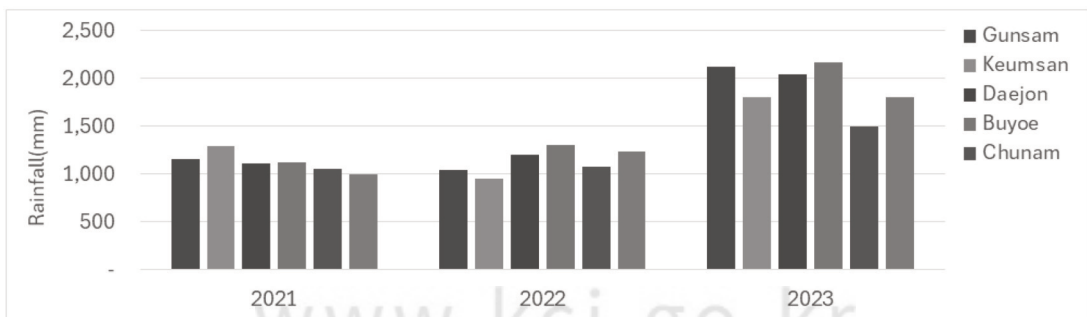


Figure 7. Annual Rainfall by Regio(2021~2023)

Table 6. Correlation between annual pollutant load and average water quality

Unit Basin	BOD			Unit Basin	T-P		
	CASE(a)	CASE(b)	CASE(c)		CASE(a)	CASE(b)	CASE(c)
	Total Load vs Annual Ave, WQ	Total Load vs High Flow WQ	Point Load vs Low Flow WQ		Total Load vs Annual Ave, WQ	Total Load vs High Flow WQ	Point Load vs Low Flow WQ
				GB-C	○	○	●
GB-D	○	○	○	GB-D	○	○	●
				GB-E	●	●	●
				GB-G	○	○	●
GB-H	○	○	○				
GB-I	●	●	○	GB-I	○	○	●
GB-J	○	●	●	GB-J	○	○	●
GB-K	○	○	○	GB-K	○	○	○
GB-L	○	○	○	GB-L	○	○	○
YD-A	●	●	●	YD-A	●	●	●
				GC-A	○	●	○
MH-A	○	○	○	MH-A	○	○	○
ByC-A	○	●	●	ByC-A	○	○	●
MH-B	○	○	●	MH-B	●	●	○
MH-C	○	○	○	MH-C	○	○	○
NS-A	○	○	○	NS-A	○	○	○

○ : Normal correlation, ● : Negative Correlation
 Total Load = Point + Non-point Load

2. 배출부하량과 수질의 비정상적 상관관계

통상 유역의 배출부하량이 증가하면 유역 말단의 수질은 악화되거나, 반대로 배출부하량이 감소되면 수질이 좋아지는 것이 일반적인 경우인데, 최근 4년간 (2019~2022년) 금강수계의 단위유역별 BOD, T-P의 배출부하량과 평균수질의 상관성을 분석한 결과 (Appendix Figure 1 참조) 역(-) 상관관계를 나타내는 경우를 볼 수 있었으며 이 경우 오염총량관리에 취약한 상황으로 판단하였다. 유량조건에 따라 고유량(평수기·풍수기·홍수기)과 저유량(갈수기·저수기)으로 구분하여 각 유량조건에서의 평균수질과 점·비점배출부하량의 상관관계를 분석하였는데, 고유량 기간의 수질은 점오염원과 비점오염원 동시 영향으로(CASE(a), (b)), 저유량 기간의 수질은 주로 점오염원(CASE(c))이라 간주하여 유량조건별 평균수질과 점·비점배출부하량 관계가 역(-) 상관관계를 나타내는 경우를 Table 6에 나타내었다. 비정상적인 상관관계가 나타나는 원인은 오염총량관리에서 파악되지 않는 불명 오염원, 지하

수 유입, 배출부하량 산정방법의 부적정 등으로 생각할 수 있다. 환경부에서는 불명 오염원 파악을 위한 정밀원인분석 시행 가이드라인을 만들어 점오염원(환경기초시설, 개인오수처리시설 등) 및 비점오염원(불투수층, 농경지, 축사시설 등)이 산재 되는 지역 중심으로 세부 배출경로별(개별배출, 관로배출, 환경기초시설 방류부하량 등) 상세 조사를 추진하고 있다(Ministry of Environment 2023a). 배출부하량 산정방법의 개선을 위해서는 현행 기술지침의 정확성 검토가 선행되어야 할 것이며, 특히 고유량시기에 상대적으로 많은 부하를 차지하는 비점오염원 배출부하량과 지하수 유입량 예측의 정확도를 높이기 위해서는 강우와 밀접히 연관되어 예측이 가능한 유역모델 적용이 대안이 될 수 있다.

3. 할당부하량 준수와 목표수질 달성 여부 관계의 불일치

2021년도와 2022년도의 단위유역별 BOD와 T-P 할

Table 7. Inconsistency between Compliance with Allocated Load and Achievement of Target Water Quality (BOD)

Unit Basin		2021			2022		
		CASE(a)	CASE(b)	CASE(c)	CASE(a)	CASE(b)	CASE(c)
Allocated Load		(Total Load)	(Total Load)	(Point Load)	(Total Load)	(Total Load)	(Point Load)
Target WQ		(All)	(High Flow)	(Low Flow)	(All)	(High Flow)	(Low Flow)
GB-H	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess
	Evaluation	×	×	×	×	×	×
GB-I	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess
	Evaluation	×	×	×	×	×	×
GB-J	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess
	Evaluation	×	×	×	×	×	×
GB-K	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess
	Evaluation	×	×	×	×	×	×
GB-L	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Achievie	Excess
	Evaluation	×	×	×	×	○	×
MH-A	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Achievie	Excess	Excess	Achievie	Excess
	Evaluation	×	○	×	×	○	×
ByC-A	Allocated Load	Excess	Excess	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess
	Evaluation	○	○	×	×	×	×
MH-B	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess
	Evaluation	×	×	×	×	×	×
MH-C	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Excess	Compliance
	Target WQ	Excess	Achievie	Excess	Excess	Achievie	Excess
	Evaluation	×	○	×	×	×	×
NS-A	Allocated Load	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess
	Evaluation	×	×	×	×	×	×

Assessment of Target Water Quality Achievement : LDC① method

Assessment of Target Water Quality Achievement under High and Low-Flow Conditions : LDC② method

○ : Consistency, × : Inconsistency

당부하량 준수여부(Appendix Table 1, 2 참조)와 목표수질 달성여부(Appendix Table 3 참조)를 비교하여 할당부하량 준수 여부와 목표수질 만족 여부가 일치하지 않는 경우를 Table 7과 Table 8에 (×)표식으로 나타내었다. 이것은 목표수질 달성을 위해 배출부하량을 허용총량 이내로 관리하고자 하는 제도의 취지에 맞지

않는 비논리적 상황으로써 오염총량관리에 취약한 것으로 평가하였다. 여기서 전체유량 기간과 고유량 기간에 대한 목표수질 달성 여부는 총 할당부하량 준수 여부와 비교 가능하며(CASE(a),(b)), 저유량 기간의 목표수질 달성여부는 점오염원 할당부하량 준수 여부와 비교 가능하다(CASE(c)). Table 7과 Table 8과 같이 금강

Table 8. Inconsistency between Compliance with Allocated Load and Achievement of Target Water Quality (T-P)

Unit Basin		2021			2022			
		CASE [Ⓐ]	CASE [Ⓑ]	CASE [Ⓒ]	CASE [Ⓐ]	CASE [Ⓑ]	CASE [Ⓒ]	
		Allocated Load	(Total Load)	(Total Load)	(Point Load)	(Total Load)	(Total Load)	(Point Load)
		Target WQ	(All)	(High Flow)	(Low Flow)	(All)	(High Flow)	(Low Flow)
GB-C	Allocated Load	Excess	Excess	Compliance	Compliance	Excess	Compliance	
	Target WQ	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	
	Allocated Load	○	○	×	×	○	×	
GB-D	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Achievie	Excess	Achievie	
	Allocated Load	×	×	×	○	×	○	
GB-E	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Excess	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Achievie	Excess	Achievie	
	Allocated Load	×	×	×	○	○	×	
GB-G	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Achievie	Achievie	Achievie	
	Allocated Load	×	×	×	○	○	○	
GB-J	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Achievie	Achievie	Achievie	Achievie	
	Allocated Load	×	×	○	○	○	○	
GB-K	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Excess	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Achievie	Achievie	Excess	Achievie	
	Allocated Load	×	×	○	○	○	○	
GB-L	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Achievie	Achievie	Achievie	Achievie	
	Allocated Load	×	×	○	○	○	○	
GC-A	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Excess	Compliance	Excess	
	Evaluation	Excess	Excess	Achievie	Achievie	Excess	Achievie	
	Allocated Load	×	×	○	×	×	×	
MH-A	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	
	Allocated Load	×	×	×	×	×	×	
ByC-A	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	
	Allocated Load	×	×	×	×	×	×	
MH-B	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	
	Allocated Load	×	×	×	×	×	×	
MH-C	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Achievie	Excess	Achievie	
	Allocated Load	×	×	×	○	×	○	
NS-A	Target WQ	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	Compliance	
	Evaluation	Excess	Excess	Excess	Excess	Excess	Achievie	
	Allocated Load	×	×	×	×	×	○	

Assessment of Target Water Quality Achievement : LDC^① method

Assessment of Target Water Quality Achievement under High and Low-Flow Conditions : LDC^② method

○ : Consistency, × : Inconsistency

수계 여러 단위구역에서 할당부하량 준수 여부와 유량 조건에 따른 목표수질 만족 여부가 일치 하지 않는 경우를 볼 수 있다. 앞서 제시한 바와 같이 기준유량에 기반한 정적모델의 한계에서 비롯되는 점·비점오염원부하량 할당 분배의 부적정이 원인일 수 있다. 적정 분배 근거 확보를 위해서는 1년 365개 이상의 유량 및 수질 모의결과, 즉 유량 조건에 따른 수질자료의 생성이 필요한데 유역모델의 도입이 필요한 이유이다.

IV. 결론

목표수질을 만족시키기 위한 허용배출부하량 산정 시 저수기에 해당하는 기준유량 조건을 정적수체모델에 적용하는 것이 현행 오염총량관리의 방식이다. 저수기 평균유량 적용, 고정된 시간의 수질모델링, 그 결과에 따른 부하량 할당 과정 전반에 걸쳐 지나치게 연평균 개념으로 단순화됨에 따라 현실을 적절히 반영하지 못하는 여러 취약성을 나타낸다. 본 연구에서 고찰한 현행 오염총량관리의 취약성은 다음과 같이 정리할 수 있다. 저수기 평균유량에 해당하는 기준유량 적용(취약성①)에서 비롯되는 비점오염원부하 할당의 부정확성, 이에 따른 부하량(특히 비점오염부하) 할당 오류는 할당부하량 준수와 목표수질 달성여부 관계의 불일치(취약성③)로 이어질 수 있다. 불명오염원이나 지하수 유입, 배출부하량 산정방법의 부적정 등은 배출부하량과 수질의 비정상적 상관관계(취약성②)로 나타나며 이것은 수질모델링 오류와 부적정한 허용총량, 삭감부하량 산정으로 이어져 다시 할당부하량 준수와 목표수질 달성여부 관계의 불일치(취약성③)로 나타날 수 있다. 유역의 오염원에서부터 하천의 수질에 이르는 과정을 과학적이고 합리적으로 구현하기 위한 방법으로 유역모델의 적용이 대안이 될 수 있으며, 하천의 다양한 유량조건과 그에 따른 수질변화를 시계열로 모의하기 위한 방법으로 동적 수체모델의 적용이 대안이 될 수 있다. 총량관리는 지역개발부하량에 직결되고 지역개발부하량은 지역의 재산권행사에 직접적인 영향을 주는 만큼 수문학적으로 명료한 기준유량의 적용은 지역간의 형평성을 담보하기 위해 현실적으로 불가피한 측면이 있다. 하지만 앞서 제시한 현행 오염총량

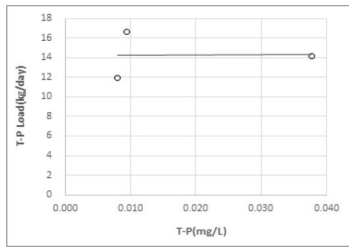
관리의 한계를 극복하기 위해서는 기준유량 적용에서부터 시작하는 오염총량관리의 경직성에서 벗어나 유역의 점 또는 비점오염원 특성이 고려 될 수 있는 유연한 오염총량관리가 필요하다. 결론적으로, 기준유량, 정적 수체모델이 기반이 되는 현재의 오염총량관리 방식은 제도의 근본적인 취지에 부합되도록 유역모델 및 동적 수체모델을 적용하는 방식으로 전환되는 것이 필요하다.

References

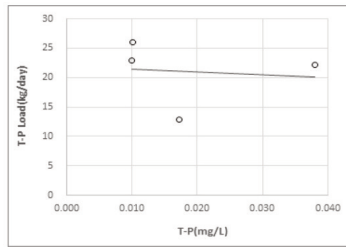
- Cheong EJ, Kim HT, Kim YS, Shin DS. 2016. Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Rate of Achievement of Target Water Quality in the Youngsan-Tamjin River Watersheds. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 32(4): 349-356. [Korean Literature]
- Cho YC, Choi HM, Lee YJ, Ryu IG, Lee MG, Gu DH, Choi KW, Yu SJ. 2018. Statistical Analysis of Water Flow and Water Quality Data in the Imjin River Basin for Total Pollutant Load Management, *J. Environ. Impact Assess.* 27(4): 353-366. [Korean Literature]
- Chungnam-do, Chungbuk-do, Jeonbuk-do, Daejeon, Sejong. 2021. 4th (2021-2030) Basic Plan of Geum River Basin Total Pollution Load Management System.
- Daejeon, Sejong, Muju, Wanju, Iksan, Yeongdong, Okcheon, Eumseong, Jeungpyeong, Jincheon, Cheongju, Cheonan, Cheongyang, Gyeryong, Gongju, Geumsan, Buyeo, Seocheon, Nonsan. 2021, 2022. TPLC Implementation Evaluation Report.
- Jung KY, Kim HT, Kim SS, Shin DS, Kim GH. 2017. Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Achievement Rate of Target Water Quality in the Nakdong River Unit Watersheds. *Journal of Environmental*

- Science International, 26(4): 433-445. [Korean Literature]
- Kim SG, Oh SY, Park SY, Na EH, Kim YS. 2023. Improvement and Implementation to Enhance the Effectiveness of the Total Pollution Load Control System, Journal of Korean Society on Water Environment, 39(4). [Korean Literature]
- Kim EK, Ryu JC, Kim HT, Kim YS, Shin DS. 2015. Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Achievement Rate of Target Water Quality in the Han-River Watersheds. Journal of Korean Society on Water Environment, 31(6): 732-738. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2022. Basic Policy for Total Pollution Load Control
- Ministry of Environment. 2023a. Guidelines for the Implementation of Detailed Cause Analysis in Total Pollution Load Management
- Ministry of Environment. 2023b. Water Environment Monitoring Network Installation and Operation Plan.
- National institute of Environmental Research. 2022, Technical Guidelines for Total Pollution Load Management System.
- Nevada Division of Environment Protection. 2003. Load Duration Curve Methodology for Assessment and TMDL Development.
- Nam BS, Hwang, HS, Cho MH. 2018. Analysis of Impaired Waterbody using Time Series Water Quality and Flow Rate Data for TPLMs. J. Korean Soc. Environ. Eng., 40(9): 359-371. [Korean Literature]

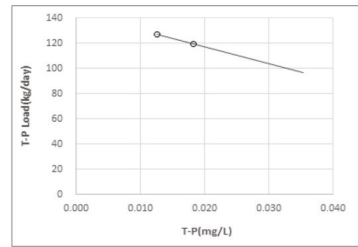
Appendix



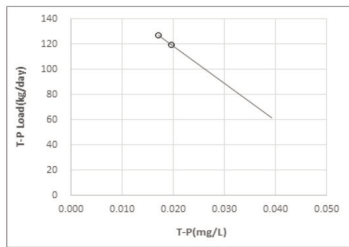
GB-C, T-P, CASE(c)



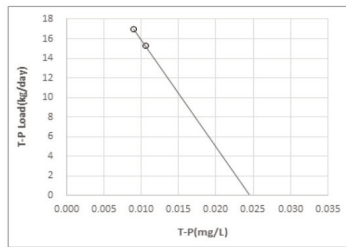
GB-D, T-P, CASE(c)



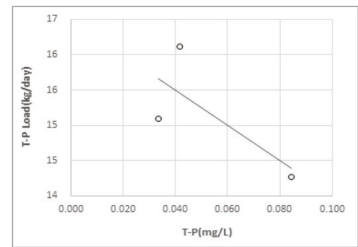
GB-E, T-P, CASE(a)



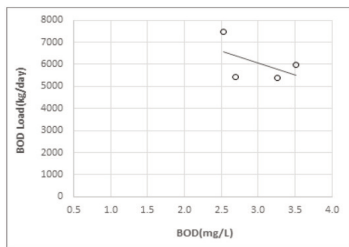
GB-E, T-P, CASE(b)



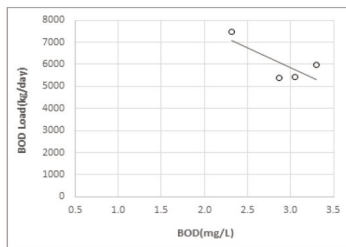
GB-E, T-P, CASE(c)



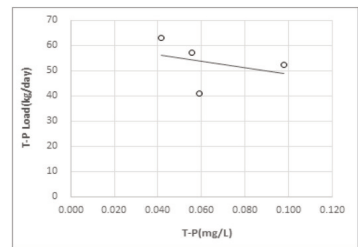
GB-G, T-P, CASE(c)



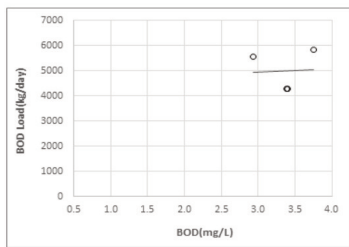
GB-I, BOD, CASE(a)



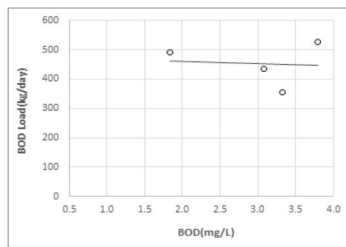
GB-I, BOD, CASE(b)



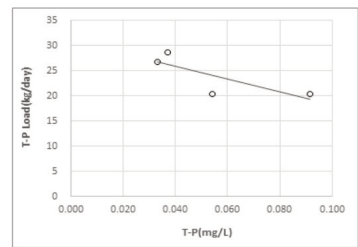
GB-I, T-P, CASE(c)



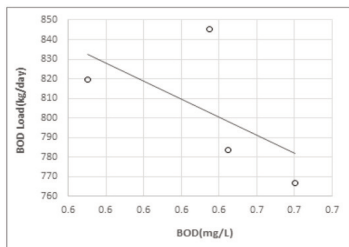
GB-J, BOD, CASE(b)



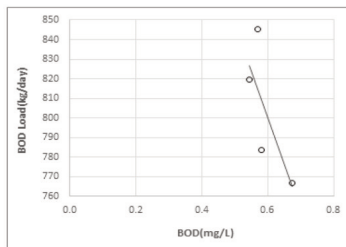
GB-J, BOD, CASE(c)



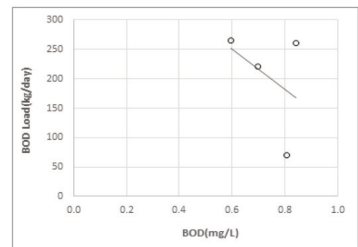
GB-J, T-P, CASE(c)



YD-A, BOD, CASE(a)

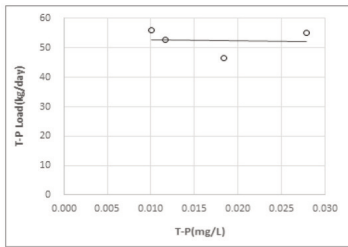


YD-A, BOD, CASE(b)

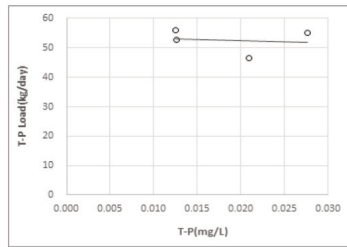


YD-A, BOD, CASE(c)

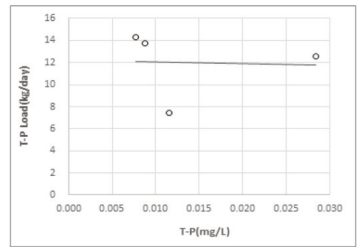
Appendix Figure 1. Correlation between annual pollutant load and average water quality



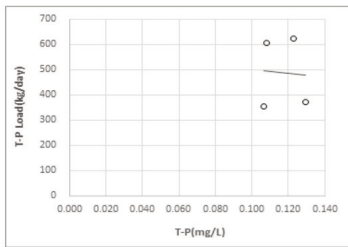
YD-A, T-P, CASE(a)



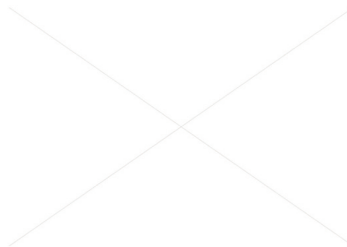
YD-A, T-P, CASE(b)



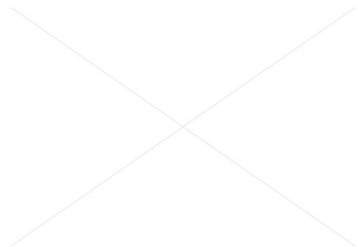
YD-A, T-P, CASE(c)



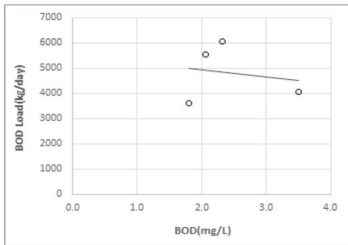
GC-A T-P, CASE(b)



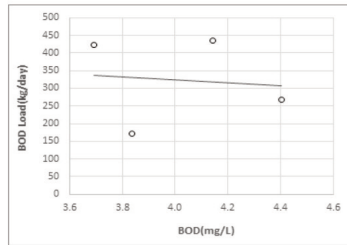
-



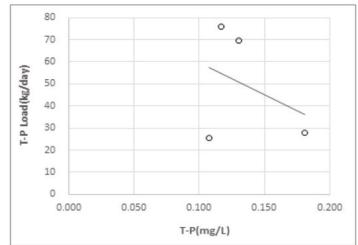
-



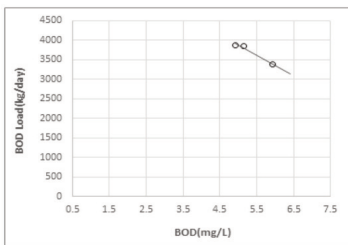
ByC-A, BOD, CASE(b)



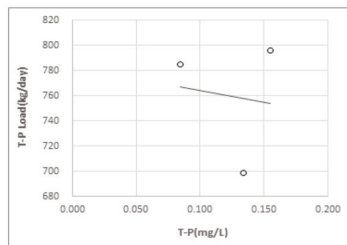
ByC-A, BOD, CASE(c)



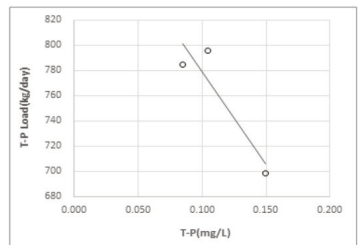
ByC-A, T-P, CASE(c)



MH-B, BOD, CASE(c)



MH-B, T-P, CASE(a)



MH-B, T-P, CASE(b)

Appendix Figure 1. Continued

Appendix Table 1. Compliance with Allocated Load(BOD)(2021, 2022)

Unit Basin	2021				2022			
		Allocated Load	Pollutant Load			Allocated Load	Pollutant Load	
GB-H	Point	1296.1	1175.6	Compliance	Point	1295.6	783.0	Compliance
	Non-piont	2127.6	1609.9	Compliance	Non-piont	2128.6	1701.0	Compliance
	Total	3423.6	2785.6	Compliance	Total	3424.2	2484.0	Compliance
GB-I	Point	978.1	963.0	Compliance	Point	977.2	943.4	Compliance
	Non-piont	4975.5	4431.0	Compliance	Non-piont	4976.5	4483.5	Compliance
	Total	5953.6	5394.0	Compliance	Total	5953.7	5426.8	Compliance
GB-J	Point	544.9	526.8	Compliance	Point	545.5	490.7	Compliance
	Non-piont	4116.8	3780.5	Compliance	Non-piont	4111.2	3803.1	Compliance
	Total	4661.7	4307.3	Compliance	Total	4656.7	4293.8	Compliance
GB-K	Point	1201.2	993.6	Compliance	Point	1204.8	991.8	Compliance
	Non-piont	6960.9	6408.7	Compliance	Non-piont	6916.1	6502.8	Compliance
	Total	8162.1	7402.3	Compliance	Total	8120.9	7494.6	Compliance
GB-L	Point	1737.4	1350.7	Compliance	Point	1742.9	1285.0	Compliance
	Non-piont	7395.0	5999.4	Compliance	Non-piont	7425.5	5961.7	Compliance
	Total	9132.4	7350.1	Compliance	Total	9168.4	7246.7	Compliance
MH-A	Point	1536.6	1230.2	Compliance	Point	1543.4	1253.1	Compliance
	Non-piont	9198.8	8843.4	Compliance	Non-piont	9193.2	8429.5	Compliance
	Total	10735.4	10073.6	Compliance	Total	10736.6	9682.6	Compliance
ByC-A	Point	468.1	422.4	Compliance	Point	472.3	434.5	Compliance
	Non-piont	3535.4	3623.2	Excess	Non-piont	3479.5	3191.0	Compliance
	Total	4003.6	4045.6	Excess	Total	3951.7	3625.5	Compliance
MH-B	Point	5456.5	3446.0	Compliance	Point	5480.7	3942.9	Compliance
	Non-piont	10224.3	9382.2	Compliance	Non-piont	10746.1	9619.7	Compliance
	Total	15680.8	12828.2	Compliance	Total	16226.7	13562.5	Compliance
MH-C	Point	583.6	381.5	Compliance	Point	580.9	340.6	Compliance
	Non-piont	3092.0	2981.5	Compliance	Non-piont	3035.4	3085.1	Excess
	Total	3675.6	3362.9	Compliance	Total	3616.3	3425.7	Compliance
NS-A	Point	1797.3	1704.2	Compliance	Point	1808.3	1535.2	Compliance
	Non-piont	7022.4	6692.7	Compliance	Non-piont	7027.8	6223.1	Compliance
	Total	8819.8	8396.9	Compliance	Total	8836.2	7758.3	Compliance

Appendix Table 2. Compliance with Allocated Load(T-P)(2021, 2022)

Unit Basin	2021				2022			
		Allocated Load	Pollutant Load			Allocated Load	Pollutant Load	
GB-C	Point	20.4	16.6	Compliance	Point	20.4	11.9	Compliance
	Non-piont	106.7	112.6	Excess	Non-piont	106.8	111.3	Excess
	Total	127.1	129.2	Excess	Total	127.2	123.2	Compliance
GB-D	Point	26.0	22.9	Compliance	Point	26.0	26.0	Compliance
	Non-piont	135.8	128.2	Compliance	Non-piont	135.7	125.1	Compliance
	Total	161.8	151.1	Compliance	Total	161.7	151.1	Compliance
GB-E	Point	23.2	17.0	Compliance	Point	22.9	15.2	Compliance
	Non-piont	109.1	102.7	Compliance	Non-piont	109.1	112.2	Excess
	Total	132.3	119.7	Compliance	Total	132.0	127.4	Compliance
GB-G	Point	23.4	16.1	Compliance	Point	25.3	15.1	Compliance
	Non-piont	62.8	44.5	Compliance	Non-piont	62.8	43.8	Compliance
	Total	86.2	60.6	Compliance	Total	88.1	58.9	Compliance
GB-J	Point	30.2	28.7	Compliance	Point	30.0	26.7	Compliance
	Non-piont	274.3	266.2	Compliance	Non-piont	272.2	269.4	Compliance
	Total	304.6	294.9	Compliance	Total	302.2	296.0	Compliance
GB-K	Point	81.4	76.7	Compliance	Point	81.8	62.0	Compliance
	Non-piont	454.0	443.6	Compliance	Non-piont	452.0	464.2	Excess
	Total	535.4	520.3	Compliance	Total	533.8	526.2	Compliance
GB-L	Point	101.8	64.3	Compliance	Point	103.0	63.4	Compliance
	Non-piont	485.1	430.1	Compliance	Non-piont	486.2	435.1	Compliance
	Total	586.9	494.4	Compliance	Total	589.2	498.5	Compliance
GC-A	Point	155.8	149.0	Compliance	Point	156.1	165.1	Excess
	Non-piont	231.3	221.0	Compliance	Non-piont	230.9	221.9	Compliance
	Total	387.1	370.0	Compliance	Total	386.9	387.1	Excess
MH-A	Point	138.1	101.2	Compliance	Point	137.1	115.2	Compliance
	Non-piont	605.1	620.3	Excess	Non-piont	627.9	569.8	Compliance
	Total	743.1	721.5	Compliance	Total	764.9	685.0	Compliance
ByC-A	Point	80.0	69.5	Compliance	Point	81.7	76.1	Compliance
	Non-piont	254.1	258.9	Excess	Non-piont	248.8	244.8	Compliance
	Total	334.1	328.3	Compliance	Total	330.5	320.9	Compliance
MH-B	Point	285.1	213.1	Compliance	Point	304.2	204.7	Compliance
	Non-piont	597.1	583.3	Compliance	Non-piont	668.5	652.3	Compliance
	Total	882.2	796.4	Compliance	Total	972.7	857.1	Compliance
MH-C	Point	46.6	36.0	Compliance	Point	46.1	28.9	Compliance
	Non-piont	220.7	212.8	Compliance	Non-piont	219.5	219.2	Compliance
	Total	267.3	248.9	Compliance	Total	265.6	248.1	Compliance
NS-A	Point	121.0	117.2	Compliance	Point	120.1	97.3	Compliance
	Non-piont	503.3	489.1	Compliance	Non-piont	504.1	464.6	Compliance
	Total	624.3	606.2	Compliance	Total	624.2	561.9	Compliance

Appendix Table 3. Target Water Quality Achievement Evaluation (LDC Method)

			GB-A			GB-B			GB-C		
			2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
			(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)
BOD	All	ratio (%)	25.4	21.1	17.1	7.6	7.0	7.2	28.8	18.4	9.0
	Evaluation (LDC①)		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	High Flow	ratio (%)	26.1	21.5	14.3	7.7	9.5	9.2	28.4	20.4	9.3
		Evaluation	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Low Flow	ratio (%)	23.3	20.4	20.0	7.5	0.0	4.3	29.5	6.3	7.1
		Evaluation	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Evaluation (LDC②)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	
T-P	All	ratio (%)	80.5	75.4	69.4	46.6	24.6	18.0	57.6	36.8	30.6
	Evaluation (LDC①)		×	×	×	×	○	○	×	×	×
	High Flow	ratio (%)	83.0	87.7	85.7	47.4	33.3	27.7	55.4	37.8	33.0
		Evaluation	×	×	×	×	×	○	×	×	×
	Low Flow	ratio (%)	73.3	59.2	52.7	45.0	0.0	4.3	61.4	31.3	14.3
		Evaluation	×	×	×	×	○	○	×	×	○
Evaluation (LDC②)		×	×	×	×	×	○	×	×	×	
			GB-D			GB-E			GB-F		
			2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
			(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)
BOD	All	ratio (%)	31.4	21.1	11.7	11.0	8.8	5.4	11.0	12.3	8.9
	Evaluation (LDC①)		×	○	○	○	○	○	○	○	○
	High Flow	ratio (%)	28.6	25.3	11.1	10.0	9.4	7.0	9.5	11.6	10.7
		Evaluation	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Low Flow	ratio (%)	38.2	12.8	12.5	12.1	8.0	3.7	13.6	13.3	7.1
		Evaluation	×	○	○	○	○	○	○	○	○
Evaluation (LDC②)		×	○	○	○	○	○	○	○	○	
T-P	All	ratio (%)	50.0	28.9	20.7	42.4	24.6	18.0	54.2	30.7	25.0
	Evaluation (LDC①)		×	○	○	×	○	○	×	×	○
	High Flow	ratio (%)	84	75	63	60	64	57	74	69	56
		Evaluation	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	Low Flow	ratio (%)	44.1	2.6	0.0	36.2	4.0	1.9	47.7	20.0	16.1
		Evaluation	×	○	○	×	○	○	×	○	○
Evaluation (LDC②)		×	×	×	×	×	×	×	×	×	

High Flow (Mid-range Flow, Moist Conditions, High Flow), Low Flow (Low Flow, Dry Conditions)

Excess Rate (%) = Excess/Data, Evaluation Standard : LDC Excess Rate 30%

Achieve : ●, Not achieve : ×

Appendix Table 3. Continued

			GB-G			GB-H			GB-I		
			2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
			(¹⁹ ~ ²¹)	(²⁰ ~ ²²)	(²¹ ~ ²³)	(¹⁹ ~ ²¹)	(²⁰ ~ ²²)	(²¹ ~ ²³)	(¹⁹ ~ ²¹)	(²⁰ ~ ²²)	(²¹ ~ ²³)
BOD	All	ratio (%)	14.4	9.0	9.8	42.6	35.1	36.9	46.6	40.4	42.6
	Evaluation (LDC①)		○	○	○	×	×	×	×	×	×
	High Flow	ratio (%)	10.5	8.3	10.8	42.0	34.8	27.6	47.7	40.3	41.4
		Evaluation	○	○	○	×	×	○	×	×	×
	Low Flow	ratio (%)	20.0	9.8	8.8	43.4	35.6	48.9	45.3	40.4	43.9
		Evaluation	○	○	○	×	×	×	×	×	×
Evaluation (LDC②)		○	○	○	×	×	×	×	×	×	
T-P	All	ratio (%)	35.6	16.6	14.3	37.7	21.9	19.4	27.1	11.4	7.8
	Evaluation (LDC①)		×	○	○	×	○	○	○	○	○
	High Flow	ratio (%)	37.2	22.6	23.1	47.8	31.9	31.0	30.8	17.7	13.8
		Evaluation	×	○	○	×	×	×	×	○	○
	Low Flow	ratio (%)	33.3	8.2	5.9	24.5	6.7	4.4	22.6	3.8	1.8
		Evaluation	×	○	○	○	○	○	○	○	○
Evaluation (LDC②)		×	○	○	×	×	×	×	○	○	
			GB-J			GB-K			GB-L		
			2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
			(¹⁹ ~ ²¹)	(²⁰ ~ ²²)	(²¹ ~ ²³)	(¹⁹ ~ ²¹)	(²⁰ ~ ²²)	(²¹ ~ ²³)	(¹⁹ ~ ²¹)	(²⁰ ~ ²²)	(²¹ ~ ²³)
BOD	All	ratio (%)	57.1	51.8	45.0	53.8	48.2	31.5	39.8	31.9	34.2
	Evaluation (LDC①)		×	×	×	×	×	×	×	×	×
	High Flow	ratio (%)	55.6	56.5	48.5	47.7	43.5	26.9	31.3	25.0	23.9
		Evaluation	×	×	×	×	×	○	×	○	○
	Low Flow	ratio (%)	58.9	44.4	39.5	61.1	55.6	38.6	50.0	42.2	50.0
		Evaluation	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Evaluation (LDC②)		×	×	×	×	×	×	×	×	×	
T-P	All	ratio (%)	35.3	15.8	9.0	37.0	21.9	14.4	34.7	15.9	14.4
	Evaluation (LDC①)		×	○	○	×	○	○	×	○	○
	High Flow	ratio (%)	42.9	23.2	14.7	49.2	33.3	23.9	45.3	25.0	23.9
		Evaluation	×	○	○	×	×	○	×	○	○
	Low Flow	ratio (%)	26.8	4.4	0.0	22.2	4.4	0.0	22.2	2.2	0.0
		Evaluation	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Evaluation (LDC②)		×	○	○	×	×	○	×	○	○	

High Flow (Mid-range Flow, Moist Conditions, High Flow), Low Flow (Low Flow, Dry Conditions)

Excess Rate (%) = Excess/Data, Evaluation Standard : LDC Excess Rate 30%

Achieve : ●, Not achieve : ×

Appendix Table 3. Continued

			CG-A			BoC-A			YD-A		
			2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
			(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)
BOD	All	ratio (%)	28.0	21.9	11.7	27.1	22.8	18.0	4.2	4.3	4.5
	Evaluation (LDC①)		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	High Flow	ratio (%)	24.1	20.8	10.3	27.6	24.6	17.5	3.4	3.9	5.3
		Evaluation	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Low Flow	ratio (%)	31.7	23.0	14.0	26.2	21.1	18.3	6.5	5.1	3.7
		Evaluation	×	○	○	○	○	○	○	○	○
Evaluation (LDC②)		×	○	○	○	○	○	○	○	○	
T-P	All	ratio (%)	35.6	22.8	18.0	33.9	22.8	17.1	14.3	4.3	1.8
	Evaluation (LDC①)		×	○	○	×	○	○	○	○	○
	High Flow	ratio (%)	48.3	39.6	23.5	46.1	43.9	37.5	15.9	6.6	3.5
		Evaluation	×	×	○	×	×	×	○	○	○
	Low Flow	ratio (%)	23.3	8.2	9.3	11.9	1.8	5.6	9.7	0.0	0.0
		Evaluation	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Evaluation (LDC②)		×	×	○	×	×	×	○	○	○	
			GC-A			MH-A			ByC-A		
			2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
			(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)	(¹ 19~ ² 21)	(¹ 20~ ² 22)	(¹ 21~ ² 23)
BOD	All	ratio (%)	17.8	13.2	14.3	43.6	37.7	38.4	57.1	47.8	60.4
	Evaluation (LDC①)		○	○	○	×	×	×	×	×	×
	High Flow	ratio (%)	13.3	13.4	14.5	21.6	27.2	31.4	43.8	37.9	49.4
		Evaluation	○	○	○	○	○	×	×	×	×
	Low Flow	ratio (%)	25.0	12.9	14.1	81.4	63.6	61.5	84.6	78.6	87.5
		Evaluation	○	○	○	×	×	×	×	×	×
Evaluation (LDC②)		○	○	○	×	×	×	×	×	×	
T-P	All	ratio (%)	37.7	27.1	26.3	43.6	31.6	33.9	64.7	60.0	73.9
	Evaluation (LDC①)		×	○	○	×	×	×	×	×	×
	High Flow	ratio (%)	33.3	29.3	24.2	33.8	32.1	37.2	58.8	57.5	72.2
		Evaluation	×	○	○	×	×	×	×	×	×
	Low Flow	ratio (%)	44.6	24.2	28.2	60.5	30.3	23.1	76.9	67.9	78.1
		Evaluation	×	○	○	×	×	○	×	×	×
Evaluation (LDC②)		×	○	○	×	×	×	×	×	×	

High Flow (Mid-range Flow, Moist Conditions, High Flow), Low Flow (Low Flow, Dry Conditions)

Excess Rate (%) = Excess/Data, Evaluation Standard : LDC Excess Rate 30%

Achieve : ●, Not achieve : ×

Appendix Table 3. Continued

		MH-B			MH-C			NS-A			
		2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	
		(’19~’21)	(’20~’22)	(’21~’23)	(’19~’21)	(’20~’22)	(’21~’23)	(’19~’21)	(’20~’22)	(’21~’23)	
BOD	All	ratio (%)	52.1	43.5	38.7	44.6	35.4	37.4	49.3	35.2	32.8
	Evaluation (LDC①)		×	×	×	×	×	×	×	×	×
	High Flow	ratio (%)	42.5	36.2	27.7	28.0	24.3	22.9	48.4	38.8	34.3
		Evaluation	×	×	○	○	○	○	×	×	×
	Low Flow	ratio (%)	67.4	76.2	71.4	72.7	61.4	62.5	51.0	30.6	31.3
		Evaluation	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Evaluation (LDC②)		×	×	×	×	×	×	×	×	×	
T-P	All	ratio (%)	58.8	43.5	36.9	41.2	28.6	28.2	41.7	32.4	34.3
	Evaluation (LDC①)		×	×	×	×	○	○	×	×	×
	High Flow	ratio (%)	58.9	44.7	41.0	43.0	37.9	41.0	43.2	38.8	38.6
		Evaluation	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	Low Flow	ratio (%)	58.7	38.1	25.0	38.2	6.8	6.3	38.8	24.2	29.7
		Evaluation	×	×	○	×	○	○	×	○	○
Evaluation (LDC②)		×	×	×	×	×	×	×	×	×	

High Flow (Mid-range Flow, Moist Conditions, High Flow), Low Flow (Low Flow, Dry Conditions)

Excess Rate (%) = Excess/Data, Evaluation Standard : LDC Excess Rate 30%

Achieve : ●, Not achieve : ×