

부하지속곡선(Load Duration Curve; LDC)을 이용한 한강수계 오염총량관리 목표수질 평가방법 적용 방안

김은경* · 류지철 · 김홍태 · 김용석 · 신동석†

국립환경과학원 유역총량연구과

Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Achievement Rate of Target Water Quality in the Han-River Watersheds

Eunkyoung Kim* · Jichul Ryu · Hongtae Kim · Yongseok Kim · Dongseok Shin†

National Institute of Environmental Research Watershed Pollution Load Management Research Division
(Received 11 October 2015, Revised 26 November 2015, Accepted 27 November 2015)

Abstract

Water quality in four major river basin in Korea was managed with Total Maximum Daily Load (TMDL) System. The unit watershed in TMDL system has been evaluated with Target Water Quality (TWQ) assessment using average water quality, without considering its volume of water quantity. As results, although unit watershed are obtained its TWQ, its allocated loads were not satisfied and vice versa. To solve these problems, a number of TWQ assessments with using Load Duration Curve (LDC) have been studied at other watersheds. The purpose of this study was to evaluate achievement of TWQ with Flow Duration Curve (FDC) and Load Duration Curve(LDC) at 26 unit watersheds in Han river basin. The results showed that achievement rates in TWQ assessment with current method and with LDC were 50~56 % and 69~73%, respectively. Because of increasing about 20% of achievement rates with using LDC, the number of exceeded unit watershed at Han river Basin was decreased about 4~6 unit watersheds.

Key words : Han-River, LDC (Load Duration Curve), Target Water Quality, TMDLs (Total Maximum Daily Loads)

1. Introduction

수질오염총량제는 유역으로부터 배출되는 오염부하량을 관리하여 최종년도(단계 내)의 목표수질을 달성 및 유지하고자 하는 제도이다(MOE, 2013). 할당부하량 및 목표수질의 달성여부는 삭감계획 및 개발계획에 영향을 주기 때문에 단위유역의 말단지점에서의 수질을 정확하게 평가하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

현재의 목표수질 평가방법은 4대강 수계법(MOE, 2015)에 따라 시행계획 수립대상을 결정하기 위하여 평가하는 방법으로 과거3년 평균수질로 평가하는 것이다. 이 방법은 하천의 유량변화에 따른 수질변화를 반영하지 못하는 한계가 있어서 목표수질 달성여부 평가시 배출부하량은 초과하지만 목표수질은 만족하는 경우가 있으며 이와 반대로 배출부하량은 만족하지만 목표수질은 만족하지 못하여 배출부하량과 목표수질의 상관관계가 제대로 반영되지 않는 경우가 생기기도 한다.

하천의 각 단위유역에서는 지리적 위치, 지형적 특성에 따라 유량변화는 다양하게 나타나며 유역으로부터 배출되는 오염부하량이 동일하더라도 하천의 유량변화에 따라 단위유역 말단 지점에서의 수질변화는 여러 가지 형태로 나타나게 된다(Park and Oh, 2012). 목표수질 달성여부를 평가할 경우, 단위유역의 수질자료만 가지고 평가할 경우에는 하천 유량변화에 따른 수질변화를 고려하기가 어려우므로, 극심한 가뭄이나 홍수 등과 같이 하천의 유량변화가 크게 나타나는 경우에는 평가의 왜곡을 초래할 수 있으므로 보다 실제적인 평가가 이루어지기 위해서는 하천의 유량조건에 따라 나타나는 수질변화 또는 오염부하의 크기 등을 고려하여 목표수질 달성여부를 평가할 수 있는 방법이 필요하다(Park et al., 2012).

단위유역의 유량 및 오염부하량 자료를 바탕으로 작성되는 오염부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)은 하천의 전체 유량조건에 대한 수질 및 부하량 특성을 파악할 수 있는 곡선으로 미국 환경보호청에서는 오염총량관리계획 수립을 위한 LDC 이용지침서를 제공하고 있으며, LDC를 이용하여 현재의 오염부하량, 할당부하량, 및 삭감부하량을 산정하는 등 총량관리 계획수립에 활용하고 있다(U.S. EPA, 2007). 최근 우리나라에서도 수질오염총량제도의 개선과 보완을 위하여 부하지속곡선의 수질오염총량제 적용에 대한

* 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.

필요성이 대두되고 있으며, 이에 관한 연구가 활발히 진행 중이다(Hwang et al., 2011; Kang et al., 2011; Park and Oh, 2012; Park et al., 2013; Yun et al., 2013). Hwang et al. (2011)의 연구에서는 낙동강수계를 대상으로 현재의 목표수질 평가방법과 LDC에 의한 평가방법으로 비교 분석하여 개선방안을 제시하였다. 하지만 대부분 LDC평가방법의 도입이 기술적 타당성 검토 정도의 수준이거나 BOD평가에 한정되었고 BOD, T-P에 대해 현행평가방법인 3년 연속 2회 평가에 따른 결과를 비교 평가하여 제시하지는 않았다.

따라서 본 연구의 목적은 현재 총량관리 시행중인 한강수계 26개 단위유역을 대상으로 유량지속곡선(Flow Duration Curve, FDC) 및 LDC를 분석하고 분석된 자료를 바탕으로 현행방법인 최근 3년 수질 연속 2회 평가 및 LDC방법과 비교분석하여 목표수질 평가방법 개선방안을 제시하고 총량제도 유연성 확대에 기여하고자 한다.

2. Materials and Methods

2.1. 연구대상지역

부하지속곡선을 이용한 총량관리 목표수질 달성여부 평

가대상지역은 한강수계를 대상으로 하였다. 한강수계는 4대강수계 중 가장 위쪽에 위치하고 있으며 남한강 및 북한강, 한강본류, 경안천 수계 등을 포함한 총 49개 단위유역으로 구성되어 있다(Fig. 1 참조). 그 중 해수유통구간 등 목표수질이 설정되어 있지 않은 단위유역을 제외하고 현재 총량관리 목표수질이 고시된 26개 단위유역을 대상으로 하여 본 연구를 진행하였다.

2.2. 부하지속곡선을 이용한 목표수질 평가방법

2.2.1. 현행 목표수질 평가방법의 한계점

총량관리에서 적용하고 있는 과거3년을 이용한 평균수질법은 4대강 수계법(MOE, 2015)에 따라 오염총량관리 시행계획 수립대상을 결정하기 위하여 평가하는 방법으로 총량관리 단위유역 목표수질지점의 8일 간격 수질측정자료를 사용하여 다음 식 (1)~(3)에 의해 평가한다. 여기서, 측정수질은 산정시점으로부터 과거 3년간 측정된 것으로 하며, 2회 연속 목표수질을 초과하는 지역에서는 오염총량관리 시행계획을 수립하여 시행한다(MOE, 2013).

$$\text{평균수질} = e^{(\frac{\text{변환평균수질} + \frac{\text{변환분산}}{2}}{e})} \tag{1}$$

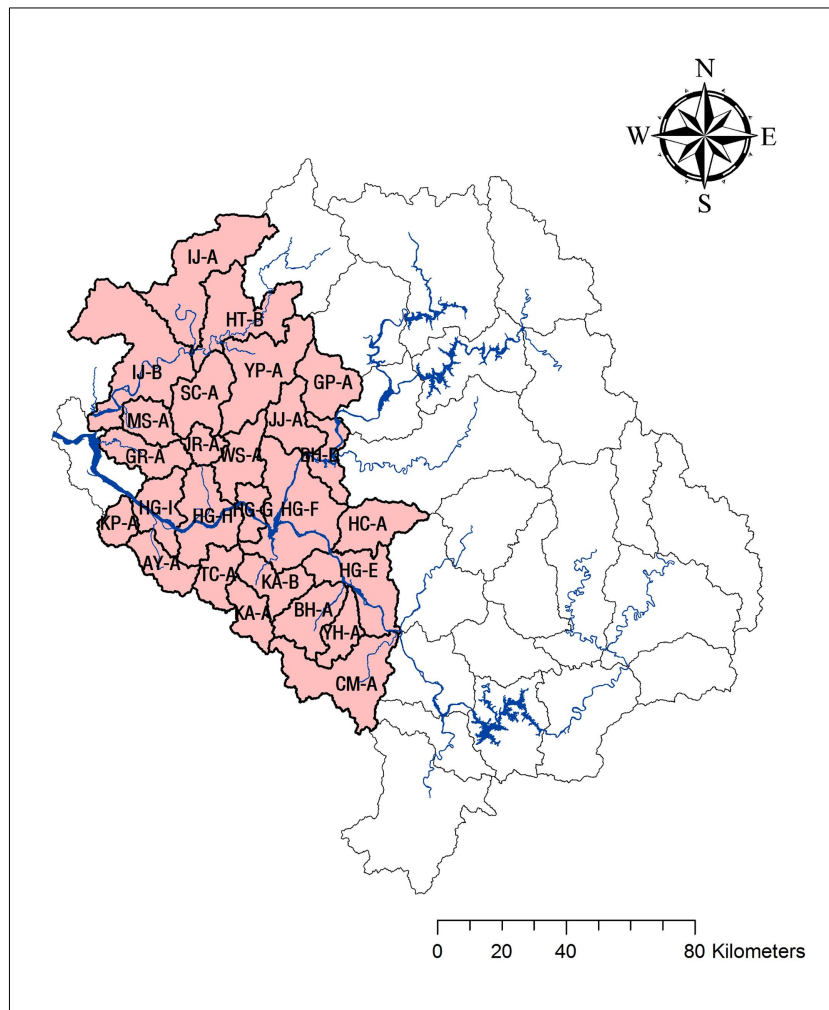


Fig. 1. Unit watershed map of Han river basin.

$$\text{변환평균수질} = \frac{\ln(\text{측정수질}) + \ln(\text{측정수질}) + \dots}{\text{측정횟수}} \quad (2)$$

$$\text{변환분산} = \frac{\{\ln(\text{측정수질}) - \text{변환평균수질}\}^2 + \dots}{\text{측정횟수} - 1} \quad (3)$$

현행의 평가방법은 과거 3년간의 평균수질을 나타내므로 당해연도의 수질을 대표하지 못할 수 있으며, 산정과정에서 대수변환과정을 거치므로 연평균수질방법과 다르게 나타날 수 있는 문제점 및 수질측정자료가 특정 유량구간에 편중되어 있을 경우에는 그 대표성이 떨어질 수 있는 한계점이 있다(Park and Oh, 2012).

2.2.2. 부하지속곡선(LDC)을 이용한 목표수질 평가방법

최근 TMDL의 이행평가 및 삭감계획에 널리 이용되고 있는 LDC는 하천의 전체 유량 조건에서 실측수질과 목표수질과의 관계를 나타내는 곡선이다(U. S. EPA, 2007). LDC는 오염총량관리 목표수질 및 부하량 등을 시각적으로 표현하므로 목표수질 초과 빈도수와 크기 등을 쉽게 알 수 있다. 또한 LDC는 목표수질을 초과하는 유량조건들을 용이하게 파악할 수 있으며, 목표수질 초과원인 등을 규명하는데 유용하게 사용된다(Nevada, 2003).

부하지속곡선 방법의 적용은 유량지속곡선(FDC) 생성, 부하지속곡선(LDC) 생성, 그리고 부하지속곡선에 실측자료를 도식화하는 과정으로 구분된다.

LDC 작성의 가장 기본이 되는 것은 총량관리 단위유역의 유행곡선이다. 단위유역의 유행곡선은 선행연구(Park et al., 2012)에서 8일 간격(환경부) 유량자료와 하천유량 연계지점(국토해양부)의 일유량 자료로 도출된 회귀식을 사용하여 산정된 일유량을 이용하여 작성하였다.

각 단위유역의 일유량자료는 2006~2010년 자료를 사용하였으며(일부 단위유역 제외) BOD와 T-P 대상물질에 대한 목표수질 초과여부를 평가하기 위한 실측자료는 2011~2014년 8일 간격 유량 및 수질측정자료(NIER, 2014)를 이용하였다. 부하지속곡선에 실측부하량을 도시하여 초과율이 50% 이하이면 목표수질을 달성하는 것으로 평가하였다.

추가적으로 각 단위유역의 기준유량 조건에 해당되는 실측평균수질(기준유량의 ±20% 범위 내 실측유량에 해당되는 수질의 평균값)로 목표수질 달성여부를 평가하여 비교하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 적용결과

유량지속곡선을 도식화하기 위해 총량관리 단위유역의 부분계측 유량자료를 일유량자료로 확장하기 위해 8일 간격(환경부) 유량자료와 하천유량 연계지점(국토해양부)의 일유량 자료를 이용하여 도출한 선행연구의 단위유역별 회귀식을 사용하였다(Park et al., 2012).

하천유량측정망의 일유량 자료(2006~2010년)를 회귀식에 적용하여 각 총량단위유역별 일유량 자료를 도출하였다. 양화A 등의 일부 단위유역은 국토해양부 자료의 부족으로 1년 유량자료를 사용하였다.

도출된 일유량 자료를 최대유량에서 최소유량 순으로 배열하여 특정유량을 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 도시화한 유량지속곡선을 Fig. 2와 같이 작성하였다.

작성된 일유량 자료와 총량관리 대상물질별(BOD, T-P) 목표수질을 이용하여 부하지속곡선을 작성한 후 목표수질 초과여부를 평가하기 위해 측정자료(실측유량과 수질농도)를 도식화한 그림은 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

실측자료는 총량관리에서 적용하고 있는 과거3년 평균수질법에 따라 최근 3년수질 2011~2013년(1회), 2012~2014년(2회) 자료를 사용하여 부하지속곡선에 도식화하여 목표수질 달성여부를 평가하였다. 일반적으로 부하지속곡선의 고유량 기간 동안에 나타나는 목표수질 초과현상은 비점오염원에 의하여 발생되며, 저유량 기간 동안에 나타나는 목표수질 초과현상은 점오염원에 의하여 발생하는 문제이다(Nevada, 2003). 일례로 한강I(HG-I) 단위유역은 BOD의 경우 현행방법 및 LDC방법 모두 목표수질을 만족하나 T-P의 경우 두 방법 모두 목표수질을 초과하는 것으로 나타났다(Table 1, Table 2 참조). 이는 아래 Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 실측수질이 오른쪽 저유량 시기에서 현저하게 목

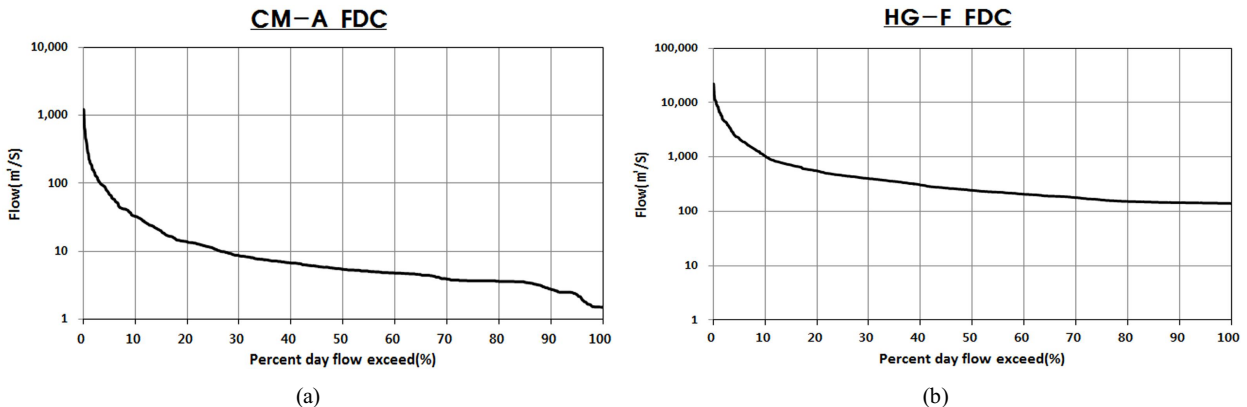


Fig. 2. Results of FDC (example). (a) CM-A FDC, (b) HG-F FDC

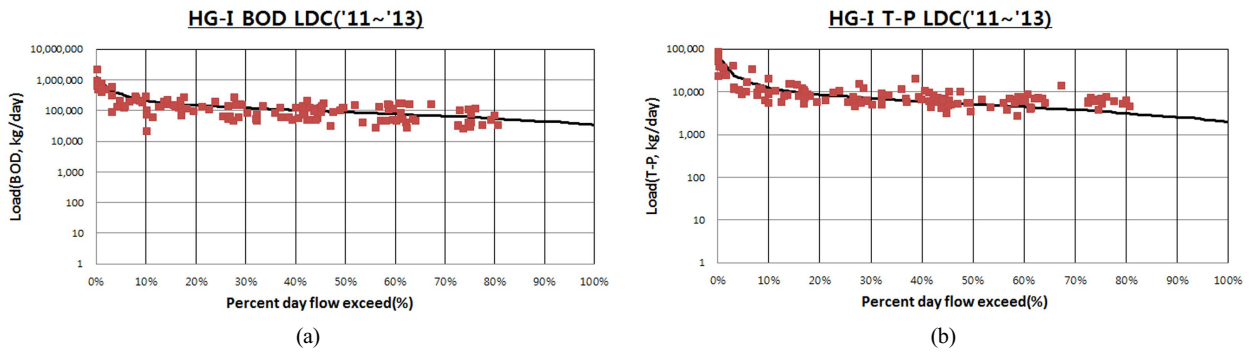


Fig. 3. Results of LDC ('11~'13, Example). (a) HG-I BOD LDC, (b) HG-I T-P LDC

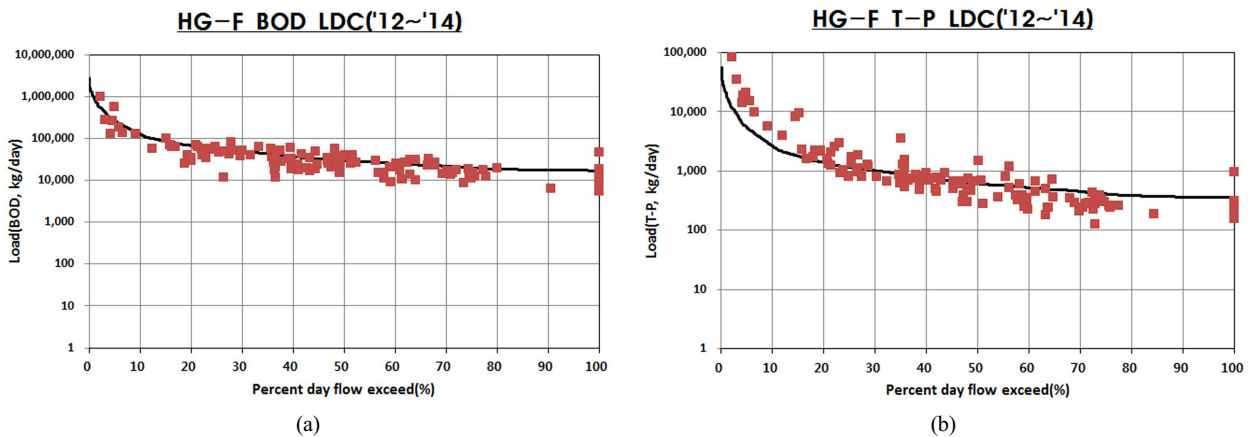


Fig. 4. Results of LDC ('12~'14, Example). (a) HG-F BOD LDC, (b) HG-F T-P LDC

표수질을 초과하여 점오염원에 기인한 것으로 판단되어 추 후 점오염원을 중심으로 수질관리를 해야 할 것으로 보여 진다. 그러므로 환경기초시설 방류수질 개선 등의 점오염원 삭감방안이 필요할 것으로 판단된다.

이와 같이 LDC 적용예인 Fig. 3과 Fig. 4 등의 LDC결과를 활용하면 목표수질이 어느 유황조건에서 초과하는지 판정이 가능하기 때문에 중점관리대상(점/비점오염원)의 선택이 가능해져 총량계획의 삭감계획 수립이나 이행평가시 할당부하 량 초과원인 분석 등에 사용될 수 있을 것으로 보인다.

3.2. 평가방법별 결과비교

현행 평가방법과 LDC평가방법, 기준유량조건 평가방법의 결과를 비교하였다. 각 방법별로 다르게 나타났으나 LDC 평가방법에 의한 방법이 기존방법보다 목표수질 달성 단위 유역이 약 20% 정도 (4~6개 단위유역) 추가되는 것으로 나타났다(Table 1, Table 2 참조). 영평A(YP-A) 단위유역의 경우 Table 1에서 보면 기존평가방법에 의한 평가수질이 '11~'13년 3.6mg/L, '12~'14년 4.5mg/L로 평가되어 목표수 질인 3.5mg/를 2회 연속 초과하여 현재 BOD 시행계획 추 가 수립 중에 있다. 하지만, LDC 방법으로 평가할 경우 목 표수질을 '12~'14년(1회)만 초과한 것(초과율 57%)으로 평 가되어 추가수립이 불필요해진다.

3.2.1. 전체단위유역의 평가방법별 목표수질 달성율

최근 3년 수질인 2011~2013년(1회) 및 2012~2014년(2회)

에 대하여 각각 평가하였으며, 2회연속 달성율 및 초과율 에 대하여 평가 후 정리하였다.

평가결과 BOD의 달성율은 평가수질 50.0%, LDC평가 69.2%, 기준유량조건 평가 51.9%로 평가수질과 기준유량조 건평가 방법은 유사하고 LDC평가는 달성율이 높게 나타났다. 반면, T-P의 달성율은 평가수질 55.8%, LDC평가 73.1%, 기준유량조건 평가 69.2%로 각각 다르게 나타났지만 BOD 의 결과와 같이 LDC평가에 의한 결과가 달성율이 가장 높 은 것으로 나타났다(Table 3 참조).

2회 연속 달성율도 세가지 방법 중 BOD, T-P 모두 LDC 평가에 의한 방법이 가장 높게 나타났으며, 2회 연속 초과 율은 LDC평가방법이 가장 적게 나타났다.

3.2.2. 분류 및 지류의 평가방법별 목표수질 달성율

분류 및 지류의 평가방법별 목표수질 달성율을 비교하였 다. 한강수계의 경우 본 연구에 적용된 26개의 단위유역 중 6개의 단위유역이 분류(한강 및 북한강 분류 단위유역) 에 해당하며 나머지 20개는 지류로 구분하여 결과를 정리 하였다(Table 4 참조)

평가결과 BOD의 경우 분류의 달성율은 평가수질 75.0%, LDC평가 83.3%, 기준유량조건 평가 33.3%로 LDC평가가 달성율이 가장 높게 나타났다. 지류의 달성율도 평가수질 42.5%, LDC평가 65.0%, 기준유량조건 평가 30.0%로 LDC 평가에 의한 결과가 달성율이 가장 높은 것으로 나타났다. T-P의 경우 분류의 달성율은 평가수질 41.7%, LDC평가

Table 1. Results evaluated water quality by current method and LDC method (BOD)

Unit watershed	TWQ	EWQ (current)		EWQ (LDC)		EWQ (SF)			EWQ (current)		EWQ (LDC)		EWQ (SF)		
		'11~'13	Evaluation	Excess rate	Evaluation	Condition	Average	Evaluation	'12~'14	Evaluation	Excess rate	Evaluation	Condition	Average	Evaluation
CM-A	2.0	2.3	×	43%	○	Q ₂₇₅	2.2	×	2.5	×	48%	○	Q ₂₇₅	2.0	×
YH-A	1.7	2.1	×	45%	○	Q ₂₇₅	1.9	×	2.2	×	50%	○	Q ₂₇₅	1.3	○
BH-A	2.1	2.7	×	54%	×	Q ₂₇₅	3.0	×	3.1	×	61%	×	Q ₂₇₅	3.3	×
HG-E	1.4	1.4	○	40%	○	Q ₂₇₅	1.8	×	1.5	×	48%	○	Q ₂₇₅	1.8	×
HC-A	0.8	1.1	×	67%	×	Q ₂₇₅	0.8	×	1.2	×	68%	×	Q ₂₇₅	1.1	×
GP-A	0.7	0.7	○	47%	○	Q ₂₇₅	0.9	×	0.8	×	50%	×	Q ₂₇₅	0.8	×
BH-D	0.8	1.0	×	70%	×	Q ₂₇₅	0.9	×	0.9	×	65%	×	Q ₂₇₅	1.0	×
JJ-A	1.1	1.0	○	23%	○	Q ₂₇₅	1.1	○	1.1	○	37%	○	Q ₂₇₅	1.1	×
KA-A	3.7	3.2	○	30%	○	Q ₂₇₅	4.9	×	3.7	○	41%	○	Q ₂₇₅	5.3	×
KA-B	2.6	2.4	○	32%	○	Q ₂₇₅	2.9	×	2.7	×	40%	○	Q ₂₇₅	3.4	×
HG-F	1.4	1.2	○	36%	○	Q ₂₇₅	1.1	○	1.2	○	30%	○	Q ₂₇₅	1.1	○
WS-A	7.9	6.2	○	28%	○	Q ₂₇₅	7.2	○	5.4	○	21%	○	Q ₂₇₅	5.7	○
HG-G	1.7	1.6	○	44%	○	Q ₂₇₅	1.8	×	1.6	○	43%	○	Q ₂₇₅	1.8	×
TC-A	6.8	9.4	×	57%	×	Q ₂₇₅	10.4	×	8.1	×	44%	○	Q ₂₇₅	8.7	×
JR-A	8.6	5.1	○	11%	○	Q ₂₇₅	5.8	○	4.7	○	7%	○	Q ₂₇₅	4.8	○
HG-H	3.7	2.5	○	23%	○	Q ₂₇₅	2.9	○	2.4	○	16%	○	Q ₂₇₅	2.7	○
AY-A	6.2	4.8	○	19%	○	Q ₂₇₅	3.9	○	5.3	○	20%	○	Q ₂₇₅	4.0	○
HG-I	4.1	3.8	○	37%	○	Q ₂₇₅	4.4	×	4.0	○	45%	○	Q ₂₇₅	4.7	×
KP-A	7.9	8.4	×	39%	○	Q ₂₇₅	8.7	×	7.1	○	32%	○	Q ₂₇₅	6.9	○
GR-A	6.6	5.6	○	31%	○	Q ₂₇₅	4.9	○	6.3	○	36%	○	Q ₂₇₅	6.8	×
IJ-A	0.6	0.8	×	65%	×	Q ₂₇₅	1.0	×	0.9	×	67%	×	Q ₂₇₅	1.0	×
YP-A	3.5	3.6	×	43%	○	Q ₂₇₅	3.1	○	4.5	×	57%	×	Q ₂₇₅	4.5	×
SC-A	9.0	12.6	×	62%	×	Q ₂₇₅	20.2	×	13.1	×	68%	×	Q ₂₇₅	18.6	×
HT-B	3.3	3.7	×	56%	×	Q ₂₇₅	-	-	4.4	×	39%	○	Q ₂₇₅	-	-
MS-A	4.0	3.5	○	30%	○	Q ₂₇₅	3.9	○	3.9	○	37%	○	Q ₂₇₅	4.2	×
IJ-B	1.2	1.7	×	69%	×	Q ₂₇₅	1.5	×	2.1	×	78%	×	Q ₂₇₅	2.2	×

TWQ : Target Water Quality, SF : Standard Flow
 EWQ : Estimation Water Quality
 Evaluation : Evaluation of the TWQ(Achieve is “○”, Not achieve is “×”)

Table 2. Results evaluated water quality by current method and LDC method (T-P)

Unit watershed	TWQ	EWQ (current)		EWQ (LDC)		EWQ (SF)			EWQ (current)		EWQ (LDC)		EWQ (SF)		
		'11~'13	Evaluation	Excess rate	Evaluation	Condition	Average	Evaluation	'12~'14	Evaluation	Excess rate	Evaluation	Condition	Average	Evaluation
CM-A	0.057	0.116	×	85%	×	Q ₁₈₅	0.072	×	0.118	×	78%	×	Q ₁₈₅	0.077	×
YH-A	0.158	0.183	×	36%	○	Q ₁₈₅	0.137	○	0.176	×	35%	○	Q ₁₈₅	0.120	○
BH-A	0.168	0.155	○	17%	○	Q ₁₈₅	0.125	○	0.165	○	23%	○	Q ₁₈₅	0.128	○
HG-E	0.063	0.066	×	29%	○	Q ₁₈₅	0.045	○	0.056	○	28%	○	Q ₁₈₅	0.039	○
HC-A	0.025	0.034	×	58%	×	Q ₁₈₅	0.027	×	0.033	×	52%	×	Q ₁₈₅	0.030	×
GP-A	0.014	0.017	×	58%	×	Q ₁₈₅	0.011	○	0.016	×	48%	○	Q ₁₈₅	0.011	○
BH-D	0.020	0.022	×	45%	○	Q ₂₇₅	0.020	○	0.017	○	32%	○	Q ₂₇₅	0.018	○
JJ-A	0.027	0.026	○	23%	○	Q ₁₈₅	0.021	○	0.025	○	22%	○	Q ₁₈₅	0.023	○
KA-A	0.293	0.131	○	13%	○	Q ₁₈₅	0.166	○	0.082	○	0%	○	Q ₁₈₅	0.078	○
KA-B	0.164	0.084	○	8%	○	Q ₁₈₅	0.091	○	0.065	○	2%	○	Q ₁₈₅	0.060	○
HG-F	0.030	0.041	×	61%	×	Q ₁₈₅	0.029	○	0.034	×	41%	○	Q ₁₈₅	0.027	○
WS-A	0.733	0.572	○	27%	○	Q ₂₇₅	0.525	○	0.420	○	15%	○	Q ₂₇₅	0.368	○
HG-G	0.042	0.043	×	30%	○	Q ₁₈₅	0.033	○	0.037	○	25%	○	Q ₁₈₅	0.031	○
TC-A	0.454	0.501	×	48%	○	Q ₁₈₅	0.534	×	0.535	×	48%	○	Q ₁₈₅	0.534	×
JR-A	0.575	0.340	○	11%	○	Q ₁₈₅	0.312	○	0.253	○	4%	○	Q ₁₈₅	0.209	○
HG-H	0.200	0.159	○	27%	○	Q ₂₇₅	0.226	×	0.174	○	28%	○	Q ₂₇₅	0.215	×
AY-A	0.558	0.332	○	6%	○	Q ₂₇₅	0.359	○	0.252	○	4%	○	Q ₂₇₅	0.338	○
HG-I	0.236	0.272	×	54%	×	Q ₂₇₅	0.423	×	0.282	×	64%	×	Q ₂₇₅	0.348	×

Table 2. Results evaluated water quality by current method and LDC method (T-P) (continue)

Unit watershed	TWQ	EWQ (current)		EWQ (LDC)		EWQ (SF)			EWQ (current)		EWQ (LDC)		EWQ (SF)		
		'11~'13	Evaluation	Excess rate	Evaluation	Condition	Average	Evaluation	'12~'14	Evaluation	Excess rate	Evaluation	Condition	Average	Evaluation
KP-A	0.959	1.536	×	64%	×	Q ₂₇₅	1.547	×	1.505	×	65%	×	Q ₂₇₅	1.491	×
GR-A	0.298	0.221	○	18%	○	Q ₂₇₅	0.248	○	0.217	○	12%	○	Q ₂₇₅	0.218	○
IJ-A	0.013	0.022	×	85%	×	Q ₁₈₅	0.026	×	0.023	×	84%	×	Q ₁₈₅	0.020	×
YP-A	0.147	0.101	○	12%	○	Q ₁₈₅	0.087	○	0.114	○	21%	○	Q ₁₈₅	0.091	○
SC-A	0.363	0.227	○	10%	○	Q ₂₇₅	0.196	○	0.247	○	13%	○	Q ₂₇₅	0.252	○
HT-B	0.140	0.113	○	24%	○	Q ₁₈₅	0.137	○	0.119	○	14%	○	Q ₁₈₅	0.118	○
MS-A	0.189	0.151	○	21%	○	Q ₁₈₅	0.141	○	0.178	○	31%	○	Q ₁₈₅	0.146	○
IJ-B	0.044	0.064	×	78%	×	Q ₂₇₅	0.058	×	0.072	×	81%	×	Q ₂₇₅	0.058	×

TWQ : Target Water Quality, SF : Standard Flow
 EWQ : Estimation Water Quality
 Evaluation : Evaluation of the TWQ(Achieve is “○”, Not achieve is “×”)

Table 3. Each evaluation method result of achievement rate of TWQ

Method	EWQ (current)				EWQ (LDC)				EWQ (SF)			
	BOD		T-P		BOD		T-P		BOD		T-P	
Target materials												
Evaluated year	'11~'13	'12~'14	'11~'13	'12~'14	'11~'13	'12~'14	'11~'13	'12~'14	'11~'13	'12~'14	'11~'13	'12~'14
Achievement rate (%)	53.8	46.2	50.0	61.5	69.2	69.2	69.2	76.9	34.6	69.2	69.2	69.2
average	50.0		55.8		69.2		73.1		51.9		69.2	
Rate1 (%)	42.3		50.0		61.5		69.2		19.2		69.2	
Rate2 (%)	42.3		38.5		23.1		23.1		53.8		30.8	

Rate1 (%) : Consecutive achievement-rate for two times
 Rate2 (%) : Consecutive excess-rate for two times

Table 4. Each evaluation method result of achievement rate of TWQ

Method	EWQ (current)				EWQ (LDC)				EWQ (SF)			
	BOD		T-P		BOD		T-P		BOD		T-P	
Target materials												
Conditions	Main	Tri	Main	Tri	Main	Tri	Main	Tri	Main	Tri	Main	Tri
Achievement rate (%)	75.0	42.5	41.7	60.0	83.3	65.0	75.0	72.5	33.3	30.0	66.7	70.0
Rate1 (%)	66.7	35.0	16.7	60.0	83.3	55.0	66.7	70.0	33.3	15.0	66.7	70.0
Rate2 (%)	16.7	50.0	33.3	40.0	16.7	25.0	16.7	25.0	66.7	50.0	33.3	30.0

Main : mainstream of han-river (6 unit watersheds)
 Tri : tributary stream of han-river (20 unit watersheds)
 Rate1 (%) : Consecutive achievement-rate for two times
 Rate2 (%) : Consecutive excess-rate for two times

75.0%, 기준유량조건 평가 66.7%로 LDC평가가 달성율이 가장 높게 나타났으며, 지류의 달성율도 평가수질 60.0%, LDC평가 72.5%, 기준유량조건 평가 70.0%로 LDC평가에 의한 결과가 달성율이 가장 높은 것으로 나타났다.

2회 연속 달성율은 BOD의 경우 본류 및 지류에서 LDC 평가에 의한 방법이 달성율이 가장 높게 나타났으나, T-P의 경우는 LDC평가와 기준유량조건 평가의 결과가 유사한 패턴으로 평가율이 높게 나타났다. 2회 연속 초과율은 본류 및 지류에서 BOD, T-P 모두 LDC평가에서 가장 낮게 나타났다.

3.2.3. 유황구간별 목표수질 초과 단위유역 분석

BOD 및 T-P의 유황별 초과율을 기준유량 조건으로 상·하로 구분하여 대상물질별로 초과율을 평가하였으나 방법별로 큰 차이는 나타나지 않았다.

BOD의 초과율은 기준유량(저수기) 이상의 경우 평가수질

은 38%, LDC평가는 41%로 유사하게 나타났으며, 기준유량(저수기) 미만의 경우 평가수질은 53%, LDC평가는 51%로 유사하여 평가방법별 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

T-P의 초과율은 기준유량(저·평수기) 이상의 경우 평가수질은 36%, LDC평가는 37%로 유사하게 나타났으며, 기준유량(저·평수기) 미만의 경우 평가수질은 31%, LDC평가는 31%로 유사하여 BOD와 마찬가지로 평가방법별 차이는 거의 없는 것으로 나타났다(Table 5 참조).

4. Conclusion

본 연구에서는 총량관리제 시행으로 축적된 8일 간격의 유량 및 수질을 이용하여 현행 목표수질 평가방법과 LDC를 이용한 목표수질 평가방법 등을 비교하여 그 적정성을 검토하고자 한강수계의 총량시행 단위유역 26개에 적용하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

Table 5. Result of achievement rate of TWQ in the Condition of SF

Method	EWQ (current)				EWQ (LDC)			
	BOD		T-P		BOD		T-P	
	More than Q ₂₇₅	Less than Q ₂₇₅	More than Q ₁₈₅ (Q ₂₇₅)	Less than Q ₁₈₅ (Q ₂₇₅)	More than Q ₂₇₅	Less than Q ₂₇₅	More than Q ₁₈₅ (Q ₂₇₅)	Less than Q ₁₈₅ (Q ₂₇₅)
Achievement rate (%)	37.9	52.9	35.6	31.4	41.4	51.2	37.1	30.5

- 1) 현행규정에 의한 목표수질 평가방법은 달성율이 50~56%로 나타났으며, LDC에 의한 목표수질 평가방법은 달성율이 69~73%로 나타났다.
- 2) 목표수질 달성여부를 평가한 결과 LDC에 의한 평가방법이 현행 방법보다 약 20% (4~6개 단위구역) 정도 초과율이 줄었으며, 이는 현행방법이 하천의 유량변화에 따른 수질변화를 잘 고려하지 못한 까닭으로 보인다.
- 3) 본 연구에서 도출된 결과에 의해 LDC를 이용하여 목표수질을 평가할 경우 특정 유황조건 자료로 인한 목표수질 초과 판정이 감소되어 총량관련계획(시행계획 등) 수립 등의 행정소요를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 한강수계의 경우 현재 수립 중인 영평A 단위구역의 BOD 시행계획 추가 수립이 불필요해진다. 시행대상지역이 감소되는 효과는 지역현안 해결형 지류총량제 적극 도입 등 제도개선을 통해 총량제 유연성 확대에 활용될 수 있다.
- 4) 또한, 목표수질이 어느 유황조건에서 초과하는지 판정이 가능하기 때문에 중점관리대상오염원(점, 비점)의 선택이 가능해져 총량계획의 삭감계획이나 이행평가시 할당부하량 초과원인 분석 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구는 한강수계의 시행 단위구역인 26개 단위구역만 적용·평가한 결과로 타수계에도 LDC평가방법을 적용해보고 기존방법과의 비교 결과를 추가적으로 분석하여 LDC방법 적용의 타당성을 추가 검토해야 할 것으로 사료된다.

References

Hwang, H. S., Park, B. K., Kim, Y. S., Park, K. J., Cheon, S. U., and Lee, S. J. (2011). Research on the Applicability of the Load Duration Curve to Evaluate the Achievement of Target Water Quality in the Unit Watershed for a TMDL, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 27(6) pp. 885-895. [Korean Literature]

Kang, H. W., Ryu, J. C., Shin, M. H., Choi, J. D., Choi, J. W.,

Shin, D. S., and Lim, K. J. (2011). Application of Web-based Load Duration Curve System to TMDL Watersheds for Evaluation of Water Quality and Pollutant Loads, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 27(5), pp. 689-698. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2013). *Standard policy of TMDLs*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2015). *The laws of Water Management and Supporting Resident in Han-River Basin*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

National Institute of Environment Research (NIER). *Water Information System*, <http://water.nier.go.kr/smatMeasurement/select-Water.do> (accessed 2011~2014). [Korean Literature]

Nevada. (2003). *Load Duration Curve Methodology for Assessment and Total Maximum Daily Load Development*, Nevada Division of Environment Protection.

Park, J. D., Park, J. H., Oh, S. Y., Ahn, G. H., and Chai, Y. H. (2012). *Development of Long Term Flow Duration Curves for the Management of TMDLs*, NIER-RP2012-220, National Institute of Environment Research. [Korean Literature]

Park, J. D. and Oh, S. Y. (2012). Methodology for the Identification of Impaired Waters Using LDC for the Management of Total Maximum Daily Loads, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 28(5) pp. 693-703. [Korean Literature]

Park, J. H., Kim, K. S., Hwang, K. S., Lee, Y. W., and Lim, B. G. (2013). Application of Load Duration Curve and Estimation of Delivery Ratio by Flow Durations Using Discharge-Load Rating Curve at Jiseok Stream Watershed, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(4), pp. 523-530. [Korean Literature]

U. S. EPA Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. (2007). *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*, EPA 841-B-07-006

Yun, S. Y., Ryu, J. N., and Oh, J. I. (2013). Water Quality Management Measures for TMDL Unit Watershed Using Load Duration Curve, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 27(4) pp. 429-438. [Korean Literature]