

유량자료의 시간적 연속성 변화가 오염부하지속곡선에 미치는 영향 비교 분석

권필주 · 한정호 · 류지철* · 김홍태* · 임경재 · 김종건†

강원대학교 지역건설공학과

*국립환경과학원 유역총량연구과

Influence Analysis of Temporal Continuity Change of Flow Data on Load Duration Curve

Pil Ju Kwon · Jeong Ho Han · Ji chul Ryu* · Hong Tae Kim* · Kyoung Jae Lim · Jong Gun Kim†

Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University

*Watershed and Total Load Management Research Division, National Institute of Environmental Research

(Received 25 April 2017, Revised 28 June 2017, Accepted 3 July 2017)

Abstract

In Korea, TMDL is being implemented to manage nonpoint pollution sources as well as point pollution sources. LDC is being used for the planning of TMDL. In order to analyze the water quality using LDC, it is necessary to prepare FDC using the daily flow data. However, only the daily flow data is measured at the WAMIS branch, and 8days flow data and water quality data are measured at the monitoring Networks. So, in many researches, the water quality is being grasped by deriving the LDC using the 8days flow or the daily flow obtained by various methods. These fluctuations may lead to differences in determining whether the target load is achieved. In this study, each LDC was prepared using the 8day flow and the related daily flow. Then, the effect using different flow data on the achievement of target load was compared according to flow conditions. As a result, the difference ratio in the number of overloads under flow condition was showed 19% in high flows, 42% in moist conditions, 49% in mid-range flows, 41% in dry conditions, and 104% in low flows. In the top ten watershed with the highest difference ratio, the flow became lower the difference ration increases. These differences can cause uncertainty in assessing the achievement of target load using LDC. Therefore, in order to evaluate the water quality accurately and reliably using LDC, accurate daily flow data and water quality data should be secured through the installation of national nonpoint measurement network.

Key words : FDC, LDC, Pollutant loads, TMDL

1. Introduction

공공수역으로 유입되는 수질오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 특히 4대강으로 유입되는 전체 수질오염원 중에서 비점오염원이 차지하는 비율은 2003년에는 약 53%, 2010년에는 약 68%였으며, 2020년에는 약 72%에 달할 것으로 전망되는 등 비점오염원에 의한 부하율이 계속해서 증가 추세에 있다(MOE, 2013). 또한 점오염원은 유량이 일정하며 오염물질의 농도도 일정하기 때문에 기계식 처리장에서 처리가 용이한 반면 비점오염원은 유량의 변화가 크고 넓은 지역에서 발생하며 오염물질이 다양하기 때문에 점오염원에 비해 배출수를 처리하기 매우 어렵다(Seo et al., 2008). 이에 우리나라에서는 지역별로

점오염원과 비점오염원을 효율적으로 관리하기 위해 2004년부터 수질오염총량관리제(Total Maximum Daily Loads: TMDL)를 시행하고 있다(Hwang et al., 2011).

TMDL은 수계 구간별 목표수질을 설정하고 그 목표수질을 달성하고 유지하기 위해 허용 부하량을 산정하여 해당 단위유역 내에서 배출되는 오염물질의 총량이 목표수질을 넘지 않도록 규제 또는 관리하는 제도이다(Kang et al., 2007). 미국에서는 현재의 오염부하량, 할당부하량 및 삭감 부하량을 산정하는 등 TMDL 계획수립을 위해 오염부하지속곡선(Load Duration Curve: LDC)의 활용이 증가 되고 있다(U.S.EPA, 2007). LDC는 미국 Kansas주 보건 환경국에서 1998년 단일 기준유량의 문제점을 개선하기 위해 전체 유량 범위를 고려한 TMDL 평가 기법으로 개발되었으며, 현재 우리나라에서도 많은 연구에 활용되고 있다(Choi et al., 2012).

LDC를 이용하여 목표수질 달성여부 등을 정밀 분석하기 위해서는 일유량자료를 바탕으로 한 유량지속곡선의 작성이 선행되어야 하며(Park and Oh, 2012), 365일 연속적으

† To whom correspondence should be addressed.
kimjg23@gmail.com

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.

로 측정된 실측 유량자료를 이용하여 유량지속곡선을 작성하는 것이 가장 확실하고 정확한 방법이다. 그러나 현재 환경부에서는 총량관리 단위구역에서 평균 8일 간격으로 실측 유량 및 수질 측정이 이루어지고 있고, 특히 주로 청천시에 측정이 이루어지고 있어 고유량에 대한 모니터링이 부족한 실정이다. 그동안 국내 측정된 총량 측정망 자료를 살펴보면 강우 10 mm 이상일 때 측정된 자료는 전체 10% 이하이며, 50 mm 이상 강우시 측정된 자료는 1% 정도로 파악되고 있다. 이러한 이유로 많은 연구에서 부분 측정된 평균 8일 간격 유량을 그대로 사용하거나 해당 구역의 일유량자료를 확보하기 위해 다양한 방법을 사용하고 있는 실정이다.

환경부는 사용자 중심 시스템 개발을 위해 전국 단위 총량 측정망 유량 및 수질 자료를 활용하여 통합 DB를 구축하고 사용자의 편의성을 고려하여 LDC를 작성할 수 있는 데스크탑 기반 유량별 오염정도 평가 시스템을 개발하였다(MOE, 2014). Hwang et al. (2011)은 낙동강수계 Nakbon-A 단위유역을 대상으로 환경부에서 제공하는 8일 간격 실측 유량자료와 유역모형인 HSPF (Hydrological Simulation Program Fortran)로 생성한 일유량자료를 이용하여 LDC를 작성하고 유량 조건에 따른 수계 손상정도를 파악함으로써 LDC의 적용성을 연구하였다. Choi et al. (2012)은 환경부에서 제공하는 8일 간격 실측 유량자료와 국토부의 실시간 수위를 이용하여 수위-유량 관계곡선식을 개발하고, 이를 이용하여 산정한 일유량자료로 LDC를 작성하여 중랑천 유역의 유량 조건별 수질 특성을 평가하였다. Kang et al. (2007)은 유역모형인 SWAT (Soil and Water Assessment Tool)으로 생성한 장기간의 일유량자료와 목표수질을 이용하여 LDC를 작성하고 실측자료를 이용한 낙동강 본류 주요지점에 대한 수질오염총량 평가를 수행하였으며, Kim et al. (2012)은 환경부 8일유량자료와 USGS (United States Geological Survey) 일유량자료를 Web GIS 기반 LDC 시스템에 적용하여 우리나라 Nakbon-A, Geumbon-C 유역 그리고 미국의 Yellow river와 Brokenstraw Creek 유역의 유역 특성 및 오염부하 특성을 분석하였다. 그러나 이러한 유량자료의 변동은 유량지속곡선에 변화를 주고 결과적으로는 LDC를 이용한 목표수질 달성여부를 판단함에 있어 불확실성이 있다.

본 연구의 목적은 환경부 8일유량자료와 이와 연계성이 있는 국토부 일유량자료를 이용해 각각의 LDC를 작성하고, 이러한 유량자료의 시간적 연속성 변화가 LDC를 이용한 오염부하 특성 분석에 미치는 영향을 비교 분석하는데 있다.

2. Materials and Methods

2.1 연구대상유역

본 연구에서는 4대강 수계 142개 총량관리 단위구역 중, 환경부와 국토부의 데이터 신뢰도를 기준으로 연구대상 단위유역을 선정하였다. 연구대상유역을 선정하기 위해 적용한 기준조건은 다음과 같다. 우선 환경부 총량측정망과 연

계성이 있는 국토교통부 하천측정망(Park et al., 2012) 유량자료 중, 2013년부터 2015년까지 총 3년치의 유량자료가 존재하고, 10일 초과 반복유량이 존재하지 않으며, 0값과 결측값의 총 개수가 전체 유량자료 중 5% 이하로 존재하는 단위유역을 선정하였다. 다음으로 환경부 유량자료 중, 2013년부터 2015년까지 총 3년치의 유량자료와 수질자료가 존재하는 단위유역을 선정하였다. 마지막으로 이 두가지 조건을 모두 만족하는 지점을 최종 연구지역으로 선정하였다. 이러한 조건을 만족하는 유역은 한강수계에서 6개, 낙동강수계 13개, 금강 수계 18개, 그리고 영산강 수계에서 1개 지점으로 총 38개 단위유역이다(Table 1, Fig. 1).

2.2 일유량 확장 및 수질자료 수집

본 연구에서 사용한 유량자료는 2013년부터 2015년까지 총 3년 유량자료로서, 환경부에서 제공하는 8일 간격 총량 측정망 유량자료와 국토부에서 제공하는 하천유량 측정망 일유량자료이다. 총량측정망은 비연속적으로 측정되고 있기 때문에 일유량자료가 존재하지 않는다. 하지만 부분 측정되는 지점의 유량자료는 연속적으로 측정되고 있는 인접지점과의 상관관계 분석을 통해 해당지점에 대한 유량자료로 확장 할 수 있다(Hirsch, 1982; Mandal and Cunnane, 2009; Ries and Friesz, 2000; Zampella et al., 2001). 따라서 본 연구에서는 환경부 총량측정망 일유량자료를 대변할 수 있는 자료를 확보하기 위해 해당 지점과 상관관계가 있는 국토부 일유량 자료를 다음과 같은 방법으로 보정하였다.

우선 총량측정망과 상관관계가 있는 하천유량 연계지점을 선정하기 위해 Park et al. (2012)의 연구를 참고하였다.

Table 1. Study areas

4 Major Rivers	Watersheds	4 Major Rivers	Watersheds
Han River	Inbuk-A	Geum River	Geumbon-A
	Gapyeong-A		Geumbon-C
	Jojong-A		Chogang-A
	Hangang-A		Geumbon-E
	Hangang-B		Gapcheon-A
	Hangang-I		Miho-B
Nakdong River	Nakbon-A		Miho-C
	Nakbon-C		Geumbon-H
	Nakbon-D		Geumbon-I
	Gamcheon-A		Geumbon-J
	Nakbon-E		Geumbon-K
	Nakbon-F		Geumbon-L
	Nakbon-G		Jeonju-A
	Hwanggang-B	Tapcheon-A	
	Nakbon-H	Jeongeup-A	
	Namgang-E	Dongjin-A	
	Nakbon-I	Gobu-A	
Nakbon-J	Wonpyeong-A		
Nakbon-K	Yeongsan River	Yeongbon-B	



Fig. 1. Study areas.

이 연구에서는 총량측정망과 상관관계가 높은 하천유량측정망을 선정하기 위해 하천유량 측정상태에 대한 검토기준과 유량간 연관성에 대한 검토기준을 정하고(Fig. 2) 이러한 결과를 바탕으로 총량측정망과 가장 잘 부합되는 하천유량 연계지점을 선정하였다. 해당 연계지점의 유량자료를 국립환경과학원(Park et al., 2012)에서 제시한 일유량 확장회귀식에 적용하여 총량측정망에서는 측정되지 않은 날짜의 유량자료를 확보하였다. 이를 총량측정망 유량자료에서 결측된 부분에 삽입함으로써 최종적으로 총량 측정망 일유량자료를 대변 할 수 있는 연속적인 유량자료로 재 생성하였다.

수질자료의 경우, 환경부에서 제공하는 총량측정망 수질자료 중 BOD를 이용하였으며, 2013년부터 2015년까지 총

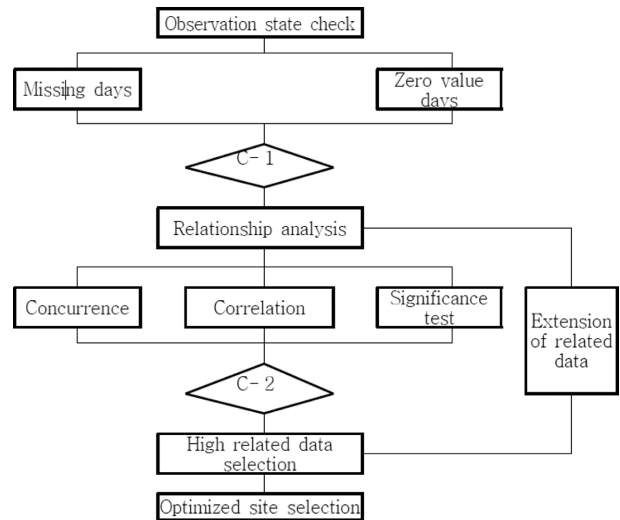


Fig. 2. The procedure for the selection of the stream flow reference sites (Park et al., 2012).

3년치의 자료를 사용하였다.

2.3 유량지속곡선(Flow Duration Curve, FDC)

유량지속곡선이란 하천의 전체 유량 조건에 대한 유량변화를 분석하는 기법으로서, 수역의 장단기유량변화 분석 및 수질변화 요인규명 등을 위한 중요한 도구로 사용되고 있다(Vogel and Fenessey, 1994). LDC를 작성하기 위해서는 선행적으로 FDC를 도식하여야 한다. 먼저 대상 유역에서 측정된 특정 기간 유량자료를 입력하여 고유량에서 저유량순으로 정렬하고 식 (1)을 이용하여 특정 유량을 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 작성할 수 있다(Ryu et al., 2016).

Percent of Days Flow Exceeded (%)

$$= \text{Rank} / \text{Number of data} * 100 \quad (1)$$

누적 유량은 유량 크기의 정도에 따라 0~10%는 홍수량(High flows) 조건, 10~40%는 풍수량(Moist conditions) 조건, 40~60%는 평수량(Mid-range flows) 조건, 60~90%는 저수량(Dry conditions) 조건, 마지막으로 90~100%는 갈수량(Low flows) 조건으로 구분하여 분석 할 수 있다(Cleland, 2003). 본 연구에서는 환경부에서 8일 간격으로 실측한 유량자료를 이용하여 첫 번째 FDC를 생성하였고, 앞서 확보한

Table 2. Potential relative importance of source area contributing to loads under given hydrologic conditions (U.S.EPA, 2007)

Contributing Source Area		Duration Curve Zone				
		High Flows	Moist Conditions	Mid-Range Flows	Dry Conditions	Low Flows
Point Source					Medium	High
Non-point Source	On-Site Wastewater Systems			High	Medium	
	Riparian Areas		High	High	High	
	Storm Water: Impervious Areas		High	High		
	Combined Sewer Overflows	High	High	High		
	Storm Water: Upland	High	High	Medium		
	Bank Erosion	High	Medium			

일유량 확장 자료를 이용하여 두 번째 FDC를 생성하였다.

2.4 오염부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)

오염부하지속곡선(LDC)은 해당 기간 동안의 관측 수질 및 유량자료를 도식화하여 전체 유량규모에 대한 모니터링 자료의 분포를 쉽게 확인할 수 있으며, 이를 이용해 하천 및 유역관리를 위한 최적의 유량 및 수질 모니터링 계획을 수립하는 데 유용하게 활용되는 기법이다(NDEP, 2003). LDC를 목표수질 평가에 적용할 때, U.S.EPA (2007)에서 제시한 유량 조건별 수질을 손상시키는 주된 오염원 자료 (Table 2)를 이용하면 적절한 수질 관리 방안을 마련하기도 효과적이다. LDC를 기준으로 상반부에 위치한 자료는 수질기준이 초과됨을 나타내고, 하반부에 위치한 자료는 수질기준이 준수됨을 나타낸다(Han et al., 2007). LDC는 선형적으로 작성한 FDC에 목표수질을 곱하여 작성하게 되는

데, 본 연구에서는 환경부에서 2012년부터 2015년까지 시행된 수질오염총량관리제도 3단계 목표수질 기준자료를 각 FDC에 동일하게 적용하여 LDC를 생성하였다.

3. Results and Discussion

3.1 8일유량과 일유량 확장유량에 대한 유량지속곡선(FDC) 비교분석

FDC에 목표수질을 적용하여 유량 조건별 부하량 차이를 비교하기 전, 8일 간격 유량자료로 생성한 FDC와 일유량 확장자료로 생성한 FDC의 차이를 비교해보았다. 이를 위해 2013년부터 2015년까지 총 3년 유량자료를 이용하여 각 단위유역 별 FDC를 도식화하였다. 그 결과 연구대상지인 38개 지점 전체에서 8일유량과 일유량 FDC 사이에 차이가 발생하였다(Fig. 3). 2013년부터 2015년까지 총 강우

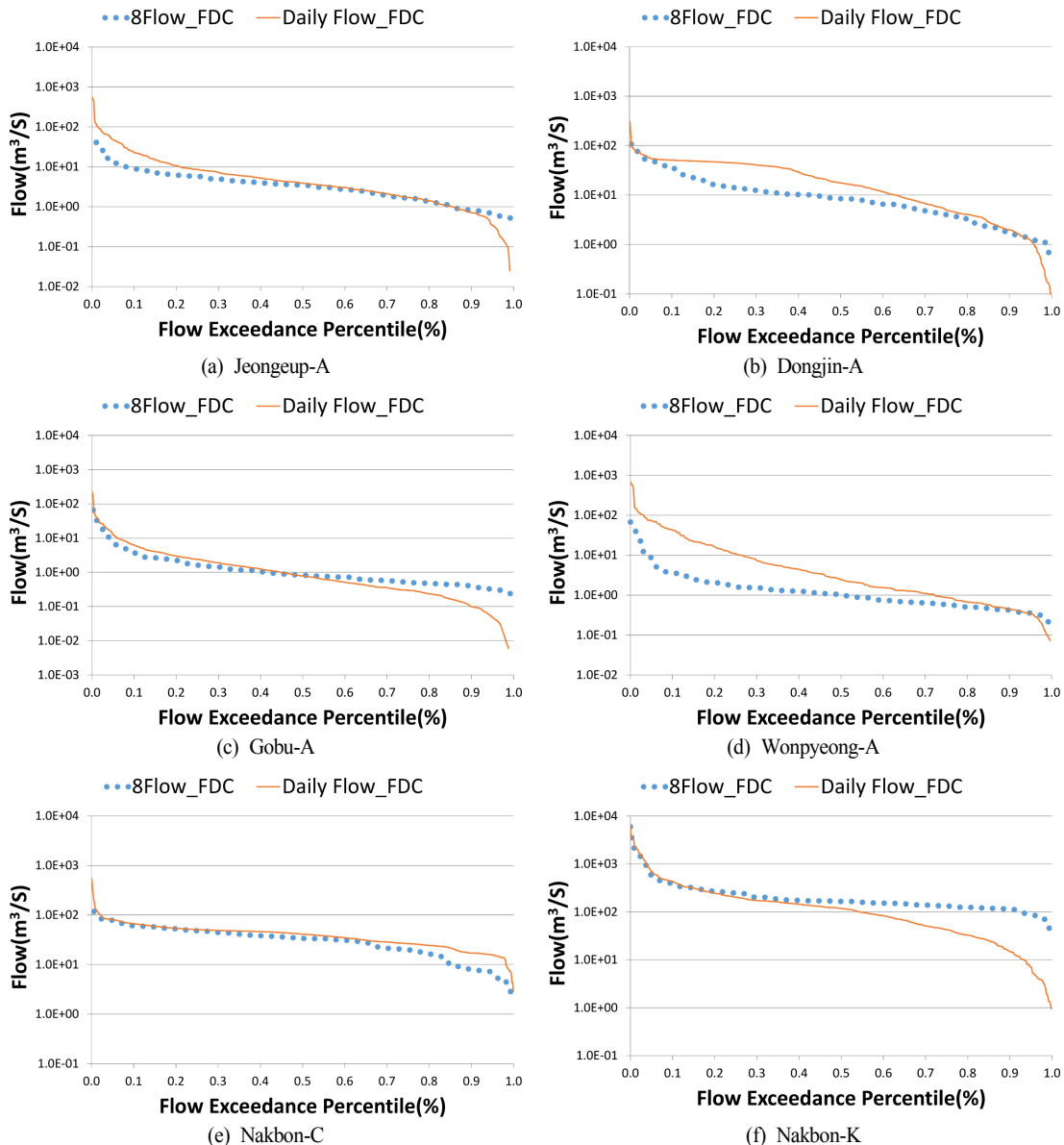


Fig. 3. Comparisons of FDC estimated using 8 day and daily flow for each unit watershed.

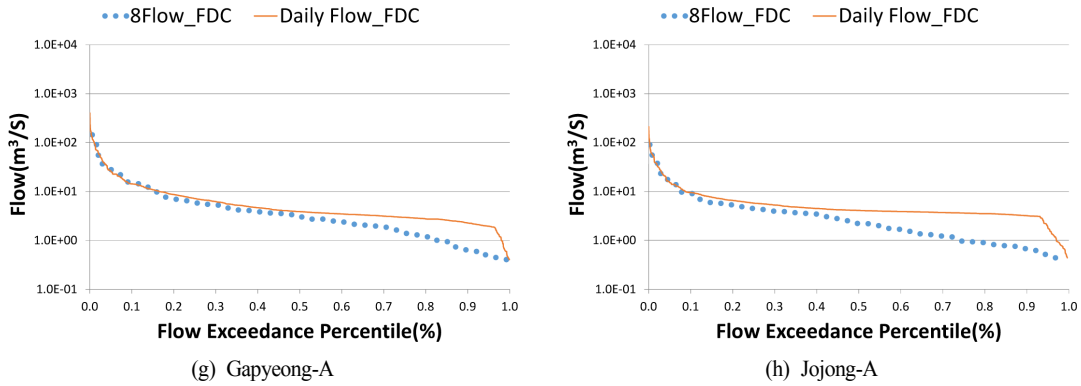


Fig. 3. Comparisons of FDC estimated using 8 day and daily flow for each unit watershed (continued).

량 대비 8일 측정 기간동안 발생한 총 강우량 비율을 분석해보면 그 비율이 평균적으로 13.2%로 매우 작았다. 강우량은 해당 유역의 유량에 매우 큰 영향을 주는 요소이다. 따라서 8일유량 FDC와 일유량 FDC 사이에 이러한 차이가 발생한 이유는 8일 간격으로 취수한 총량측정망 유량자료가 해당 유역에 영향을 주는 전체 강우량을 충분히 반영하지 못하여 전체 유량 조건을 정확하게 대변하지 못했기 때문이라고 판단된다.

3.2 LDC를 이용한 수질 모니터링 자료 분포 비교

앞서 작성한 FDC에 2012년부터 2015년까지 시행된 환경

부 수질오염총량관리제도 3단계 목표수질 기준 자료 중 BOD 기준을 적용하여 LDC를 작성하였으며 여기에 2013년부터 2015년까지의 수질모니터링 자료를 도식화하여 수질 자료 분포의 차이를 비교하였다(Fig. 4). 그 결과 8일유량 LDC에서는 유량 및 수질 자료가 유량 조건별로 고르게 분포되어 있는 것으로 나타났으나 일유량확장 LDC에서는 수질 자료가 한 쪽 구간으로 밀집하여 분포하는 것으로 나타났다. 이는 기존에 고유량 혹은 저유량에 해당하던 8일 유량자료가 일유량으로 확장되면서 상대적으로 저유량 혹은 고유량 부분으로 이동했기 때문이다. 따라서 8일 간격으로 취수한 유량 및 수질 자료는 실제로 발생하게 되는

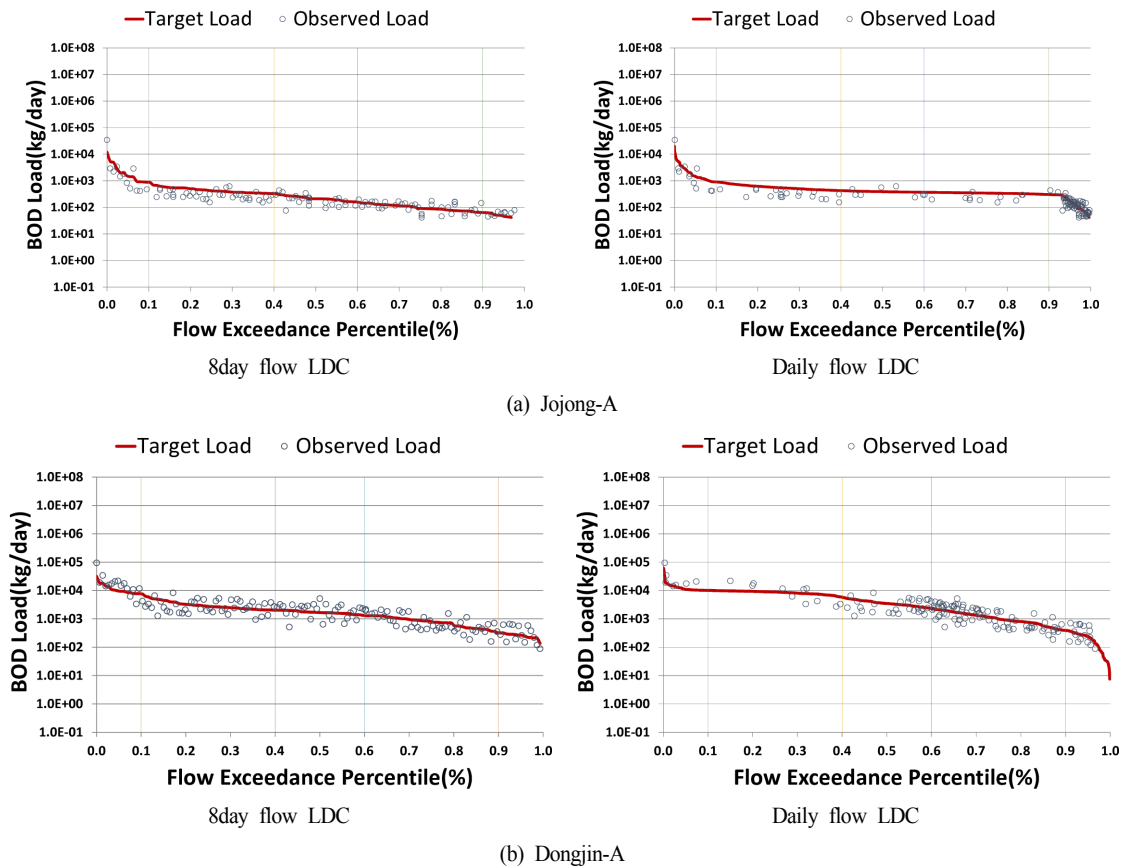


Fig. 4. Comparisons of LDC estimated using 8 day and daily flow for each unit watershed.

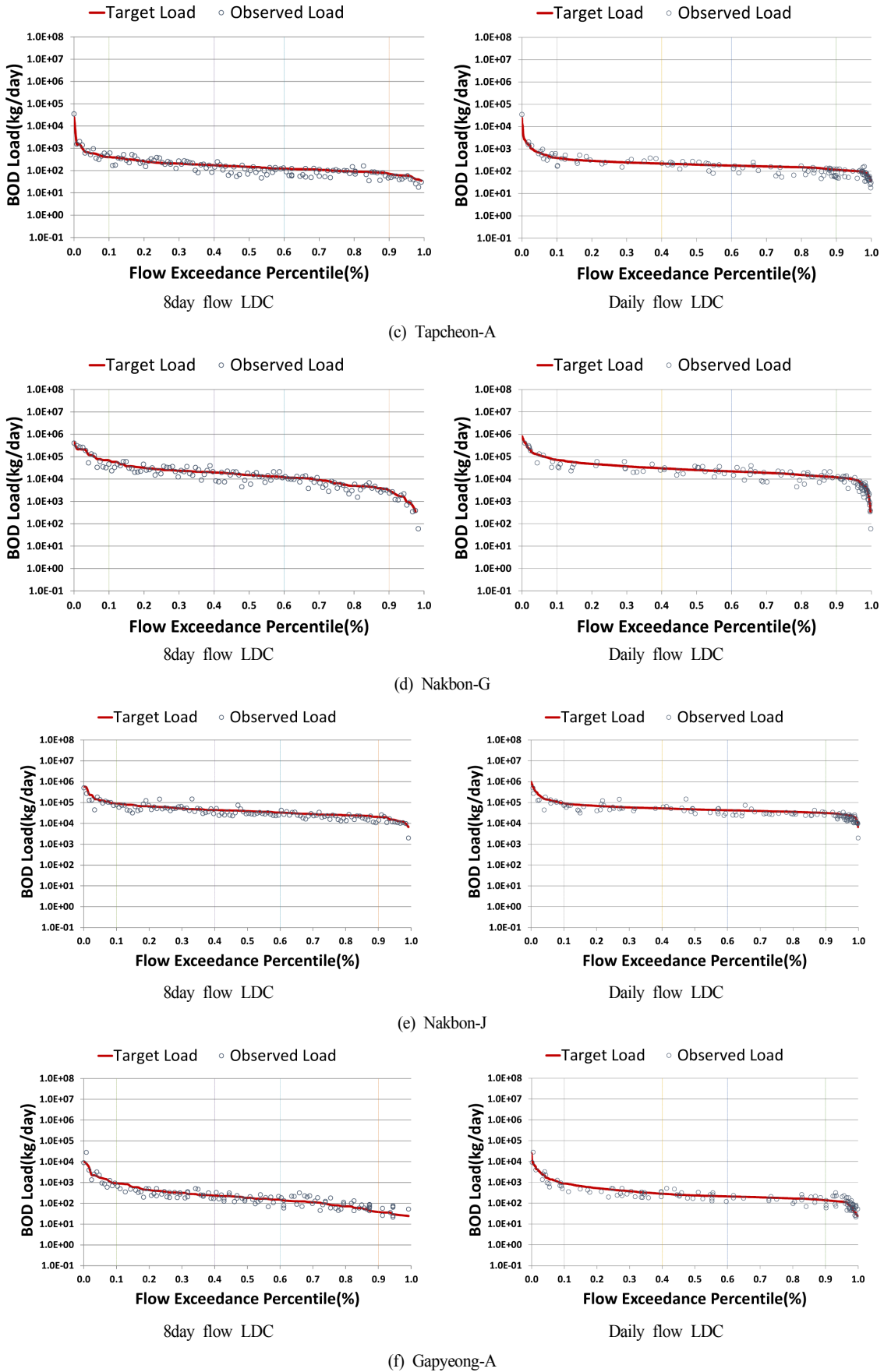


Fig. 4. Comparisons of LDC estimated using 8 day and daily flow for each unit watershed (continued).

모든 유량 조건에 대한 오염 부하를 적절하게 대변하지 못한다고 판단된다.

3.3 유량 조건별 초과된 부하자료 비교

유량 조건별로 수질을 손상시키는 주된 원인이 다르기 때문에(U.S.EPA, 2007) 적절한 수질 관리 방안을 마련하기 위해서는 유량 조건별로 초과 부하량을 산정하는 것이 중요하며 초과된 부하자료의 개수가 많을수록 초과 부하량은 커지게 된다. 여기서 초과된 부하자료의 개수란 LDC 그래프에 부하량 자료를 도식화 하였을 때 LDC를 기준으로 상반부에 위치하고 있는 부하량 자료의 개수(count)를 의미한다. 따라서 LDC를 이용하여 목표수질 달성여부를 평가함에 있어 유량자료의 변화가 유량 조건별로 발생하게 되는 초과 부하개수에 어떠한 영향을 미치는지 비교해 보았다. 각 LDC를 이용하여 유량 조건별 초과 부하개수를 구한 후, 식 2를 통해 8일유량 LDC와 일유량 LDC 사이에 유량 조건별 초과 부하개수의 차이율을 구하였다(Table 5).

차이율

$$= \left| \frac{8일\ LDC\ 초과\ 부하\ 개수 - 일유량\ LDC\ 초과\ 부하\ 개수}{8일\ LDC\ 초과\ 부하\ 개수} \right| \quad (2)$$

유량 조건별 초과 부하개수 차이율은 평균적으로 홍수량에서 19%, 풍수량 42%, 평수량 49%, 저수량 41% 그리고 갈수량에서 104%로 나타났다(Table 3). 이 중 유량 조건별로 초과 부하개수 차이율이 가장 높은 상위 10개 유역에 대한 초과 부하개수를 비교한 결과(Fig. 5) 그 차이율은 평균적으로 홍수량에서 52%, 풍수량 97%, 평수량 113%, 저수량 93% 그리고 갈수량에서 293%로 발생하였으며 차이량의 범위는 홍수량에서 33~80%, 풍수량 64~171%, 평수량 71~200%, 저수량 64~200% 그리고 갈수량에서 100~1100%로 나타났다. 유량의 크기가 저유량일수록 큰 차이가 발생하는 것을 알 수 있는데 이는 청천시에 취수된 8일 유량과 수질자료가 일유량으로 확장되면서 상대적으로 저유량에 해당하는 부분으로 이동하여 해당 유역에 대한 전체 유량 조건을 정확하게 대변하지 못했기 때문이라고 판단된다. 이러한 차이는 유량조건별로 초과 부하량을 결정함에 있어 유량이 많을수록 초과 부하량의 차이를 크게 만드는 원인이 될 수 있다. 결과적으로 유량 및 수질자료의 변동은 LDC를 이용한 목표수질 달성여부 평가에 영향을 주며 특히 실제의 유량 조건을 정확하게 대변하지 못하거나 결측값이 존재하는 불연속적인 자료로 LDC를 생성하여 목표수질 달성여부를 평가한다면 불확실성이 커질 것이라 판단된다.

4. Conclusion

본 연구에서는 우리나라에서 8일 간격으로 측정하고 있는 유량자료와 국립환경과학원에서 제시한 일유량 확장식을 적용하여 확보한 일유량 확장 자료를 이용해 각각의

Table 3. Difference ratio of exceeding load count for each flow condition

Unit watershed	High Flows	Moist Conditions	Mid-Range Flows	Dry Conditions	Low Flows
Geumbon-A	0.22	0.22	0.11	0.29	0.75
Geumbon-C	0.00	0.40	0.33	0.55	0.00
Chogang-A	0.25	1.00	1.00	0.00	1.00
Geumbon-E	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00
Gapcheon-A	0.33	0.25	2.00	0.17	0.50
Miho-B	0.11	1.23	0.10	0.68	0.33
Miho-C	0.00	0.27	0.89	0.14	0.14
Geumbon-H	0.00	0.09	0.00	0.31	0.75
Geumbon-I	0.29	0.12	0.33	0.17	0.11
Geumbon-J	0.14	0.00	0.33	0.14	0.00
Geumbon-K	0.00	0.00	0.67	0.08	1.00
Geumbon-L	0.50	0.08	0.00	0.33	0.33
Jeonju-A	0.20	0.25	0.17	0.27	0.73
Tapcheon-A	0.14	0.53	0.29	0.38	0.00
Jeongeup-A	0.57	0.18	1.00	0.09	0.17
Dongjin-A	0.50	0.67	0.42	1.26	0.29
Gobu-A	0.25	0.00	1.00	0.23	1.00
Wonpyeong-A	0.80	0.61	0.08	0.70	0.22
Nakbon-A	0.50	0.11	0.36	0.18	0.80
Nakbon-C	0.00	0.20	0.55	2.00	0.67
Nakbon-D	0.17	0.21	0.56	0.69	0.40
Gamcheon-A	0.50	0.38	1.25	0.17	1.00
Nakbon-E	0.11	0.20	0.31	0.17	0.67
Nakbon-F	0.43	0.91	0.38	0.72	0.71
Nakbon-G	0.00	0.80	0.30	0.36	2.75
Hwanggang-B	0.67	1.71	0.75	0.64	0.33
Nakbon-H	0.00	0.78	0.71	0.50	11.00
Namgang-E	0.00	0.00	0.21	0.23	0.00
Nakbon-I	0.00	0.13	0.00	0.11	0.00
Nakbon-J	0.00	0.64	1.67	0.29	1.33
Nakbon-K	0.00	0.45	0.25	1.00	1.00
Yeongbon-B	0.43	0.50	0.08	0.33	0.21
Inbuk-A	0.25	1.00	0.50	0.14	0.00
Gapyeong-A	0.00	0.38	0.30	0.70	4.40
Jojong-A	0.00	1.00	0.50	0.96	4.83
Hangang-A	0.00	0.00	0.10	0.17	0.00
Hangang-B	0.00	0.00	0.09	0.08	0.00
Hangang-I	0.00	0.14	0.00	0.27	2.25
Average	0.19	0.42	0.49	0.41	1.04

LDC를 생성하였다. 최종적으로 이러한 유량자료의 변화가 LDC를 이용하여 목표수질 달성여부를 판단함에 있어 어떠한 영향을 미치는지 유량 조건별로 비교해보았으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

8일유량과 일유량 확장 유량을 이용하여 각각의 FDC를

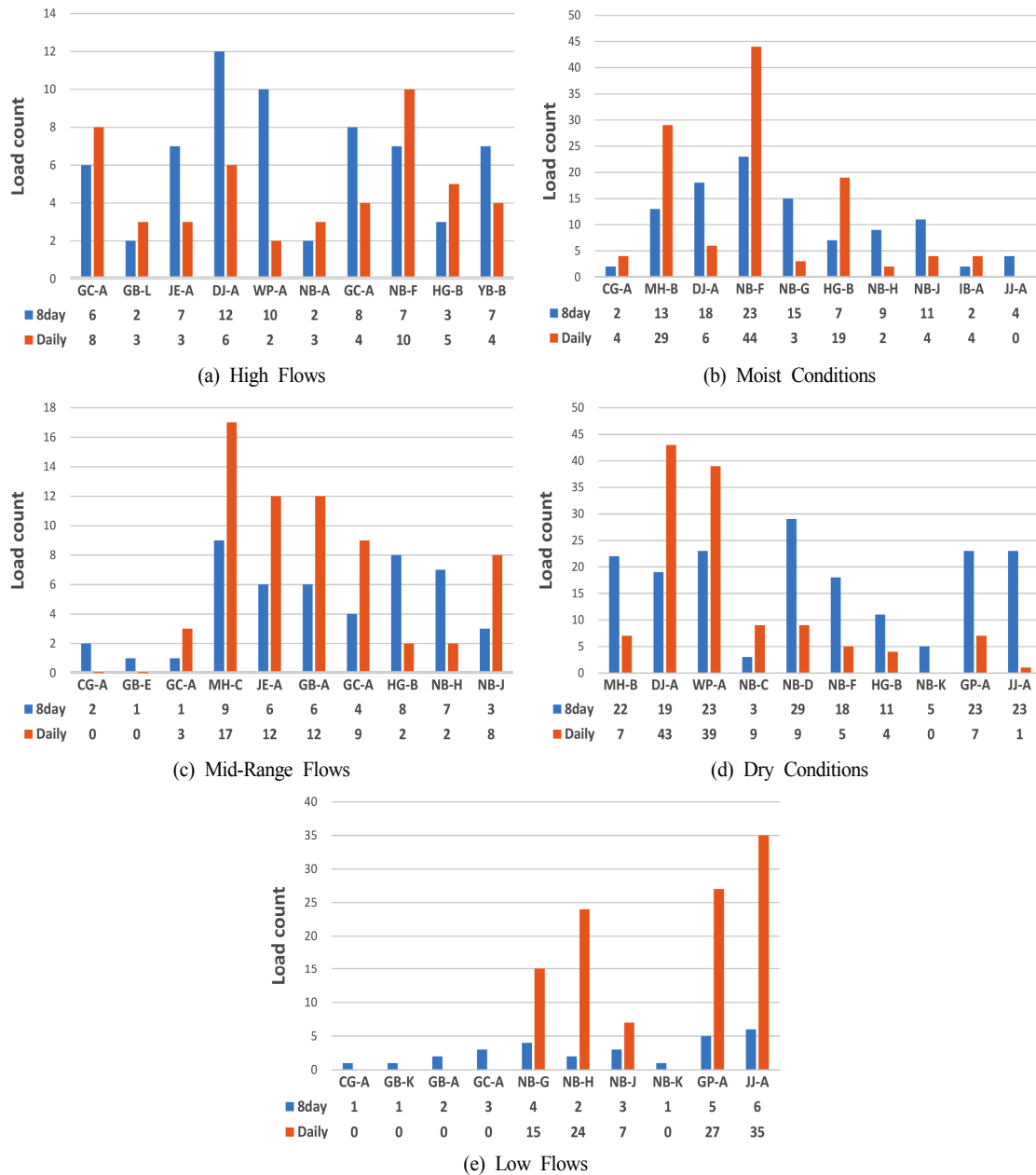


Fig. 5. The top 10 difference of exceeding load count of for each flow condition.

도식화하여 비교했을 때 연구대상지인 38개 지점 전체에서 차이가 발생하였다. 이는 8일 간격으로 유량을 취수하는 경우 해당 구역에서 발생하는 전체 강우량을 반영하지 못했기 때문이라고 판단된다. LDC를 작성하고 수질 자료 분포 차이를 비교해 본 결과 일유량 LDC에서는 수질 자료가 한 쪽 구간으로 밀집하여 분포하는 것으로 나타났다. 각 LDC 사이에서 분포된 초과 부하개수의 차이율을 유량 조건별로 비교해보면 상대적으로 저수량일수록 차이가 크게 발생하였다. 특히 초과 부하개수 차이율이 가장 높은 상위 10개 구역에서는 8일유량 LDC와 일유량 LDC 사이에서 발생한 유량 조건별 초과 부하개수의 차이율이 저수량일수록 크게 나타났으며 갈수량에서는 그 범위가 100~1100%로 나타났다.

결론적으로 특정 구역에 대해 실제의 유량 조건을 대변하지 못하거나 결측 값이 존재하는 유량 및 수질자료로 생성한 LDC를 이용하여 목표수질 달성여부를 평가하게 된다면 초과 부하량 산정에 있어 불확실성이 커질 수 있다고 판단된다. 이러한 불확실성으로 인해 해당 구역에 대한 최적의 수질관리 방안을 마련하기 어려울 뿐만 아니라 수질관리를 위해 적용될 수 있는 최적관리기법(Best Management Practices, BMP)종류 또한 바뀔 수 있다. 따라서 LDC를 이용하여 신뢰성 있는 목표수질 달성여부를 평가하기 위해서는 정확한 일유량 자료와 일수질 자료의 확보가 선행되어야 할 것이며 자동수질측정망과 같은 시스템의 도입이 필요할 것이라 판단된다.

하지만 본 연구는 실제 일유량 자료가 아닌 총량 측정망

과 연계성이 있는 하천 측정망 유량 자료를 확장식을 이용하여 일유량 자료를 대변했기 때문에 실제 유량조건이 정확하게 반영되기에는 한계가 있다.

References

- Choi, K. W., Shin, K. Y., Lee, H. J. and, and Jun, S. H. (2012). Assessment of the Water Quality of Jungnang Stream by Flow Conditions Using Load Duration Curve, *Korean Journal of Environmental Health Sciences*, 38(5), 438-447. [Korean Literature]
- Cleland, B. R. (2003). TMDL Development from the "bottom up"-Part III: Duration Curves and Wet-Weather Assessments, *Proceedings of the Water Environment Federation, National TMDL Science and Policy 2003*, Water Environment Federation, 1740-1766.
- Han, S. H., Shin, S. H., and Kim, S. D. (2007). Applicability of Load Duration Curve to Nakdong River Watershed Management, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 23(5), 620-627. [Korean Literature]
- Hirsch, R. M. (1982). A Comparison of Four Streamflow Record Extension Techniques, *Water Resources Research*, 18(4), 1081-1088.
- 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), 885-895. [Korean Literature]
- Hwang, H. S., Yoon, C. G., and Kim, J. T. (2011). Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL Unit Watershed in Korea, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 4-13. [Korean Literature]
- Kang, D. K., Kang, S. K., Kim, S. D., and Shin, H. S. (2007). Development of Load Duration Curve Methodology for TMDL Evaluation, *Korea Water Resource Association*, 652-656. [Korean Literature]
- Kim, J. G., Engel, B. A., Park, Y. S., Theller, L., Chaubey, I., Kong, D. S., and Lim, K. J. (2012). Development of Web-based Load Duration Curve System for Analysis of Total Maximum Daily Load and Water Quality Characteristics in a Waterbody, *Journal of Environmental Management*, 97, 46-55.
- Mandal, U. and Cunnane, C. (2009). Low-flow prediction for ungauged river catchments in Ireland, *In Irish National Hydrology Seminar*, 33-48.
- Ministry of Environment (MOE). (2013). *Intergrated Monitoring and Management Plan for Non-Point Pollutin(1)*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2014). *Development of Load Duration Curve System for Effective Enforcement of Total Maximum Daily Loads*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Nevada Division of Environmental Protection (NDEP). (2003). *Load Duration Curve Methodology for Assessment and Total Maximum Daily Load Development*, Nevada Division of Environmental Protection, 1-3.
- 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), 693-703. [Korean Literature]
- Park, J. D., Park, J. H., Oh, S. Y., Ahn, G. H., and Choi, Y. H. (2012). *Development of Long Term Flow Duration Curves for the Management of TMDLs*, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]
- Ries, K. G. and Friesz, P. J. (2000). *Methods for Estimating Low-Flow Statistics for Massachusetts Streams*, Report 00-4135, US Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Massachusetts, 1-81.
- Ryu, J. C., Hwang, H. S., Lee, S. J., Kim, E. K., Kim, Y. S., Kum, D. H., Lim, K. J., and Jung, Y. H. (2016). Development of Desktop-Based LDC Evaluation System for Effectiveness TMDLs, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 58(4), 67-74. [Korean Literature]
- Seo, J. Y., Shin, M. H., Choi, Y. H., Kim, K. C., Lim, K. J., Choi, J. D., and Jun, M. S. (2008). Investigation of Pollution Sources for Gongjichun Watershed, *Korea Water Resource Association*, 2051-2055. [Korean Literature]
- United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (2007). *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*, 841-B-07-006, United States Environmental Protection Agency, 1-68.
- Vogel, R. M. and Fennessey, N. M. (1994). Flow-Duration Curves. I: New Interpretation and Confidence Intervals, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(4), 485-504.
- Zampella, R. A., Dow, C. L., and Bunnell, J. F. (2001). Using Reference Sites and Simple Linear Regression to Estimate Long-Term Water Levels in Coastal Plain Forests, *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1189-1201.