

지류총량관리를 위한 관리구역 선정 방법에 관한 연구

황하선 · 이성준 · 류지철 · 박지형 · 김용석 · 안기홍[†]

국립환경과학원 물환경연구부

A Study on Selection Method of Management Watershed for Total Pollution Load Control at Tributary

Ha Sun Hwang · Sung Jun Lee · Jichul Ryu · Ji Hyung Park · Yong Seok Kim · Ki Hong Ahn[†]

Water Pollution Cap System Division, National Institute of Environmental Research

(Received 29 June 2016, Revised 1 November 2016, Accepted 7 November 2016)

Abstract

The purpose of Total Pollution Load Control at Tributary is to obtain maximum improvement effect of water quality through finding the most impaired section of water-body and establishing the proper control measure of pollutant load. This study was implemented to determine the optimal management of reach, period, condition, watershed, and pollution source and propose appropriate reduction practices using the Load duration curve (LDC) and field monitoring data. With the data of measurement, LDC analysis shows that the most impaired condition is reach V (G4~G5), E group (flow exceedance percentile 90~100%) and winter season. For this reason, winter season and low flow condition should be preferentially considered to restore water quality. The result of pollution analysis for the priority reach and period shows that agricultural nonpoint source loads from onion and garlic culture are most polluting. Therefore, it is concluded that agricultural reuse of surface effluent (storm-water runoff with non-point sources) and low impact farming that includes reducing fertilization and controlling the height of drainage outlet are efficient water quality management for this study watershed.

Key words : Agriculture drainage, Load Duration Curve(LDC), Nonpoint Source, Total Pollution Load Control(TPLC), Tributary

1. Introduction

지형적으로 수자원 확보가 다소 불리한 우리나라에서 급격한 인구증가와 산업화는 물수요를 급격히 증가시켰고 이로 인해 양질의 담수수자원을 확보하기 위한 지역 간 또는 상·하류간 분쟁이 빈번히 발생하고 있으며 국가는 배출허용기준 등의 농도규제만으로는 하천의 수질목표를 달성하기 어려워 오염부하량 관리가 필요해졌다.

이에 우리나라는 4대강(한강, 낙동강, 금강, 영산·섬진강) 수계를 135개의 수계구간(이하 단위구역)으로 나누어 한강 수계를 제외한 3대강 수계는 2004년부터 BOD를 총량관리 대상물질(이하 대상물질)로 정하여 목표수질 한도에서 유역의 오염물질 배출량을 총체적으로 관리하는 수질오염총량관리제도(이하 총량관리)를 시행해 왔고, 2011년부터는 총인(이하 T-P)을 추가하여 시행해 오고 있으며 한강 수계는 수도권지역을 중심으로 2013년부터 BOD, T-P를 대상물질로 정하여 총량관리를 해오고 있다.

그러나, 현 총량관리는 4대강 수계 내 모든 수체에 대하여 동일한 기준유량 조건에 대해 동일한 대상물질을 관리하고 있어 실질적으로 지류에서 시급히 개선이 필요한 오염물질의 총량관리가 어려우며, 총량관리유역인 단위유역의 면적이 넓어 단위유역 내 소유역(지류유역) 간의 개발과 삭감의 불균형이 발생하고 있어 대상물질의 다양화 및 관리유역의 크기 축소(소유역 관리) 등에 대한 필요성은 지속적으로 대두되었으나 전 수계 적용을 위한 행정·재정적 한계로 개선이 어려운 현실이다.

따라서, 일률적인 대상물질(BOD, T-P)에서 벗어나 소유역인 지류별로 시급히 개선이 필요한 오염물질을 맞춤형으로 관리하는 지류총량제의 시행이 필요한데, 이를 위해서는 지류 유역 내에서 오염도가 높아 관리가 최우선 시 되는 소유역(이하 관리유역)을 추적하여 규명하고 유량, 계절 조건 등 수질이 가장 악화되는 환경 조건(이하 관리조건)을 분석하여 수질악화의 원인 오염원(이하 관리오염원)에 대한 삭감계획을 수립하는 과정이 무엇보다 중요하다.

이 중 관리조건 및 관리유역 추적을 위해서는 대상물질에 대한 수체의 손상정도(이하 수체 손상도) 분석과정이 필요한데 분석방법으로는 실측한 수질 및 유량 자료를 통계적 방법을 이용하여 분석하는 방법과 부하지속곡선(Load Duration Curve)을 이용한 방법, 수질 모델을 이용한 방법 등 다양한 방법이 있다. 이 중 오염부하지속곡선 방법은

[†] To whom correspondence should be addressed.

khahn77@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.

실측 자료를 바탕으로 한 계절별 유량 변동에 따른 다양한 하천 수질의 영향을 평가 할 수 있으며 현재 오염부하량 및 삭감 허용 부하량을 쉽게 산정할 수 있고 이해할 수 있도록 해주는 방법으로(Hwang, et al., 2010) 미국의 많은 주에서 총량관리계획 수립 및 이행평가에 사용하고 있어 지류의 수체손상도 분석을 위한 적합한 방법으로 판단된다.

부하지속곡선과 관련된 국내 선행연구를 살펴보면, Hwang et al. (2011)은 총량제 시행으로 축적된 8일 간격의 수질·유량자료와 부하지속곡선을 활용하여 낙동강수계 41개 단위 유역의 목표수질 달성 평가에 대한 적정성을 검토하였으며, Kim et al. (2015)은 비점관리지역 관리목표 설정 및 목표 달성도 평가에 부하지속곡선을 이용하는 방법을 제시하였다. 이와 같이 부하지속곡선에 대한 국내 선행연구(Shon et al., 2009; Hwang et al., 2011; Park and Oh, 2012; Park et al., 2013; Kim et al., 2015)는 주로 수질평가와 관련된 연구 중심으로 진행되어왔다.

하지만 지류총량제의 시행을 위해서는 현재 우리나라에서 적용되고 있는 평가를 목적으로 한 부하지속곡선의 활용도 중요하지만, 수체손상도를 분석하고 계획수립에 활용할 수 있는 부하지속곡선의 활용방안 도출이 필요하며, 이를 시범 대상유역에 적용하여 실제 계획수립 단계에서의 적용과 평가가 필요한 실정이다.

계성천은 낙동강 창녕·함안보 구간으로 유입되는 지류로 인근 지류에 비해 수질 오염도가 높아 최근 낙동강 부영양화 방지 및 개선을 위해 관심이 집중되고 있는 지류로 현재 BOD, T-P에 대해서는 수질오염총량관리에서 관리목표를 정하여 관리 중에 있으나 영양물질 중 T-N에 대한 계획은 수립되지 않은 상태이다.

본 연구는 낙동강으로 유입되는 지류인 계성천을 대상으로 부하지속곡선 방법과 현장 조사 결과를 이용하여 우선 관리 유역 및 최적 관리조건을 추적하여 관리유역에 적합한 맞춤형 삭감계획을 제안함으로써 우리나라 지류총량관리의 기초자료가 되고자 한다.

2. Materials and Methods

2.1. 연구 대상 유역

본 연구 유역은 낙동강 지류인 계성천유역으로 유역면적은 약 106.9 km²이며 유로연장은 31.1 km이다. 행정구역은 경남 창녕군 창녕읍, 영산면, 남지읍의 일부이며 총량관리 낙분I 단위유역의 일부이다(Fig. 1).

대상유역의 토지이용은 전체 토지 중 임야가 51.6 %, 논 19.7 %, 밭 10.1 %, 대지 7.8 %, 기타 10.8 %로 논, 밭의 비율이 대지의 비율보다 높은 농촌지역의 특성을 가지고 있다 (Table 1).

계성천의 주요지천은 관곡천, 동정천, 장가천이며, 유역 내에 주요 시설은 농업용 저수지인 봉산지, 장척지, 옥천지, 노단이지가 있으며 저수량은 각 237.9만 m³, 157.5만 m³, 68.1만 m³으로 총 저수량은 665.7만 m³이다(Table 2). 계성천 하류부에는 농경지의 농업용수 확보를 위해 상대포, 소야산, 동정 등 양배수시설이 설치되어 있으며, 말단부에는 시설용량 5,250 m³/일의 남지하수종말처리장이 위치하고 있다.

연구 유역 내 수질 및 유량 측정자료는 국가측정망인 계성천 지점(MOE, 2012)과 경상남도 오염총량관리 기본계획 수립을 위한 측정지점인 상대포교 지점(Gyeongsannam-do,

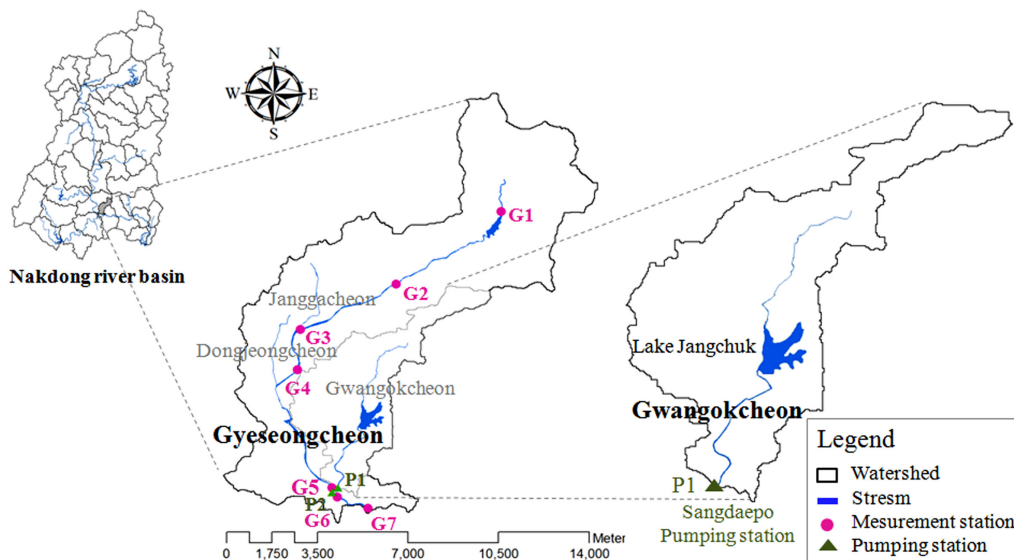


Fig. 1. Study Area.

Table 1. Characteristics of landuse in the Gyeseongcheon

(Unit : km²)

Watershed	Upland	Paddy	Forest	Ground	Etc.	Total
Gyeseongcheon	11.2 (10.1%)	21.7 (19.7%)	56.9 (51.6%)	8.6 (7.8%)	11.9 (10.8%)	110.3 (100.0%)

Table 2. Characteristics of reservoir in the Gyeongsang region

Reservoir	Area (ha)	Total storage (10,000m ³)	Usable storage (10,000 m ³)	Area of water benefit (ha)
Bongsan	1,990	237.87	228.02	842.6
Jangcheok	630	202.20	200.00	-
Okcheon	2,660	157.52	156.74	275.5
Nodani	525	68.10	59.30	41.9

2015) 그리고 지류총량 시범적용 연구를 위해 측정한 5개 지점(상류에 위치한 순으로 옥천2교, 계성교, 화영교, 상대포교, 남송교)의 자료(NIER, 2015)를 활용하였다. 국가측정망 지점인 계성천은 2012년부터 8일 간격으로 수질과 유량을 측정해 오고 있으며 상대포교 지점은 2012년 2월부터 12월까지 8일 간격으로 측정하였고 지류총량 연구에서 측정한 옥천2교 등 5개 지점의 자료는 2015년 4월부터 월 1~4회 간격으로 측정하였다.

2.2. 부하지속곡선

부하지속곡선은 주어진 유량 또는 부하량과 같은 매개변수가 주어진 값과 같거나 초과하는 시간의 백분율을 곡선화하여 그래프로 표현한 것(Nevada, 2003)으로 하천 수질 관리의 문제점을 특성화하여 기술할 수 있으며, 목표수질의 빈도와 크기 및 허용부하를 쉽게 나타낼 수 있고 삭감부하량의 크기에 대해 쉽게 이해할 수 있도록 함으로서 일반인들에게 그 문제점과 TMDL의 달성 목표를 시각적으로 이해하기 쉽도록 해줄 수 있다.

부하지속곡선 방법의 적용은 1) 유량지속곡선(Flow Duration Curve) 생성, 2) 부하지속곡선 생성 그리고 3) 부하지속곡선에 실측 자료를 도식화하는 과정으로 구분된다.

2.2.1. 지속곡선 작성

유량 자료를 최대유량에서 최소유량 순으로 배열하여 특정유량을 초과하는 일수를 백분율로 계산하여(식 (1)) 유량지속곡선을 작성하며, 유량 자료와 수질기준 자료를 이용하여 식 (2)에 의해 부하지속곡선을 작성한다.

$$\text{Percent of Days Flow Exceeded}(\%) = \frac{\text{Rank}}{\text{Number of data}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Load}(\text{kg/day}) = \text{Flow}(\text{m}^3/\text{s}) \times \text{Water Quality Standard}(\text{mg/L}) \times 86.4 \quad (2)$$

2.2.2. 유량 및 수질 관측 자료 도식화

관측된 데이터를 부하지속곡선을 이용하여 평가하기 위해, 관측자료의 부하량을 관측 유량과 관측 수질 농도를 이용하여 계산한 후 각 일유량을 유황곡선의 유량자료와 비교하여 초과 부하량 백분율(percent of days load exceeded)에 대응하는 초과 유량 백분율(percent of days flow exceeded)의 값을 결정하여 도식화 하였다. 이때, 측정수질의 누적유량빈도별 분포와 수체손상 정도를 파악하기 위하여 X축인 누적유량빈도의 초과유량 백분율(percent of days flow exceeded)을 5개의 조건으로 구분하여 홍수량 기간인 초과누적유량 백분율

0~10 %를 조건 A로 하였으며, 풍수량 기간인 10~40 %를 조건 B, 평수량 기간인 40~60 %를 조건 C, 저수량 기간인 60~90 %를 조건 D, 갈수량 기간인 90~100 %를 조건 E로 구분하였다(Cleland, 2003; Nevada, 2003).

2.3. 관리구역 선정방법 및 삭감방안 마련

지류총량관리는 대상 지류하천에서 가장 오염도가 높은 관리유역을 선정하고 관리유역에 집중적인 삭감노력을 투입하여 지류의 수질을 개선하고자 하는 제도인 점을 감안하여 본 연구는 Fig. 2와 같이 연구를 진행하였다. 연구절차 및 방법은 계성천에서 측정된 수질·유량자료를 이용하여 1)계성천 구간별로 대상물질(T-N)에 대한 수질 오염도를 분석하여 오염도가 가장 높은 구간을 관리구간으로 선정하였으며 2)부하지속곡선 등을 이용하여 관리구간의 수체 손상도를 분석하여 유량 및 계절에 대한 관리조건을 선정하였고 3)수체 손상도 및 유역현황, 삭감여력 등을 고려하여 우선순위가 가장 높은 유역을 관리유역으로 선정하고 4)관리유역의 오염원을 정밀분석하여 오염원 중 수체 손상구간에 미치는 영향이 큰 오염원을 관리오염원으로 선정하였으며 5)관리오염원을 대상으로 관리조건에서 수질을 개선할 수 있는 삭감대안을 마련하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 유역 특성 분석

계성천 상류는 발원지부터 계성교까지 약 14.3 km 구간으로 대부분 산림지역이며, 계성교 인근의 계성마을과 신당마을이 위치하고 있으며, 옥천저수지와 노단이저수지가 위치하고 있다. 계성천 중류는 계성교에서 동정교까지 약 7.8 km 구간으로 장가천과 농배수로 형태의 소규모 하천이 분류에 유입되며, 농경지가 넓고 축산농가가 상대적으로 많이 밀집되어 있으며 계성천 하류는 동정교에서 낙동강 본류 합류지점까지 약 9.0 km 구간으로 농경지 면적이 넓고, 축산농가가 많이 분포하고 있다.

낙동강 본류 합류지점 인근에는 남지읍, 영산면의 생활하수를 처리하는 남지하수처리장과 창녕군 가축분뇨처리시설이 위치하고 있다. 또한 농업용수 공급을 위해 상대포 및 소야산 양배수장에서 관개용수를 공급하고 있다. 특히, 중·하류지역 농경지는 5월부터 9월까지의 벼농사와 10월부터 다음해 5월까지의 마늘·양파와 같은 월동작물을 대단위로 재배하는 특징을 보이고 있으며, 화학비료의 사용과 함께 연중 지속적으로 가축분뇨를 야적하여 9월 이후 농지에 대량 살포하고 있다.

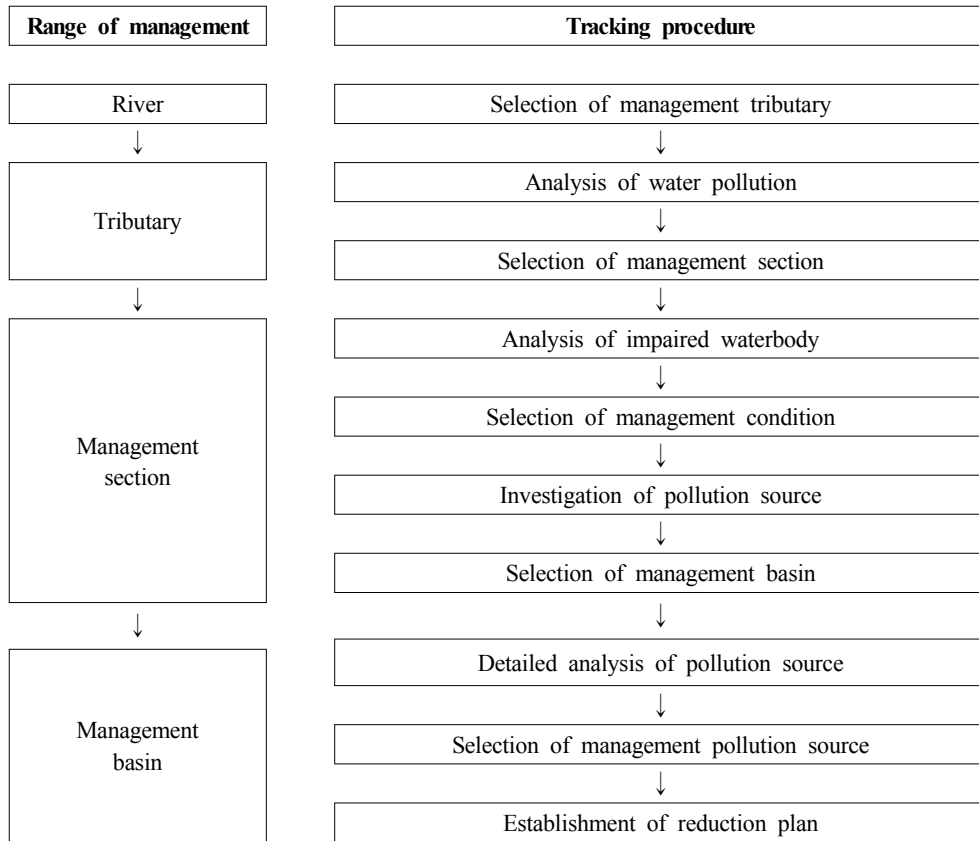


Fig. 2. Flow diagram of study.

3.2. 관리구간 설정

계성천의 구간별 수질오염도를 분석하여 가장 수질이 악화된 구간을 찾아 우선관리가 필요한 관리구간으로 설정하고자 구간별 수질오염도를 분석하였다. 구간은 6개 측정지점을 기준으로 발원지부터 옥천2교(G1)까지를 I 구간으로 하고 옥천2교(G1)에서 계성교(G2)까지를 II 구간, 계성교(G2)부터 화영교(G3)까지를 III 구간, 화영교(G3)부터 상대포교(G4)까지를 IV 구간, 상대포교(G4)에서 계성천(G5)까지를 V 구간, 계성천(G5)부터 남송교(G6)까지를 VI 구간으로 총 6개의 구간으로 구분하였으며 수질오염도는 지점별 산술평균 수질을 이용하였다.

본천 6개 지점에서 측정된 평균 T-N 수질은 옥천2교(G1), 계성교(G2), 화영교(G3), 상대포교(G4), 계성천(G5), 남송교(G6) 지점에서 각각 1.418 mg/L, 2.544 mg/L, 1.767 mg/L, 1.774 mg/L, 4.379 mg/L, 3.975 mg/L로 나타났는데(Fig. 3), 이를 기준으로 구간별 수질오염도를 분석해 보면 II 구간과

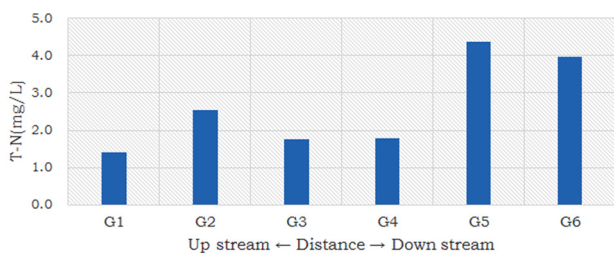


Fig. 3. Result of Analysis of Impaired Reach in Gyesongcheon

V 구간에서는 수질이 악화되는 것으로 나타났으며 그 외 III 구간, IV 구간, VI 구간은 수질이 개선 또는 유지되는 것으로 나타났다.

수질 오염도 분석결과로 볼 때 계성천 수질개선을 위해 관리가 필요한 구간은 V 구간, II 구간 순으로 나타났으며 이 중 오염도가 가장 심각하여 우선관리가 필요한 V 구간을 관리구간으로 설정하였다.

3.3. 관리구간의 관리조건 및 관리구역 설정

3.3.1. 부하지속곡선을 이용한 관리조건 분석

우리나라는 계절적 기온변화가 뚜렷하고 대부분의 강우가 여름철에 집중되어 하천 유량조건이나 계절조건에 따른 수질변화가 다양하여 연간 수질변이가 크므로 관리구간의 수질이 악화되는 조건을 찾아 악화조건의 오염원 등을 관리하여 수질을 개선하는 것이 합리적이다.

이런 이유로 본 연구에서는 관리구간의 수질개선을 위한 관리조건을 분석하기 위하여 부하지속곡선을 이용하여 유량 및 계절 조건에 따른 수체 손상정도를 파악하였다.

우선순위가 가장 높은 V 구간(G4-G5)의 물질수지를 보면 유입은 관리구간 상류로부터 유입되는 상대포교(G4) 지점과 지천인 관곡천과 남지배수이며 유출은 관리구간 말단인 계성천(G5) 지점이다(Fig. 1). 관리구간의 수체 손상도는 계성천(G5) 지점의 자료를 이용하여 부하지속곡선을 작성하고 실측자료를 도식화하여 유량 및 계절조건에 따른 수체 손상도를 분석하였으며 관리구간의 수체손상 특성의 원

인을 추적하고자 관리구간 시작지점인 상대포교(G4) 지점에 대하여 동일한 분석을 실시하였다.

3.3.1.1. 부하지속곡선 작성

수체손상도 분석을 위해 부하지속곡선을 작성하고자 할 경우에는 유량지속곡선과 평가의 기준이 되는 수질이 필요하다. 이중 유량지속곡선은 일반적으로 일단위의 유량을 이용하므로 간헐적으로 측정된 유량자료를 유역모형을 이용하여 일별 자료로 추정 후 사용하나, 최근 Hwang et al. (2011)은 유역모형으로부터 보간된 3년간 일 유량을 이용한 유량지속곡선에 실측유량을 도식화 한 결과, 실측유량이 고유량 일부를 제외하고 보간된 누적유량빈도를 대변하는 것으로 나타나 간헐적이지만 정기적인 실측유량자료가 다년간 축적될 경우 하천의 전체 누적유량빈도를 대변할 수 있다고 한 바 있다. 따라서 유량지속곡선은 측정된 유량자

료를 이용하여 최대유량에서 최소유량 순으로 데이터를 배열하고 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 유량지속곡선을 작성하였다. 평가 기준수질은 본 연구기간에 측정된 실측자료의 평균수질을 이용하였는데 상대포교 지점은 T-N 1.624 mg/L이며 계성천 지점은 T-N 4.477 mg/L이다.

3.3.1.2. 유량·수질 실측자료 도식화

실측된 유량 및 수질 자료로부터 산정된 실측 부하량을 각 실측유량에 대응하는 초과 유량 백분율의 값을 결정하여 부하지속곡선에 도식화 하였으며 그 결과는 Fig. 4-5와 같다. 부하지속곡선에 도식할 측정부하량(측정 유량과 농도의 곱)은 계절의 변이성을 고려하여 수온이 높으며 수도작을 하는 5월에서 10월을 하절기로 하고 수온이 낮으며 밭농사 형태의 영농이 이루어지는 11월에서 4월을 동절기로 구분하여 도식하여 분석하였다. 여기서 도식한 측정부하량

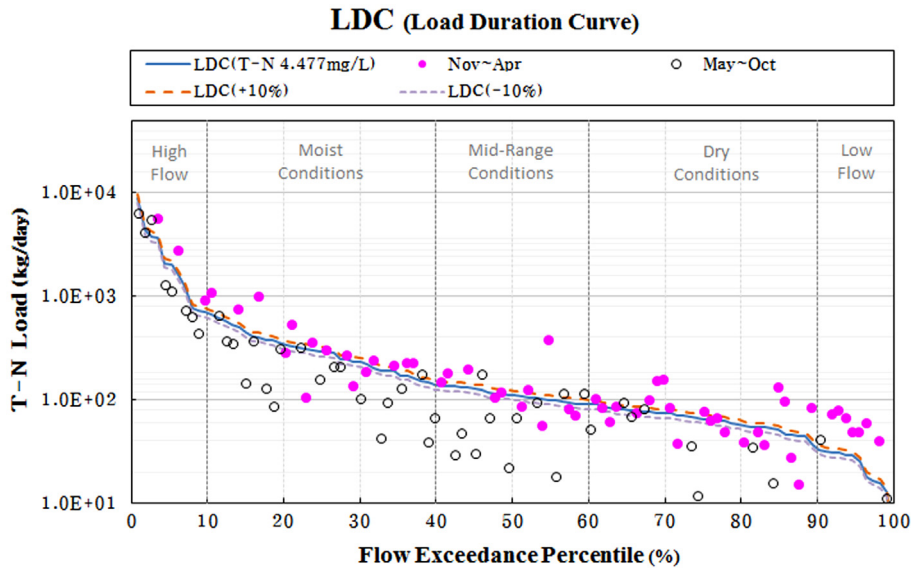


Fig. 4. Result of Load Duration Curve and Plot on monitoring data at Gyeseongcheon.

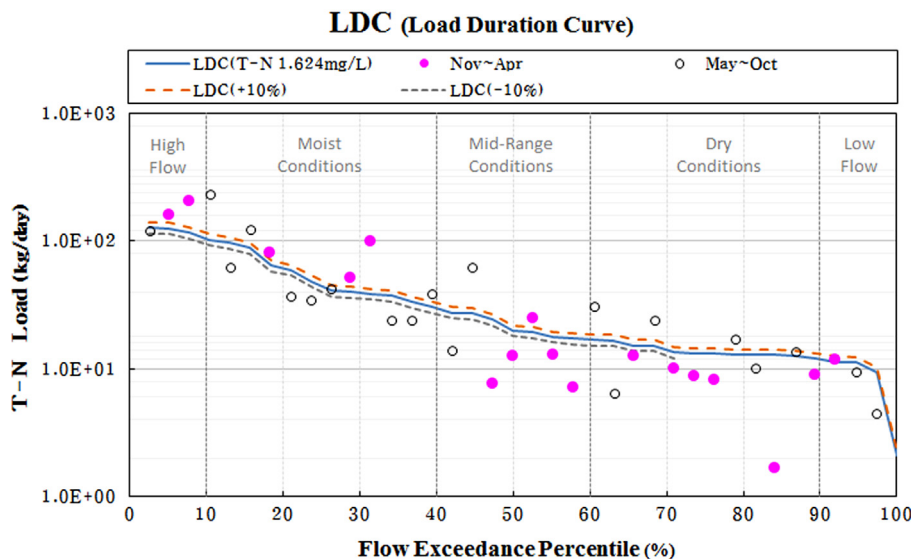


Fig. 5. Result of Load Duration Curve and Plot on monitoring data at Sangdaepogyo.

이 부하지속곡선의 위쪽에 위치하는 경우는 평가 기준수질을 초과하여 수체가 손상된 것을 의미하고 아래에 있는 경우는 손상되지 않은 것을 의미한다.

3.3.1.3. 관리조건 분석

계성천 지점에서 측정된 113개 자료 중 기준수질을 초과하여 손상된 것으로 판단되는 자료는 48개(42.5 %)로 나타났다(Table 3). 이를 유량조건별로 분석해 보면 12개 측정자료 중 8개가 초과한 E그룹(90~100 %)의 초과율이 66.7 %로 가장 높았으며 그 다음으로 B그룹(10~40 %)이 41.2 %, C그룹(40~60 %)이 40.9 %, D그룹(60~90 %)이 38.2 %, A그룹(90~100 %)이 36.4 %순으로 나타났으나 E그룹 외 유량 그룹에서는 36.4%~41.2%로 비슷한 초과율을 보였다. 이를 계절별로 분석해 보면 동절기는 총 54개 자료 중 29개가 초과하여 49.2 %의 초과율을 보였으며 하절기는 총 54개 자료 중 19개가 초과하여 35.2 %의 초과율을 보여 동절기의 초과율이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과를 조합해 보면 관리구간 말단인 계성천 지점은 동절기, 저유

량 조건에서 수체 손상이 심한 것으로 나타나 관리조건은 동절기, 저유량으로 설정하였다.

관리구간의 수체손상 특징이 계성천 상류유입 또는 지천 유입(관곡천 유역, 남지배수 유역) 중 어느 곳의 영향을 크게 받는지를 파악하기 위해 관리구간 시작지점인 상대포교 지점에 대하여 계성천과 동일한 방법으로 분석하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

상대포교 지점에서 측정된 38개 자료 중 기준수질을 초과하여 손상된 것으로 판단되는 자료는 16개(42.1 %)로 나타났으며 이를 유량조건별로 분석해 보면 계성천 지점과는 다르게 고유량 조건인 A그룹(66.7 %)과 B그룹(58.3 %)에서 초과율이 높았으며 나머지 그룹에서는 25.0 %~33.3 %로 비슷한 초과율을 보였다. 이를 계절별로 분석해 보면 동절기는 총 17개 자료 중 7개가 초과하여 41.2 %의 초과율을 보였으며 하절기는 총 21개 자료 중 9개가 초과하여 42.9 %의 초과율을 보여 동절기와 하절기의 초과율이 비슷한 것으로 나타나 계성천 지점과 다르게 고유량 조건에서 수체손상이 심한 것으로 나타났으며 계절적 영향은 거의 없

Table 3. Result of Estimated Exceed Data at Gyeseongcheon

Category			Flow Condition					Total
			A Group	B Group	C Group	D Group	E Group	
Total Data	Total	N	11.0	34.0	22.0	34.0	12.0	113.0
		%*	9.7	30.1	19.5	30.1	10.6	100.0
	Winter Season	N	3.0	15.0	11.0	22.0	8.0	59.0
		%*	5.1	25.4	18.6	37.3	13.6	100.0
	Summer Season	N	8.0	19.0	11.0	12.0	4.0	54.0
		%*	14.8	35.2	20.4	22.2	7.4	100.0
Exceed Data	Total	N	4.0	14.0	9.0	13.0	8.0	48.0
		%**	36.4	41.2	40.9	38.2	66.7	42.5
	Winter Season	N	2.0	8.0	3.0	9.0	7.0	29.0
		%**	66.7	53.3	27.3	40.9	87.5	49.2
	Summer Season	N	2.0	6.0	6.0	4.0	1.0	19.0
		%**	25.0	31.6	54.5	33.3	25.0	35.2

* Percentile of Total Data (N/Total N×100)

** Percentile of Exceed Data (Exceed N/Total N×100)

Table 4. Result of Estimated Exceed Data at Sangdaepogyo

Category			Flow Condition					Total
			A Group	B Group	C Group	D Group	E Group	
Total Data	Total	N	3.0	12.0	7.0	12.0	4.0	38.0
		%*	7.9	31.6	18.4	31.6	10.5	100.0
	Winter Season	N	2.0	3.0	5.0	6.0	1.0	17.0
		%*	11.8	17.6	29.4	35.3	5.9	100.0
	Summer Season	N	1.0	9.0	2.0	6.0	3.0	21.0
		%*	4.8	42.9	9.5	28.6	14.3	100.0
Exceed Data	Total	N	2.0	7.0	2.0	4.0	1.0	16.0
		%**	66.7	58.3	28.6	33.3	25.0	42.1
	Winter Season	N	2.0	3.0	1.0	0.0	1.0	7.0
		%**	100.0	100.0	20.0	0.0	100.0	41.2
	Summer Season	N	0.0	4.0	1.0	4.0	0.0	9.0
		%**	0.0	44.4	50.0	66.7	0.0	42.9

* Percentile of Total Data (Group N/Total N×100)

** Percentile of Exceed Data (Group Exceed N/Group Total N×100)

는 것으로 나타났다.

상대포교 지점은 측정 자료수가 적어 손상조건을 평가하기에는 부족함이 있지만 두 지점의 분석결과로 볼 때 관리구간의 손상구간 특성은 상류유입 보다는 지천유입에 의한 영향으로 판단되며 관곡천 및 남지배수 유역은 동절기, 저유량 조건에서 많은 오염물질이 배출되는 것으로 판단된다.

3.3.2. 관리유역 설정

관리구간으로 오염물질이 유입되는 유역은 관곡천 유역과 남지배수 유역이며 유역면적은 각각 약 22.08 km², 약 1.70 km²이다(Fig. 6). 남지배수 유역은 관곡천 유역에 비해 유역 규모가 작고 대부분의 강우유출수를 배수지에 저류하여 유역 내에서 재이용하고 있어 관리구간의 수질에 미치는 영향은 적은 것으로 판단된다.

관곡천 유역은 유역 중앙부에 위치한 2개의 농업용저수지(유동지와 장척지)를 기준으로 상류와 하류로 구분 할 수 있는데 농업용저수지는 관개기 및 고강우시를 제외하고는 거의 방류를 하지 않아 관곡천 상류 유역(약 9.48 km²)의 오염원에서 배출된 오염물질은 관곡천을 따라 대부분 농업용저수지에 축적되므로 관곡천 상류 오염물질이 관리구간에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다. 또한 유동지 및 장척지의 저수지 내 2014년 연평균 T-N 수질은 각각 1.487 mg/L, 1.054 mg/L이었으나 관곡천 말단 수질이 3.801 mg/L로 나타나 관리구간의 수질에 영향을 주는 유역은 관곡천 하류유역으로 판단되어 관곡천 하류유역을 관리유역으로 설정하였다.

3.4. 관리유역 오염원 정밀 분석

관리유역인 관곡천 하류유역에서 저유량 동절기(관리조

건)에서 T-N을 많이 배출하는 오염원을 파악하여 적절한 삭감대안을 마련하고자 관곡천 하류유역의 오염원을 정밀 조사·분석하였다. 관곡천 하류유역은 전형적인 농업지역으로 관곡천 말단에 위치한 상대포양배수장에서 농업용수를 취수하여 관곡천 하류 유역의 농경지에 공급하고 사용된 농업 배수는 관곡천을 따라 다시 관곡천 말단으로 이동하여 상대포양배수장을 통해 관리구간으로 유입된다.

관곡천 하류유역(약 12.60 km²)의 오염원 특징을 보면 월령마을하수도(평균 방류유량 36 m³/day, 평균방류수질은 T-N 12.582 mg/L)를 제외하고는 대부분 농경지에서 영농 활동시에 배출되는 농업비점오염으로 조사되어 주요 관리오염원은 농업비점으로 판단된다.

관곡천 하류 유역의 영농활동은 10월에 양파와 마늘을 파종하여 다음해 5월경에 수확하고 다시 6월에 벼를 심어 9월에 수확을 하는 년 이모작 지역으로 화학비료와 함께 가축분뇨를 많이 살포하고 있다. 시비 특성을 보면 밭농사 형태인 양파와 마늘은 파종 전인 9월에 기비를 주고 생육이 왕성한 시기인 2월에 웃거름을 주며 수도작 형태인 벼는 5월에 기비를 주고 7월, 8월에 추비를 준다. 관계용수의 사용은 마늘과 양파를 파종하는 9월과 양파 마늘의 뿌리가 급격히 성장하는 4월경과 수도작을 시작하는 6월경에 가장 많이 사용된다(Fig. 7).

3.5. 관리오염원 선정 및 삭감방안 마련

계성천의 효율적인 수질개선을 위해서는 관곡천 하류유역(관리유역)에서 저유량, 동절기 조건(관리조건)에서 T-N 배출이 많은 오염원을 찾아 최적의 삭감계획을 수립함으로써 최대 수질개선 효과가 나타날 수 있는 계획을 수립하는

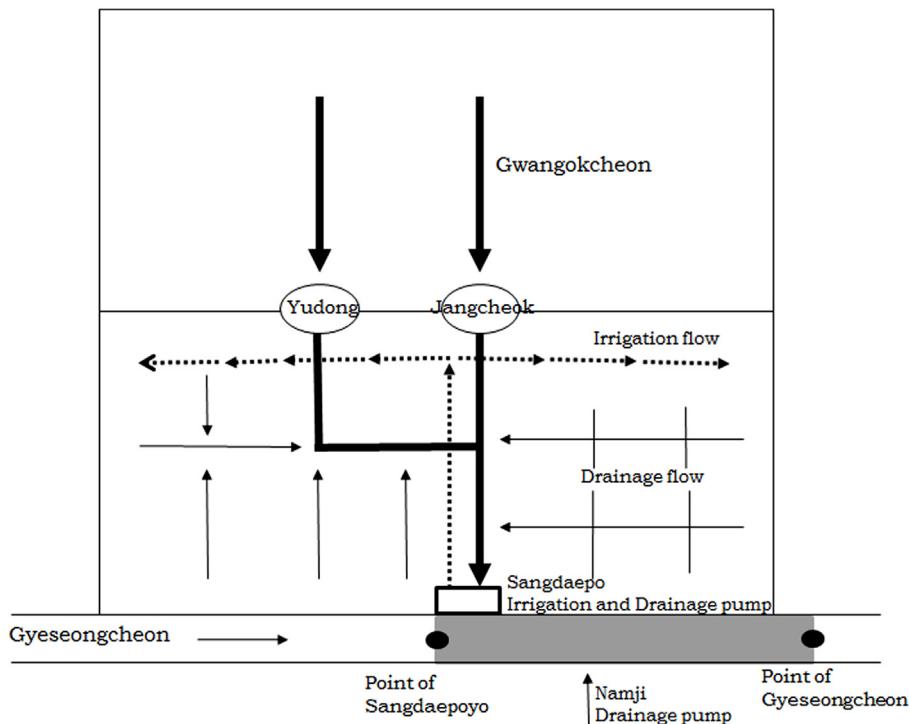


Fig. 6. Diagram of Irrigation and Drainage flow at Gwangokcheon.

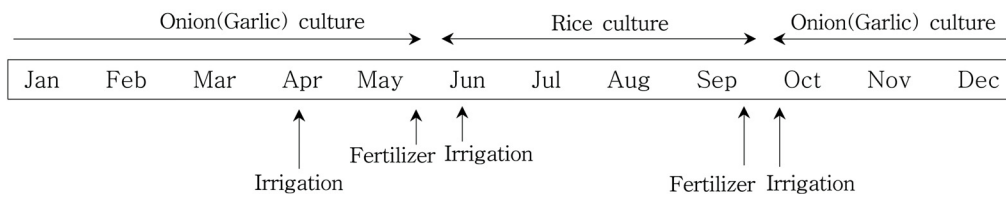


Fig. 7. Agriculture patten at Object Watershed.

것이 바람직하다.

Nevada (2003)에 의하면 부하지속곡선 방법은 수질기준을 초과하는 경우의 유량 특성을 설명하는데 이용될 수 있으며, 특히 유량 규모를 고려한 점오염원 및 비점오염원 특성을 파악할 수 있다. 일반적으로 고유량(higher flows)기간 동안에 발생하는 수질기준 초과와 같은 경우는 비점오염원으로 인한 영향이며, 저유량(lower flows)기간 동안 발생하는 수질기준 초과와 같은 경우는 점오염원으로 인한 영향일 가능성이 크다고 할 수 있다. 또한, U. S. EPA. (2006)에 의하면 홍수기에 수질이 손상된 경우 주요 삭감방안은 BMPs, 개발 또는 하천제방 안정화, 토양침식조절 프로그램 등이 있으며, 풍수기와 평수기에 손상된 경우는 토양침식조절 프로그램, 수변식생대 조성 등이 있고 저수기에는 수변식생대 조성, 환경기초시설 수질개선 등이 있으며 갈수기에 손상된 경우는 환경기초시설 방류수질 개선 등이 있다.

본 연구에서 부하지속곡선을 이용하여 관리구간의 수체 손상 평가 결과로만 보면 저유량, 동절기 조건에서 수체가 손상된 것으로 나타나 손상원인은 점오염원이며 삭감방안으로는 환경기초시설 방류수질 개선 등을 추천할 수 있을 것이다. 또한, 관리구역의 오염원 조사결과로만 보면 점오염원은 거의 없고 대부분 오염물질은 농경지에서 배출되는 농업비점오염원이므로 관리기간은 고유량 조건이 되어야 할 것으로 판단되는 등 서로 상반되는 결과가 도출되었다.

그러나, 상세 오염원 조사결과를 보면 관리구역은 대부분 농경지에서 양파·마늘 및 벼농사를 이모작하는 지역으로 우리나라의 일반적 논농사 지역과 다르게 연중 농업활동에 의한 오염물질이 배출되며 특히 강우량이 적어 유역 유출량이 적은 동절기, 저유량 조건에서 배출되는 농업배수에 의해 수질이 악화되는 것으로 판단된다.

따라서 관리구역 내 관리오염원은 동절기 양파·마늘 재배에 따른 비점오염물질의 유출이며 이에 따른 삭감계획으로는 양파·마늘 재배 시 주요 발생원인 시비량을 줄이고 동절기 농경지의 물꼬높이를 상향 조정하여 농업배출수의 유출을 최대한 억제하는 등의 저영향영농(Low Impact Farming)을 실행하고 관리구역 말단에 위치한 양배수장을 이용하여 농업배수를 재이용하여 관리구역에서 배출되는 오염물질이 관리구간으로 유입되는 것을 억제하는 방안 등이 적절할 것으로 판단된다.

3.6. 우리나라 지류총량제의 LDC 적용성

다양한 유량 조건의 수질 모니터링 자료를 이용하여 부하지속곡선에 해당 기간동안 관측된 수질 및 유량 자료를 도식하면 전체 유량규모에 대한 수질의 분포를 확인할 수

있어 미국의 많은 주에서 부하지속곡선 방법을 이용하여 TMDL 설정 기법, 데이터 분석 기법 및 유량 규모별 점·비점원 부하량 관리 기법으로 적용하고 있다.

전체 유량 크기에 따른 수질오염 문제를 단순한 그림으로 제공할 수 있는 부하지속곡선 방법은 허용부하량 관리에 대한 이해관계자의 자율적인 이해와 참여가 필요한 지류총량제의 시행에 많은 도움이 될 것이다. 특히 기존의 수질 규제에 익숙한 대중에게는 낯선 개념들을 많이 내포하고 있는 총량관리를 시행함에 있어 대중의 참여, 특히 주민이 속한 내 집 앞 지류의 수질특성을 부하지속곡선 방법을 활용해 보여 줌으로서 유역관리교육과 홍보를 위한 도구로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. Conclusion

본 연구는 낙동강으로 유입되는 지류인 계성천을 대상으로 부하지속곡선 방법과 현장 조사 결과를 이용하여 수질 개선을 위한 최적의 관리구간, 관리조건, 관리구역, 관리오염원을 선정하고 이를 바탕으로 계성천 수질개선을 위한 최적의 삭감방안을 제안하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 계성천에서 수질오염도가 가장 높아 우선관리가 필요한 관리구간은 V 구간(상대포교~계성천)으로 나타났으며 부하지속곡선을 이용하여 관리구간의 수체손상도를 분석한 결과 유량조건에 따른 수질 손상도는 E그룹(0.9~1.0)의 초과율이 66.7%로 가장 높았으며 계절조건에 따른 손상도는 동절기가 하절기 보다 높게 나타나 관리구간에서 관리가 필요한 유량 및 계절 조건은 동절기 저유량 조건으로 분석되었다.
- 2) 관리구간으로 유입되는 오염원은 남지배수 유역과 관곡천 상류와 하류유역에 위치하는데 이중 남지배수 유역은 유역면적과 오염원이 적고, 관곡천 상류유역은 유역에서 배출된 오염물질 전체가 저수지로 유입되어 홍수기를 제외하고는 방류가 없어 관리구간의 수질에 미치는 영향이 적어 관리구역은 상대적으로 면적이 넓고 오염원이 많으며 관리구간의 수질에 미치는 영향이 큰 관곡천 하류유역으로 설정하였다.
- 3) 관리구역의 오염원 조사 결과, 동절기·저유량 조건에서 오염물질을 가장 많이 배출하는 관리오염원은 동절기 양파·마늘 재배에 따른 비강우시 관개수로 분석되었다.
- 4) 관리구간의 수질개선을 위해 관리오염원의 최적의 삭감 계획으로는 양파·마늘 재배 시 주요 발생원인 시비량을 줄이고 동절기 농경지의 물꼬높이를 상향 조정하여 농업배출수의 유출을 최대한 억제하는 등의 저영향영농(Low

Impact Farming)을 실행하고 농업배수를 재이용하여 관리유역에서 배출되는 오염물질이 관리구간으로 유입되는 것을 억제하는 방안을 제안하였다.

- 5) 부하지속곡선을 이용한 수체손상 평가 시 저유량 조건에서 초과원인은 대부분 점오염원에 의한 영향으로 알려져 있지만 본 연구에서는 양파·마늘 재배에 따른 비강우시 비점오염원이 원인인 것으로 분석되었으므로 향후 부하지속곡선을 이용한 수체손상 평가 시 현장조사를 병행하면 보다 정확한 평가가 이루어 질 것으로 판단된다.
- 6) 또한, 지류총량관리를 위한 관리유역 및 관리조건, 관리오염원 추적을 위해서는 보다 많은 실측자료 확보 및 정밀한 현장조사, 다양한 수체손상 평가 방법의 개발이 필요하며 관리오염원을 저감할 수 있는 다양한 관리방법이 추가적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

References

- Cleland, B. R. (2003). TMDL Development from the "Bottom up" - Part III: Duration Curve and Wet Weather Assessment, *National TMDL Science and Policy 2003-WEF Specialty Conference*, USA, Chicago.
- Gyeongsannam-do. (2015). *The Third Stage Basic Plan of Gyeongsannam-do TMDL in Nakdong River*, Gyeongsannam-do, pp. 7-8. [Korean Literature]
- 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]
- Hwang, H. S., Yoon, C. G., and Kim, J. T. (2010). Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL Unit Watershed in Korea, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 26(6), pp. 903-909. [Korean Literature]
- Kim, E. J., Park, B. K., Kim, Y. S., Rhew, D. H., and Jung, K. W. (2015). A Study on Development of Management Targets and Evaluation of Target Achievement for Non-point Source Pollution Management in Saemangeum Watershed, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 37(8), pp. 480-491. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2012). *Water Environment Information System (WEIS)*, <http://water.nier.go.kr/waterMeasurement/selectWater.do> (accessed Jun. 2012).
- National Institute Environmental Research (NIER). (2015). *Demonstration Project of TMDLs for Tributary Watershed Management*, National Institute Environmental Research, 11-1480523-002716-01. [Korean Literature]
- Nevada. (2003). *Load Duration Curve Methodology for Assessment and TMDL*, Development Nevada Division of Environmental Protection.
- 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., Jung, J. W., Hwang, K. S., Moon, M. J., Ham, S. I., and Lim, B. J. (2013). Water Quality Characteristics Evaluation by Flow Conditions Using Load Duration Curve - in Youngbon A Watershed -, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 22(4), pp. 319-327. [Korean Literature]
- Shon, T. S., Park, J. B., and Shin, H. S. (2009). A Study on Estimation of the Delivery Ratio by Flow Duration in a Small-Scale Test Bed for Managing TMDL in Nakdong River, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 25(5), pp. 792-802. [Korean Literature]
- United States Environmental Protection Agency Office of Wetlands, Oceans, & Watersheds (U. S. EPA.). (2006) *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*, U. S. EPA Office of Wetlands, Oceans, & Watersheds.