

ORIGINAL ARTICLE

## 유량-부하량 관계식과 8일 간격 누적유량지속곡선을 이용한 오수천의 수체 손상도 분석

이영성 · 김영석 · 한성욱 · 서권옥 · 임창복 · 이영재 · 김경현 · 정강영\*

국립환경과학원 영산강물환경연구소

### Analysis of Water body Damage at Osu Stream Using the Flow-Loading Equation and 8-Day Intervals Cumulative Flow Duration Curve

Young Sung Lee, Young Suk Kim, Sung Wook Han, kwon ok Seo, chang bok Lim,  
Yeong Jae Lee, Kyunghyun Kim, Kang-Young Jung\*

*Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gwangju 61011, Korea*

#### Abstract

The purpose of this study at water quality pollutants to propose proper management method for the Osu-A unit watershed which is the influent tributary located upstream of the Sumjin -river among the 13 unit watersheds in the Sumjin-river watershed system. Analyzed the correlation between flow-pollution loading and the correlation between land use type, BOD and TP items, and analyzed 8-day intervals Cumulative Flow Duration Curve (CFDC) and Load Duration Curve (LDC) to evaluate water quality damage. As a result, both BOD and TP were larger than 1 and the concentration of water pollutants increased with increasing flow. BOD was positively correlated with Urban and Field, and TP was positively correlated with Field with 0.710. As a result of the LDC, BOD was analyzed that the target water quality was achieved with the excess rate of less than 50%, and TP exceeded the target water quality by 50.1%. BOD usually exceeded the standard value (exceedance probability 50%) at low flow zone and On the other hand, TP usually exceeded the standard value at high flow zone. Monthly BOD (April to June) and TP (May to August) exceeded the standard. Sewage Wastewater treatment and non-point pollution control is Osu-A unit watersheds are effective in improving BOD and TP.

**Key words** : Cumulative flow duration curve, Load duration curve, Flow-loading equation, Land use analysis

#### 1. 서 론

하천의 수질은 상류지역이나 지류에서 유입되는 오염

물질의 양과 수체 내에서 일어나는 내부생산 기작에 따라 좌우되며, 수체 내 수질변화는 강우, 기온, 생태환경, 경작패턴 등의 외부영향을 받으며 변이되므로 이를

Received 23 July, 2018; Revised 23 November, 2018;

Accepted 28 November, 2018

\*Corresponding author: Kang-Young Jung, Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gwangju 61011, Korea  
Phone : +82-62-970-3901  
E-mail: happy3313@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

인위적으로 제어하기에는 한계가 있다(Kim et al., 2013). 하천의 오염원으로는 여러 가지가 있겠지만 우선적으로 하천 본류로 유입되는 지류의 수질 상태를 고려할 수 있다. 지류의 수질오염도가 높으면 강이나 하천으로 합류 후 본류의 수질에 많은 영향을 미치는 것은 주지의 사실이다(Hwang et al., 2013). 본류구간의 수질 및 수생태계 개선계획을 마련하기 위해서는 근원이 되는 지류의 물 환경 특성을 고려하여 진단할 수 있도록 하여야 한다. 그리고 하천 내 오염현황을 진단하고 효율적인 오염원 제어를 통한 하천의 수질관리가 효과적으로 이루어지기 위해서는 수질·유량 모니터링 자료의 축적이 무엇보다 중요하다(Jung, 2018). 일반적으로 유역에서 하천으로 유입되는 오염배출량은 점에 의한 배출량과 비점에 의한 배출량으로 구분할 수 있다. 점에 의해 하천으로 배출되는 오염부하량은 연중 일정하게 배출되는 반면, 비점으로 하천에 배출되는 오염부하량은 평상시 면으로 분포하다 강우 시 표면 유출수와 함께 유출되며, 유역의 지형조건 및 특성, 토지이용형태, 수문학적 조건 등에 따라 다르게 배출되므로 이를 정량화하기에는 어려움이 있다(Park, 2011). 하천에서 수체의 오염도는 주요 수질지표항목의 주기적인 측정치의 분석으로 평가되고 있으며, 이러한 방법은 유량이 고려되지 않아 수체 내 오염물질을 정량화할 수 없는 한계점이 있다. 그러므로 하천(본류)의 효율적인 수질개선을 도모하기 위해서는 유역 내 오염물질에 대한 거동 규명을 위한 오염부하량의 정량화가 필요하며, 이를 위해서는 특정지점에서 수질과 유량을 동시에 실측해야 가장 정확한 자료를 얻을 수 있다. 환경부에서 2004년 낙동강 수계를 시작으로 현재 나머지 3대강 수계로 확대 시행하고 있는 수질오염총량관리 측정망(이하 총량측정망)지점은 일반 수질측정망 지점과 달리 수질과 유량을 동시에 측정하고 있어 유량을 반영한 오염부하량의 정량화가 가능하게 되었다. 이를 이용하여 낙동강 및 한강, 영산강 주요 유입지류의 유량과 오염부하량 간의 관계식을 이용하여 간단하면서도 간접적으로 오염원을 파악한 연구가 수행된 바 있다(Kim et al., 2000; Choi et al., 2011; Choi et al., 2012; Park et al., 2013; Jung et al., 2015; Kwon et al., 2017). 최근에는 오염부하의 크기를 고려하여 수질오염문제를 규명하고, TMDLs(Total Maximum Daily Loads)을 효과적으로 평가하기 위하여 제안된 부하지속곡선방법

(Load Duration Curve, LDC)이 많이 활용되고 있다. 유량 및 오염부하량 자료를 바탕으로 작성되는 부하지속곡선(LDC)은 하천의 전체 유량조건에 대한 수질 및 부하량 특성을 파악할 수 있는 곡선으로 수질오염총량제도의 개선과 보안을 위하여 최근 부하지속곡선의 수질오염총량제 적용에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 이와 관련한 다양한 연구가 진행 중이다(Hwang et al., 2011; Kang et al., 2011; Park and Oh., 2012; Park et al., 2013; Cheong et al., 2016). 본 연구에서는 1, 2단계 수질오염총량관리제가 완료되고 3단계가 진행 중인 현재 섬진강수계 13개 단위유역 중 섬진강 상류에 위치한 제1 유입지류인 오수A(오수천) 단위유역을 대상으로 수질오염물질 정량화와 적정관리방안 도출을 위해 유량·오염부하량간 상관성을 분석하고 관계식을 통하여 오염원 및 부하지속곡선의 적용 가능성을 파악하였고, 토지이용형태와 관리대상항목간의 상관성 분석은 물론 8일 간격으로 측정된 유량자료를 활용한 FDC 및 LDC를 적용하여 다양한 유황조건에서의 목표수질 초과 여부를 통한 수체 손상 정도를 파악하여 오수천의 현 수질 상태에 대한 명확한 자료를 제공하고자 하며, 아울러 손상된 유량구간 및 월별조건에 따른 적절한 최적관리시점을 제시함으로써 향후 오수천의 수질을 관리하는데 있어 도움이 되고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상 유역 및 자료수집

본 연구의 대상유역은 섬진강 상류로 유입되는 오수천(오수A 단위유역)으로 발원지부터 섬진강본류 합류점 전까지 유역의 유로연장은 35.7 km이며, 유역면적은 370.8 km<sup>2</sup>이다. 유역둘레는 106.39 km이고, 유역평균 폭은 10.38 km, 유역평균표고는 EL. 241.73 m, 유역평균경사는 25.12% 이다. 동경 127° 12' 38" ~ 127° 27' 25", 북위 35° 25' 1" ~ 35° 39' 44" 사이에 위치하며, 행정구역으로는 전라북도 남원시(26%), 장수군(13%), 임실군(49%) 및 순창군(12%) 1도 1시 3군이 일부 또는 전체가 포함되어 있다. 하천 하류에서 45° 만곡하여 유하하며 하천하상은 자갈 및 모래로 구성되고, 북쪽으로는 섬진강댐유역과 접해 있고, 남쪽으로는 순창유역 및 요천유역, 서쪽으로는 섬진강댐하류유역, 동쪽으

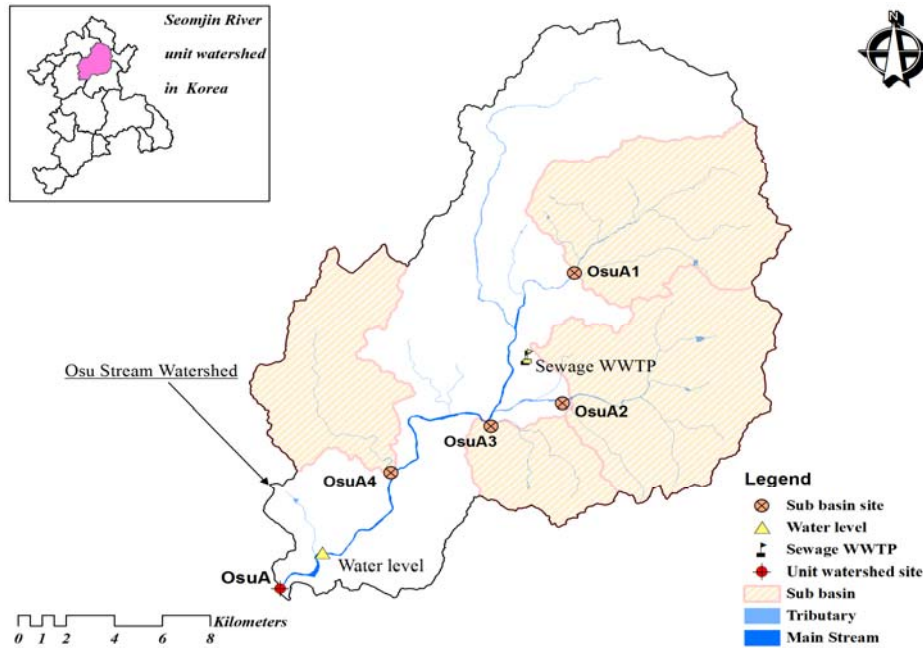


Fig. 1. Location of the Osu A watershed.

로는 요천유역과 접해있다(Fig. 1)(Jeonju regional environmental agency, 2011).

본 연구를 위한 유량 및 수질 자료는 환경부 물 환경정보시스템(WEIS, 2018)에서 오수A 단위유역 지점의 2005년 1월부터 2017년 12월까지 13년간 자료를 수집 이용하였고, 각 시·군 경계지점에서 2010년 하반기부터 관측을 시작한 소하천 모니터링 지점인 오수A1, 오수A2, 오수A3, 오수A4 4개 지점은 2012년 1월부터 2017년 12월까지 6년간 자료를 수집 이용하였으며, 연구에 이용한 수질 항목은 수질오염총량 관리대상항목인 BOD, TP를 선정하여 분석을 수행하였다.

### 2.2. 유량-부하량 관계식

오염부하량(L)은 관측지점에서 유출되는 유량과 농도를 곱하여 산출되는 값이다. 강우 시의 오염부하량은 기저유출성분인 자연부하와 가정 및 상·공업지역에서 배출되는 오수, 지표면 세척에 의한 오염부하량의 합이라고 할 수 있다(Kim et al., 2000). 강우시간이 지속됨에 따라 오염물질의 농도는 감소하나 유출량 증가로 오염부하량은 증가하므로 비점오염원 해석에 있어서 중요한 인

자이다(Wanielista, 1978). 하천유량(Q)과 오염부하량(L)의 경험식은 (1)과 같다. 이를 변환하면 식 (2)가 된다. 여기서 a값은 기저유출부하량과 관련이 있으며, b값은 회귀식의 기울기를 의미하는데 b의 값이 1보다 크면 유량증가에 따른 오염부하량이 증가하는 특성을 나타내고, b가 1이면 농도변화가 없으며, b가 1보다 작으면 수질농도가 유량증가에 민감하게 반응하지 않는 것으로 해석한다(Kim et al., 2000; Lee et al., 2007; Park, 2007; Choi et al., 2012).

$$L = a \times Q^b \tag{1}$$

$$\frac{L}{Q} = C = a \times Q^{(b-1)} \tag{2}$$

여기서, L 은 오염부하량(kg/day), Q는 하천유량(m<sup>3</sup>/day), a와 b는 계수이다.

### 2.3. 토지 이용 분석

유역내의 토지이용도는 인간의 활동과 직접적으로 연관되어 있으면서, 하천의 수질과도 밀접한 관련이 있다(Gburek and Folmar, 1999). 토지이용형태는 하천의

수질에 많은 영향을 주기 때문에 하천의 수질을 관리하는데 매우 중요하다. 따라서 토지이용과 수질과의 상관성을 분석하고, 비점오염원과 같은 환경오염인자에 대한 해석을 위해 토지이용자료로 토지이용현황을 분석하였다. 대상유역의 토지이용현황을 파악하기 위해 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도를 이용하였다. 분류는 시가지·교통지역(Urban), 산업지역(Industrial), 밭(Field), 논(Agriculture), 산림(Forest), 초지(Grass), 나지(Bare land), 습지(Watland), 수역(Waters) 등 9가지 지목으로 분류 추출하였으며, 주거지역, 상업지역, 교통지역, 위락시설, 공공시설지역을 합쳐 시가지·교통지역(Urban) 지역으로 통합하여 면적을 산정하였고, 과수원, 하우스재배지, 기타재배지역을 합쳐 밭(Field) 지역으로 통합하였으며, 활엽수, 침엽수, 혼효림을 합쳐 산림(Forest) 지역으로 통합하여 면적을 산정하였다.

#### 2.4. 유량지속곡선

유량지속곡선은 관측된 유량자료를 바탕으로 유역의 유량변동 상황을 나타내는 곡선으로 하천의 전체 유량조건에 대한 유량변화를 분석하는 기법이며, 수역의 장단기 유량변화 분석 및 수질 변화 요인 규명 등을 위한 중요한 도구로 사용되고 있다(Vogel and Fenessey, 1994; Park and Oh, 2013). 기준유량산정이나 오염부하지속곡선을 활용하여 목표수질 달성여부 등을 분석하기 위해서도 유량지속곡선의 작성이 반드시 선행되어야 한다(Park and Oh, 2012). 일반적으로 유황곡선을 작성하기 위해서는 일단위의 연속적인 유량자료가 필요하다. 356일 동안 연속적으로 일유량이 측정되고 있는 지점에서는 실측자료를 직접 이용하여 유황곡선을 작성하면 되지만, 부분계측 유역이나 미계측 유역에서는 통계적 방법이나 유역모델링 기법에 의하여 일유량을 산정한다(Kim et al., 2017). 유량지속곡선(FDC)작성 방법은 일단위 유량자료를 최대 유량에서 최소유량 순으로 정렬한 후 식 (3)과 같이 특정 유량을 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 X축에는 초과확률, Y축에는 해당 유량을 도식한다(Lee, 2013).

$$\begin{aligned} \text{Percent of Days Flow Exceeded}(\%) \\ = \text{Rank} / \text{Number of data} \times 100 \end{aligned} \quad (3)$$

#### 2.5. 부하지속곡선

부하지속곡선은 전체유량조건에서 수질 관측 자료와 목표수질과의 관계를 나타내는 곡선이다(U.S. EPA, 2007). 이 방법은 유량특성을 고려하여 수질현상을 해석하고 규명하는데 용이하며, 수질오염문제의 본질적인 특성과 목표로 하는 수질기준의 초과형태를 분석하고 진단하여 적절한 수질관리 방안을 모색하는데 유용하다(Kang, 2007). 미국의 여러 주에서는 오염물질의 문제를 다루고 이에 대한 관리 계획을 수립하기 위하여 부하지속곡선방법을 이용하고 있으며, TMDLs의 설정과 이행 평가 그리고 데이터 분석 및 유량 규모별 점원 및 비점원 부하량 관리 기법으로도 이용하고 있다(Park, 2010). 부하지속곡선의 작성을 위해서는 목표수질 설정지점에 대한 일유량자료를 높은 값에서 낮은 값 순으로 정렬하고, 각 유량 값에 대해 이 값을 초과하는 일수를 백분율(초과유량백분율)로 계산 한다. 그 결과 값에 목표수질 기준 값을 곱하면 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)을 작성할 수 있다(식 (4)). 부하지속곡선 위에 수질 및 유량 자료를 이용하여 산정된 부하량을 나타냄으로써 해당 유역의 목표수질기준 준수여부를 판단할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Load}(\text{kg}/\text{day}) &= \text{Flow}(\text{m}^3/\text{s}) \\ &\times \text{Water Quality Standard}(\text{mg}/\text{L}) \times 86.4 \end{aligned} \quad (4)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 강우량과 수질조사

하천유량은 강우에 영향을 많이 받으며 수질에 영향을 미치는 주요한 인자이다. 대상유역의 유역면적 평균 강우량을 산정하기 위하여 티센망을 구축하였다.

유역 인근에는 임실, 남원, 장수 3개 기상관측소가 위치해 있고, 티센 계수가 각각 0.542, 0.372, 0.086로 분석되었으며 최근 10년간 강우량자료를 수집하여 분석에 사용하였다. 오수천 유역은 4월부터 강우량이 증가하기 시작하여 여름철 장마기인 7월과 8월에 최고치인 359 mm, 298 mm가 내렸고, 9월까지 강우가 집중되어 10년 평균 강우량인 1,317 mm의 약 59.2%인 779.8 mm가 이 기간 동안 내렸으며, 이때 하천의 유량도 가장 많았다. 1월과 2월의 강우량은 16.9 mm, 37.6 mm로 매우적어

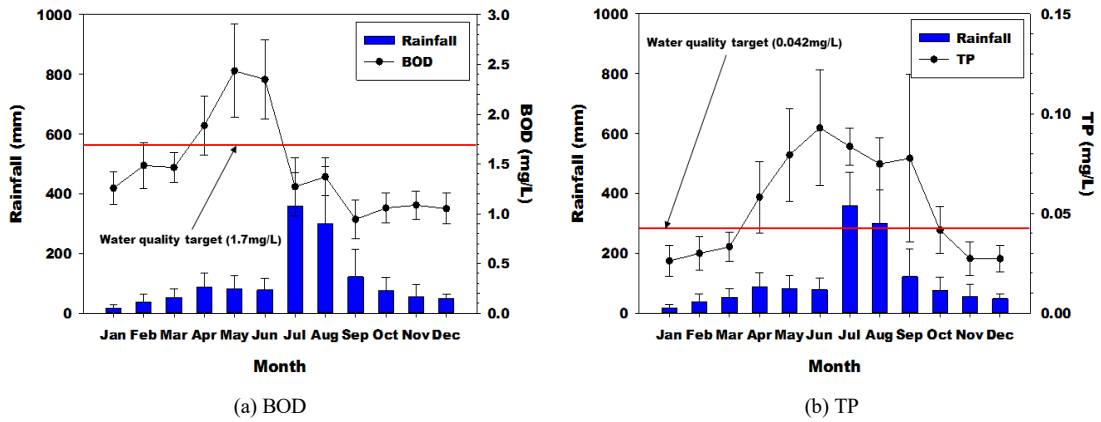


Fig. 2. Comparison of average BOD, TP concentration and rainfall.

가뭃현상을 보였다. 총량관리 항목인 BOD의 전체 13년간 평균농도는 1.5 mg/L로 수질환경기준 I b(중음)등급의 아주 양호한 수질을 보이는 것으로 나타났고, 목표수질 값인 1.7 mg/L 기준을 초과하지 않고 기준이하로 유지·관리되고 있는 것으로 조사되었다. TP의 전체 13년간 평균농도는 0.054 mg/L로 수질환경기준 II(약간 좋음)등급의 수질을 보이는 것으로 나타났고, 목표수질 값인 0.042 mg/L 기준을 초과하여 평균 수질이 목표를 상회하는 것으로 분석되었다. 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS, 2018) 강우자료와 BOD, TP 농도 변화를 비교 분석한 자료를 Fig. 2에 나타내었다.

3.2. 오염원 현황과 발생 및 배출부하량 조사

오수천 유역의 총인구는 2008년 기준 19,864명으로

조사되었으며, 이중 하수처리구역 내 인구는 5,707명, 하수미처리 대상 인구는 14,157명(71.2%)으로 전체인구 대비 비율이 매우 높으며, 하수도 보급률은 28.7% 정도이다. 축산계 오염원 축종은 한우, 젓소, 돼지, 기금, 기타 축종별로 기금이 2,642,983마리로 가장 많았고, 한우, 돼지가 각각 19,564와 106,326마리로 많이 사육되고 있으며, 기금, 돼지 및 한우가 대부분을 차지하고 있다. 오수천 상류 인근 유역에 축산오염원이 대부분 집중되어 있는 것으로 조사되었다. 폐수 배출업소 수는 23개소로서, 1, 2종은 없으며, 3종이 2개소, 4종이 1개소이고, 5종이 20개소로 전체배출업소의 86.9%를 차지하고 있고, 폐수발생량은 2,492 m<sup>3</sup>/일로 나타났으며, 오수천 중류 유역에서 가장 많이 발생하는 것으로 조사되었다. 임야의 비율이 63.3%로 가장 높고, 담, 기타, 전, 대지의 순으로

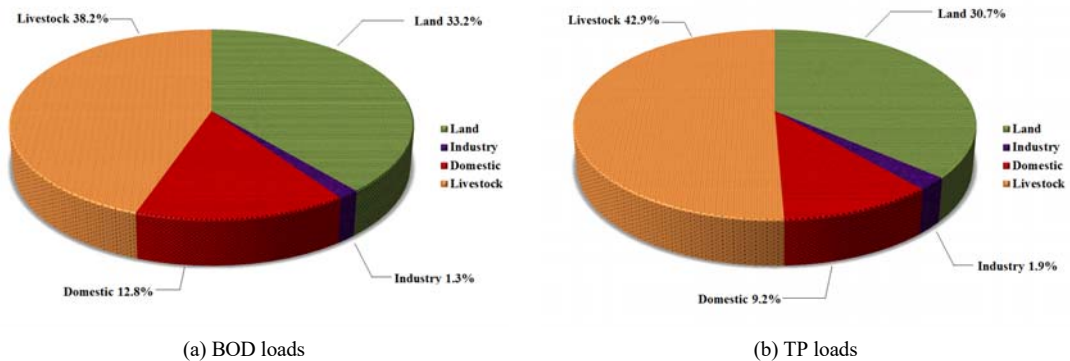


Fig. 3. Discharged BOD loads and TP loads at the Osu Stream watershed.

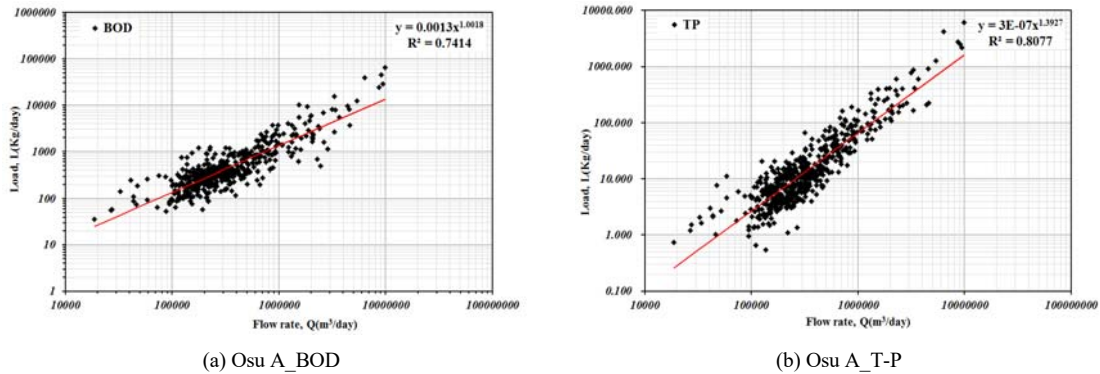


Fig. 4. Relationship between Flow and Delivery pollutants load at the Osu A watershed.

이용되고 있다.

오수천 중권역내 발생하는 BOD의 총 발생 부하량은 2008년 기준 총 26,363.2 kg/일이 발생하였으며, 이중 축산계가 21,860.8 kg/일(82.9%)로 가장 크며, 다음으로 토지계 2,103.0 kg/일(5.9%), 산업계 1,217.9 kg/일(4.6%), 생활계 1,140.7 kg/일(4.3%)순으로 발생 하였다. BOD 배출 부하량은 총 4,468.9 kg/일이 배출되었으며, 이중 축산계 1,707kg/일(38.2%)와 토지계 2,094.1 kg/일(33.2%)에서 기여하는 비율이 높았으며, 생활계는 570.6 kg/일(12.8%), 산업계 56.4 kg/일(1.3%)정도인 것으로 조사되었다. T-P 발생 부하량은 총 2,042.1 kg/일이 발생하였으며, 이중 축산계 1,874.4 kg/일(91.8%)가 압도적으로 크며, 토지계 121.4 kg/일(4.2%), 생활계 33.3 kg/일(1.6%), 산업계 10.9 kg/일(0.5%)순으로 나타났다. 오수천 중권역내 배출되는 T-P 배출 부하량은 총 268.87 kg/일이 배출되었으며, 이중 축산계 115.46 kg/일(42.9%)와 토지계 121.29 kg/일(30.7%)에서의 비율이 높고, 생활계 24.83 kg/일(9.2%), 산업계 5.14 kg/일(1.9%)순으로 나타났다. 이를 종합해보면 오수천 유역내에서 BOD, T-P오염원의 기여율은 축산과 토지에서 가장 크게 기여하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 3) (JREA, 2011).

### 3.3. 유량-오염부하량 상관분석 결과

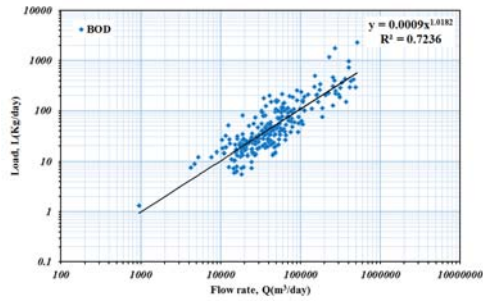
오수천 단위유역 말단 오수A 지점의 2005년부터 2017년까지 실측 유량(Flow)과 BOD, TP 수질자료를 이용한 부하량(Load)의 관계로부터 유출특성을 제시하였다(Fig. 4). 오수천을 대표하는 오수A 지점에서 BOD,

TP의 결정계수는 각각 0.74, 0.80로 나타나 유량과 BOD, TP 부하량과의 관계가 유의성이 높은 것으로 파악되었으며, 세부적으로 유역 내 오수천으로 유입되는 소하천 모니터링지점(2012년 ~ 2017년)의 유량과 부하량 상관분석 역시 같은 결과로 나타나 본 연구대상지역은 유량과 BOD, TP 부하량과의 관계가 높은 것으로 판단된다(Fig. 5). 선행된 연구결과에 따르면 결정계수(Coefficient of Determination,  $R^2$ )가 0.7이상이면 상관성이 높다고 보고된 바 있다(Kim et al., 2013; Park et al., 2013; Jung et al., 2015).

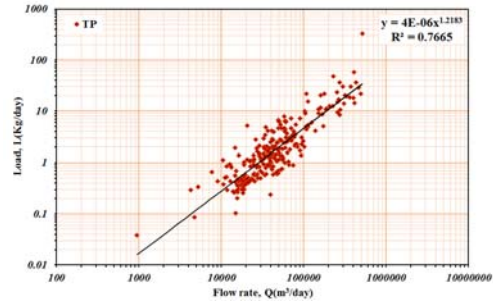
Table 1에서 BOD의 경우 소하천 지점의 유량 지수가 각각 1.0182, 1.0728, 1.1522, 1.0142로 1보다 크게 나타났지만 전체적으로는 1.0018로 1보다 약간 상회하는 것으로 분석되어 유량 증가에 따른 농도는 증가하지만 그 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

그러나 오수천 유역은 하수미처리인구의 비율이 높고 축산 및 토지에서 BOD발생 및 배출 비율이 높기 때문에 선행 무 강우일수가 긴 저·갈수기에 산발적인 강우로 인해 주변 축산농가와 논, 밭 등 비점오염원의 추가적인 영향을 어느 정도 받는 것으로 판단되어진다. T-P의 경우는 소하천 지점의 유량 지수가 각각 1.2183, 1.2307, 1.3596, 1.1415로 지수 1보다 높게 나타났고, 전체적으로도 지수 값이 1.3927로 매우 높게 나타나 유량의 증가에 따라 농도도 급격히 증가하는 경향을 보였다. 이는 인이 토양흡착능이 크기 때문에 많은 양의 인이 흡착된 토사가 강우유출수와 함께 하천(본류)으로 유입되어 나타나는 현상으로 해석되어진다(Kim et al., 2013). 따라서

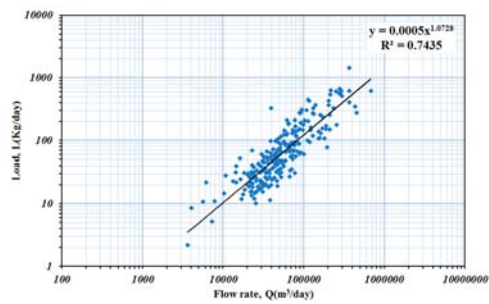




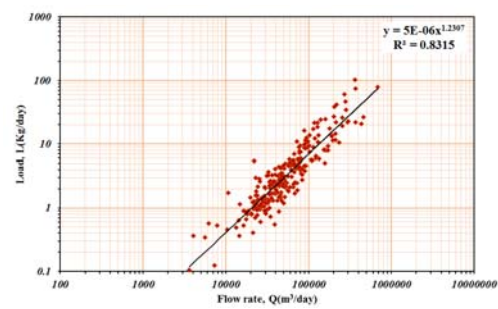
(a) Osu A1\_BOD



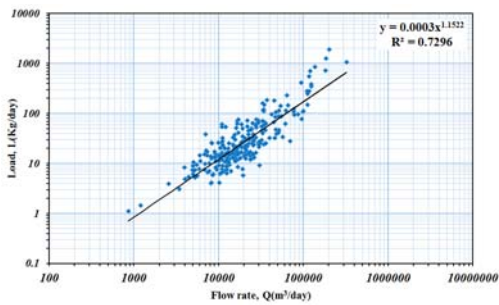
(b) Osu A1\_T-P



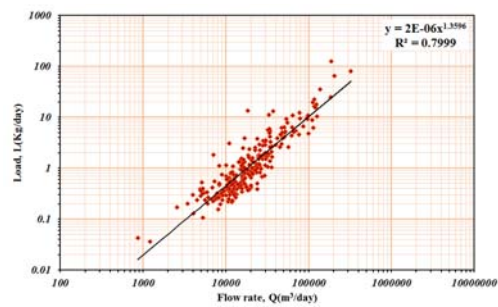
(c) Osu A2\_BOD



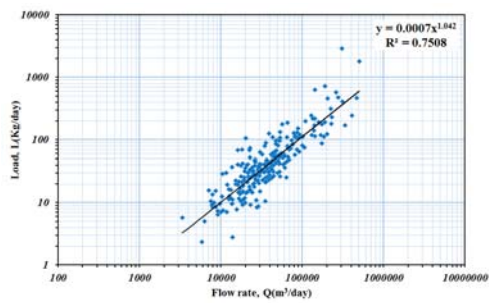
(d) Osu A2\_T-P



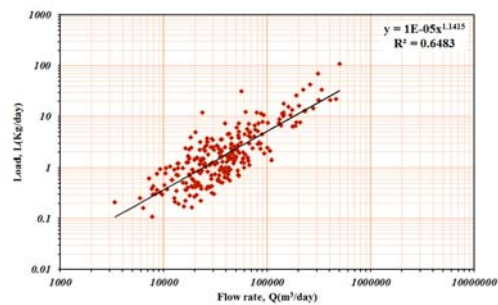
(e) Osu A3\_BOD



(f) Osu A3\_T-P



(g) Osu A4\_BOD



(h) Osu A4\_T-P

Fig. 5. Relationship between Flow and Delivery pollutants load at the Osu-A sub basin site.

**Table 1.** Regression equations for pollutants load at the Osu A watershed and sub basin

| Sites  | Equations              |                       | Coefficient of Determination, R <sup>2</sup> |        |
|--------|------------------------|-----------------------|--|--------|
|        | BOD                    | T-P                   | BOD  | T-P    |
| Osu A1 | $L = 0.0009Q^{1.0182}$ | $L = 4E-06Q^{1.2183}$ | 0.7236                                       | 0.7665 |
| Osu A2 | $L = 0.0005Q^{1.0728}$ | $L = 5E-06Q^{1.2307}$ | 0.7435                                       | 0.8315 |
| Osu A3 | $L = 0.0003Q^{1.1522}$ | $L = 2E-06Q^{1.3596}$ | 0.7296                                       | 0.7999 |
| Osu A4 | $L = 0.0007Q^{1.042}$  | $L = 1E-05Q^{1.1415}$ | 0.7508                                       | 0.6483 |
| Osu A  | $L = 0.0013Q^{1.0018}$ | $L = 3E-07Q^{1.3927}$ | 0.7414                                       | 0.8077 |

**Table 2.** Osu watershed and Osu sub basin land use area classification

| Sites        | Urban              |            | Industrial         |            | Field              |             | Agriculture        |             | Forest             |             | Bare land          |            | Total<br>Area<br>(km <sup>2</sup> ) |
|--------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|------------|-------------------------------------|
|              | Area               | ratio      | Area               | ratio      | Area               | ratio       | Area               | ratio       | Area               | ratio       | Area               | ratio      |                                     |
|              | (km <sup>2</sup> ) | (%)        | (km <sup>2</sup> ) | (%)        | (km <sup>2</sup> ) | (%)         | (km <sup>2</sup> ) | (%)         | (km <sup>2</sup> ) | (%)         | (km <sup>2</sup> ) | (%)        |                                     |
| Osu A1       | 2.10               | 3.4        | -                  | -          | 5.10               | 8.3         | 18.74              | 30.3        | 33.82              | 54.8        | 0.12               | 0.2        | 61.74                               |
| Osu A2       | 2.09               | 3.0        | 0.20               | 0.3        | 6.08               | 8.9         | 19.61              | 28.6        | 37.48              | 54.6        | 0.79               | 1.2        | 68.65                               |
| Osu A3       | 0.84               | 3.9        | 0.02               | 0.1        | 3.25               | 14.9        | 5.44               | 24.9        | 11.30              | 51.8        | 0.28               | 1.3        | 21.81                               |
| Osu A4       | 0.93               | 2.2        | 0.03               | 0.1        | 4.51               | 10.5        | 6.16               | 14.4        | 29.63              | 69.1        | 0.02               | 0.0        | 42.86                               |
| <b>Osu A</b> | <b>11.67</b>       | <b>3.1</b> | <b>0.57</b>        | <b>0.2</b> | <b>38.61</b>       | <b>10.4</b> | <b>83.36</b>       | <b>22.5</b> | <b>219.38</b>      | <b>59.1</b> | <b>2.55</b>        | <b>0.7</b> | <b>371.02</b>                       |

**Table 3.** The *r* values between water quality parameters and land use.

| Parameter | Urban  | Industrial | Agriculture | Field | Forest | Grass  | Bareland |
|-----------|--------|------------|-------------|-------|--------|--------|----------|
| BOD       | 0.687* | 0.117      | 0.152       | 0.641 | -0.508 | -0.586 | 0.599    |
| TP        | 0.288  | 0.499      | -0.057      | 0.710 | -0.316 | 0.160  | 0.817    |

\* Correlation coefficients(*r*) =  $-1 \leq r \leq 1$

전체적으로 오수천에서 BOD, T-P 농도는 점오염원보다 비점오염원의 영향을 받고 있는 것으로 판단되어지며, 각 항목별로 유량이 미치는 영향은 T-P>BOD 순으로 크다는 것을 알 수 있었다.

### 3.4. 토지이용과 수질항목별 상관분석

앞서 9가지로 분류 추출한 지목 중 수질항목과의 상관 분석에 사용한 시가지·교통지역(Urban), 산업지역(Industrial), 밭(Field), 논(Agriculture), 산림(Forest), 나지(Bare land) 등 6가지 지목에 대한 분석 결과를 Table 2에 지점별로 분류 정리하여 나타내었다.

오수천 전체 면적 중 산림이 차지하는 면적비율이 59.1%로 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났고, 논과 밭이 차지하는 비율이 각각 22.5%, 10.4%로 비교적 많았으며, 시가지·교통지역은 3.1%로 적은 면적을

차지하는 것으로 나타났다. 소하천 유역 역시 이와 비슷한 면적비율형태로 분석되었으며, 산림을 제외하면 농경지 점유율이 높은 것으로 조사되었고, Osu A3 면적이 21.81 km<sup>2</sup>로 가장 적었다(Fig. 6). 상관분석은 두변수간의 선형적인 상관관계를 파악하는 것으로 하나의 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 방법이다. 여기서 두 변수간의 관련성을 나타내기 위한 척도로 상관계수(Correlation coefficient, *r*)가 많이 이용되며, 상관계수 *r*의 범위는  $-1 \leq r \leq 1$ 이다. -1쪽으로 강한 음의 관계가, +1쪽으로 강한 양의 상관성을 나타내며, 일반적으로 피어슨 *r*이 0.3이하이면 두 변수들 간의 약한(weak) 관계, 0.5이면 중간(moderate) 관계, 0.7이상이면 강한(strong) 관계를 나타낸다(Lee et al., 2018).



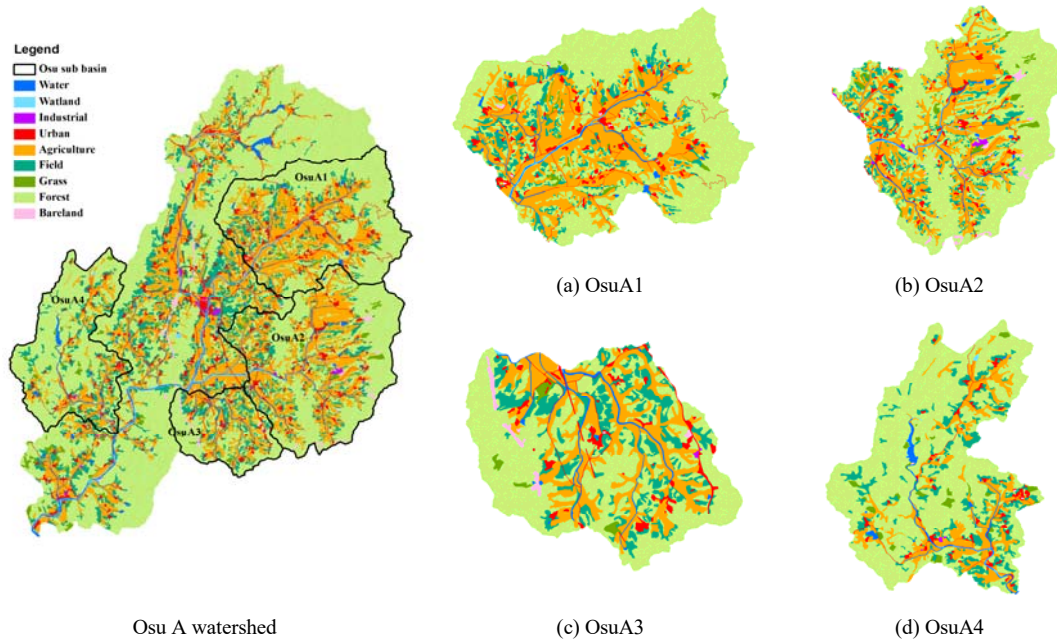


Fig. 6. Distribution of land use type in the Osu stream watershed and sub basin.

오수천 단위유역 지점과 유역 내 소하천지점의 BOD, TP 항목과 토지이용간의 상관분석은 SPSS statistical package tool을 이용하여 분석하였다. Table 3은 오수천 단위유역 지점과 4개 소하천 지점의 BOD, T-P항목의 평균 농도와 토지이용점유율에 따른 상관분석 결과를 나타낸 것이다. 토지이용에 따른 수질항목별 상관성은 산림을 제외한 시가지·교통지역, 논, 밭, 산업지역에서 모두 양의 상관성을 보였다. 이는 선행된 연구와도 일치하는 결과로 영산강과 경안천 유역의 토지이용에 따른 하천수질변화를 조사한 결과 농경지면적이 증가할수록 유기물과 인의 농도가 증가하는 경향이 있다고 보고한바 있다(Yim et al., 1995; Jung et al., 2012).

특히 BOD는 시가지·교통지역과 밭에 대해 양의 상관성이 높게 나타났는데, 이는 강우에 의해 경작지와 시가지 불투수면적의 토양표면에 축적된 오염물질과 미처리된 불특정 점오염원의 관리소홀로 인한 영향으로 추정해 볼 수 있다. 참고로 오수천 유역의 하수도 보급률은 2008년 기준 28.7%로 아주 낮다. TP의 경우는 밭의 지목과 상관성이 0.710으로 높게 나타났는데 이는 논, 밭에 살포된 비료와 가축분뇨가 토양입자와 결합되어 평소

유출이 일어나지 않지만, 강우 시 토양입자의 이탈과 함께 하천으로 다량 유출되어진다. 또한 TP는 점오염원보다는 비점오염원의 영향이 크며, 이러한 영향은 해당 지역(유역)의 토지이용 점유율과 깊은 관계가 있다는 것을 알 수 있다(Jung et al., 2012a). Jung et al.(2012b)과 Park et al.(2014)은 영산강 수계 토지이용과 수질항목간의 상관관계 연구에서 TP는 건기보다 우기 때 양의 상관성을 보인다고 보고하였다. 이와 달리 산림의 경우 수질항목 간의 상관성이 모두 음의 상관관계를 나타내었다.

### 3.5. 8일 간격 누적유량지속곡선 작성결과

지금까지 수체손상평가나 오염총량관리에 사용하기 위한 유행곡선은 대부분 유역모형을 적용하여 모의한 일유량자료를 사용하여 유량지속곡선을 작성한다. 수문모형을 기반으로 일유량 자료를 생산하는 방식은 예측된 유량자료가 부족할수록 유용하게 쓰이나, 계산과정에서 오차와 불확실성이 결과치에 늘 내포되어 있다. 또한, 입력 자료의 구축과 매개변수의 검·보정 등 많은 시간과 노력을 필요로 한다(Baek and Yim 2012). Hwang et al.(2011)은 부하지속곡선 적용 연구에서 단위유역에서 연속적인 일 유량자료를 획득은 하지 못하지만, 8일 간격

주기로 자료가 지속적으로 실측되고 있어, 장기간 일정 주기로 자료가 누적될 경우 하천의 전체 누적유량빈도를 대변 할 수 있을 것으로 판단하여 유역모형 구축을 통해 산정한 일 유량자료로 작성한 유량지속곡선과 동일기간 실측자료만을 이용하여 작성한 유량지속곡선을 비교 분석하였다. 그 결과 고유량 일부를 제외하고 간헐적이지만 정기적인 실측유량이 다년간 축적될 경우 하천의 누적유량빈도를 대변하는 유량지속곡선 작성이 가능한 것으로 나타났고, Jung(2018)도 낙동강 본류 유입지류에 대한 물 환경오염도평가에서 주단위(8일간격) 유량자료 적용가능성을 확인하였다.

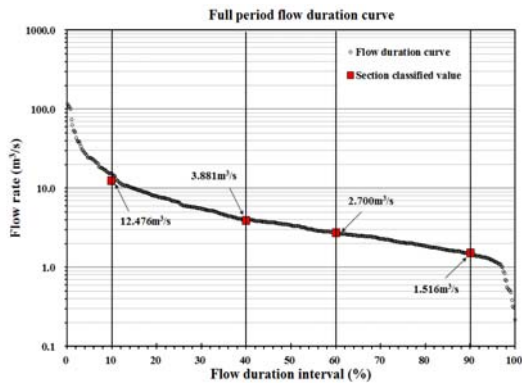


Fig. 7. Cumulative flow duration curve at the Osu A watershed (2005 ~ 2017).

따라서 연구기간인 2005년부터 2017년까지 13년간 실측자료가 축적된 오수A 단위유역 지점을 대상으로 그 간 생산된 8일 간격의 실측유량자료만을 사용하여 최대 유량에서 최소유량 순으로 배열한 누적유량지속곡선 (Cumulative Flow Duration Curve: CFDC)를 작성하여 Fig. 7 에 도시하였다. 또한 작성한 유량곡선으로부터 X축의 초과일수백분율 10%(홍수량)에 해당하는 값과 40%(평수량), 60%(저수량), 90%(갈수량)에 해당하는 값을 산정하여 Table 4 에 나타내었다.

Table 4. Section value of cumulative flow frequency (Unit : m<sup>3</sup>/s)

|             | Flow classification |       |       |       |
|-------------|---------------------|-------|-------|-------|
|             | 10%                 | 40%   | 60%   | 90%   |
| 2005 ~ 2017 | 12.476              | 3.881 | 2.700 | 1.516 |

### 3.6. 부하지속곡선 작성 및 실측 자료 도식화 결과

수체 손상도를 분석하기 위해 부하지속곡선을 작성하고자 할 경우에는 유량지속곡선과 함께 평가의 기준이 되는 수질 값(WQC)이 필요하다. 여기서, WQC는 기준 수질농도(Water Quality Concentration)값이다.

보통 평가 기준 수질농도 값은 고시된 목표수질 (Target Water Quality: TWQ) 농도 또는 물 환경측정망 운영계획에 고시된 중권역 수질목표 등급과 수질환경 기준을 사용한다. 사용한 평가 기준 수질은 오수A 단위 유역에 설정된 1,2,3 단계 수질오염총량관리 목표수질인 BOD 1.7mg/L와 TP 0.042 mg/L 값을 앞서 작성한 8일간격 누적유량지속곡선에 적용하여 부하지속곡선을 작성하였다. 최근 다년간 축적된 실측유량자료를 활용하여 부하지속곡선을 적용한 연구가 한강과 낙동강, 영산강을 대상으로 활발히 진행되고 있다(An et al., 2016; Kim et al., 2016a; Kim et al., 2016b). 오수A지점에서 13년 (2005 ~ 2017)간 실측된 유량 및 수질자료를 이용하여 일부하량을 계산하고, 측정된 유량값에 대응하는 초과유량백분율을 확인하여, 이에 해당하는 지점에 계산된 부하량을 도식화하였다(Fig. 8). 초과율 50%를 기준으로 실측자료의 초과율이 50% 이하인 경우 목표수질을 준수, 이상은 미준수하는 것으로 수체 손상정도를 분석하였다.

### 3.7. 누적유량빈도 그룹 및 월별 수체 손상도 분석

일반적으로 0% - 10%는 홍수기 조건(HF), 10% - 40%는 풍수기 조건(MC), 40% - 60%는 평수기 조건(MF), 60% - 90%은 저수기 조건(DC), 90% - 100%는 갈수기 조건(LF)으로 구분하는데(Cleland, 2003), 본 연구에서도 13년간 유량자료를 최대유량에서 최소유량 순으로 배열하고, 초과일수를 백분율로 계산하여 누적유량 빈도를 5개 구간으로 나누어 분석하였다(Table 5).

유량구간별 오수A BOD 오염부하량과 관리목표 초과빈도를 분석한 결과 LF 갈수기 구간에서 관측자료 56 개 중 29개가 초과하여 초과율 51.79%로 높게 분석되었으며, HF의 홍수기 구간에서도 49.1%로 초과기준에 근접하게 나타났고 부하량의 편차도 높은 분포를 보였으며, 그 이외 구간의 초과율은 22.5%~29.3%로 낮게 초과한 것으로 조사되었다. T-P 오염부하량은 HF 홍수기 구간에서 초과율이 96.3%로 매우 높게 나타났고, 풍수기인

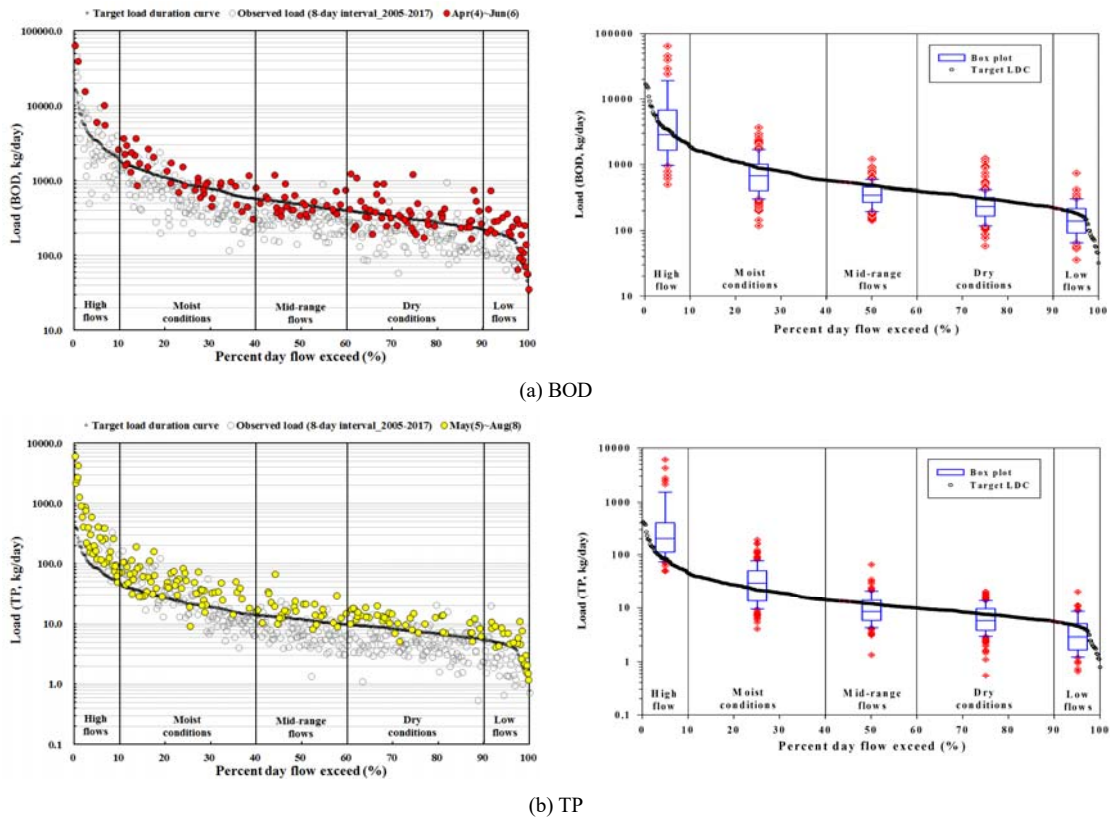


Fig. 8. Result of load duration curve plot on monitoring data at Osu A unit watershed.

Table 5. Result of Cumulative flow frequency analysis at the Osu A unit watershed

| Site name             | Items             | Total data | Hydrologic Condition Class | No. data | Exceed (no.) | Rate exceed(%) | Evaluation |
|-----------------------|-------------------|------------|----------------------------|----------|--------------|----------------|------------|
| Osu A<br>(Osu Stream) | BOD <sup>1)</sup> | 557        | 0-10%(HF)                  | 57       | 28           | 49.1           | ×          |
|                       |                   |            | 10-40%(MC)                 | 166      | 47           | 28.3           | ×          |
|                       |                   |            | 40-60%(MF)                 | 111      | 25           | 22.5           | ×          |
|                       |                   |            | 60-90%(DC)                 | 167      | 49           | 29.3           | ×          |
|                       |                   |            | 90-100%(LF)                | 56       | 29           | 51.7           | ○          |
|                       | Evaluation of TWQ |            |                            | 557      | 178          | 31.9           | “A”        |
| Osu A<br>(Osu Stream) | TP <sup>1)</sup>  | 557        | 0-10%(HF)                  | 55       | 53           | 96.3           | ○          |
|                       |                   |            | 10-40%(MC)                 | 168      | 100          | 59.5           | ○          |
|                       |                   |            | 40-60%(MF)                 | 111      | 38           | 34.2           | ×          |
|                       |                   |            | 60-90%(DC)                 | 167      | 62           | 37.1           | ×          |
|                       |                   |            | 90-100%(LF)                | 56       | 26           | 46.4           | ×          |
|                       | Evaluation of TWQ |            |                            | 557      | 279          | 50.1           | “N”        |

Note:

1) Evaluation : Evaluation of the exceed rate (Exceed “○”, Not Exceed “×”)

2) Evaluation : Evaluation of the the target water quality (TWQ : Achieve is “A”, Not achieve is “N”)

**Table 6.** Result of monthly load duration curve analysis at the Osu A unit watershed

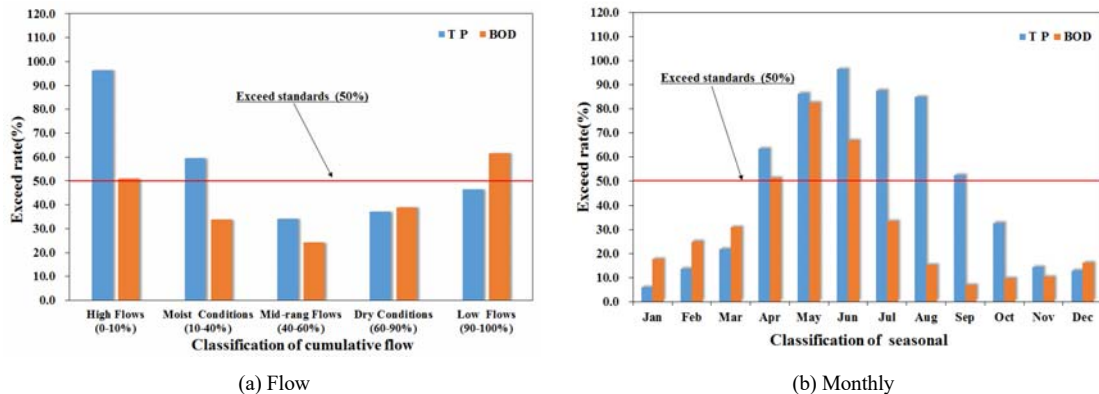
| Item | Division        | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BOD  | No. data        | 34   | 44   | 55   | 49   | 51   | 54   | 48   | 46   | 44   | 52   | 49   | 31   |
|      | Exceed (No.)    | 6    | 11   | 17   | 25   | 42   | 36   | 16   | 7    | 3    | 5    | 5    | 5    |
|      | Rate exceed (%) | 17.6 | 25.0 | 30.9 | 51.0 | 82.4 | 66.7 | 33.3 | 15.2 | 6.8  | 9.6  | 10.2 | 16.1 |
| TP   | No. data        | 34   | 44   | 55   | 49   | 51   | 54   | 48   | 46   | 44   | 52   | 49   | 31   |
|      | Exceed (No.)    | 2    | 6    | 12   | 31   | 44   | 52   | 42   | 39   | 23   | 17   | 7    | 4    |
|      | Rate exceed (%) | 5.9  | 13.6 | 21.8 | 63.3 | 86.3 | 96.3 | 87.5 | 84.8 | 52.3 | 32.7 | 14.3 | 12.9 |

MC 구간에서도 50%를 초과한 것으로 조사되어 풍수기 기간에 관리가 필요한 것으로 나타났다. 일반적으로, 고 유량 기간 동안에 발생하는 수질기준 초과외의 경우는 비점오염원으로 인한 영향이며, 저유량 기간 동안 발생하는 수질기준 초과외의 경우는 점오염원으로 인한 영향일 가능성이 크다고 할 수 있다(Nevada, 2003; Park and Oh, 2012). 또한 BOD는 전체 횟수 중 178회 31.9%가 초과하는 것으로 분석되어 목표수질을 달성한 것으로 나타났다, TP는 전체 횟수 중 279회 50.1%로 목표수질을 초과한 것으로 분석되었다. 월별로 분석한 결과에서는 BOD가 저·갈수기간에 해당하는 4월~6월에 수체 손상이 있는 것으로 나타났고, 특히 5월과 6월에 수체 손상이 심한 것으로 조사되었다(Table 6). TP는 5월과 장마가 시작되는 6월, 강우가 집중되는 7월과 8월에 초과율이 96.3%, 87.5%로 나타났다. 특히 BOD, TP 두 항목 모두 월별 초과율 분석결과 홍수기 이후 가을철부터 겨울철에 초과빈도가 최저치로 낮아졌고, TP는 몬순기후의 영향으로 강우가 증가하는 여름철에 초과빈도가 최

고치로 높아지는 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

Fig. 9.에 도시한 결과를 함께 살펴보면 BOD는 저·갈수기 기간인 4월~6월에 초과율이 높게 나타나는 것으로 보아 유량조건별 분류와 일치하는 것을 볼 수 있으며, T-P는 저·갈수기를 제외한 전 기간인 4월~9월에 초과율이 높게 나타나는 것으로 보아 이 또한 유량조건별 분류방법과 일치하는 것으로 볼 수 있다. 이는 유량의 증가가 목표수질 기준을 초과하는 것에 영향을 주는 것으로 볼 수 있으며, 그 원인은 비점오염원에 의한 영향이 크다고 판단 할 수 있다.

다시 말해 비 강우 시 목표수질 이하의 수질을 유지하다 강우에 의한 유량의 증가와 더불어 유출된 비점오염원에 의해 목표수질 기준을 초과한 것으로, 해당 유역에서는 점오염원 보다는 비점오염원의 영향이 지배적인 것으로 보여 진다. 따라서 오수A 단위유역에서는 점오염원과 함께 주변 토지계의 비점오염원에 대한 관리가 병행되어야 할 것으로 판단된다. 이처럼 부하지속곡선은 수질오염총량 단위유역지점에서 수질현황을 파악해 볼 수



**Fig. 9.** Result of flow and seasonal Classification plot.

있고 이를 시각적으로 나타낼 수 있으며, 수질 현황의 파악 시에 유량조건별 특성을 반영하여 해석하는데 있어 매우 유용할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 섬진강수계의 수질오염총량관리 단위 유역 말단지점인 오수A 지점에서 측정된 유량과 수질 값을 이용하여 유량 조건에 따른 총량관리 대상오염물질의 유출 특성과 목표수질 초과 분석을 통해 유량 구간 및 계절별 수체 손상정도를 파악하여 효율적인 수질관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하는데 그 목적이 있으며 그 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

유량-부하량 관계식을 작성한 결과 BOD와 T-P의 유량 지수가 모두 1보다 큰 것으로 보아 해당유역은 유량이 증가함에 따라 수질오염물질의 농도가 증가하는 모습을 보였다. 이는 해당 단위유역이 점오염원에 비해 비점오염원에 의한 영향을 더 받는 것으로 볼 수 있다.

오수천 전체 면적 중 산림이 차지하는 면적비율이 59.1%로 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났고, 논과 밭이 차지하는 비율이 각각 22.5%, 10.4%로 비교적 많았으며, 산림을 제외하면 농경지 점유율이 높은 것으로 조사되었다. 토지이용에 따른 수질항목별 상관성은 산림을 제외한 시가지·교통지역, 논, 밭, 산업지역에서 모두 양의 상관성을 보였다. 특히 BOD는 시가지·교통지역과 밭에 대해 양의 상관성이 높게 나타났으며, TP의 경우 밭의 지목과 상관성이 0.710으로 높게 나타나 이는 유역의 토지이용특성이 하천수질에 영향을 주는 하나의 중요한 요인임을 제시하는 결과이다.

부하지속곡선(LDC)을 작성하여 분석한 결과 BOD는 전체적으로 초과율이 50% 이하로 목표수질을 준수하고 있는 것으로 나타났고, 월별로 초과율을 분석한 결과 갈수기인 4월~6월에 초과율이 높은 것으로 보아 앞서 유량-부하량 관계식과의 결과를 고려해 볼 때 간헐적인 강우의 초기 쓸림으로 인한 비점의 영향이 수반된 결과로 사료된다. 반면 전체적으로 T-P는 초과율이 50.1%로 목표수질을 달성하지 못한 것으로 나타났으며, 월별로 초과율을 분석한 결과 5월과 6월 강우가 집중되는 홍수기인 7월~8월에 초과율이 매우 높게 나타나 그 원인 또한 비점오염원에 의한 영향이 크며 이러한 영향은 해당지역

의 토지이용 점유율(경작지)과 관계가 깊다고 볼 수 있다.

오수A 지역은 경작지 비율이 높고, 미처리하수인구가 많으며, 하수도 보급률이 낮고, 축사 및 축산계 배출 부하량이 많은 유역으로, 우선 미처리 하수인구에 대해 하수도 보급률을 높여 차집을 통한 점오염원의 영향을 줄이고, 풍수기는 토양침식조절 프로그램과 수변식생대 조성, 갈수기에 산발적 강우를 고려한 인공습지 등과 같은 비점 저감시설 조성을 통해 관리유역에서 배출되는 오염물질이 하천으로 유입되는 것을 최대한 억제하는 방안 등이 적절할 것으로 판단된다. 또한 오염원 추적과 관리를 위해서는 고빈도의 실측자료 확보 및 수체 손상 분석 방법 개발과 지속적인 오염원저감 연구가 필요 할 것으로 사료된다. 그리고 8일 간격 누적유량지속곡선을 적용한 이번 연구의 결과가 수질문제를 해결하기 위한 분석 도구로 활용 가능할 뿐만 아니라 관리 대상 유역에서 효율적인 수질관리 방안을 마련하는데 유용한 자료로 활용되어 질 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 논문은 환경부의 제원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2018-03-03-002).

#### REFERENCES

- An, G. H., Kim, H. T., Shin, D. S., Kim, Y. S., Ko, E. T., 2016, Evaluating the feasibility of targeted water quality achievement in Yeongsan-river watersheds: using load duration curve analysis with weekly flow data, Proceedings of the Korean Society of Water Quality, 446-447.
- Back, K. O., Yim, D. H., 2012, Extension techniques of 8 day interval recorded stream-flow data to daily one, J. Korea Water Resour. Assoc., 45(1), 91-99.
- Cheong, E. J., Kim, H. T., Kim, Y. S., Shin, D. S., 2016, Application of the Load Duration Curve (LDC) to evaluate the achievement rate of target water quality in the Youngsan · Tamjin river watersheds, J. Korean Soc. Water Environ., 32(4), 349-356.
- Choi, H. G., Han, K. Y., Choi, S. Y., 2011, A Stochastic analysis of the water quality with discharge variation in upper Nakdong river basin, J. Environ. Impact



- Assess., 20(6), 833-843.
- Choi, D. H., Jung, J. W., Lee, S. K., Choi, Y. J., Yoon, K. S., Cho, S. H., Park, H. N., Lim, B. J., Chang, N. I., 2012, Estimation of pollutant load delivery ratio for flow duration using L-Q equation from the Oenam-cheon watershed in Juam Lake, *J. Environ. Sci.*, 21(1), 31-39.
- 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, Chicago, IL.
- Gburek, W. J., Folmar, G. J., 1999, Flow and chemical contribution to stream flow in an upland watershed: a base flow survey, *Journal of Hydrology*, 214, 1-18.
- Hwang, H. S., Park, B. K., Kim, Y. S., Park, K. J., Cheon, S. U., 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, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 27(6), 885-895.
- Hwang, S. J., Bae, H. K., Kim, H. Y., 2013, The effect of for major river project and Kunho river on Nakdong river's water quality-focused on Kangjung-Koryung weir, *J. Environ. Sci.*, 22(6), 695-703.
- Jeonju regional environmental agency(JREA), 2011, Upstream of the Seomjin-river system mid-watershed water environment management plan report (2011~2015), Jeonju regional environmental agency, Jeonju, Korea.
- Jung, S. M., Eum, J. S., Jang, C. W., Choi, Y. S., Kim, B. C., 2012, Characteristics of nonpoint source pollution and relationship between land use and nutrient concentrations in the Han river watershed, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(2), 255-268.(a)
- Jung, J. W., Lim, B. J., Cho, S. H., Choi, J. H., Song, K. D., Ha, D. W., Kim, H. S., Park, S. H., Hwang, T. H., Jung, S. J., Lee, D. J., 2012, The influence of land use on water quality in the tributary of the Yeongsan river basin, *Korean J. Limnol.*, 45(4), 412-419.(b)
- Jung, K. Y., 2018, Statistical analysis of water quality improvement grade classification and water environmental pollution assessment, Doctorate Thesis, Energy Engineering Major in Civil Engineering Kyungpook National University, 1-10.
- Jung, K. Y., Aha, J. M., Lee, K. L., Lee, I. J., Yu, J. J., Cheon, S. U., Kim, K. S., Han, K. Y., 2015, Temporal and spatial analysis of non-biodegradable organic pollutants in the Geumho river system, *J. Environ. Sci.*, 24(11), 1343-1362.
- Kang, D. K., 2010, Study on optimal hydrologic monitoring network for managing watershed total pollutant loads, Doctorate Thesis, Civil Engineering Pusan National University, 1-20.
- Kang, H. W., Ryu, J. C., Shin, M. H., Chol, J. D., Chol, J. W., Shin, D. S., Lim, K. J., 2011, Application of web-based load duration curve system to TMDL watersheds for evaluation of water quality and pollutant loads, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 27(5), 689-698.
- Kim, D. W., Jang, M. J., Park, J. H., Han, I. S., 2013, Determination of important parameter control term for Paldang lake water quality management using load duration curves, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(6), 762-776.
- Kim, E. K., Kim, H. T., Shin, D. S., Ryu, J. C., Kim, Y. S., 2016a, Application of the LDC using weekly flow data to evaluate the achievement rate of target water quality in the Han-river, *Proceedings of the Korean Society of Water Quality*, 253-254.
- Kim, G. H., Kwon, H. G., Ahn, J. M., Kim, S. H., Im, T. H., Shin, D. S., Jung, K. Y., 2017, Development of long term flow duration curves for the management of total maximum daily loads - in the Nakdong river basin-, *J. Environ. Sci.*, 26(8), 939-953.
- Kim, J. L., Kim, H. T., Shin, D. S., Kim, S. S., Kim, Y. S., 2016b, A Study on the evaluation method for the achievement rate of target water quality in the Nakdong-river using weekly flow data, *Proceedings of the Korean Society of Water Quality*, 434-435.
- Kim, O. S., Kim, H. C., Kim, J. O., 2000, A Study on the relation between pollutant loading and outflow in Chinyang reservoir, *Journal of Institute of Environmental Protection*, 8, 45-53.
- Kwon, P. S., Park, M. J., Lee, Y. J., Cho, Y. C., Noh, C. H., Jung, W. S., Kim, J. H., Yu, S. J., 2017, Evaluation of water quality characteristics at Kyeongan stream using the flow-loading equation and factor analysis, *Ecol. Resil. Infrastruct.*, 4(4), 226-236.
- Lee, E. J., 2013, Application of FDC and LDC using HSPF model to support total water load management system, Doctoral Dissertation, Cheongju University.



- Lee, H. B., Rhee, K. H., Won, K. J., Moon, B. S., 2018, Analysis of correlation between water quality and land use for different sizes of river basins in Hapcheon area, *J. of the Korean Society for Environmental Technology.*, 19(2), 146-154.
- Lee, H. J., Long, D. S., Kim, S. H., Shin, K. S., Park, J. H., Kim, B. I., Kim, S. M., Jang, S. H., Cheon, S. U., 2007, Investigation on water quality variation characteristics during thy season in Namhan river drainage basin, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(6), 889-896.
- Nevada 2003, Load Duration Curve Methodology for Assessment and Total Maximum Daily Loads Development , Nevada Division of Environmental Protection, 1-3.
- Park, J. D., Oh, S. Y., 2012, Methodology for the identification of impaired waters using LDC for the management of total maximum daily loads, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 28(5), 693-703.
- Park, J. D., Oh, S. Y., 2013, Development of long term flow duration curves in 4 river basins for the management of total maximum daily loads, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 29(3), 343-353.
- Park, J. H., 2007, Estimation of delivered pollutant loads using the empirical model considering geological and hydraulic characteristics, Doctoral Dissertation, Gyeongbuk university.
- Park, J. H., 2010, A Study of waterbody health diagnosis method using load duration curve, Master's Thesis, Kyungpook National University, 1-10.
- Park, J. H., Jung, J. W., Kim, D. Y., Kim, K. S., Han, S. W., Kim, H. O., Lim, B. J., 2013, Water quality characteristic of the major tributaries in Yeongsan and Sunjin river basin using statistical analysis, *J. Environ Impact Assess.*, 22(2), 171-181.
- Park, J. H., Moon, M. J., Kim, K. S., 2014, Analysis of relationship between water quality parameters with land use in Yeongsan river basin, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(1), 19-27.
- Park, S. J., 2011, Forecasting of water quality and analysis on pollution load delivery characteristics of Soyang lake basin, Doctorate Thesis, Department of Civil Engineering, Kangwon National University, 1-140.
- U.S. EPA Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, 2007, An approach for using load duration curves in the development of TMDLs.
- Vogel, R. M., Fenessey, N. M. 1994, Flow-duration curves, I: New interpretation and confidence intervals, *J. Water Resour. Plan. Manage.*, 120(4), 485-504.
- Wanielista, M. P., 1978, Stormwater management quantity and quality, Ann Arbor Science, Mich, 187-220.
- Water information system (WEIS), 2018, <http://water.nier.go.kr/>.
- Water resources management information system (WAMIS), 2018, <http://wamis.go.kr/>.
- Yim, Y. J., Kim, Y. D., Bang, J. Y., 1995, Changes in stream water quality according to land use at Kyongan stream, *Journal of Ecology and Field Biology.*, 19, 341-352.