오염총량관리 시계열 수질 및 유량 자료를 활용한 수체손상 분석

Analysis of Impaired Waterbody using Time Series Water Quality and Flow Rate Data for TPLMs

남범식 · 황하선* · 조무환[†]

Beom Sik Nam · Ha Sun Hwang* · Moo Hwan Cho[†]

영남대학교 화학공학부 · *국립환경과학원 물환경연구부

School of Chemical Engineering, Yeungnam University

*Water Pollution Cap System Division, National Institute of Environmental Research

(Received June 24, 2018; Revised August 28, 2018; Accepted September 21, 2018)

Abstract : A key element of the TPLMs is to analyze the impaired waterbodies according to flow and seasonal conditions to establish and implement the best reduction measures for watershed characteristics. The purpose of this study is to provide impaired waterbody analysis process using time series data and to visualize the analysis results and analyze the impaired rate according to various conditions to provide basic data such as reduction planning for TPLMs. For this purpose, impaired waterbody according to the flow and seasonal conditions were analyzed for BOD, COD, TOC, SS, TN, and TP pollutants using the time series water quality and flow data measured at 121 unit watersheds. As a result, the impaired condition and the impaired rate of each pollutant in the unit watershed vary widely from waterbody. In order to achieve reasonable water quality improvement measures and achieve stable target water quality, appropriate reduction measures should be provided to solve the cause of damage. In addition, if it is difficult to manage the contaminants damaged only in certain water bodies as the current TPLMs, additional research of Tributary TPLMs that can manage only the damaged water bodies in customized manner will be needed.

Key Words : TPLMs (Total Pollution Load Management System), Impaired Waterbody, FDC (Flow Duration Curve), LDC (Load Duration Curve)

요약 : 총량관리 핵심 요소는 유량조건 및 계절조건에 따른 수체손상을 분석하여 유역특성에 맞는 최상의 삭감방안을 마련하고 이행하는 것이라 할 수 있다. 시계열 측정자료는 수체손상 분석에 이용될 수 있으며 총량관리를 위해 단위유역 하단에서 8일 간격으로 수질과 유량이 동시에 측정되고 있다. 본 연구의 목적은 시계열 자료를 이용한 수체손상 분석 과정 및 결과를 시각적으로 표현하는 방법을 정립하고, 단위유역 하단 수체의 다양한 조건에서 손상율을 분석하여 총량관리를 위한 삭감 계획 수립 등에 기초자료를 제공하는 것이다. 이를 위해 4대강수계 121개 단위유역 하단에서 측정된 시계열 수질 및 유량 자료를 이용하여 유량조건 및 계절조건에 따른 수체손상을 BOD, COD, TOC, SS, T-N, T-P 6개 오염물질에 대하여 분석하였다. 그 결과 총량관리 단위유역 하단 수체에서 오염물질별 손상조건 및 손상율은 수체마다 매우 다양하게 나타나 합리적인 수질 개선 대책 마련 및 안정적인 목표수질 달성을 위해서는 손상원인을 해결할 수 있는 적절한 삭감대안이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 또한 특정 수체에서만 손상된 오염물질에 대하여 현 총량관리의 대상물질로 관리하기 어려운 경우에는 손상수체만을 맞춤형으로 관리할 수 있는 지류총량제 등의 적용 가능성에 대한 추가적 검토가 필요할 것으로 판단된다.

주제어 : 오염총량관리제, 수체손상, 유량지속곡선, 부하지속곡선

1. 서론

과거 우리나라는 산업화와 도시화로 물 사용량이 급격히 증가하여 인근 지류에 흐르는 표층수의 취수만으로는 요구되는 용수를 충분히 공급하지 못하게 되어 본류의 물을 취수하여 상류지류에 공급하게 되면서 본류 수질에 대한 관심이 높아지게 되었다. 또한, 배출허용기준 만으로는 일정 규모 이하의 소규모 배출시설의 증가에 따른 오염물질의 양적팽창과 고유량 배출시설에 대한 차별적 관리수단이 되지 못해 유역 내 배출원이 정해진 배출허용기준을 달성하여도 하천은 환경기준을 달성하지 못하게 되었다. 이로 인해 관리유역의 규모는 본류가 포함된 대규모로 변화되었으며 유역 내 오염물질의 배출관리는 일정규모 이상의 배출원에 대

해서만 획일적인 배출허용 농도기준을 적용하는 방법에서 유역에서 배출되는 오염물질의 양을 허용총량 이내로 관리하는 오염총량관리제(이하 총량관리)를 2004년부터 시행하게 되었다.¹⁾

총량관리는 정해진 목표수질을 달성·유지하기 위해 단위유역 내에서 허용가능한 배출부하량인 할당부하량을 준수하기 위한 삭감계획을 수립하고, 삭감계획에 대한 이행과 함께 단위유역 하단의 수질변화를 지속적으로 확인하고 있다. 2004년부터 4대강수계 141개 단위유역에서 연중 8일 간격으로 수질과 유량을 동시에 측정되고 있으며, 매년 단위유역별 약 40 여개 이상의 수질 및 유량자료가 축적되고 있다.

총량관리 핵심 요소는 단위유역 하천수체의 수질변화를 유역 내 크고 작은 모든 오염물질 배출원과 연계 분석하여 유

[†] Corresponding author E-mail: mhcho@ynu.ac.kr Tel: 053-810-2517 Fax: 053-810-4631

역특성에 맞는 최상의 삭감방안을 마련하여 이행하는 것이 라 할 수 있다. 하천 수질은 유역 내 배출시설의 종류와 유역의 특성에 따라 다양하게 나타날 수 있고, 유량변화에 따라서도 영향을 받을 수 있으므로 동일한 유량조건에서도 계절에 따라 다르게 나타날 수 있다.²⁾ 총량관리 시행초기 하천 수질은 환경기초시설 등 개별 방류시설의 방류량에 많은 영향을 받아 주로 저유량에서 수질이 상대적으로 악화되었다. 10년이 지난 지금은 그간 환경기초시설 방류수질 강화, 총인저감시설 설치 등의 개별배출시설의 변화와 기후변화 등으로 하천 수질에 미치는 영향은 다양하게 변화되어 저유량을 벗어난 유량조건에서 수질이 악화되고 있다. 즉 특정 오염물질을 관리하기 위해서는 수체의 손상특성을 파악하고 그에 맞는 삭감계획을 수립하여 오염물질을 관리할 필요가 있다.

이러한 이유로 Hwang 등³⁾은 적절한 삭감방안 마련을 위해 부하지속곡선(Load Duration Curve)을 이용하여 수체손상을 평가하고 삭감대안을 제안하였으며, Park 등⁴⁾은 오염 부하지속곡선을 통한 맞춤형 수질오염총량제 추진방안에 대하여 연구하였다. Lee 등⁵⁾은 부하지속곡선을 이용하여 갈수기 수질오염부하특성 및 기여율을 분석한 바 있으며, Kim 등⁶⁾은 MOVE.2 확장기법 적용을 통하여 장기 부하지속곡선을 구축하고 유량조건별 수체손상을 평가한 바 있다. 그러나 대부분의 연구가 특정 유량조건에 한하여 수체손상을 평가하고 있으며 시계열 수질 및 유량자료와 부하지속곡선을 활용한 수체손상 분석의 전 과정을 보여주지 못하고 있다.

본 연구는 총량관리를 위해 측정된 시계열 수질 및 유량자료를 이용하여 수체손상 분석과정과 분석결과를 시각적으로 표현하는 방법을 정립하고, 총량단위유역 하단 수체에 대한 유량조건 및 계절조건별 수체손상을 분석하여 총량관리 삭감계획 수립 및 집중관리 시기 결정 등에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 연구 대상유역

본 연구는 한강, 낙동강, 금강, 영산강·섬진강수계 145개 오염총량관리 단위유역(이하 단위유역) 중 해수유통 등의 영향으로 수질 및 유량을 측정하지 않는 4개 단위유역(한강J, 동진B, 만경C, 수어A) 및 댐 방류량에 직접적으로 영향을 받는 20개 단위유역(북한A~D, 소양B, 한강C, 한강F, 임진B, 낙본C, 반변B, 남강C, 황강B, 낙본M~N, 금본B, 금본F, 보성A, 섬본B, 섬본D, 영본E)을 제외한 121개 단위유역을 대상으로 수행되었다. 단위유역 하단에서는 ‘물환경 측정망 운영계획’⁷⁾에 따라 평균 8일 간격으로 년 36회 이상 유량과 함께 BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), TOC (Total Organic Carbon), SS (Suspended Solid), T-N (Total Nitrogen), T-P (Total Phosphorus) 등 6개 수질항목을 측정하고 있다(Fig. 1).⁸⁾

Fig. 1. This study area and monitoring stations.

2.2. 수체손상 정도 분석

특정조건에서 수질 악화는 대부분 유역에서 유입되는 오염물질의 배출특성과 높은 상관성을 가진다. 수질이 악화되는 유량조건 및 계절조건에 대한 분석은 합리적인 수질개선 대책 마련과 안정적인 목표수질 달성을 위한 최상의 삭감계획을 수립하는데 중요한 자료가 된다.

이러한 수체손상 분석을 위해서는 분석조건과 수체손상 판단을 위한 기준수질이 필요하다. 하천수체의 수질은 연중 일정하게 유입되는 점오염물질과 강우시 강우유출수와 함께 유입되는 비점오염물질 그리고 하천 내부 기작 등에 의해 변화되므로 수체의 유량 및 수온 등은 수체손상에 중요한 원인이 된다. 이런 이유로 본 연구에서는 유량크기에 따른 수체손상을 분석하기 위해 누적유량의 크기를 5개의 구간으로 분리하였다. 5개 유량조건은 누적유량의 크기가 0 ~ 10%

Table 1. Flow and seasonal conditions for analysis of impaired waterbody

Flow condition		Seasonal conditions	
Duration curve zone	Duration interval (%)		
High flows	0 ~ 10%	Spring	March ~ May
Moist conditions	10 ~ 40%	Summer	June ~ August
Mid-range conditions	40 ~ 60%	Autumn	September ~ November
Dry conditions	60 ~ 90%	Winter	December ~ February
Low flow	90 ~ 100%	-	-

인 홍수(High flows) 조건, 10 ~ 40%인 풍수(Moist conditions) 조건, 40 ~ 60%인 평수(Mid-range flows) 조건, 60 ~ 90%인 저수(Dry conditions) 조건, 90 ~ 100%인 갈수(Low flows) 조건이다.⁹⁾ 또한 수온 변화에 따른 수체손상 평가를 분석하기 위해 하천 수온이 일정하게 유지되는 기간을 기준으로 봄(3 ~ 5월), 여름(6 ~ 8월), 가을(9 ~ 11월), 겨울(12 ~ 2월)의 4가지 계절조건으로 구분하였다(Table 1).

일반적으로 목표달성을 위한 수체평가에서는 목표수질을 기준으로 손상된 조건과 그렇지 않은 조건으로 분석하지만^{10~12)} 본 연구의 목적은 하천의 수질 중 상대적으로 손상된 조건을 찾는 것이므로 단위유역별 최근 3년 실측자료의 중위수질을 기준수질로 정하여^{13,14)} 실측수질이 기준수질을 초과하는 조건을 손상된 것으로 평가하였다. 수체손상 분석 대상 수질항목은 BOD, COD, TOC, SS, T-N, T-P 6개 항목이며 분석기간은 환경기초시설의 총인고도처리시설 설치의 영향을 최소화하기 위해 대부분의 총인처리시설이 준공된 2012년 이후 3년(2014 ~ 2016년) 실측자료를 활용하였다.

2.3. 유량크기 표준화

하천유량은 지점별로 다양한 크기를 가지는데 연구대상인 121개의 단위유역 하단지점의 유량크기는 매우 다양하므로 유량크기에 대한 표준화가 필요하다. 하천유량을 시간적 순위에 관계없이 최대유량에서 최소유량까지 크기순으로 배열하고 특정유량보다 큰 유량이 나타나는 빈도(이하 초과백분율)를 식 (1)의 방법으로 산정하면 하천유량의 크기를 표준화된 백분율 순(0 ~ 100%)으로 나타낼 수 있다.

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

하천유량 크기의 표준화는 하천의 전 수문현상을 적절히 대변하여야 하므로 일반적으로 일평균유량을 사용하는데, 본 연구는 단위유역별 수체에서 발생할 수 있는 10년 빈도의 최소 및 최대 확률 유량까지 반영할 수 있도록 보검증된 HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran) 유역모형으로부터 보관된 10년(2006 ~ 2015년)간의 일평균유량 자료(NIER,

2016)를 활용하였다.¹⁵⁾

2.4. 초과백분율 추정

수체손상 분석은 실측자료가 가지고 있는 측정시간, 수질, 유량 등의 정보를 해당 조건으로 구분하여 분석하게 된다. 이때 측정유량이 소수점 셋째자리까지만 표현되기 때문에 10년간의 일유량 자료를 기초로 하여 표준화한 유량조건에 측정유량을 정확히 도식하기는 어려우므로 본 연구에서는 측정 유량과 가까운 앞 뒤 두 유량은 선형관계를 가진다고 가정하고 식 (2)와 같은 방법으로 초과백분율을 추정하였다.

$$x_i = \frac{Q_i(x_{i+1} - x_{i-1})}{Q_{i+1} - Q_{i-1}} \quad (2)$$

여기서, x is flow exceedance percentile and Q is flow

3. 결과 및 고찰

3.1. 기준수질 산정

수체손상 분석의 기준이 되는 기준수질은 121개 단위유역별 및 오염물질별 3년(2014 ~ 2016년) 실측 수질자료의 중위수질을 산정하여 분석에 활용하였다. 산정된 기준수질의 변동 폭은 SS, T-P, BOD, T-N, TOC, COD 순으로 최소와 최대 폭이 크게 나타났다. SS는 평균을 기준으로 최소 15%에서 최대 1,468%까지 변동 폭이 크게 나타났으며, COD는 최소 41%에서 최대 305%의 가장 작은 변동 폭을 나타냈다(Fig. 2). 121개 단위유역 중 낙본L 단위유역의 산정결과는 BOD 2.1 mg/L, COD 6.3 mg/L, TOC 3.9 mg/L, SS 7.8 mg/L, T-N 2.503 mg/L, T-P 0.043 mg/L로 Table 2와 같다.

Table 2. Calculation result of median value for each water quality item

Unit watershed	Median value (2014 ~ 2016, mg/L)					
	BOD	COD	TOC	SS	T-N	T-P
NB-L	2.1	6.3	3.9	7.8	2.503	0.043

Fig. 2. Result of median range analysis at each water quality item at 121 unit watershed.

3.2. 수체손상 분석을 위한 유량조건

하천에서 유량크기에 따른 오염물질별 수체손상 정도를 분석하기 위한 유량조건은 HSPF 유역모형에서 도출된 10년 (2006~2015년, 3,652일) 일평균유량을 최대유량에서 최소 유량 순으로 데이터를 배열하고 식 (1)의 방법으로 3,652개의 일평균유량 크기를 0~100%로 변환한 후 이를 5개의 조건(Table 1)으로 121개 단위유역별로 구분하였다. 이 중 낙본L의 홍수조건(High flow)의 유량은 7447.371~642.796 m³/sec 범위로 나타났으며 풍수조건(Moist conditions)은 642.796~240.128 m³/sec, 평수조건(Mid-range conditions)은 239.279~167.920 m³/sec, 저수조건(Dry conditions)은 167.920~82.402 m³/sec, 갈수조건(Low flow)은 82.119~28.062 m³/sec 범위로 나타났다(Table 3). 각 유량조건 중위값을 갈수조건 기준으로 비교해 보았을 때 저수조건은 1.8배, 평수조건은 3.0배, 풍수조건은 5.0배 그리고 홍수조건은 16.6배의 유량 차이를 보였으며 최소 유량과 최대 유량이 약 440배 차이를 보이는 것으로 나타나 하상계수가 매우 큰 것으로 분석되었다.

국내에서는 하천유량을 유지일수에 따라 연중 95일 이상 유지되는 유량은 풍수량(Q95), 185일 이상 유지되는 유량은 평수량(Q185), 275일 이상 유지되는 유량은 저수량(Q275), 355일 이상 유지되는 유량은 갈수량(Q355)으로 구분하고 있다. 국내 유량조건을 년 365일 기준으로 확률분포 환산 시 풍수량은 26%, 평수량은 51%, 저수량은 75%, 갈수량은 97%에 해당되며, 유량조건 구분⁹⁾에 따른 각 조건의 중앙값과 유사한 확률분포를 나타낸다. 낙본L의 풍수량(Q95)은 322.814 m³/sec, 평수량(Q185) 195.668 m³/sec, 저수량(Q275) 122.329 m³/sec, 갈수량(Q355) 51.687 m³/sec으로 분석되었다. 각 유량조건에서 산정된 중위값(Moist conditions 334.141 m³/sec, Mid-range conditions 199.069 m³/sec, Dry conditions 122.329

m³/sec, Low flow 66.262 m³/sec)과 비교하였을 때 풍수량은 3.5%, 평수량은 1.7%, 저수량은 0.0%, 갈수량은 28.2% 적게 산정된 것으로 나타났다.

낙본L 단위유역의 결과를 x축을 유량으로 하고 y축을 유량보다 큰 유량이 나타나는 빈도인 초과백분율로 하는 그림으로 표현하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다. x축을 유량 크기순(0~100%)으로 나타내면 하천의 유량 변동의 크기를 시각적으로 이해하기 쉽게 표현 가능한 것으로 판단되며 y축을 정수간격으로 도식화한 NB-L(a) 보다 y축을 대수간격으로 표현한 NB-L(b)가 더 시각적으로 이해하기 쉬운 것으로 판단된다.

3.3. 수체손상 분석 조건별 측정자료 분포

121개 단위유역에서 3년(2014~2016년)간 실행된 자료에 대한 유량조건 및 계절조건별 분포를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 유량조건별 분포를 보면 홍수조건과 갈수조건의 측정자료의 수가 상대적으로 적은 것으로 나타났는데 이는

Table 4. Distribution of monitoring data by flow and seasonal conditions

Seasonal conditions	Flow condition					Total (0~100%)
	High flows (0~10%)	Moist conditions (10~40%)	Mid-range conditions (40~60%)	Dry conditions (60~90%)	Low flow (90~100%)	
Spring	300	1,572	1,092	1,470	615	5,049
Summer	579	1,296	920	1,175	570	4,540
Autumn	388	1,150	1,046	1,394	641	4,619
Winter	95	495	586	1,193	631	3,000
Total	1,362	4,513	3,644	5,232	2,457	17,208

Table 3. Calculation result of range and median value according to flow conditions

Unit watershed	Type	Flow (m ³ /sec)				
		High flow	Moist conditions	Mid-range conditions	Dry conditions	Low flow
		0 ~ 10%	10 ~ 40%	40 ~ 60%	60 ~ 90%	90 ~ 100%
NB-L	Range	7,447.371 ~ 642.796	642.796 ~ 240.128	239.279 ~ 167.920	167.920 ~ 82.402	82.119 ~ 28.062
	Median	1,098.700	334.141	199.069	122.329	66.262

Fig. 3. Diagram using flow and flow duration interval at Nakbon L.

홍수 및 갈수조건의 유량구간(10%)이 다른 구간(20~30%)에 비해 상대적으로 좁기 때문에 판단된다. 계절적 분포 특성은 겨울에 측정된 자료의 수(3,000개)가 봄, 여름, 가을의 평균 측정자료 4,736개에 비해 1,736개(약 36%)가 적은 것으로 나타났는데, 이는 겨울철 결빙 등으로 인해 유량 및 수질이 측정되지 못했기 때문으로 판단된다.

3.4. 수체손상 분석 및 시각적 표현

측정수질이 단위유역의 중위수질을 만족하지 못하는 경우 해당수체가 손상된 것으로 가정하였으며, 전체 측정수질에 대한 초과 측정수질의 개수를 손상율(%)로 하여 3년(2014~2016년) 실측자료를 활용하여 유량조건 및 계절조건별 수체손상을 분석하였다.

3.4.1. 유량조건별 수체손상 분석 및 시각적 표현

유량조건에 따른 수체손상 분석결과 중 낙본L 단위유역에 대한 분석결과는 Table 5와 같다. 6개 수질항목 중 T-N에 대한 결과를 보면 홍수조건에서는 10개 자료 중 8개가 초과하여 손상율은 80%로 나타났으며, 풍수조건에서는 23개 자료 중 12개가 초과하여 손상율 52%, 평수조건에서는 22개 자료 중 8개가 초과하여 손상율 36%, 저수조건에서는 47개 자료 중 24개가 초과하여 손상율 51%, 갈수조건에서는 16개 자료 중 7개가 초과하여 44% 손상율을 보였다.

유량조건별 수체손상 분석결과를 x축을 유량초과백분율로 하고 y축을 측정된 수질 또는 측정된 유량 및 수질 자료를 토대로 산정된 실측부하량으로 도식화하였으며 결과는 Fig. 4와 같다. NB-L-수질(a)는 y축을 수질로 하고 기준선을 중위수질로 하여 실측수질을 동시간에 측정한 실측유량에 대응하게 도식하였다. NB-L-부하(b)는 y축을 대수간격의 부하량으로 하고 기준선은 유량초과백분율에 대응하는 유량에 중위수질을 곱한 부하량으로 하여 실측부하량을 실측유량에 대응하게 도식하였다. 실측 자료가 중위수질 또는 부하 지속곡선을 초과하는 경우 수체가 손상되었음을 의미하므로 두 그림 모두 하천 유량크기에 따른 수체손상 정도를 시각

Table 5. Result of estimated impaired data by flow conditions at Nakbon L

Flow condition	Impaired data	BOD	COD	TOC	SS	T-N	T-P
High flows (0 ~ 10%)	Total N	10	10	10	10	10	10
	Impaired N	3	8	8	10	8	8
	Impaired (%)*	30.0	80.0	80.0	100.0	80.0	80.0
Moist conditions (10 ~ 40%)	Total N	23	23	23	23	23	23
	Impaired N	13	10	7	17	12	16
	Impaired (%)*	56.5	43.5	30.4	73.9	52.2	69.6
Mid-range conditions (40 ~ 60%)	Total N	22	22	22	22	22	22
	Impaired N	11	10	12	10	8	10
	Impaired (%)*	50.0	45.5	54.6	45.5	36.4	45.5
Dry conditions (60 ~ 90%)	Total N	47	47	47	47	47	47
	Impaired N	20	19	21	16	24	22
	Impaired (%)*	42.6	40.4	44.7	34.0	51.1	46.8
Low flow (90 ~ 100%)	Total N	16	16	16	16	16	16
	Impaired N	5	5	6	4	7	1
	Impaired (%)*	31.3	31.3	37.5	25.0	43.8	6.3

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

적으로 이해하기 쉽게 표현 가능한 것으로 나타났다. 또한 NB-L-수질(a)는 유량조건별 수질의 손상정도를 쉽게 확인할 수 있으며 NB-L-부하(b)는 수체의 부하량의 손상 정도를 쉽게 확인할 수 있는 것으로 판단된다.

3.4.2. 계절별 수체손상 분석 및 시각적 표현

계절조건에 따른 수체손상 분석결과 중 낙본L 단위유역에 대한 분석결과는 Table 6과 같다. 6개 수질항목 중 BOD에 대한 결과를 보면 봄 조건에서는 33개 자료 중 19개가 초과하여 손상율은 57.6%로 나타났으며, 여름조건에서는 27개 자료 중 18개가 초과하여 손상율 66.7%, 가을조건에

NB-L_W,Q. (a)

NB-L_Load (b)

Fig. 4. Diagram using load and flow duration interval at Nakbon L.

Table 6. Result of estimated impaired data by seasonal conditions at Nakbon L

Seasonal conditions	Impaired data	BOD	COD	TOC	SS	T-N	T-P
Spring (Mar ~ May)	Total N	33	33	33	33	33	33
	Impaired N	19	8	9	16	24	15
	Impaired (%) [*]	57.6	24.2	27.3	48.5	72.7	45.5
Summer (Jun ~ Aug)	Total N	27	27	27	27	27	27
	Impaired N	18	21	22	13	7	19
	Impaired (%) [*]	66.7	77.8	81.5	48.1	25.9	70.4
Autumn (Sep ~ Nov)	Total N	33	33	33	33	33	33
	Impaired N	8	19	20	26	9	19
	Impaired (%) [*]	24.2	57.6	60.6	78.8	27.3	57.6
Winter (Dec ~ Feb)	Total N	25	25	25	25	25	25
	Impaired N	7	4	3	2	19	4
	Impaired (%) [*]	28.0	16.0	12.0	8.0	76.0	16.0

^{*} Impaired : Percentile of Exceed Data (Exceed N/Total N×100)

서는 33개 자료 중 8개가 초과하여 손상을 24.2%, 겨울조건에서는 25개 자료 중 7개가 초과하여 28.0% 손상을 보였다.

계절조건별 수체손상 분석결과를 시각적으로 이해하기 쉽게 표현하기 위해 NB-L - 수질(a)은 x축을 계절로 하고 y축을 수질로 하고 기준선은 중위수질로 하여 실측수질은 측정날짜에 대응하게 도식하였다. NB-L-부하(b)은 y축을 대수간격의 부하량으로 하고 기준선은 유량초과백분율에 대응하는 유량에 중위수질을 곱한 부하량으로 하여 실측부하량을 계절별로 구분하여 실측유량에 대응하게 도식하였다(Fig. 5). 실측 자료가 중위수질 또는 부하지속곡선을 초과하는 경우 수체가 손상되었음을 의미하므로 두 그림 모두 계절에 따른 수체손상 정도를 시각적으로 이해하기 쉽게 표현 가능한 것으로 나타났다.

3.5. 유량조건 및 계절조건별 수체손상 분석 결과

일정기간 하천에서 측정된 수질자료를 크기 순서로 나열하였을 때 중앙에 위치하는 것이 중위수질이다. 이때 어떤 측정 수질이 일정기간 연속적으로 측정된 전체 수질자료의 중위수질보다 나쁜 경우는 해당 수체가 해당 오염물질에 의해 손상된 것을 의미하며, 이때의 유량조건 또는 계절조건은 손상원인 규명 및 수질개선 대책 마련 등을 위한 중요한 기초자료가 된다. 유역의 오염물질을 관리하여 수질을 개선하는 총량관리에서는 수체손상 조건을 분석하여 적절한 관리대책을 수립하는 것이 무엇보다 중요하다.

3.5.1. 유량조건별 수체손상 분석 결과

본 연구지역인 121개 단위유역 하단 수체에 대하여 3년간의 실측자료와 기준수질을 이용하여 평가한 6개 오염물질별 손상율을 유량조건별로 분석하였다. 5개 유량조건별로 121개 단위유역 각각의 방대한 손상율 분석결과 개별적으로 표현하기는 어려워 상자그림(Box-Plot)을 이용하여 최대값, 최소값, 중앙값, 사분편차 등으로 표현하였으며 그 결과는 Fig. 6과 Table 7과 같다. 상자그림은 자료의 측정값들이 어떠한 모양으로 분포되어 있는지 동일 항목의 공간적 비교와 더불어 다양한 실험결과를 비교할 때 자주 사용하는 방법이다.¹⁶⁾

Fig. 6의 상자그림은 121개 단위유역별 손상율(0~100%)을 유량조건별로 그룹화하여 표현한 것으로 y축은 손상율을 의미한다. 갈수조건인 BOD로 Fig. 6의 상자그림을 간략히 설명하면, 121개 단위유역에서 측정된 총 17,208개 자료 중 갈수조건에 해당하는 자료는 2,457개인데 이 자료를 이용하여 121개 단위유역 각각의 BOD 손상율을 분석한 결과 121개 손상율 중 50번째 손상율은 64.01%이며 90번째 손상율은 100.00%, 75번째 손상율은 80.31%, 25번째 손상율은 45.99%, 10번째 손상율은 36.52%로 나타났다. 중위수인 50번째의 손상율이 50%보다 높은 64.01%로 나타나 BOD는 121개 단위유역 중 과반이상의 단위유역이 갈수조건에서 수체가 손상된 것을 나타냈다.

Fig. 5. Diagram using seasonal data and flow duration interval at Nakbon L.

Fig. 6. Range of impaired rate by flow conditions at 121 unit watershed.

BOD 손상율의 중위수는 유량조건별로 50.00%, 41.32%, 44.19%, 50.00%, 64.01%로 손상율이 상대적으로 높은 갈수조건을 제외하고 유량조건별로 손상정도는 비슷한 것으로 나타났다. 손상율의 분포 범위(90%~10%)는 80.89%, 29.25%, 27.14%, 26.78%, 63.48%로 나타나 홍수조건과 같

수조건의 범위가 넓어 변동성이 보다 큰 것으로 나타났으며 손상율의 분포는 모든 유량조건에서 대칭형으로 평균 손상율을 기준으로 양쪽으로 고르게 분포되어 있는 것을 나타냈다.

COD 손상율의 중위수는 유량조건별로 75.00%, 45.12%,

Table 7. Range of impaired rate by flow conditions at 121 unit watershed

Water quality	Box-plot range	Exceed rate (%)				
		High flows	Moist conditions	Mid-range conditions	Dry conditions	Low flow
		0 ~ 10%	10 ~ 40%	40 ~ 60%	60 ~ 90%	90 ~ 100%
BOD	90th	100.00	56.52	57.14	64.52	100.00
	75th	73.30	50.25	50.00	57.14	80.31
	Median	50.00	41.32	44.19	50.00	64.01
	Mean	53.25	42.00	43.23	49.99	64.90
	25th	35.61	33.33	37.04	42.50	45.99
	10th	19.11	27.27	30.00	37.74	36.52
COD	90th	100.00	60.97	59.52	63.64	100.00
	75th	91.26	51.79	47.22	55.56	85.91
	Median	75.00	45.12	40.91	48.72	65.15
	Mean	71.96	45.13	42.22	48.13	64.91
	25th	60.00	35.98	35.14	41.18	46.70
	10th	39.33	28.47	27.78	33.33	33.33
TOC	90th	100.00	65.17	55.88	63.16	100.00
	75th	93.18	53.42	50.00	52.78	80.00
	Median	75.00	44.22	43.18	46.15	62.50
	Mean	68.06	45.97	42.86	47.16	62.16
	25th	50.00	36.32	34.88	38.33	46.04
	10th	29.73	29.37	26.32	31.58	31.21
SS	90th	100.00	74.68	58.14	57.69	100.00
	75th	100.00	66.67	50.00	48.84	73.55
	Median	100.00	58.96	42.11	44.19	50.00
	Mean	91.00	59.82	43.36	43.97	53.52
	25th	84.29	51.16	34.29	37.25	33.33
	10th	74.74	46.27	29.73	30.77	21.74
T-N	90th	100.00	72.95	67.57	73.68	100.00
	75th	75.69	62.22	57.89	62.50	75.00
	Median	54.44	50.00	46.67	50.94	47.62
	Mean	51.34	48.03	48.15	52.73	47.57
	25th	21.07	33.33	37.50	41.18	18.59
	10th	0.00	23.22	31.43	35.29	0.00
T-P	90th	100.00	68.64	61.54	56.67	100.00
	75th	100.00	61.95	50.00	51.39	76.26
	Median	100.00	52.86	42.86	43.14	52.63
	Mean	85.51	53.88	43.64	44.04	55.64
	25th	80.00	46.04	34.48	36.36	33.33
	10th	61.38	38.06	25.58	29.27	25.00

40.91%, 48.72%, 65.15%로 손상율이 상대적으로 높은 홍수조건, 갈수조건을 제외하고 유량조건별로 손상정도는 비슷한 것으로 나타났다. 손상율의 분포 범위(90% ~ 10%)는 60.67%, 32.5%, 31.74%, 30.31%, 66.67%로 나타나 홍수조

건과 갈수조건에서 범위가 넓어 변동성이 더 큰 것으로 나타났다. 손상율의 분포는 모든 유량조건에서 대칭형으로 평균 손상율을 기준으로 양쪽으로 고르게 분포되어 있음을 나타낸다.

TOC 손상율의 중위수는 유량조건별로 75.00%, 44.22%, 43.18%, 46.15%, 62.5%로 손상율이 상대적으로 높은 홍수조건, 갈수조건을 제외하고 유량조건별로 손상정도는 비슷한 것으로 나타났다. 손상율의 분포 범위(90% ~ 10%)는 70.27%, 35.8%, 29.56%, 31.58%, 68.79%로 나타나 홍수조건과 갈수조건에서 범위가 넓어 변동성이 더 큰 것으로 나타났으며 손상율의 분포는 모든 유량조건에서 대칭형으로 평균 손상율을 기준으로 양쪽으로 고르게 분포되어 있음을 나타낸다.

SS 손상율의 중위수는 유량조건별로 100.00%, 58.96%, 42.11%, 44.19%, 50.00%로 손상율이 상대적으로 높은 홍수조건, 풍수조건을 제외하고 유량조건별로 손상정도는 비슷한 것으로 나타났다. 손상율의 분포 범위(90% ~ 10%)는 25.26%, 28.41%, 28.41%, 26.92%, 78.26%로 나타나 갈수조건에서 변동성이 더 큰 것으로 나타났으며 손상율의 분포는 모든 유량조건에서 대칭형으로 평균 손상율을 기준으로 양쪽으로 고르게 분포되어 있음을 나타낸다.

T-N 손상율의 중위수는 유량조건별로 54.44%, 50.00%, 46.67%, 50.94%, 47.62%로 손상정도는 비슷한 것으로 나타났다. 손상율의 분포 범위(90% ~ 10%)는 100.00%, 49.73%, 36.14%, 38.39%, 100.00%로 홍수조건과 갈수조건에서 범위가 넓어 변동성이 더 큰 것으로 나타났으며 손상율의 분포는 모든 유량조건에서 대칭형으로 평균 손상율을 기준으로 양쪽으로 고르게 분포되어 있음을 나타낸다.

T-P 손상율의 중위수는 유량조건별로 100.00%, 52.86%, 42.86%, 43.14%, 52.63%로 상대적으로 높은 홍수조건을 제외하고 유량조건별로 손상정도는 비슷한 것으로 나타났다. 손상율의 분포 범위(90% ~ 10%)는 38.62%, 30.58%, 35.96%, 27.4%, 75%로 나타나 갈수조건에서 변동성이 더 큰 것으로 나타났으며 손상율의 분포는 모든 유량조건에서 대칭형으로 평균 손상율을 기준으로 양쪽으로 고르게 분포되어 있음을 나타낸다.

6개 오염물질의 수체손상 특성을 보면 유량조건에 양 끝단인 홍수조건과 갈수조건의 손상도가 높았고 상대적으로 풍수조건, 평수조건, 저수조건에서는 손상도가 낮은 것으로 나타났다. 오염물질의 종류로 구분해 보면 생물학적 분해가 가능한 유기물인 BOD는 갈수조건에 손상도가 높았으며, COD, TOC는 홍수조건과 갈수조건에 높았고, SS와 T-P는 홍수조건, T-N은 유량의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

Nevada 주 환경청 보고서¹⁷⁾ 및 Park 등¹⁸⁾에 의하면 일반적으로 고유량 기간에 수질기준을 초과하는 경우는 비점오염원으로 인한 영향이며, 저유량 기간에 수질기준을 초과하는 경우는 점오염원으로 인한 영향일 가능성이 크다고 하였다. 이러한 측면에서 결과를 고찰해 보면, 홍수조건에서 손상율이 큰 것은 강우유출수에 의한 비점오염물질 유입이 손

상원인이며, 갈수조건에서 손상율이 큰 것은 하수처리장 등 점오염원에 의한 유입으로 보여지며, 상대적으로 중간유량 조건은 하천의 유지용수가 증가되어 수질 손상은 적은 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용한 유량조건이 전체 유량의 10%, 30%, 20%, 30%, 10% 구간으로 구분되어 유량조건별 측정자료의 수가 편

중되어 수체손상 분석 및 해석에 영향을 줄 수 있을 것이라 판단하여 5개의 유량조건을 20% 등간격으로 구분하여 동일한 방법으로 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 7 및 Table 8과 같다. 분석 결과 홍수조건과 저수조건에서 일부 손상율의 차이는 있지만 Table 1의 유량조건으로 분석한 결과와 비슷하게 나타나 유량구간의 차이에 의한 영향은 적은 것으로 판단된다.

Fig. 7. Range of impaired rate by flow conditions (Equal Section, 20%) at 121 unit watershed.

Table 8. Range of impaired rate by flow conditions (Equal Section, 20%) at 121 unit watershed

Water quality	Box-Plot Range	Exceed rate (%)				
		High flows	Moist conditions	Mid-range conditions	Dry conditions	Low flow
		0 ~ 20%	20 ~ 40%	40 ~ 60%	60 ~ 80%	80 ~ 100%
BOD	90th	71.21	60.64	56.88	61.86	84.31
	75th	58.33	48.11	50.00	55.36	68.08
	Median	49.22	40.00	44.44	48.00	57.89
	Mean	48.90	41.05	43.31	47.59	59.15
	25th	36.65	31.25	37.09	40.77	45.88
	10th	25.13	26.67	30.09	34.65	39.30
COD	90th	83.33	60.00	59.38	60.89	84.12
	75th	73.18	52.29	47.42	54.55	71.22
	Median	61.32	43.48	41.38	47.83	55.83
	Mean	60.51	43.07	42.29	46.74	57.41
	25th	50.00	34.91	35.14	39.38	41.67
	10th	36.48	24.10	27.78	31.58	34.51
TOC	90th	83.33	63.09	55.82	62.29	83.24
	75th	73.18	52.38	50.00	52.09	66.67
	Median	62.50	43.48	43.24	45.16	52.70
	Mean	59.57	43.99	42.92	45.53	55.46
	25th	47.06	33.82	35.01	38.49	39.73
	10th	33.33	23.60	26.51	29.56	32.08
SS	90th	100.00	70.12	58.52	57.43	76.88
	75th	91.67	59.02	50.00	51.68	56.25
	Median	83.33	52.94	42.11	42.86	44.28
	Mean	81.56	53.77	43.46	44.45	46.35
	25th	72.35	44.44	33.81	36.36	32.79
	10th	62.55	37.54	29.48	30.60	23.53
T-N	90th	83.33	72.91	67.39	72.00	89.68
	75th	72.02	58.70	57.79	64.26	71.33
	Median	52.98	46.66	46.43	51.72	50.00
	Mean	50.07	47.49	48.05	51.94	51.62
	25th	33.33	34.78	37.72	41.29	33.33
	10th	12.50	23.27	31.57	33.54	20.00
T-P	90th	94.64	66.50	61.83	56.20	71.26
	75th	85.71	56.99	50.86	51.61	58.22
	Median	75.00	48.00	42.86	44.44	46.15
	Mean	74.14	49.31	43.74	44.11	48.64
	25th	65.71	41.52	34.55	35.69	37.50
	10th	50.22	30.89	25.92	29.70	25.78

3.5.2. 계절별 수체손상 분석 결과

계절조건별 손상율을 오염물질별로 분석하였으며 그 결과는 Table 9 및 Fig. 8과 같다. BOD, COD, TOC, SS, T-P는 봄, 여름에 손상율이 높았으며 가을과 겨울철 손상율은 낮게 나타났다. T-N은 봄과 겨울철에 손상율이 높게 나타났는데, 이는 동절기 하수처리장의 질소 처리율이 낮아 나타난

Table 9. Range of impaired rate by seasonal conditions at 121 unit watershed

Water quality	Box-Plot Range	Season conditions			
		Spring	Summer	Autumn	Winter
BOD	90th	79.49	76.47	36.36	57.15
	75th	73.51	70.37	33.33	43.43
	Median	66.67	57.58	24.24	32.00
	Mean	65.25	58.99	25.60	33.17
	25th	57.98	50.00	18.18	20.00
COD	10th	48.97	41.18	12.55	11.20
	90th	74.36	88.89	59.88	51.60
	75th	66.67	84.41	40.63	32.67
	Median	61.54	75.76	30.56	16.00
	Mean	58.00	73.23	32.59	21.43
TOC	25th	49.36	64.71	20.59	7.14
	10th	35.94	52.94	12.12	0.00
SS	90th	69.23	88.89	55.82	51.60
	75th	63.16	79.98	44.60	36.42
	Median	51.52	71.05	36.36	19.44
	Mean	52.17	70.60	36.99	24.34
	25th	42.86	63.64	27.27	11.77
T-N	10th	34.29	50.00	21.08	3.85
	90th	78.92	91.12	60.00	40.00
	75th	72.47	82.35	42.42	26.79
	Median	65.71	73.53	30.30	13.04
	Mean	64.16	72.06	34.54	17.01
T-P	25th	54.42	61.76	22.37	4.00
	10th	48.41	52.94	15.15	0.00
	90th	79.49	34.27	55.35	100.00
	75th	69.23	26.20	47.77	100.00
	Median	61.11	18.52	37.84	94.44
T-P	Mean	60.85	21.47	39.02	89.02
	25th	54.07	12.12	30.30	83.67
	10th	43.59	8.82	24.24	73.67
	90th	64.10	88.76	65.70	58.10
	75th	56.41	82.35	56.07	40.83
T-P	Median	48.48	72.73	42.42	20.83
	Mean	48.56	70.25	43.31	27.45
	25th	40.00	59.63	31.33	11.11
	10th	34.23	48.92	21.21	4.00

현상으로 보여진다.¹⁹⁾

Table 9의 분석결과를 살펴보면, 계절조건 및 유량조건에 따라 오염물질별 변동 폭이 다양한 것으로 판단되며, 효율적인 수질관리를 위해서는 유량 및 계절조건을 고려한 관리조건을 선정하고, 이에 따른 원인파악과 수질개선 노력이 필요할 것으로 판단된다.

현재 총량관리는 삭감여력 등을 고려하여 4대강수계 전 단 위유역에서 BOD는 저수구간, T-P는 저수구간 또는 평수구

Fig. 8. Range of impaired rate by seasonal conditions at 121 unit watershed.

간을 기준유량으로 정하여 관리하고 있으나, 본 연구결과로 본 실제 단위유역 하단 수체 손상율은 BOD는 갈수조건, T-P는 홍수조건에 높은 것으로 나타나 현재 기준유량 외 다른 유량조건에서 손상율이 높은 것으로 나타났으며 같은 유량 조건이라 하더라도 봄, 여름철에 수질이 상대적으로 손상되는 것으로 나타났다.

수계의 균형적 관리를 위해 동일한 기준유량을 이용하여 허용부하량을 산정하고 이를 할당하여 관리하는 현 제도는 관리적 측면에서 효율적이지만, 유역별 배출특성을 고려하여 최상의 삭감계획을 수립하기에는 경직성이 있어 보임으로 실제 유역 하단의 수체 손상율이 나쁜 유량조건 및 계절을 고려하여 총량관리 삭감계획이 수립되어야 할 것이다.

특히 실질적인 삭감이 어려운 홍수조건보다 갈수조건에 대한 삭감방안 마련이 필요시 되는데 아직까지 점오염원에 대한 추가적 저감노력이 필요한 것으로 보여 진다. 특히 하수처리장의 방류수질이 강화된 점을 감안하면 오수처리시설 등 개인하수처리시설에 대한 잠재적 저감능력에 대한 관심과 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 시계열 자료를 이용한 수체손상 분석과정과 분석결과를 시각적으로 표현하는 방법을 정립하고 다양한 조건에 따른 단위유역 하단 수체의 손상율을 분석하여 총량관리를 위한 삭감계획 수립 및 집중관리 시기 결정 등에 기초 자료를 제공하고자 4대강수계 121개 단위유역 하단에서 측정된 시계열 수질 및 유량자료를 이용하여 유량조건 및 계절조건에 따른 수체손상을 BOD, COD, TOC, SS, T-N, T-P 6개 오염물질에 대하여 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 수체손상 분석을 위한 기준수질은 단위유역별 최근 3년 실측 수질자료의 중위수질을 이용하였으며 측정수질이 단위유역의 중위수질을 만족하지 못하는 경우 해당 수체가 손상된 것으로 가정하고 전체 측정수질 개수에 대한 손상 측정수질의 개수를 손상율로 정의하였다.

2) 수체손상 분석 조건 중 유량조건은 10년간 일평균유량의 크기를 백분율 순(0~100%)으로 표준화하여 5개의 조건으로 나누었으며 계절조건은 수체 수온이 일정하게 유지되는 기간을 기준으로 4개 조건으로 구분하여 분석하였다.

3) 분석결과 전반적으로 유량조건의 양 끝단인 홍수조건과 갈수조건에서 손상율이 높았고 상대적으로 풍수조건, 평수조건, 저수조건에서는 손상율이 낮은 것으로 나타났으며 BOD는 갈수조건에 손상율이 높았으며 COD, TOC는 홍수조건과 갈수조건에서 손상율이 높았고 SS와 T-P는 홍수조건, T-N은 유량조건에 따른 손상율이 비슷한 것으로 나타났다.

4) 계절조건별 수체손상 분석 결과는 BOD, COD, TOC, SS, T-P의 경우 봄, 여름조건에 손상율이 높았으며 가을과 겨울조건에서 손상율은 낮게 나타났으며 T-N은 봄과 겨울조건에서 손상율이 높게 나타났다.

5) 총량관리 단위유역 하단 수체에서 오염물질별 손상조건 및 손상율은 수체마다 매우 다양하게 나타나 합리적인 수질개선 대책 마련 및 안정적인 목표수질 달성을 위해서는 손상조건에 맞는 적절한 삭감대안이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 또한 특정 수체에서만 손상된 오염물질에 대하여 현 총량관리의 대상물질로 관리하기 어려운 경우에는 손상수체만을 맞춤형으로 관리할 수 있는 지류총량제 등의 적용 가능성 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

1. Ministry of Environment (MOE), "Act on Water Management and Residents Support in the Nakdong River Basin," Ministry of Environment(2014).
2. Park, J. D., Kim, J. L., Rhew, D. H. and Jung, D. I., "A Study on the Water Quality Patterns of Unit Watersheds for the Management of TMDLs - in Nakdong River Basin," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **26**(2), 279~288(2010).
3. Hwang, H. S., Yoon, C. G. and Kim, J. T., "Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL Unit Watershed in Korea," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **26**(6), 903~909(2010).
4. Park, B. K., Ryu, J. C., Na, E. H., Seo, J. Y. and Kim, Y. S., "Study on the Application of Spatial-analysis of Pollutants and Load Duration Curve for Efficient Implementation of TMDLs system," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **39**(12), 655~663(2017)
5. Lee, S. R., Shin, J. Y., Lee, G. J., Sung, Y. S., Kim, K. S., Lim, K. J. and Kim, J. G., "Analysis of Water Pollutant Load Characteristics and Its Contributions During Dry Season: Focusing on Major Streams Inflow into South-Han River of Chungju-dam Downstream," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **40**(6), 247~257(2018).
6. Kim, G. H., Kwon, H. G., Im, T. H., Lee, G. D., Shin, D. S. and Na, S. M., "Construction of Long-term Load Duration Curve Using MOVE.2 Extension Method and Assessment of Impaired Waterbody by Flow Conditions," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **33**(1), 51~62(2017).
7. Ministry of Environment (MOE), "Water Quality Monitoring Program," Ministry of Environment(2017).
8. Ministry of Environment (MOE), "Water Environment Information System (WEIS), <http://water.nier.go.kr/waterMeasurement/selectWater.do>,"(accessed May. 2018).
9. Cleland, B. R., "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(2003).
10. Cheong, E. J., Kim, H. T., Kim, Y. S. and Shin, D. S., "Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Rate of Achievement of Target Water Quality in the Youngsan, Tamjin River Watersheds," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **32**(4), 349~356(2016).
11. Kim, E. K., Ryu, J. C., Kim, H. T., Kim, Y. S. and Shin, D. S., "Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Achievement Rate of Target Water Quality in the Han-River Watersheds," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **31**(6), 732~738(2015).
12. Hwang, H. S., Park, B. K., Kim, Y. S., Park, K. J., Cheon, S. U. and Lee, S. J., "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(2011).
13. Hwang, H. S., Kim, S. S., Kim, J. L. and Park, B. K., "Research on the Evaluation of Impaired Waterbody using the Flowrate Group at TMDL Unit Watershed in Nakdong River

- Basin," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **28**(6), 933~942(2012).
14. Park, J. H., Kang, T. W., Han, S. W., Baek, S. G., Kang, T. G., Yoo, J. C. and Kim, Y. S., "Evaluation of Impaired Waterbody and Multivariate Analysis Using Time Series Load Curve - in Jiseok Stream Watershed," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **33**(6), 650~660(2017).
15. Ministry of Environment (MOE), 2018. Tributary TPLM Water Environment Information System, <http://tmdlms.nier.go.kr/TRIB/index.jsp> (accessed May. 2018).
16. Park, J. H., Moon, M. J. and Kim, K. S., "Analysis of Relationship Between Water Quality Parameters with Land Use in Yeongsan River Basin," *J. Environ. Impact Assess.*, **23**(1), 19~27(2014).
17. Nevada, "Load Duration Curve Methodlogy for Assessment and TMDL," Development Nevada Division of Environmental Protection, 2003.
18. Park, J. D. and Oh, S. Y., "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(2012).
19. Jeong, I. G., "Comparison of suspended and attached growth in full-scale advanced wastewater treatment processes," M. S. dissertation, Korea National University of Transportation, Chungju, South Korea(2017).